

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah -

DEPARTEMENT AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Conception des Ouvrages Hydrotechniques

THEME

**ETUDE DE FAISABILITE D'UN BARRAGE
SOUTERRAIN DANS LA VILLE DE DJANET
(W. ILLIZI)**

Présenté par

M^{elle} BIROUK Sabrina

Devant les membres du jury

M. B. BENLAOUKLI	M C . A	Président
M ^m N. SAIL	M A . A	Examinatrice
M. A. ZEROUALI	M A . A	Examineur
M M. D. BENSALAH	M A . A	Examineur
M M. K. MIHOUBI	Professeur	Promoteur

Septembre -2016

Dédicaces

À ma mère, pour son amour capable de déplacer des montagnes,

À mon père qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études,

*À mon grand-père pour son Amour et sa Tendresse
incommensurable, puisse-t-il reposer en paix,*

*À mon Cher Cousin Réda pour son humour et son infinie
bonté, que dieu puisse l'accueillir dans son vaste paradis,*

*À mes alliées pour la vie, mes chères sœurs Nawel, Amel et
Lynda,*

*À mes amis qui ont cru en moi et m'ont soutenue dans les
moments de doute,*

À mes enseignants qui m'ont formé en tant qu'ingénieur,

À tous ceux qui m'ont forgé en tant que personne,

Je dédie ce modeste travail comme symbole de mon affection.

Remerciements

Je remercie chaleureusement le professeur Mihoubi pour le temps qu'il m'a consacré, les conseils qu'il m'a donnés et son apport scientifique, ainsi que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de mon humble travail.

Aux enseignants de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique et aux ingénieurs du bureau d'étude

Stucky Enhyd, formateurs d'exception qui m'ont transmis la passion du métier, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance la plus sincère.

ملخص:

في إطار برنامج تنمية مناطق الجنوب ، ارتأت مديرية الري لولاية ايليزي بدراسة لسد تدفق سفلي. الهدف من هذا العمل هو الدراسة المفصلة لسد تحت ارضي على واد "جانيت" في ولاية ايليزي ، لتوفير المياه الباطنية للمنطقة بمنع تسربها. حيث قمنا بدراسة جيولوجية , هيدرولوجية و هيدروجيولوجية. ثم قمنا بتصميم جسم السد (جدار رخو) و حساب ابعاد التجهيزات الملحقة (ستار التماسك و مأخذ الماء) ، و أتمناه بتنظيم الورشة.

Résumé :

Dans le cadre du programme de développement des régions du Sud, la Direction d'Hydraulique de la Wilaya d'ILLIZI envisage une étude d'un barrage inféro-flux. L'objectif du présent travail est l'étude de faisabilité du Barrage souterrain (inféro-flux) sur l'oued Djanet situé en plein cœur de la ville de Djanet. Cet ouvrage permettra d'améliorer les disponibilités en eau souterraines dans la région de Djanet en empêchant la vidange naturelle de la nappe.

Pour ce faire, nous avons établi une étude géologique, hydrologique et hydrogéologique pour mieux cerner les potentialités en eau de la zone d'étude, par la suite nous avons établi une étude des variantes sur laquelle on s'est basé pour choisir la variante paroi moulée. Cette variante dispose d'ouvrages annexes (voile d'injection, prise d'eau et seuil) dont nous avons étudié les détails et nous avons terminé avec une organisation de chantier adéquate.

Abstract :

Under the development program of the southern regions, the Hydraulics Directorate of ILLIZI reckoned to study a nether stream dam. The aim of this dissertation is to study a preliminary detailed design geologicaly, hydrologicaly and hydrogeologicaly of the underground dam, in the Djanet Oued; in order to protect the groundwater in the valley preventing its drainage. Moreover, we tried to set the ancillary structures of the dam to finish with organizing the workshop.

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Présentation générale	
I.1. Présentation de la région de djanel.....	03
I.2. Caractéristiques de la région du Tassili n'Ajjer.....	04
I.2.1. Eléments climatiques.....	04
I.2.2. Géologie.....	04
I.2.3. Topographie et géographie.....	04
I.2.4. Réseau hydrographique.....	07
I.2.5. Les réserve en eau.....	07
I.3. Description de la zone d'étude.....	07
I.3.1. Situation géographique.....	07
I.3.2. Données socio-économiques.....	07
I.3.3. Réseau routier.....	07
I.3.4. Alimentation en eau potable (A.E.P).....	07
I.3.5. Assainissement.....	08
I.3.6. Electricité.....	08
I.3.7. Population.....	08
I.3.8. Activités économique.....	08
I.4. Besoins globaux en eau.....	08
I.4.1. Besoins domestiques.....	08
I.4.2. Besoins en eau pour l'irrigation.....	08
I.4.3. Autres besoins.....	09
Chapitre II : Etude géologique et géotechnique	
Introduction.....	11
II.1. Géologie régionale	11
II.1.1. Schéma structural	11
II.1.1.1. Pays cristallin	11

II.1.1.2.Enceinte tassilienne	13
II.1.1.3.Adrar n'Ajjer.....	13
II.2. Géologie de la cuvette	14
II.2.1. Présentation litho stratigraphique	14
II.2.2.Tectonique	15
II.3. Géophysique.....	15
II.3.1.Adaptation de l'échelle de résistivité.....	15
II.3.1.1Etalonnage du sondage électrique (I2).....	16
II.3.1.2Etalonnage du sondage électrique (N1).....	16
II.3.1.3Etalonnage du sondage électrique (O3).....	16
II.3.2.Interprétation des coupes géoélectriques.....	17
II.3.4.Interprétation des différentes cartes	17
II.3.5.conclusion	
II.4.Investigation géotechnique.....	19
II.5. Géologie de site.....	21
Conclusion	22

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction	24
III.1. Le bassin versant	24
III.1.1. Caractéristiques morphologiques	24
III.1.1.1. Paramètres géométriques	24
III.1.1.2. Paramètres de forme	26
III.1.2. Le relief	27
III.1.2.1. Répartition de bassin et courbe hypsométrique	27
III.2. Caractéristiques hydrographiques.....	30
III.2.1. Densité de drainage.....	30
III.2.2. Densité du thalweg élémentaire.....	31
III.2.3. Coefficient de torrentialité	31
III.2.4. Longueur moyenne des versants.....	31
III.2.5. La pente moyenne de cours d'eau principal.....	31
III.2.6. Temps de concentration du bassin versant T_c	33
III.2.6.1.Formule de Giandotti	33

III.2.6.2. Formule S.C.S (Soil Conservation Service).....	33
III.2.6.3. Formule de Kirpich.....	33
III.2.7. Vitesse de ruissellement	34
III.2.8. Profil en long de l'Oued	34
III.3. Caractéristiques climatique du bassin versant.....	36
III.3.1. Température.....	36
III.3.2. Vent	37
III.3.3 Humidité relative	38
III.3.4 Ensoleillement	39
III.3.5. Evaporation.....	39
III.3.7. Indice d'aridité de DE MARTONNE	40
III.4. Pluviométrie	41
III.4.1. Données disponibles	41
III.4.2. Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle	42
III.4.3. les pluies maximales journalières.....	42
III.4.3.1. Les paramètres statistiques de l'échantillon.....	43
III.4.3.2. Ajustement des pluies maximales journalières.....	43
III.4.4. Pluies de courtes durées.....	46
III.5. Ruissellement.....	50
III.6. Crues.....	51
III.6.1. débits maximum de la crue.....	51
III.6.2. Hydrogramme de crue.....	52
III.7. Transport solide.....	55
Conclusion.....	56

Chapitre IV : Etude hydrogéologique

Introduction.....	58
IV.1. Les réserve en eau de la région	58
IV.2. Les formations susceptibles d'être aquifères	59
IV.3. Etude de la nappe de l'inféro-flux	61
IV.3.1. Caractéristiques générales de la nappe	61
IV.3.2. La morphologie de l'aquifère	62

IV.4. Paramètre hydrodynamique.....	62
IV.5. Piézométrie	63
IV.5.1. La carte piézométrique.....	63
IV.5.2. Interprétation de la carte piézométrique	63
IV.5.3. Gradient hydraulique	64
IV.5.4. Sens d'écoulement de la nappe	64
IV.6. Mode d'alimentation de la nappe	65
IV.7. Mode d'exploitation de la nappe	65
IV.8. Estimation des potentialités en eau.....	65
IV.9. Estimation du débit de l'inféro-flux	66
IV.10. Les prélèvements à la consommation	65
IV.11. Les pertes par évaporation de surface.....	67
IV.12. Confrontation ressources et besoins en eau.....	67
Conclusion.....	68

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Introduction.....	69
V.1. Le choix du site du barrage	69
V.2. variantes et techniques de réalisation envisageable sur le site	72
V.2.1. Mur paroi moulée.....	74
V.2.2. Digue en enrochement.....	74
V.2.3. Digue en argile.....	74
V.3. Etude des variantes.....	74
V.3.1 Mur paroi moulée.....	74
V.3.1.1. Principe de construction.....	74
V.3.1.2. calcul et dimensionnement.....	75
V.3.1.3. Etude hydraulique du mur.....	77
V.3.2. Digue en enrochements.....	77
V.3.2.1. Largeur en crête	78
V.3.2.2. La longueur en crête.....	78
V.3.2.4. Dispositif de protection contre les effets de l'eau.....	79
V.3.3. Digue en argile.....	79

V.4.Fixation.....	79
V.4.1.Calcul des volumes.....	80
V.4.2. Devis estimatif des variantes.....	84
Conclusion.....	84

Chapitre VI : Les ouvrages annexes

VI.1. Voile d'injection	86
VI.1.1. L'épaisseur du voile.....	86
VI.1.2. Nombre des trous d'injection et leurs profondeurs.....	87
VI.1.3. Longueur du voile.....	87
VI.1.4. Le débit infiltré à travers le voile.....	88
VI.2. Seuil déversant	89
VI.2.1. Calcul hydraulique du seuil.....	89
VI.2.2. Profil d'un déversoir.....	89
VI.2.3. Calcul de stabilité du seuil.....	91
VI.2.3.1. Vérification au glissement.....	91
VI.2.3.2. Vérification au renversement.....	92
VI.2.3.3. calcul de résistance du barrage.....	93
VI.3. Prise d'eau.....	94
VI.3.2. Exécution.....	94
Conclusion.....	97

Chapitre VII : Organisation de chantier

Introduction.....	99
VII.1. Travaux d'exécution.....	99
VII.1.1. Travaux préliminaires.....	99
VII.1.2. Travaux d'exécution du mur paroi moulée.....	100
VII.1.2.1. Excavation de la tranchée.....	100
VII.1.2.2. Bétonnage	100
VII.1.3. Travaux d'exécution du voile d'injection	101
VII.1.3.1. Forage des trous d'injection	101
VII.1.3.2. Injection du coulis.....	101
VII.1.4. Travaux d'exécution du seuil déversant.....	102

VII.2. Approvisionnement du chantier en matériaux.....	102
VII.3. Auscultation technique du barrage souterrain.....	102
VII.4. Installation du chantier.....	102
VII.5. Planification	103
VII.5.1. Construction du réseau	103
VII.5.2. Les paramètres de la méthode C.P.M.....	104
VII.5.3. Chemin critique (C.C)	104
VII.5.4. Symboles des différentes opérations	104
VII.5.5. Détermination du chemin critique.....	107
VII.6. Devis estimatif.....	109
Conclusion.....	115
Conclusion générale	117

Liste des tableaux

Chapitre I : Présentation générale

Tableau I.1 : accroissement annuel de la dotation.....	08
--	----

Chapitre II: Etude géologique et géotechnique

Tableau II.1 : Valeurs des échelles de résistivités dans les formations géologiques.....	17
--	----

Tableau II.2 : Perméabilités obtenues par l'Essai Lefranc.....	20
--	----

Tableau II.3 : Valeurs approximatives de la perméabilité.....	21
---	----

Tableau II.4 : Perméabilités obtenues par l'Essai Legeon.....	21
---	----

Chapitre III: Etude Hydrologique

Tableau III.1 : Coordonnées de la courbe hypsométrique.....	28
---	----

Tableau III.2 : détermination de la pente Roche I_p	29
---	----

Tableau III.3 : Evaluation de la pente moyenne.....	30
---	----

Tableau III.4 : calculs du Temps de concentration.....	33
--	----

Tableau III.5 : Caractéristiques du bassin de l'oued Djanet.....	35
--	----

Tableau III.6 : Caractéristiques de la station climatologique.....	36
--	----

Tableau III.7 : Températures moyennes, maximale et minimale	36
---	----

Tableau III.8 : Vitesses moyennes mensuelles du vent et le nombre de jours violents supérieur à 20 m/s.....	37
--	----

Tableau III.9 : Fréquence moyenne interannuelle des vents par leur direction.....	38
---	----

Tableau III.10: Humidité mensuelles moyennes (%).....	38
---	----

Tableau III.11: Ensoleillement mensuel moyen (heures).....	39
--	----

Tableau III.13: Evaporations mensuelles et annuelles au plan d'eau libre.....	39
---	----

Tableau III.14: indice d'aridité.....	40
---------------------------------------	----

Tableau III.16: Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station de Djanet.....	42
---	----

Tableau III.17: Les paramètres statistiques des précipitations maximales journalières station Djanet.....	43
--	----

Tableau III.18: Ajustement a la loi de GUMBEL.....	44
--	----

Tableau III.19: Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon..	45
--	----

Tableau III.20: Ajustement a la loi de Galton (log-normal).....	45
---	----

Tableau III.21: Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton et de l'échantillon....	46
Tableau III.22: les précipitations des différent fréquence.....	48
Tableau III.23: Ruissellement au bassin versant de l'oued Djanet.....	50
Tableau III.24: Débits de crue de l'oued Djanet.....	51
Tableau III.25: Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue α	52
Tableau III.26: Les débits des crues de différentes périodes de retour	53
Tableau III.27: Volumes des crues de différentes périodes de retour.....	55

Chapitre IV : Etude hydrogéologique

Tableau IV.1 : Puits sélectionnés pour les essais et leurs répartitions par secteur.....	62
Tableau IV.2 : Résultats des essais de pompage	63

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Tableau V.1 : Récapitulatif des sites potentiels.....	72
Tableau V.2 : Types des méthodes de construction du barrage souterrain	73
Tableau V.3: Longueur de panneaux en fonction de la longueur de la benne preneuse.....	76
Tableau V.4: Nombre de panneaux primaires et secondaires.....	77
Tableau V.5 : récapitulatif des résultats de calcule de largeur de crête.....	78
Tableau V.6 : Valeurs indicatives des pentes des talus.....	79
Tableau V.7 : Détail quantitatif du mur paroi moulée	80
Tableau V.8 : Calcul estimatif des volumes des recharges en enrochement	82
Tableau V.9 : Calcul de la surface du masque en Géomembrane	83
Tableau V.10 : Calcul estimatif des volumes des recharges en Argile	84
Tableau V.11 : Récapitulatif des estimations du coût des variantes étudiées	84

Chapitre VI : Les ouvrages annexes

Tableau VI.1 : Récapitulatif des différentes profondeurs des forages	87
Tableau VI.2 : Valeurs de Δ en fonction de la profondeur du voile d'injection.....	88
Tableau VI.3 : Coordonnées du profil de déversoir type Creager.....	90
Tableau VI.4 : Diamètres des tubages en fonction des débits	96

Chapitre VII : Organisation de chantier

Tableau VII.1 : symboles des opérations.....	105
Tableau VII.2: Programme des travaux pour la réalisation de barrage d'EFERI	

(Diagramme de GANTT).....	108
Tableau VII.3 :Devis estimatif.....	109

Liste des figures

Chapitre I : Présentation générale

Figure I.1 : Extrait de carte pour localisation de la zone d'étude.....	03
Figure I.2 : Esquisse géographique du Tassili n'Ajjer.....	06

Chapitre II : Etude géologique et géotechnique

Figure II.1 : Extrait d'une carte illustrant les formations géologiques du Tassili n'Ajjer....	12
Figure II.2 : Schéma type des affleurements du paléozoïque l'Ahaggar.....	13
Figure II.3 : Coupes schématiques à travers le Tassili.....	14
Figure II.4 : Schéma de principe d'une prospection géophysique (SEV).....	15

Chapitre III: Etude Hydrologique

Figure III.1: Délimitation du bassin versant.....	25
Figure III.2 : répartition et courbe hypsométrique.....	28
Figure III. 3 : Le réseau hydrographique du bassin versant.....	32
Figure III.4 : Profil en long du cours d'eau principal.....	34
Figure III.5: Répartition des Températures	37
Figure III.6 : Rose des vents-Station de Djanet.....	38
Figure III.7 : Abaque de E.DE MARTONNE.....	41
Figure III.8 : variation mensuelle de la pluie observée a Djanet (mm).....	42
Figure III.9 : Ajustement d'une loi de Gumbel aux pluies maximales journalières observées à la station de Djanet pour le période (1972-2012).....	44
Figure III.10 : Ajustement de la loi de Galton (Log Normale).....	46
Figure III.11 : Pluie de Courte Durée.....	49
Figure III.12: Courbes « Intensité-Durée-Fréquences ».....	49
Figure III.13 : Hydrogrammes de crues probables.....	54

Chapitre IV : Etude hydrogéologique

Figure IV.1 : Présentation Schématique des Unités Aquifères du Sahara.....	60
Figure IV.2 : carte géologique de la zone d'étude	61

Figure IV.3 : carte piézométrique de la zone d'étude	64
---	----

Chapitre V : Etude des variantes d'aménagement

Figure V.1 : Vue de l'axe de futur barrage au niveau du site sur l'oued Djanet	70
---	----

Figure V.2 : Site °2 vue générale de la zone d'étranglement	70
--	----

Figure V.3 : Plan de Situation des Sites	71
---	----

Figure V.4 : Schéma explicatif de construction de mur paroi moulée.....	75
--	----

Chapitre VI : Les ouvrages annexes

Figure VI.1 : Forage en nappe libre	90
--	----

Chapitre VII : Organisation de chantier

Figure VII.1 : Réseau de différentes opérations.....	95
---	----

LISTE DES PLANCHES

- Planche N°01** plan d'aménagement du barrage de Djanet
- Planche N°02** coupe géologique transversale suivant l'axe du barrage de Djanet
- Planche N°03** coupe transversale des variantes au site d'EFERI
- Planche N°04** coupe longitudinale de la variante choisie
- Planche N°05** seuil déversant
- Planche N°06** Ouvrages génie civil : murette guide-panneaux de piste-seuil
- Planche N°05** la coupe type du forage de prise

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Elle est souvent là, invisible, inaudible... à couler lentement à 5, 10, 100...mètres sous nos pieds et pourtant elle fait partie de notre vie de tous les jours, directement, quand on ouvre le robinet pour se désaltérer ou se rafraîchir, ou encore indirectement, quand on déguste un fruit qui lui doit en partie sa saveur et son éclat, voire sa survie, pour avoir été arrosé à bon escient durant un été sec et brûlant. L'eau souterraine constitue la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète, environ 8 à 10 millions de km³. Son volume est annuellement renouvelable par l'infiltration des précipitations et elle est directement exploitée pour satisfaire les besoins du tissu socio-économique mondial.

Cependant, en milieu aride ou semi-aride, les rivières sont souvent inexistantes ou rares, ou ne coulent que quelques semaines, au mieux quelques mois dans l'année et son exploitation jusqu'à épuisement rend la ressource insuffisante.

Pour palier à ce problème, dans la région de Djanet, nous avons opté pour la recharge artificielle des nappes en utilisant la technique des barrages souterrains. Les buts recherchés par la réalisation de cet inféro-flux au niveau de l'oued Djanet résident dans l'amélioration en eau potable du chef-lieu de la commune et l'irrigation des jardins existants implantés le long de l'oued sur les deux rives, l'utilisation maximale des eaux de l'oued Djanet par une exploitation rationnelle des eaux du réservoir naturel et la récupération des eaux issues de la vidange naturelle du réservoir existant mais aussi, relever le niveau statique de la nappe et la création d'un réservoir souterrain dans l'espace poreux des alluvions pour garantir un pompage continue et débit de prise stable.

La faisabilité d'un barrage de ce type dans cette zone, dépendra des résultats obtenus lors des différentes études hydrologique, géologique et hydrogéologique, et si les conditions le permettent, nous choisirons une variante qui sera la plus adéquate et qui répondra le mieux aux exigences de notre terrain, et c'est ce que nous allons étudier à travers ce présent travail.

Chapitre I

Présentation générale

I.1. PRESENTATION DE LA REGION DE DJANET

Djanet est une commune de la wilaya d'Illizi en Algérie. C'est une oasis et elle est la principale ville du sud-est du Sahara algérien, située à 2 300 km d'Alger non loin de la frontière avec la Libye et à proximité de l'oasis libyenne de Ghat. La commune est peuplée essentiellement de Touaregs Ajjers (ou azjar). Djanet est la capitale du Tassili n'Ajjer, elle était connue sous le nom de Fort Charlet du temps de l'Algérie française.

Djanet est située au pied du plateau du Tassili N'Ajjer, à une altitude de 1050 m. Elle est traversée par l'oued Edjeriou (signifiant la mer), qui permet d'alimenter la palmeraie. Elle est un axe important de communication de liaison avec Ghat en Libye voisine. Cette région est limitée par la frontière libyenne à l'Est, la frontière Nigérienne au Sud, à l'Ouest par la wilaya de Tamanrasset, et au Nord par les communes de Bordj El Houess et d'Illizi .La commune de Djanet s'étend sur une superficie d'environ 57 640 Km². Elle compte une population 10 000 habitants répartis en quatre grandes agglomérations qui sont Djanet, Ankine, Tadamt et Tinalkoum.



Figure I.1 : Extrait de carte pour localisation de la zone d'étude, Echelle 1/ 1375000

I.2. CARACTERISTIQUES DE LA REGION DE DJANET

I.2.1. Eléments climatiques

Comme tout le Sahara central, le Tassili n'Ajjer a connu un bouleversement climatique marqué par une succession de phases humides et de phases arides (O.P.N.T., 2006). Les phases humides sont attestées par un réseau hydrographique très développé, les gueltas, et par une flore de souche méditerranéenne et une grande faune qui l'accompagne. Alors que les phases arides sont caractérisées par des pluies rares et irrégulières, qui tombent souvent sous forme d'averses. Les températures très contrastées et les vents fréquents, accentuent l'évaporation. La situation géographique de la ville de Djanet lui confère un climat agréable en comparaison avec celui du Sahara central et la soumet à des influences tropicales (Dubief, 1999).

I.2.2. Géologie

D'après Dubief, Djanet est située sur un accident géologique, constituant de ce fait une falaise de grès, qui s'élève sur le bord occidentale d'Oued Edjériou. Un petit plateau, plus ou moins mouvementé, granitique, d'une quinzaine de kilomètres sépare la vallée proprement dite du bord abrupt du Tassili interne. Ces grès ont gardés intactes les traces des grands événements géologiques et climatiques (orogénèse, glaciation, volcanisme, transgression et régressions marines, sédimentation, érosions fluviales et éoliennes) (O.P.N.T., 2006). Les gorges et les canyons qui entaillent les plateaux du Tassili sont les deux formes essentielles qui commandent le dispositif morphologique de cet espace minéral. Les étendues dunaires ou ergs qui couronnent et enveloppent les piedmonts tassiliens en s'insinuant dans les moindres passages, sont les signes d'une aridité de plus en plus croissant (O.P.N.T., 2006).

La région de Djanet se trouve à la limite entre deux domaines géologiques qui se distinguent par la nature des roches, leurs structures et leurs âges ce sont : Le Tassili N'Ajjer au Nord et le Hoggar au Sud-ouest.

I.2.3. Géomorphologie

La géographie du Tassili n'Ajjer est déterminée par sa structure géologique. Le Tassili se présente en effet, sous forme d'un triangle d'environ 80 000 km² dont la plus grande base est orienté Nord-Ouest, Sud-Est. Cette base est déformée par l'Adrar n'Ajjer. Le Tassili est entouré par des grands ergs notamment : Issaouane n'Tifermise, Issaouane n'Igharghère et l'erg Bourarhet au Nord et l'Edeyen d'Oubari, l'Iguidi Ouan Kasa et l'erg Tin Merzouga vers l'Est. Une haute plaine de 1000 m d'altitude s'étend à son pied vers le Sud-Ouest, limitée à l'Est par l'erg Admer. Abdoun (2002), a distingué à partir de la dorsale d'Amguid et en allant vers l'Ouest, les régions suivantes (Cf Figure I.2) :

- Les régions de l'Ahellakane, de Tassadjabest, de la partie centrale allant de l'Oued Aharhar jusqu'à Ghat, le massif volcanique de l'Adrar Ajjer qui déborde sur ces plateaux dans la région de Tassiat et Dider, au Sud-Est s'étendent les régions de Tazolt, de Medak, d'Edehi, d'Hedjirit et d'Amiok. Ces régions forment le Tassili interne.
- Au Nord, le Tassili externe est constitué de l'Ouest vers l'Est par les régions de Tassili, Tahihaout, Fadnoun et Tanguet.
- A l'Est et au Sud, le Tassili est prolongé par les massifs de l'Akakous et de la Tadrart. La topographie de la zone de Djanet est constituée par deux ensembles, le premier est composé par des plateaux présentant un aspect plat fortement entaillé par un déballe de vallée. Le deuxième est formé par des grès et des rochers du socle qui constituent des pentes très raides et qui se transforment en falaise. Cette morpho-structure donne lieu à diverses contraintes. Ces contraintes sont les suivantes :
 - Les dunes** : sous l'effet des vents, le déplacement des dunes peut aboutir à l'ensablement des zones cultivées et/ou habités.
 - L'érosion** : elle donne lieu à la chute des rochers, parfois très importante qui constitue un danger permanent pour tout aménagement en contre bas des falaises, et en particulier aux environs immédiats des agglomérations

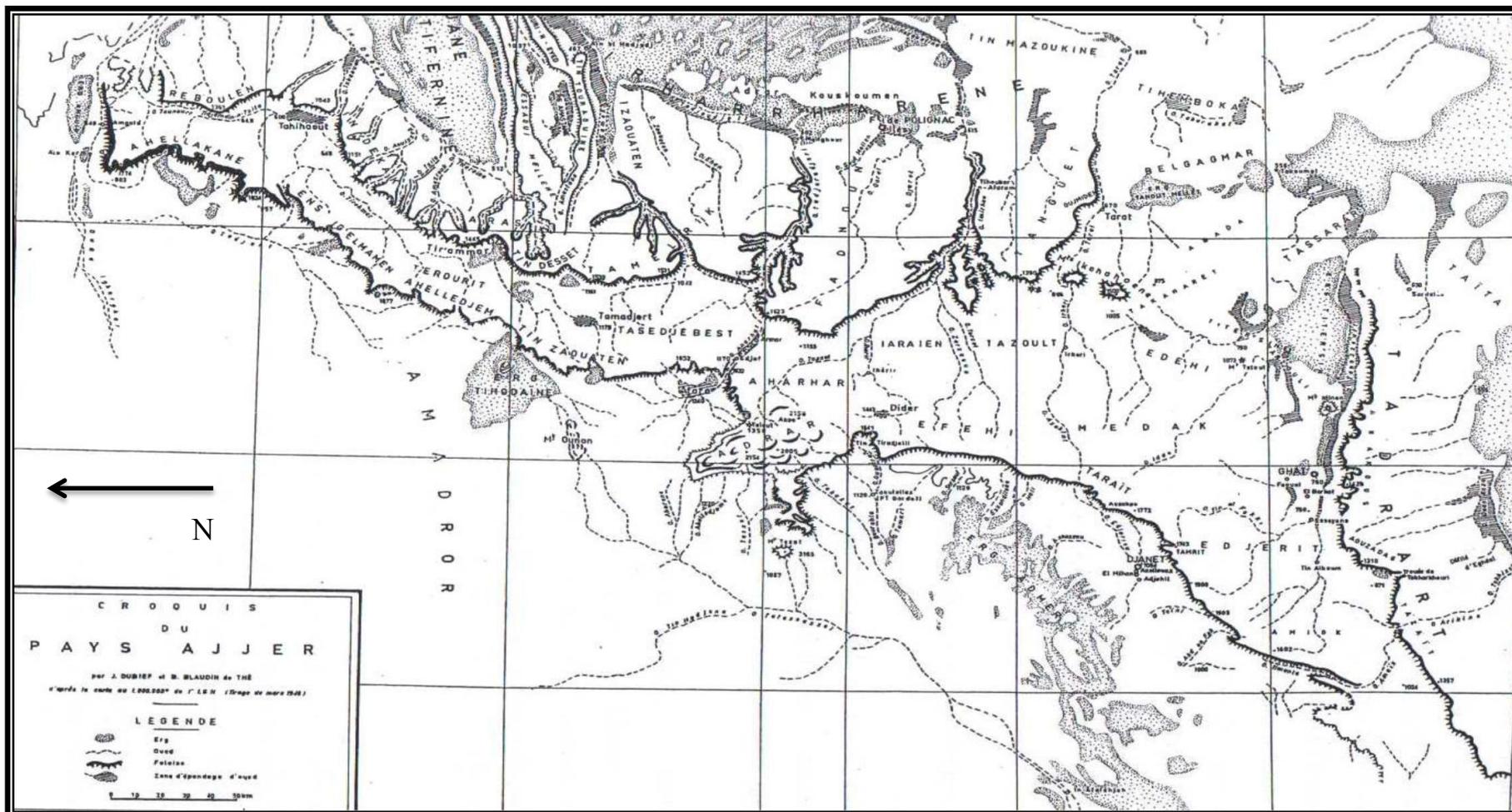


Figure I.2 : Esquisse géographique du Tassili n'Ajjer (Gardel, 1961), Echelle 1/ 1000000

1.2.4. Réseau hydrographique

Le plateau du Tassili n'Ajjer est entaillé par un réseau hydrographique dense, caractérisé par des canyons profonds. Cette densité et cette profondeur des gorges est sans commune mesure avec les quantités d'eau que reçoit actuellement ce territoire. La ville de Djanet est située au cœur d'un plateau gréseux qui est traversé par l'oued Edjeriou (Oued Djanet).

1.2.5. Réserves en eau

Le réseau hydrographique du Tassili est le résultat de grands torrents qui ont creusé les fleuves et canyons, qui coulent à l'occasion des crues, et sont la plus part du temps desséchés (in Dubief, 1999).

1.3. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

1.3.1. Situation géographique

La région d'étude est située à l'extrême sud-est de l'Algérie, dans la wilaya d'Illizi. Elle est localisée dans la région du Tassili n'Ajjer avec les coordonnées suivantes:

- Entre les latitudes 24° 30' et 24° 45'
- Entre les longitudes 9° 15' et 9° 30'
- altitude moyenne de 1094 m.

1.3.2. Données socio-économiques

L'oued Djanet est l'élément formateur de la localité, toutes les constructions longent les rives de l'oued, à une distance et altitude assez suffisantes contre tous risque d'inondations en cas de crues.

1.3.3. Réseau routier

L'axe au site se fait par la route nationale (**RN 03**) reliant le chef-lieu de la wilaya d'Illizi à la ville de Djanet avec les coordonnées géographiques suivantes : 9°30' N ; 24°30' E.

1.3.4. Alimentation en eau potable (A.E.P)

La mise en service du forage de kanafer équipé d'une pompe, implanté au niveau de Oued Djanet permet d'approvisionner une partie de population par un réseau de distribution. L'autre partie, se trouvant loin du forage, s'approvisionne par des puits traditionnels.

I.3.5. Assainissement

Le réseau d'assainissement a une couverture de 90% dans la ville de Djanet et on trouve dans plusieurs cas l'utilisation de latrines traditionnelles (fosses sèches) pour l'évacuation de leurs déchets organiques.

I.3.6. Electricité

La localité, en majorité, est desservie par le réseau électrique public.

I.3.7. Population

La population actuelle est de l'ordre 10000 habitants, elle se trouve en perpétuel mouvement en quête de travail. A l'horizon 2035, la population sera de l'ordre de 30116 habitants (en prenant le taux d'accroissement d'Abalessa égal à 3,2 %)

I.3.8. Activités économiques

Les activités économiques principales des populations sont le pastoralisme, l'aquaculture et le tourisme

L'oasis de Djanet s'étend sur une surface de 200 ha la culture principale est le palmier dattier, il existe 368 puits traditionnelles à Djanet leur profondeur varié de 6 à 15 m et 24 forages d'une profondeur de 60 à 400 m.

I.4. BESOINS GLOBAUX EN EAU**I.4.1. Besoins domestiques**

Selon le Ministère des ressources en eau les dotations en eau potable est définie comme suit
Tableau I.1 : accroissement annuel de la dotation (ANRH, 2012)

Taille de l'agglomération	Dotation nette l/j habitant						
	2000	2005	2010	2015	2020	2030	2035
≤ 50.000hab.	100	102	107	112	118	124	137
Entre 50.000 et 200.000 hab.	120	122	128	135	142	149	165
> 200.000 hab.	140	143	150	158	166	174	192

Les chiffres donnés dans le tableau ci-dessus, tiennent compte d'un accroissement annuel de 1% de la dotation, suite à une meilleure hygiène et mode de vie.

Pour le cas de Djanet, où la population est de l'ordre de 10000 habitants, la dotation journalière sera donc au maximum de 137 l/j.hab, à l'horizon 2035, par conséquent les besoins en eau seront de l'ordre de 1,5 Hm³/an

I.4.2. Besoins en eau pour l'irrigation

La dotation annuelle pour les régions arides est 10 000 à 12 000 m³ par hectare. Les besoins en eau pour l'irrigation seront donc de l'ordre de 2,4 Hm³/an

I.4.3. Autres besoins

Nous considérons que les autres besoins pour les équipements et le cheptel représentent un ordre de 20% des besoins domestiques, soit un besoin annuel de 300 000 m³, et les besoins pour l'abreuvement du cheptel.

L'établissement préliminaire de l'ensemble des besoins en eau à l'horizon 2035 est estimé à 4,2 Hm³/an, sous réserve d'une actualisation dictée par le développement socio-économique de la localité.

Chapitre II

Etude géologique et géotechnique

Introduction

Le barrage souterrain est un système consistant à retenir des eaux souterraines, ces eaux sont accumulées dans des formations géologiques. Cette propriété, ainsi que l'étanchéité des fondations, la qualité mécanique de celle-ci et la disponibilité en matériaux de construction, nécessitent une étude géologique.

II.1. GEOLOGIE REGIONALE

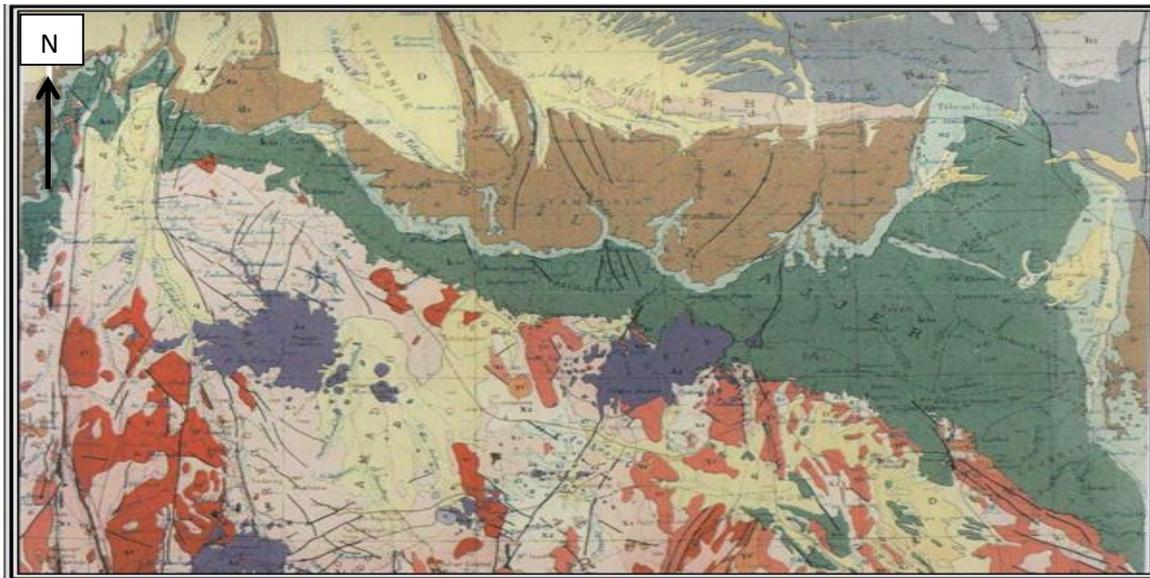
La connaissance géologique de cette région a commencé avec les explorateurs comme Boudier (1858), Duveyrier (1864) et Von Bary (1876 et 1877) cités par Kilian (1925). La reconnaissance du Tassili s'est faite de proche en proche à partir du Nord et ses revers occidentaux et orientaux. Le schéma exact de la structure géologique de massif central fut établie par Kilian (1925).

II.1.1 Schéma structural

Le massif central saharien est caractérisé par trois ensembles montagneux le premier est le pays cristallin, le second est l'enceinte tassilienne formée par un ensemble à relief moins important qui constitue le pays pré-tassilien et le troisième est le Adrar n'Ajjer (Kilian, 1925)

II.1.1.1 Pays cristallin

Il est constitué du socle précambrien qui recouvre les grès paléozoïques et qui forme le massif de l'Ahaggar. Il est subdivisé en deux séries à savoir le suggarien à la base et le pharusien au sommet. Au Tassili, une partie importante de la haute plaine drainée par Oued Tafassaste appartient à cet étage. Le pharusien, séparé du suggarien par une discordance majeure, forme les immenses affleurements de la Tafassaste de Tiririne. Dans la région de Djanet, ce dernier constitue les grands reliefs de l'Adrar Mariaou, Tiska, Tin Enouar et Tin Amali (Freulon, 1964 cité par Abdoun, 2002) comme illustré en Figure II.1.



Légende :

Echelle : 1/3.000

	Grande zones mylonitiques		D ₁ Dévonien inférieur
	1 Contours géologiques		D Dévonien indifférencié
	2 Failles, contacts anormaux		d ₃₋₂ Dévonien supérieur et moyen
	D Dunes vives, Erg		Silurien (Gothlandien)
	Q Quaternaire continental		Cambro-Ordovicien
	Eocène marin		Roches vertes antécambriennes
	Tertiaire continental		Granites pharusiens post-tectoniques
	Syénites néphéliniques		Granites pharusiens
	Crétacé : Sénonien, Danien		Granites suggariens
	C ₁ Continental intercalaire		Rhyolites antécambriennes
	CN Grès de Nubie (Fazzan, Djado, Tibesti)		Suggarien faciès in Ouzal
	C ₁ Crétacé inférieur continental		Suggarien
	C ₂ Crétacé : Cénomaniens, Turonien		Pharusien, Relai dinien
	J Jurassique indifférencié		Nigritien
	Trias indifférencié		Infra cambrien
	Carbonifère inférieur		Carbonifère supérieur
			Roches volcanique poste- crétacé

Figure II.1 Extrait d'une carte illustrant les formations géologiques du Tassili n'Ajjer (Menchikoff, 1962)

II. 1.1.2. – *Enceinte tassilienne*

Elle est constituée par les plateaux gréseux qui entourent le pays cristallin. Le Tassili n'Ajjer qui en fait partie se subdivise en 3 unités stratigraphiques qui sont le Tassili interne, le sillon intratassilien et le Tassili externe (Figure II.2).

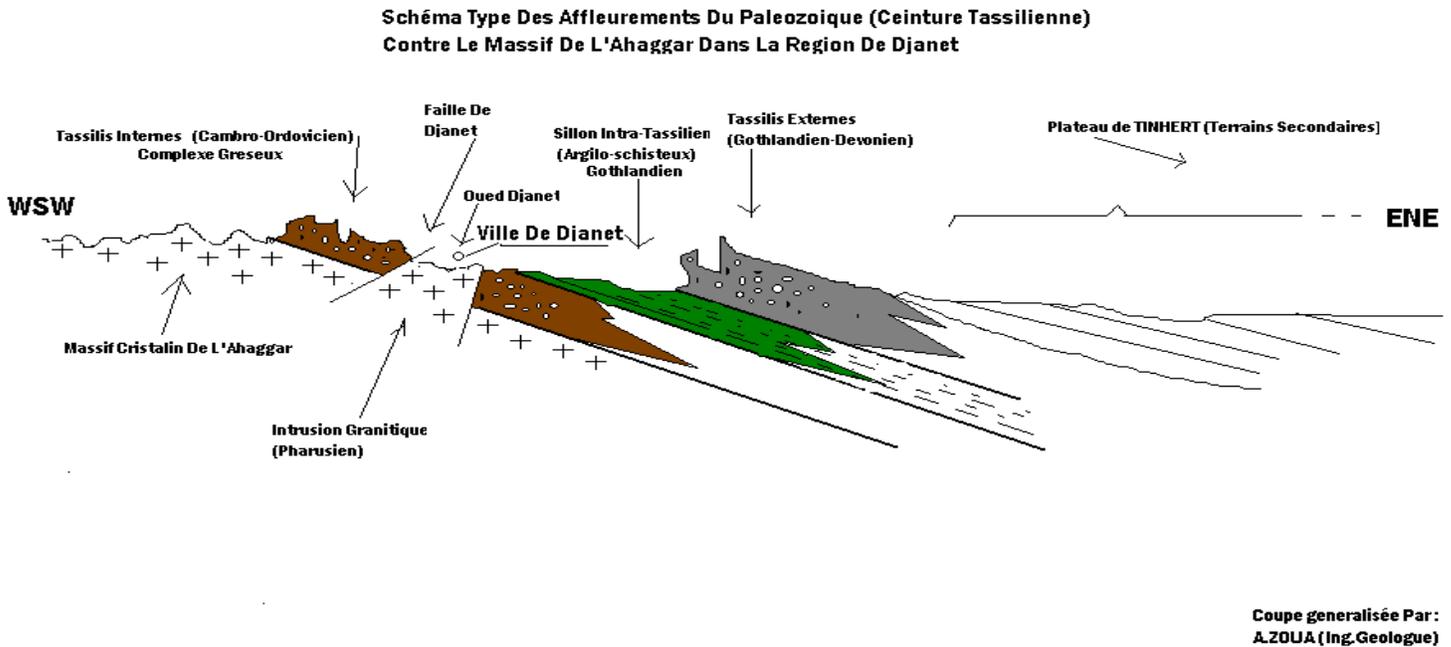


Figure II. 2 Schéma type des affleurements du paléozoïque (ceinture tassilienne) centre du massif de l'Ahaggar la région de Djanet (STUCKY-ENHYD ,2011)

II. 1.1.3. – *Adrar n'Ajjer*

Il est le plus gros massif volcanique de l'Ajjer et culmine à 2158 m au mont Azao. Les basaltes de ce dernier recouvrent une partie des grès du Tassili interne. Dans cette région, le socle atteint près de 2000 m d'altitude.

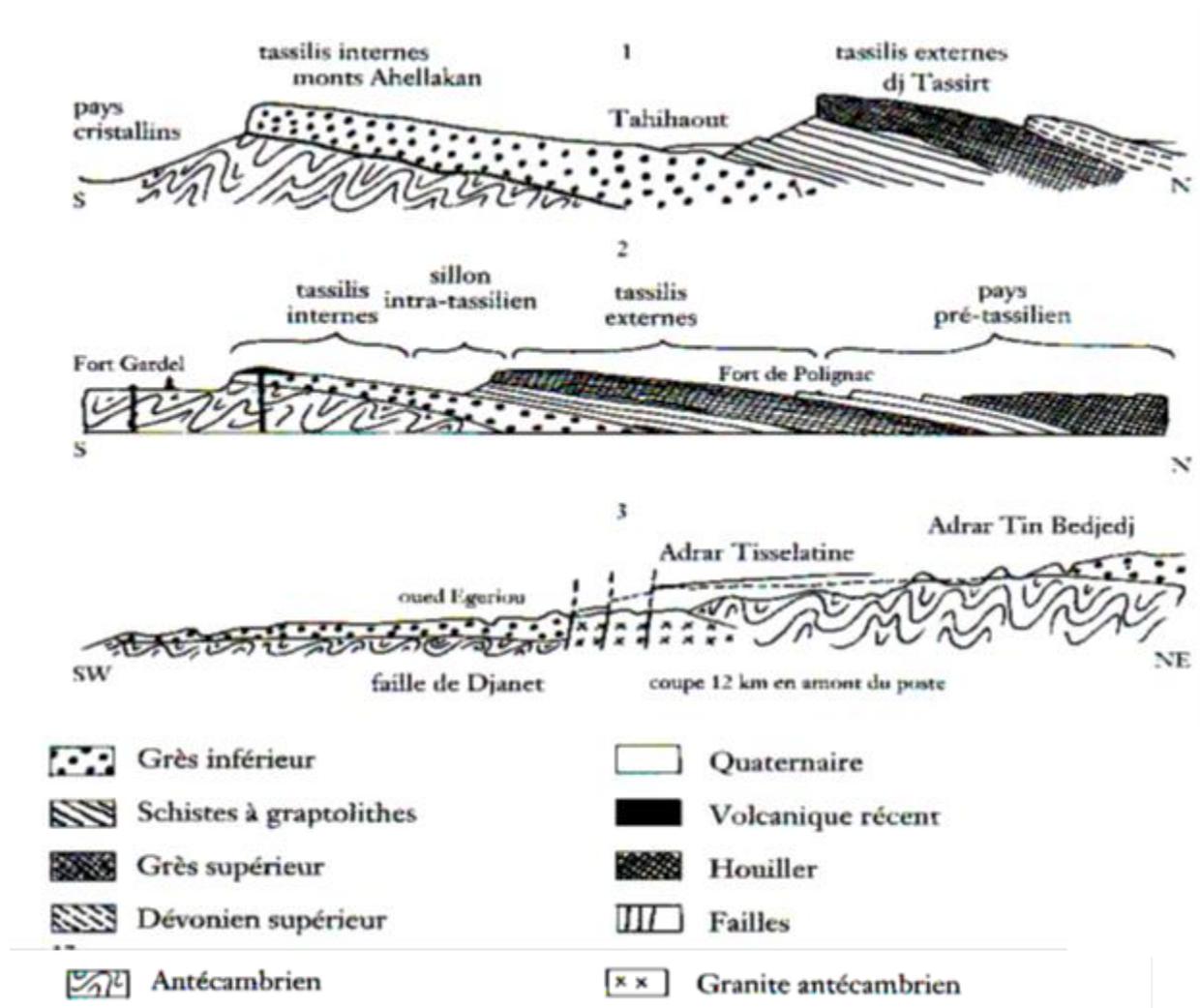


Figure II.3 Coupes schématiques à travers le Tassili (Leredde, 1957)

II.2 GEOLOGIE DE LA CUVETTE

La géologie de la cuvette se résume comme suit :

II.2.1. Présentation litho stratigraphique :

La présentation des formations géologiques relevées le long de l’Oued Djanet sont de types :

- Des affleurements des terrains anciens de nature granitiques fortement craquelés (massifs granitiques diaclasés), que l’on peut observer dans la zone d’El Mihane Sud, les granites bordent l’oued sur toute sa rive gauche, et sont visible à Azelouaze et à Djanet ville, où ils affleurent sous forme de gros blocs arrondis.
- Des larges affleurements des terrains sédimentaires (grés du Cambro-Ordovicien) faciles à reconnaître par leur stratifications qui leur donne un aspect en strates et litage oblique ou

horizontal à l'intérieur de ces dernières. Ces terrains qui affleurent en falaises apparaissent à la rive droite de l'oued.

□ Le lit d'oued est occupé par des alluvions provenant de la décompositions des grés et accessoirement des micascistes et des granites qui forment le plateau du tassili. Leur épaisseur est très variable : elle est liée à la géométrie du profil du socle sur lequel elles sont déposées.

II.2.2. Tectonique

La tectonique cassante s'est manifestée de manière très intense. On distingue un réseau de fractures diversement orientées. Elles disloquent la région en plusieurs compartiments lui conférant une allure de puzzle.

Les failles ont subi plusieurs rejeux avec colmatage par des formations magmatiques. Les géologues de la SONAREM (Chlemtchenko V *et al*, 1986) distinguent six systèmes d'accidents. Les plus importants sont sub latitudinaux et affectent le socle. Ils appartiennent à la zone de Tamrit qui s'étire, dans une direction sensiblement E-W, sur l'ensemble du territoire. Les accidents sub latitudinaux de direction NW s'avèrent être ceux qui contrôlent les minéralisations Sn-W de la région de Tamrit (Djilouet, Edgéréou et Edjedjé).

II.3 GEOPHYSIQUE

L'étude géophysique répond au besoin de prospection géologique dans la vallée de l'oued Djanet, elle a pour but de délimiter le réservoir du futur barrage inféro-flux, de déterminer les épaisseurs du remplissage alluvionnaire afin d'évaluer le volume du réservoir, et de donner une idée sur la nature lithologique du substratum ainsi de déceler les failles qui l'affectent.

Les investigations entreprises ont comporté la mise en œuvre de la méthode des sondages électriques verticaux (SEV) selon le dispositif de Schlumberger, avec une ligne d'émission de courant $AB = 200\text{m}$, pour une profondeur d'investigation pouvant atteindre les 50 m.

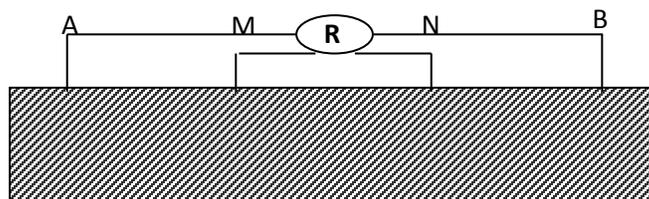


Figure II.4 : Schéma de principe d'une prospection géophysique par un sondage électrique vertical (SEV), (Chappellier, 2001)

La couverture géophysique comporte au total 50 sondages électriques distants entre eux de 100 à 400 m. Les sondages électriques ont été répartis sur 16 profils espacés de 1 Km environ et comprenant en moyenne 2 à 4 sondages (STUCKY-ENHYD ,2011)

II.3.1 Adaptation de l'échelle de résistivité

L'échelle des résistivités, a été établie à partir des différentes courbes de sondages et leur modèle électrique obtenu à l'aide d'un logiciel spécial pour le traitement des sondages électriques

Par ailleurs, l'étalonnage des sondages électriques I2, N1 et O3, a été fait à l'aide des logs lithologiques des piézomètres et forages qui se trouvent à proximité.

II.3.1.1 Etalonnage du sondage électrique (I2) a l'aide du forage F1 et le piézomètre P6

Le forage F1 (Adjahil) et le piézomètre P6, montrent que les formations alluvionnaires ont une épaisseur de 17m. Le substratum est constitué à cet endroit par des micaschistes massifs.

L'épaisseur donnée par le modèle électrique de l'ensemble de la formation alluviale a une épaisseur totale de 20m, elle est surestimée comparée à l'épaisseur des alluvions recoupées par le forage et le piézomètre, ceci est probablement due à une similitude entre les résistivités des alluvions et les premiers mètres des formations altérées du Cambrien. L'horizon résistant à 450Ohm.m, correspond aux grès du Cambrien.

II.3.1.2 Etalonnage du sondage électrique N1 à l'aide du Piézomètre P14

Le Log lithologique du piézomètre montre que le toit des formations précambriennes se trouve à 20 m de profondeur. Cette valeur correspond à l'épaisseur des alluvions quaternaires.

Le sondage électrique réalisé à proximité du piézomètre, montre l'existence de trois (3) terrains identifiés par leurs résistivités. Les résistivités de 160 Ohm.m, et 700 Ohm.m, caractérisent les formations alluviales de l'Oued ayant une nature lithologique variée et une épaisseur de 15 m. La résistivité de 50 Ohm.m du dernier terrain correspond aux terrains précambriens représentés à cet endroit par des marnes indurées, feuilletées et affectées de schistosité.

II.3.1.3 Etalonnage du sondage électrique O3 a l'aide du piézomètre P16

Les cuttings récupérés du piézomètre, montrent que le toit du substratum précambrien se trouve à environ 15 m de profondeur, cela veut dire que les alluvions ont cette épaisseur. Le modèle à deux (2) couches obtenu, nous permet d'attribuer la résistivité apparente de 470 Ohm.m, aux alluvions ayant selon ce modèle une épaisseur de 22 m. La résistivité de 70 Ohm.m, correspond vraisemblablement à l'horizon précambrien constitué à ce niveau par des marnes dures affectées de schistosité.

Ceci a permis l'établissement de l'échelle de résistivité suivante :

Tableau II.1 : Valeurs des échelles de résistivités dans les formations géologiques

Age de la formation	Caractéristique lithologique	Résistivité adoptée (ohm.m)
Quaternaire	-Alluvions grossières et niveaux superficiels.	130 à 1800
	- Alluvions humides et alluvions sablo-limoneuses.	100 à 800
Cambro-Ordovicien	- Grès.	220 à 550
Précambrien	- Horizons marneux.	35 à 80
	- Micaschistes et horizons schisteux.	40 à 350
	- Granites.	350 à 3100

L'examen de cette échelle permet de prévoir une certaine difficulté d'interprétation concernant la nature lithologique des formations constituant le substratum, il s'agit principalement des micaschistes et des grès, surtout à l'aval de l'Oued où on ne peut voir à l'affleurement que des grès du Cambro-ordovicien.

II.3.2 Interprétation des coupes géo-électriques

Suivant l'échelle de résistivités, nous avons établis seize (16) coupes géo-électriques correspondant aux profils désignés par les lettres alphabétiques allant de A à P.

Les principaux niveaux reconnus sont de haut en bas :

- Les alluvions quaternaires représentées par des galets, sables moyens, et parfois par des sables fins et des limons.
- Les grès du Cambro-Ordovicien.
- Les formations précambriennes constituées de granites, micaschistes, marnes indurées et schisteuses.

II.3.4 Interprétation des différentes cartes

II.3.4.1 Carte des résistivités apparentes en ligne AB= 40m

La carte des résistivités en ligne AB=40m, permet de mettre en évidence les horizons situés à faible profondeur (inférieur à 10 m). Elle indique une large plage résistante de 200 Ohm.m à 500 Ohm.m dans la partie avale du secteur d'étude. Celle-ci correspond sans doute aux alluvions de l'Oued. Des résistivités plus importantes ont été constatées, elles traduisent probablement la remontée du substratum granitique résistant ou bien l'existence d'alluvions grossières dans ces endroits.

Dans la partie amont et centrale, les mêmes plages de résistivité constatées dans la partie aval, représentent le recouvrement alluvionnaire sauf qu'au niveau du SEV J1 où la résistivité élevée est caractéristique d'alluvions grossières ou d'alluvions sèches, au niveau du SEV H2, la résistivité correspond vraisemblablement à la limite entre alluvions et substratum marneux et au niveau du SEV P5 et P6 où les résistivités sont représentatives du substratum granitique.

II.3.4.2 Carte des résistivités apparentes en ligne AB =100 m

La carte en question, permet de mettre en évidence les niveaux situés à une profondeur inférieure à 25 m. Elle montre en aval des résistivités faibles qui sont attribuées au toit du substratum conducteur et les plus élevées correspondent au substratum granitique résistant. Concernant les valeurs intermédiaires, elles traduisent un épaissement des alluvions en ces endroits. Au centre du secteur étudié, la situation est un peu confuse vue l'équivalence des résistivités des alluvions et celles des micaschistes et des grès. Néanmoins nous pouvons signaler la remontée du substratum conducteur représenté essentiellement de marnes dures et schisteuses auprès des profils G et H. A l'amont, des valeurs élevées de la résistivité ont été constatés au niveau des deux derniers profils, elles s'expliquent par la présence des formations granitiques compactes.

II.3.4.3 Carte du toit du substratum

La réalisation de cette carte a pour but, de suivre l'allure du substratum sur l'ensemble de l'Oued. Elle met en évidence une zone affaissée située en amont, entre les profils N et O qui coïncide à la faille supposée, avec une côte minimale de 1015 m.

Au centre et vers l'aval de l'oued, on constate que l'allure du substratum est généralement liée à sa nature lithologique, les horizons granitiques et les micaschistes ayant mieux résistés à l'érosion présentent des endroits surélevés tandis ce que les niveaux marneux et gréseux facilement érodables montrent le creusement profond de l'Oued.

II.3.4.4 Carte des résistances transversales des alluvions

Le but de l'établissement de la carte des résistances transversales est de montrer la répartition et l'importance des alluvions sableuses de l'Oued.

Etant donné que l'estimation de la résistance transversale des alluvions est difficile du fait qu'elles reposent souvent sur un substratum altérées ayant les mêmes résistivités et que ces alluvions présentent un éventail de résistivité assez large allant de 100 à 1800 Ohm.m, la carte risque donc d'être faussée.

II.3.5 Conclusion

L'interprétation des différents sondages électriques a mis en évidence les zones où les alluvions sont plus épaisses. A l'amont de l'Oued, Elles atteignent des épaisseurs maximales (environs 26m) mais aussi vers l'aval, au niveau du site prévu pour l'emplacement de la digue du barrage d'inféroflux. Dans la partie centrale de l'oued Djanet, les alluvions ont généralement une épaisseur régulière ne dépassant pas 22 m.

Concernant les résistivités des alluvions, elles présentent un éventail assez large allant de 100 à 1800 Ohm.m témoignant d'une grande hétérogénéité de cette formation.

Les résistivités du substratum sont très variables (de 35 et 3100 Ohm.m), elles fournissent donc d'utiles précisions sur sa nature lithologique.

Les cartes de résistivités apparentes en AB = 40 m et 100 m, montrent les endroits surélevés et affaïsés du substratum. Ceci est lié soit à sa nature lithologique soit au passage d'une faille, dont le tracé est actuellement occupé par l'oued Djanet.

Enfin, les faibles résistivités obtenues en profondeur aux sondages B3 et B4 du site prévu pour la digue, pourrait correspondre à un accident tectonique comblé par des dépôts fins. Cet accident serait responsable de la remontée du substratum granitique dans la rive gauche de l'Oued.

II.4. INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

Les travaux de reconnaissance géotechnique de la zone d'étude comportaient :

❖ Sondages carottés ; destructifs et piézomètres.

- Réalisation de 160 mètres linéaires de sondages carottés répartis en 05 sondages effectués sur l'axe du site d'EFRI avec prélèvement d'échantillons.
- Réalisation de 280 mètres linéaires de sondages destructifs répartis en 05 sondages et (03) sondages équipés en piézomètres (50 mètres linéaires).

❖ Essais In-Situ

Les essais d'eau *in situ* de type Lefranc et Lugeon qui permettent de définir la perméabilité des alluvions et l'étanchéité des roches de fondations.

❖ Tranchées

Il a été effectué Six (06) tranchées de reconnaissance à travers oued Djanet avec prise de (12) échantillons de (05) Kilogramme chacun (02) échantillons par tranchée qui ont fait l'objet d'analyse au laboratoire.

II.4.1 Interprétation des résultats d'analyses des sols

II.4.1.1 Résultats des essais de perméabilité

- **Essai Lefranc** : Les résultats obtenus sont récapitulés sur le tableau ci-dessous [selon classification proposée par G.Filliat (1981) dans son ouvrage « Pratique des sols et fondations »]

Tableau II.2 : Perméabilités obtenues par l'Essai Lefranc

Sondage	Nature du sol	Profondeur (m)	K (m/s)	Perméabilité
SCN°01	Sable moyen à fin	03	$8,21 \times 10^{-5}$	moyenne
SCN°02	Sable grossier	03	$1,1 \times 10^{-2}$	Forte
	Sable fin	06	$1,47 \times 10^{-5}$	moyenne
SCN°03	Limon sableux	03	$7,88 \times 10^{-6}$	Faible
	Sable moyen à fin	06	$5,56 \times 10^{-5}$	moyenne
SCN°04	Sable fin limoneux	03	$2,05 \times 10^{-5}$	moyenne
	Sable moyen	06	$1,6 \times 10^{-2}$	Forte
SCN°05	Sable moyen à grossier	03	$2,03 \times 10^{-5}$	moyenne
	Passage de limons	06	$9,53 \times 10^{-6}$	Faible

A partir des résultats obtenus nous pouvons constater que la perméabilité des alluvions varie pour la plus parts des essais effectués entre moyenne à forte mis à part les essais effectués au niveau des passages limoneux (les quelques terrasses limoneuses).

La nature lithologique des logs de sondages montre clairement que la granulométrie augmente avec la profondeur, les sables grossiers issu de l'altération des granitoïdes en association avec des galets cailloutis et blocs hétérogènes autrement dit alluvions perméables.

Le tableau ci-dessous donne, d'après G.CASTANY (1982), des valeurs approximatives de la perméabilité (ou du coefficient de perméabilité).

Tableau II.3 : Valeurs approximatives de la perméabilité

Perméabilité (en cm/sec)	10 ²	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁸
Terrains	Galets Graviers Gravillons Dépourvue d'éléments fins	Sables purs Sables et graviers Dépourvue d'éléments fins	Sables très fins silts et mélanges de sable et d'argile	Argiles homogènes							
Qualification	Très perméables	perméables	Peu perméables	impermeables							

- **Essai Lugeon** Le tableau ci-joint montre les résultats des essais Lugeons effectués sur site :

Tableau II.4 : Perméabilité obtenues par l'Essai Lugeon

Sondage	Nature du sol	Profondeur (m)	UL (1UL= 10 ⁻⁷ m/s)	Perméabilité
SCN°01	Granodiorite	5,0 à 9,0	17,75 : 10 ⁻⁶ <k<10 ⁻⁵	Faible
SCN°02	Granodiorite	12,0 à 15,0	4,54 : 10 ⁻⁷ <k<10 ⁻⁶	Très faible
SCN°03	Granite altéré	24,0 à 27,0	----	Résurgence
		27,0 à 30,5	----	Colmatage
SCN°04	Grès fracturé	Essai non réalisé	----	----
SCN°05	Grès fracturé	Essai non réalisé	----	----

Les résultats obtenus dans les granodiorites ; sondages SC01 et SC02 indiquent une perméabilité faible à très faible. Concernant les granites altérés du sondage SC03 il a été enregistré une résurgence pour la première tranche d'essai (24,0 à 27,0 mètres) à cause de la nature très altéré du sol. Un colmatage pour la deuxième tranche d'essai (27,0 à 30,50mètres) à cause de la présence de particules très fines (argileuses) cela correspond probablement à la zone de passage de la faille de Djanet. Les essais Lugeons n'ont pas été effectués pour la partie rive droite au niveau des sondages (SC04 ; SC05 ; SD05) ou le substratum granitique n'a pas été atteint.

II.5. GEOLOGIE DU SITE

La rive droite est constituée des grès du cambro-ordovicien très fracturés dans tous les sens avec la dominance de deux directions principales sub-orthogonale NW-SE à E W

La rive gauche est constituée par les grands batholites de granites et granitoïdes observés sur l'étendue de la ville d'EFRI et qui ont engendré le soulèvement de la partie gauche de oued Djanet. Le filon de granodiorites semble recouper le lit de oued Djanet dans la direction NW-SE, et présente une fracturation sub-orthogonale la plus importante se manifeste dans le sens NE-SW.

Le lit d'oued Djanet constitué par les dépôts quaternaires représenté par les dépôts alluvionnaires composés des sables, galets, gravats, cailloutis, blocs hétérogènes, des dépôts de sable éolien ou de nature mixte et les dépôts des sables fins limoneux qui constitue les terrasses des jardins de Djanet.

CONCLUSION

Le potentiel de stockage que compte oued Djanet est considérable vu que:

- Les alluvions d'Oued Djanet présentent une bonne perméabilité comme le prouve les résultats des travaux d'investigation géotechniques.
- Les alluvions atteignent des épaisseurs de 26,0 m environ à l'amont et à l'aval de l'oued et une épaisseur plus ou moins régulière dans la partie centrale qui ne dépasse pas les 22,0 mètres.
- Le lit majeur de Oued Djanet présente une largeur considérable de 500 à 600 mètres de largeur en moyenne et peut dépasser les 1000 mètres pour certains endroits, le rétrécissement considéré est celui du site d'EFRI, présentant des atouts prometteurs d'un futur site pour la réalisation d'un barrage souterrain avec près de 300 mètres de largeur.

Chapitre III

Etude hydrologique

Introduction

Les principales caractéristiques qui feront l'objet de cette étude sont les pluies journalières maximales et les crues vu que les régions sahariennes sont confrontées à des phénomènes exceptionnels pour lesquelles la moyenne mensuelle de la pluie ou de l'apport est insignifiante. La zone d'EFERI connaît des pluies torrentielles qui sont dans la plus part du temps converties en crues exceptionnels. On peut d'ailleurs citer les crues de l'année 2005 qu'a connue la ville de Djanet. La prise en charge et l'aménagement de ses crues est nécessaire pour transformer leurs inconvénients en avantages.

III.1. LE BASSIN VERSANT

III.1.1. Caractéristiques hydromorphométriques

III.1.1.1. Paramètres géométriques

L'oued Djanet connu sous le nom de Oued Edjériou draine la partie Est de l'immense cuvette du bassin de l'oued Taffassasset, il reçoit tout au long de son parcours de nombreux affluents parmi lesquels on cite : Oued Talouhouahoua, Oued Tassetouf et Oued Tamrit qui contribuent très fortement à son alimentation. L'écoulement de l'oued Djanet est temporaire, plusieurs années peuvent passer sans qu'il y est écoulement, par contre on peut enregistrer des crues qui peuvent être dévastatrices et emporter même des habitations et palmiers limitrophe de l'oued. Son bassin versant au site de l'inféro-flux projeté est délimité au Nord Est par Tassili n'Ajrr, au Sud par la ville de Djanet.

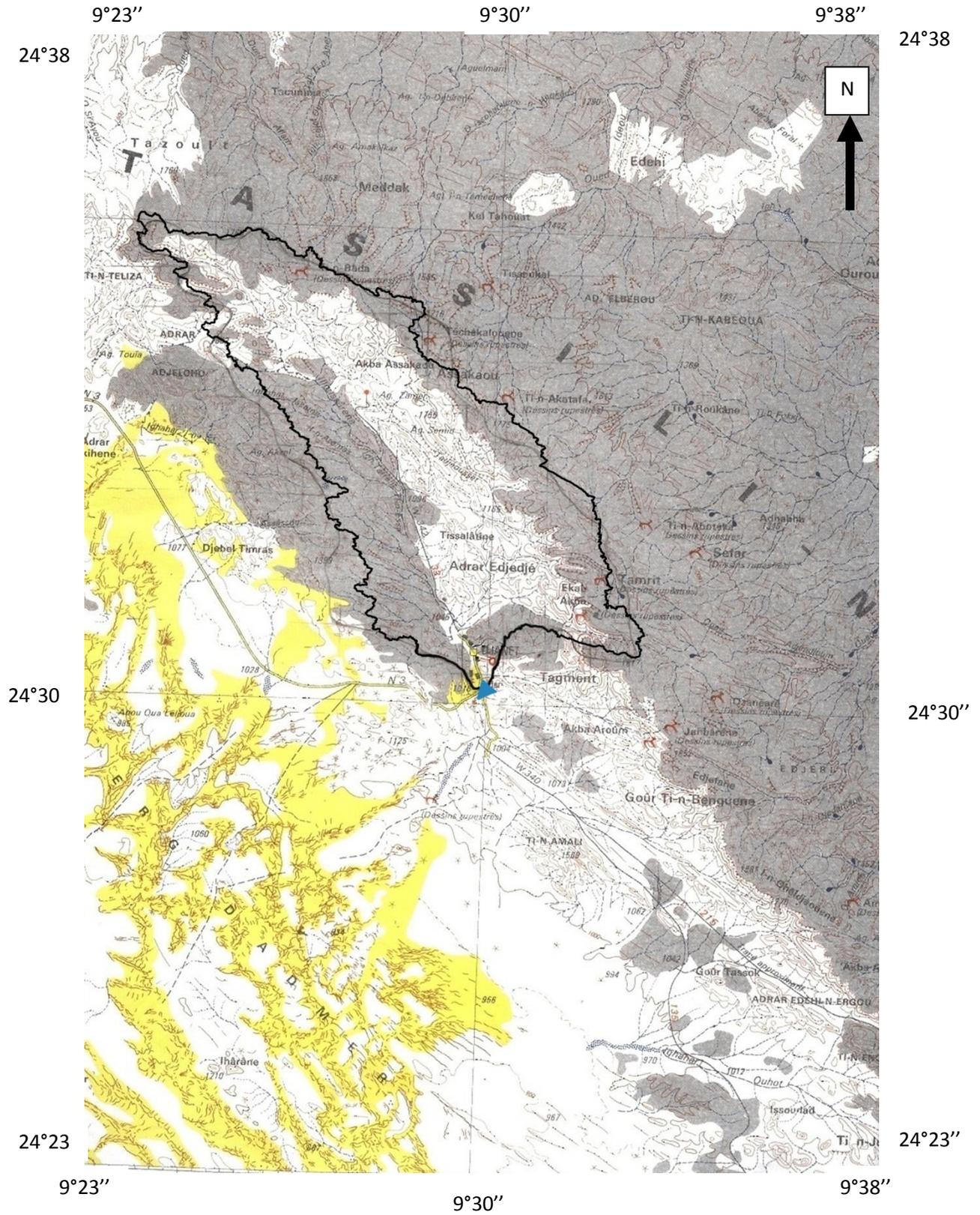


Figure III.1 Délimitation du bassin versant 9°30'' de la carte topographique à l'échelle 1/200.000^{ème} feuille de Djanet NG-32-IV

- **Les caractéristiques morphométriques**

Les caractéristiques morphométriques d'un bassin versant influencent fortement sur la réponse hydrologique et notamment le régime des écoulements en période de crue, ils interviennent également dans le calcul des formules empiriques, ces facteurs s'estiment à partir des cartes topographiques adéquates. Pour notre étude ils sont déterminés après délimitation du bassin versant à partir de la carte topographique à l'échelle 1/200.000 ème feuille de Djanet.

Les caractéristiques géométriques du bassin versant au site projeté citées ci-dessous sont données dans le tableau III.1.

a) Superficie (S).

La superficie (S) du bassin versant est l'aire géographique délimitée par la ligne de crêtes, évaluée par le logiciel ArcGIS, Elle a été déterminée sur la base des cartes topographiques adéquates.

b) Le Périmètre (P).

Le périmètre est défini par la ligne des crêtes formant le contour du bassin versant il a été déterminé également par le même logiciel.

III.1.1.2. Paramètres de forme

A- Indice de compacité "K_c"

Cet indice caractérise la forme du bassin versant qui nous renseigne sur la vitesse de concentration des débits. Il est égal au rapport du périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface,

$$K_c = \frac{P}{\sqrt{S}} * 0,282 \dots \dots \dots (III.1)$$

P : périmètre du bassin versant (Km)

S : surface du bassin versant (Km²)

K_c : indice de compacité.

Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme du bassin versant sera ramassée et plus le temps de concentration des eaux seront court. Elle sera allongée dans le cas contraire.

$$K_c = \frac{227}{\sqrt{1351.26}} * 0,282 = 1,74$$

On a K_c = 1,74 donc on peut dire que notre bassin est de forme allongé.

B - Coefficient d'allongement

Il est obtenu par la relation :

$$C_a = \frac{L^2}{S} \dots\dots\dots(III.2)$$

$$C_a = \frac{72^2}{1351.26} = 3.84$$

L : la longueur du talweg principal
 S : la superficie du bassin versant.

C- Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle (L x l) ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux de point de vue de l'écoulement.

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P=2(L+l) \quad \text{et} \quad S=L \times l$$

La longueur L et la largeur l en Km sont données par la résolution de P et S :

La longueur est donnée par la formule

$$L = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(III.3)$$

La largeur est donnée par la formule:

$$l = \frac{K_c \sqrt{S}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(III.4)$$

L : longueur du rectangle équivalent en (Km)

l: largeur du rectangle équivalent en (Km)

S : Surface du bassin versant (Km²).

K_c : Indice de compacité

On obtient : L = 100,81 km et l = 13,40 km.

III.1.2. Le relief

III.1.2.1. Répartition du bassin et courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique est tracée selon les résultats des mesures de la répartition du bassin versant par tranche d'altitude, et surfaces partielles, cette courbe fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Tableau III.1 : Coordonnées de la courbe hypsométrique

Altitude (m)	Hauteur H_i (m)	Surfaces partielles S_i (km ²)	Surfaces Partielles S_i (%)	Surfaces cumulées S_i (%)
1872-1800	72	1,87	0,14	0,14
1800-1700	100	127,69	9,45	9,59
1700-1600	100	175,26	12,97	22,56
1600-1500	100	108,57	8,03	30,59
1500-1400	100	163,51	12,10	42,69
1400-1300	100	190,33	14,09	56,78
1300-1200	100	225,18	16,66	73,44
1200-1100	100	217,43	16,09	89,53
1100-1000	100	123,49	9,14	98,67
1000-982	82	17,93	1,33	100,00

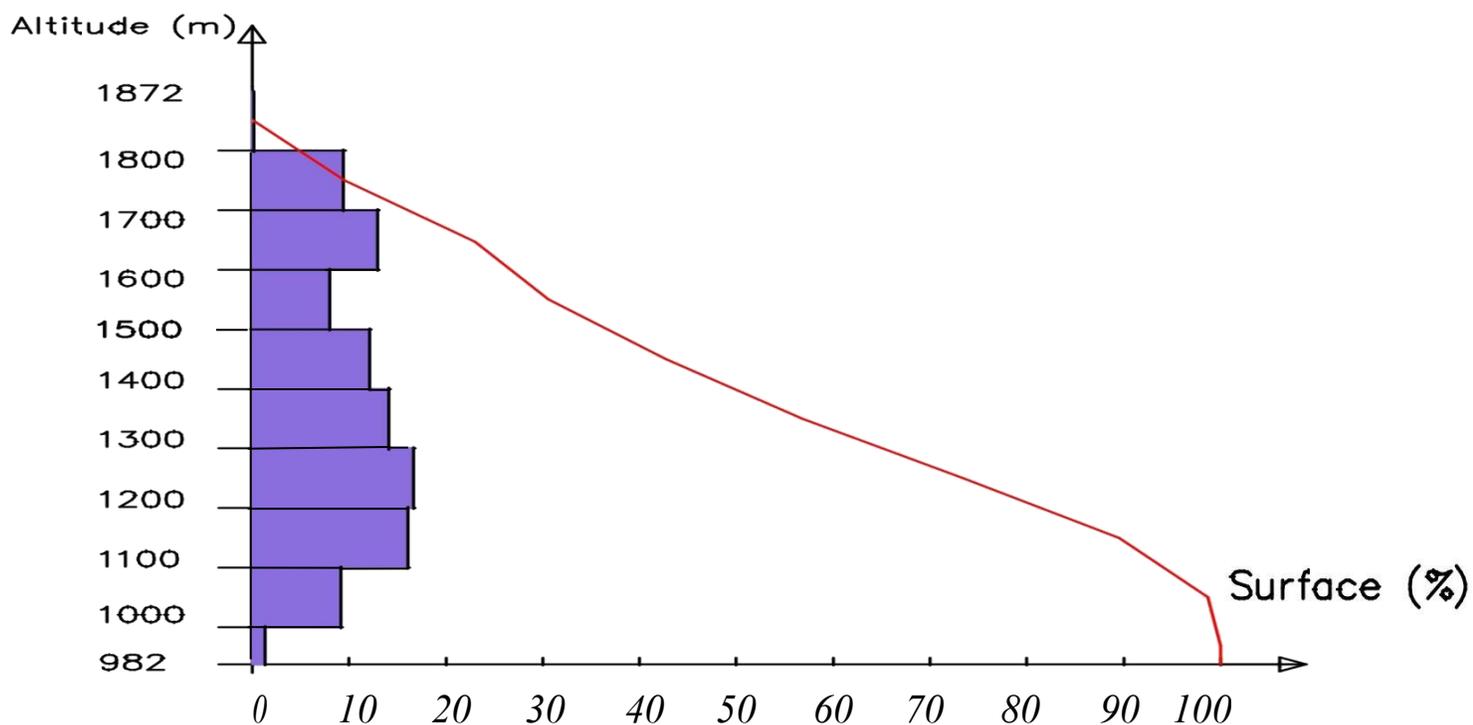


Figure III.2 Répartition et courbe hypsométrique

A- Altitude médiane

L'altitude médiane correspond à celle lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique: $H_{50\%} = 1395 \text{ m}$

B- Altitude moyenne

L'altitude moyenne H_m est calculée par la formule suivante :

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^n S_i H_i}{S} \dots\dots\dots (III.5)$$

- S_i : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km^2)
- H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau successive (m)
- S : Superficie du bassin versant (Km^2)

$$H_{\text{moy}} = 1513 \text{ m.}$$

C- Indice de pente globale I_g

Cet indice est déterminé par la formule suivante:

$$I = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots (III-6)$$

- L: la longueur du rectangle équivalent.
- D : Dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$.
- $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$: sont respectivement les altitudes correspondantes à $S_{5\%}$ et $S_{95\%}$.

$$I_g = 0.7 \%$$

D- Indices de pente de Roche I_p

Il est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_i (H_i - H_{i-1})} \dots\dots\dots (III.7)$$

- L : longueur de rectangle équivalent (m)
- S_i : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives H_i et H_{i+1}

Tableau III.2 : Détermination de la pente Roche I_p

Altitude (m)	$H_i - H_{i-1}$ (m)	S_i (%)	$\sqrt{S_i (H_i - H_{i-1})}$
1872-1800	72	0,14	3,17
1800-1700	100	9,45	30,74
1700-1600	100	12,97	36,01
1600-1500	100	8,03	28,34
1500-1400	100	12,1	34,79
1400-1300	100	14,09	37,54

1300-1200	100	16,66	40,82
1200-1100	100	16,09	40,11
1100-100	100	9,14	30,23
1000-982	82	1,33	10,44
Somme		100	292,19

$$I_p = 1.89 \%$$

E- Indice de pente moyenne I_m

L'indice de pente moyenne est le rapport entre la dénivelée et la longueur du rectangle équivalent. Il est donné par la formule suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S} \dots\dots\dots (III.8)$$

ΔH : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives.

L_1, L_2, \dots, L_n : les longueurs des courbes de niveaux (Km).

S: superficie du bassin versant (Km²).

Tableau III.3: Evaluation de la pente moyenne.

n	Courbe	ΔH	Longueur (km)
1	1800	100	14.0
2	1700		181.1
3	1600		204.2
4	1500		223.2
5	1400		269.2
6	1300		169.6
7	1200		125.4
8	1100		128.9
9	1000		36.4

$$I_m = 1.002 \%$$

III.2. CARACTERISTIQUE HYDROMORPHIQUE

III.2.1. Densité de drainage

C'est le rapport entre la longueur total de tous les talwegs « L_i », du bassin versant, à la surface « S ». Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots (III.9)$$

avec:

$\sum_i^n L_i$: La longueur totale de tous les cours d'eau égale à 1040.19 Km.

S : Superficie du bassin versant en (Km²).

Pour procéder à ce calcul, il faut classer les cours d'eau en utilisant la méthode de Schum.

$$D_d = 0.77 \text{ Km}/\text{Km}^2$$

III.2.2. Densité du thalweg élémentaire

C'est le rapport entre le nombre des thalwegs d'ordre 1 et la surface globale du bassin versant :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \dots\dots\dots (III.10)$$

N1 : Nombre de thalwegs d'ordre 1, N1= 522

S : Superficie du bassin versant (Km²).

$$F_1 = 0.386 \text{ thalweg}/\text{km}^2$$

III.2.3. Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité " Ct " est calculé par l'expression suivante:

$$C_t = D_d \cdot F_1 \dots\dots\dots (III.11)$$

D_d : densité de drainage en Km/Km²

F₁ : Densité du thalweg élémentaire

$$C_t = 0,297$$

III.2.4. Longueur moyenne des versants

$$L_i = \frac{L}{2D_d} \dots\dots\dots (III.12)$$

D_d : densité de drainage en Km/Km²

L : longueur de rectangle équivalent en Km

$$L_i = 65,46 \text{ Km}$$

III.2.5. La pente moyenne de cours d'eau principal

La pente moyenne du bassin de Djanet est calculée selon la relation suivante :

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (III.13)$$

ΔH: Différence d'altitude entre deux cours d'eaux suffisamment éloignés.

ΔL: La distance entre ces deux points.

$$I = 1,02\%$$

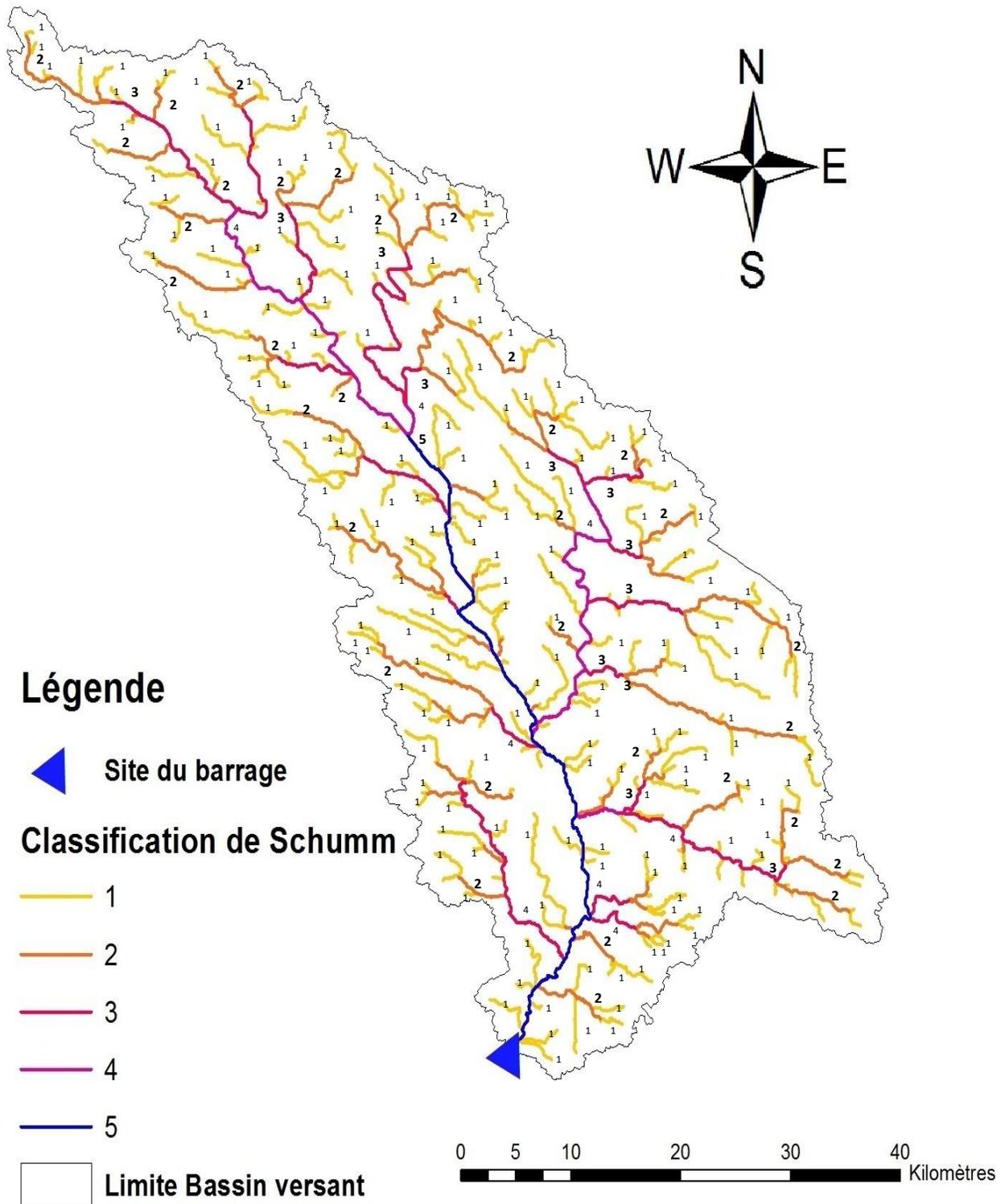


Figure III. 3 : Réseau hydrographique du bassin versant de l’oued Djanet

III.2.6. Temps de concentration du bassin versant T_c

On appelle temps de concentration d'un bassin versant, la durée nécessaire pour que la pluie tombée sur le point le plus éloigné hydrauliquement atteigne le site. L'estimation du temps de concentration est faite par les formules empiriques suivantes :

III.2.6.1. Formule de Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots (III.14)$$

- T_c : Temps de concentration (h)
- S : Surface du bassin versant (Km²)
- L_p : Longueur du cours d'eau principal (Km)
- H_{moy} : Altitude moyenne (m)
- H_{min} : Altitude minimale (m)

$T_c = 13,83$ h

III.2.6.2. Formule S.C.S (Soil Conservation Service)

$$T_c = \left[\frac{0,87.L^3}{H_{max} - H_{min}} \right]^{0.385} \dots\dots\dots (III.15)$$

- T_c : Temps de concentration (h)
- L : Longueur du cours d'eau principal (Km)
- H_{max} : Altitude maximale (m)
- H_{min} : Altitude minimale (m)

$T_c = 10,28$ h

III.2.6.3. Formule de Kirpich

$$T_c = 0,39 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.77} \dots\dots\dots (III.16)$$

- L : Longueur du cours d'eau principal (Km)
- I : Pente du cours d'eau principale (%)

$T_c = 10,42$ h

Tableau III.4: calculs du Temps de concentration.

Formule	Tc (heures)
Giandotti	13.83
S.C.S	10.28
Kirpich	10.42

Vu le caractère empirique de ces formules, on gardera pour la suite de l'étude la valeur de $T_c=13.83$ h pour plus de sécurité.

III.2.7. Vitesse de ruissellement

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain, et dans le micro-réseau hydrographique, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel.

Cette vitesse est déterminée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_p}{T_c} \dots\dots\dots (III.17)$$

L : Longueur du thalweg principal (Km)

Tc : Temps de concentration (h)

$$V_r = 5,21 \text{ Km/h}$$

III.2.8. Profil en long de l'Oued

Ce profil est tracé à partir de la carte topographique en tenant compte de l'altitude et de la longueur du cours d'eau jusqu'à l'exutoire à l'aide du logiciel ArcGIS

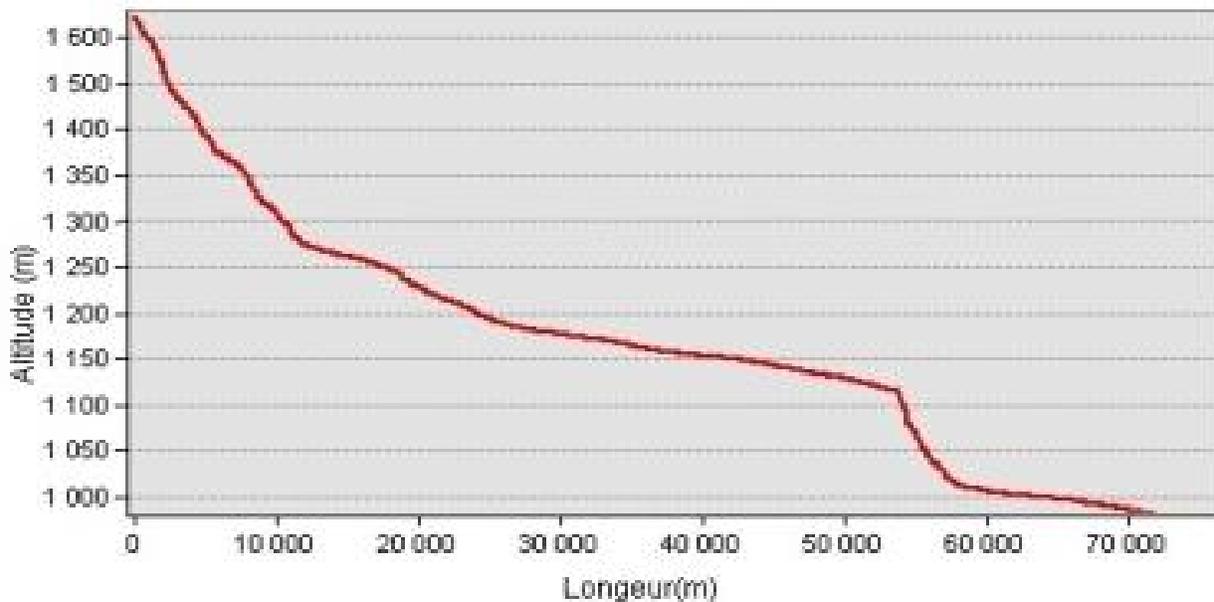


Figure III.4 : Profil en long du cours d'eau principal

Tableau III.5 : Caractéristiques hydromorphométrique du bassin versant de l'oued Djanet

Caractéristiques du bassin versant		Symbole	Valeur	unité
Surface		S	1351,26	km ²
Périmètre		P	227	km
Longueur du thalweg principal		L _{oued}	72	Km
Indice de compacité		Kc	1,74	
Coefficient d'allongement		Ca	3,84	
Rectangle équivalent	longueur	L _r	100,81	Km
	largeur	l _r	13,40	Km
Altitude	maximale	H _{max}	1872	m
	minimale	H _{min}	982	m
	moyenne	H _{moy}	1513	m
	médiane	H _{med}	1340	m
Indice de pente de Roche		I _p	2,89	%
Indice de pente globale		I _g	0,7	%
Indice de pente moyenne		I _m	1,002	%
Densité de drainage		D _d	0,77	Km/Km ²
Coefficient de torrentialité		C _t	0,297	
pente moyenne de cours d'eau principale		I	1,02	%
Temps de concentration Tc		Tc	13,83	h

III.3. CARACTERISTIQUE CLIMATIQUE DU BASSIN VERSANT

Le climat est la synthèse des conditions atmosphériques dans une région donnée, il est défini par différentes caractéristiques (Température, vitesse de vent, humidité et précipitation.....)

Le climat de la région d'étude est désertique, chaud, ensoleillé et aride, les températures maximales (en été) avoisinant les 50°C à l'ombre et pour les températures minimales (en hiver) on est fréquemment sous la barre des 0°C.

L'étude des caractéristiques climatiques est faite sur la base des données observées à la station climatique de Djanet située dans les lieux d'étude, qui se trouve être la seule station disponible. Les données sont collectés auprès des services de l'office national de la météorologie (ONM).

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de la station climatologique prise en considération dans l'étude.

Tableau III.6: Caractéristique de la station climatologique

Nom	Indicatif	Latitude nord	Longitude(E/W)	Altitude	Années de fonctionnement
DJANET	670	24°16	09°28E	970	1972-2012

III.3.1. Température

Les températures mensuelles moyennes, maximales et minimales sont données dans le tableau suivant:

Tableau III.7: Températures moyennes, maximales et minimales

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	moy
T _{MOY}	11,6	14,2	19,5	25,3	29,4	31,5	31,7	31,6	30,0	24,6	18,1	13,4	23,4
T _{MIN}	1,3	3,3	7,6	13,9	19,9	21,8	22,7	22,6	20,1	15,2	6,9	3,0	13,7
T _{MAX}	22,7	24,4	29,3	34,3	37,7	39,6	44,7	44,3	38,2	32,7	28,4	23,0	33,2

D'après le tableau ci-dessus, on enregistre une température moyenne de 23,4 °C, et une moyenne minimale pendant le mois de Janvier de 1,3 °C et une moyenne maximale pendant le mois de juillet avec 44,7 °C. Les températures moyennes allant de Novembre à Mars sont

inférieures à la moyenne annuelle à comparer avec les températures des mois d’Avril à Octobre qui sont supérieures à cette dernière.

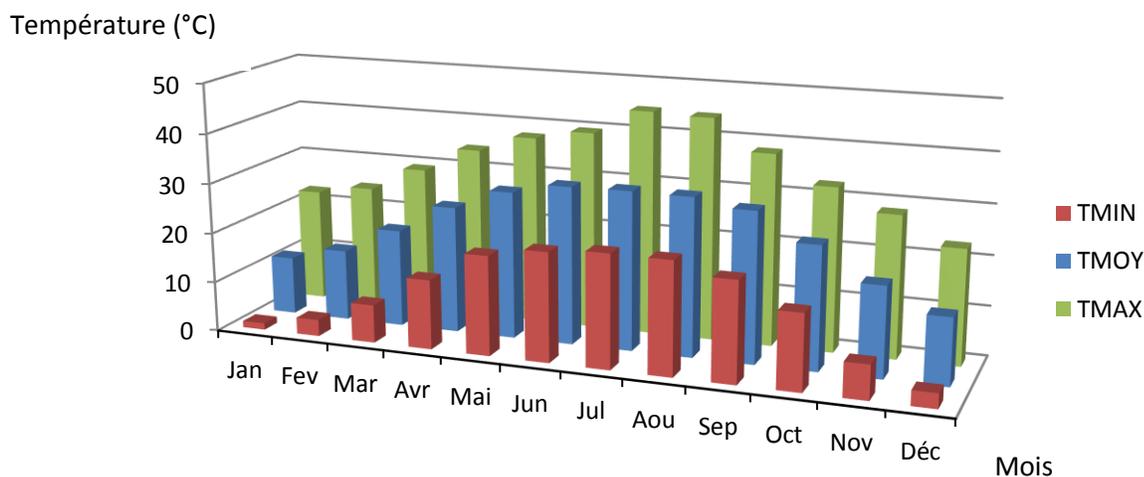


Figure III.5: Répartition des températures mensuelles

III.3.2.Vent

Le vent se détermine par sa vitesse et sa direction, les valeurs moyennes de la vitesse du vent sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.8 : Vitesses moyennes mensuelles du vent et le nombre de jours violents : vitesse supérieur à 20 m/s

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy. An
Vent (Km/h)	10	10	13	13	14	14	15	14	13	11	9	9	12.1
Nombre de jour où $v \geq 20$ m/s	1	1	4	5	6	7	5	6	10	3	1	0	49

L’analyse du tableau III.9, montre une variabilité relative des vitesses tout le long de l’année. Elles restent faibles durant les mois d’octobre jusqu’à février et plus fortes pendant la période allant de mars jusqu’à septembre.

En ce qui concerne la direction des vents et leurs fréquences, nous constatons selon les données observées à la station de Djanet que les vents prédominants sont ceux de l'est et nord est avec des fréquences respectivement de 10,8 % et 9,8%.

Tableau III.9 : Fréquence moyenne interannuelle des vents par leur direction.

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Fréquence (%)	5.7	9.8	10.8	6	7.3	3	6.6	6.4

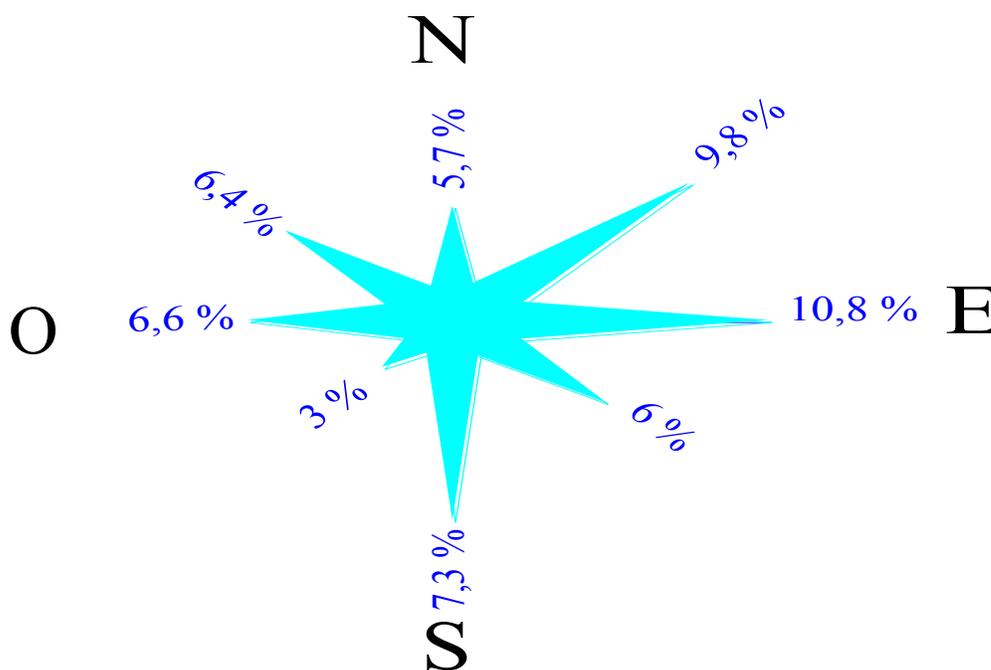


Figure III.6 : Rose des vents-Station de Djanet

III.3.3. Humidité relative

C'est un élément important du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale, il représente le degré de saturation de l'air en vapeur d'eau.

Tableau III.10: Humidité mensuelles moyennes (%)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Hum (%)	42	27	20	18	18	15	18	19	21	23	31	29	23

La valeur moyenne mensuelle est minimale durant le mois de juin et maximale durant le mois de janvier c'est un paramètre inverse à la température.

III.3.4. Ensoleillement

Les valeurs mensuelles moyennes observées sont présentées ci-dessus :

Tableau III.11 : Ensoleillement mensuel moyen (heures)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Ens (h)	308	289	310	241	287	260	334	347	227	252	260	300	3415

L'analyse de ce tableau met en valeur l'importance de l'insolation dans cette zone (3415 heures/an = 9,35 heures / jour).

III.3.5. Evaporation

L'évaporation est mesurée sous abri à l'évaporomètre Piche.

La distribution moyenne mensuelle de l'évaporation est donnée au tableau ci-dessous

Tableau III.12 : Evaporations mensuelles et annuelles en (mm)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Ev (mm)	176	207	312	389	465	470	531	484	429	331	232	176	4201

L'examen de ce tableau montre que l'évaporation est importante pendant la période allant du mois de mai à septembre et elle est plus faible du mois de novembre à février.

Le cumul annuel est de 4201 mm, elle est mesurée sous abri à l'évaporomètre Piche dont les mesures sont supérieures de 20 à 25 % de l'évaporation à l'air libre, pour cela et pour se rapprocher des valeurs réelles on introduit un coefficient correcteur $K = 0,78$ qui nous donne une valeur de l'évaporation égale à $E = 3277$ mm.

L'évaporation des nappes d'eau libres est très mal connue au Sahara. Les seules estimations que l'on peut donner sont basées sur des mesures faites sous abris avec des évaporomètres Piche. Leur signification est tout à fait incertaine, elles sont acceptables à condition d'admettre que les valeurs trouvées sont sensiblement le double de la valeur réelle de l'évaporation.

Tableau III.13 : Evaporations mensuelles et annuelles au plan d'eau libre

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
Ev (mm)	115	123	168	203	236	237	246	223	198	168	127	112	2156

III.3.7. Indice d'aridité de De Martonne

En se basant sur le régime des précipitations et des températures, De Martonne (1923) a défini un indice d'aridité (A).

$$A = \frac{P}{T+10} \dots\dots\dots(III.18)$$

tel que :

P : Précipitation moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (C)

Tableau III.14 : Indice d'aridité selon De Martonne (1923)

Indice d'aridité	Climat
20 < A < 30	Climat tempéré
10 < A < 20	Climat semi-aride
7,5 < A < 10	Climat steppique
05 < A < 7,5	Climat désertique
A < 5	Climat hyperaride

Il ressort des chiffres de ces tableaux que le bassin versant de l'oued Djanet se caractérise par un climat purement saharien qu'on appelle hyperaride qui est connu par un fort rayonnement solaire provoqué par des températures élevées et une pluviosité très faible associée à une importante évaporation. Comme il est illustré à la figure (III.9) qui montre le type du régime climatique d'après l'abaque de E. De Martonne (indice d'aridité égale à 0,44)

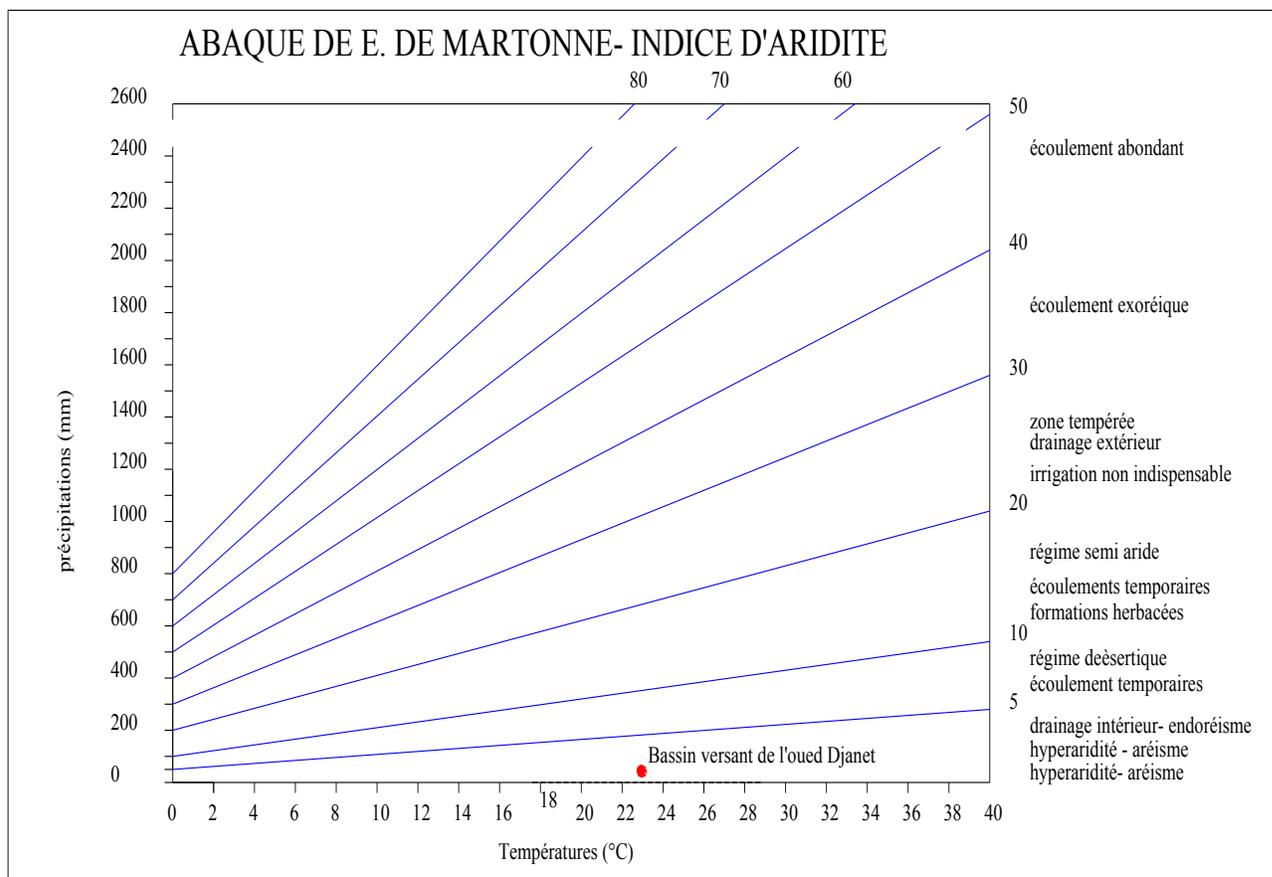


Figure III.7 : Abaque De Martonne-indice d'aridité

III.4. PLUVIOMETRIE

Les précipitations sont très rares dans le Sahara, on peut voir s'écouler plusieurs années sans connaître de pluie. Mais dès qu'il pleut, les oueds se remplissent immédiatement et détruisent tout sur leur passage (pistes, maisons, campement, palmiers-dattiers.) emportant parfois même hommes et animaux.

III.4.1. Données disponibles

Le réseau pluviométrique dans la région du Sahara est quasi inexistant il se limite à quelques stations qui sont généralement très récentes et installées dans le cadre d'un projet bien défini, qui par la suite sont abandonnées.

A cet effet, notre étude va porter sur la seule station disponible qui est la station climatologique de Djanet déjà utilisée pour les caractéristiques climatiques (voir tableau III.7), ayant des conditions de similitudes avec le bassin versant vu sa proximité des lieux d'étude. Les données pluviométriques sont collectées auprès des services de l'office National de la Météorologie.

III.4.2. Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle

La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station de Djanet est la suivante :

Tableau III.16: Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station de Djanet

Mois		Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Année
Pluie	mm	1.2	1,4	0,3	0,3	1,0	1,0	3,2	1,0	2,3	2,2	0,3	0,7	14,9
	%	8.05	9,39	2,01	2,01	6,71	6.71	21.47	6.71	15.43	14.71	2.01	4.69	

La valeur de la pluviométrie moyenne est donné comme valeur symbolique elle est de 14,9 mm. La représentation de l'irrégularité mensuelle de la pluie moyenne est donnée dans le graphique (Figure III.10) ou on remarque une très grande variation des totaux mensuels d'un mois à un autre, il s'étale de 0,3 mm enregistré au mois de juillet, à 3,2 mm enregistré durant le mois de Mars, cette forte variation rend la valeur de la pluviométrie moyenne comme insignifiante.

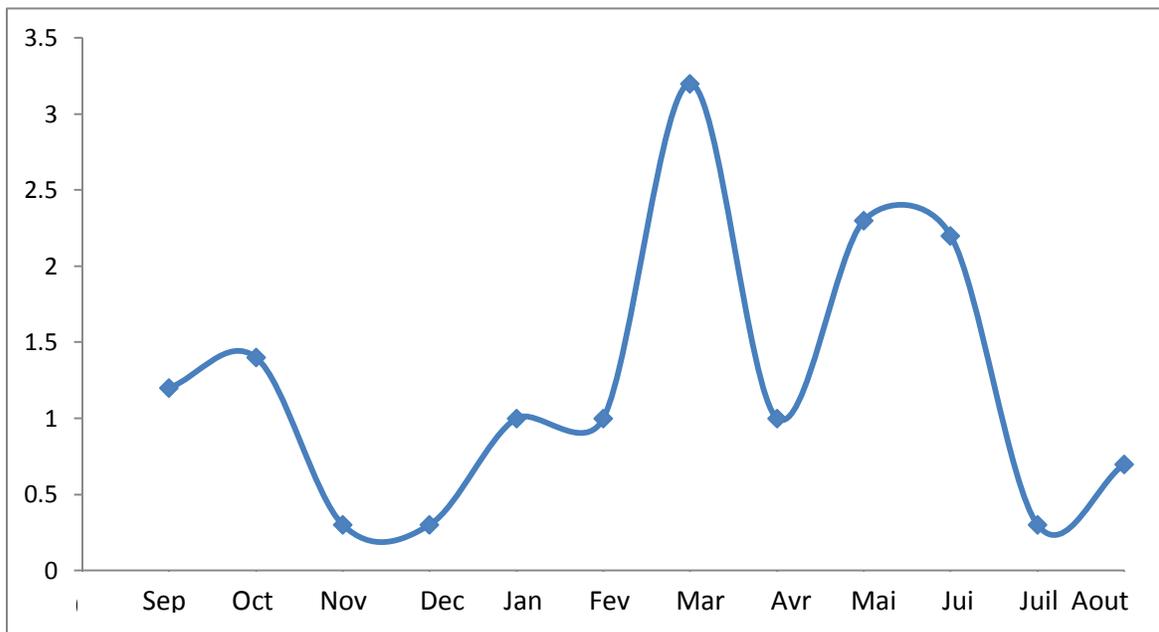


Figure III.8 : Variation mensuelle de la pluie observée a Djanet (mm)

III.4.3. Pluies maximales journalières

Les pluies maximales de courte durée sont généralement la cause des crues violentes qui provoquent d'importants dégâts, qui représente le plus grand problème que connaissent les régions du Sahara, à ce propos, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi de probabilité à la série d'observation afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

• **Données disponibles**

L'étude des pluies journalières maximales est basée sur les données observées à la station de Djanet comme précédemment. La durée disponible pour les pluies journalières maximales s'étale sur (1972 – 2012)

III.4.3.1. Les paramètres statistiques de l'échantillon

L'analyse au pas de temps journalier des données de la série pluviométrique enregistrée à la station de Djanet a donné les paramètres statistiques suivants :

Tableau III.17 : Paramètres statistiques des précipitations maximales journalières station de Djanet

Nombre d'observation <N>	40
Moyenne < \bar{P} >	6,7
Ecart-type < σ >	6,85
Coefficient de variation < C_v >	1,05

III.4.3.2. Ajustement des pluies maximales journalières

L'estimation des quantiles pour différentes fréquences est faite sur la base des données des pluies journalières maximales représentées dans le tableau en annexe III.1 .Les lois statistiques testées sur l'échantillon des pluies journalières maximales, sont les lois Gumbel et Log normale (Galton).

a).Ajustement à la loi de GUMBEL

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-x_0}{\alpha}}} \dots\dots\dots (III.19)$$

Avec :

1/α : la pente de la droite de GUMBEL

$Y = \frac{x-x_0}{\alpha}$: variable réduite de GUMBEL

x : précipitation maximale journalière (mm)

x₀ : paramètre de position (mode)

Pour chaque valeur de précipitation, la fréquence expérimentale est :

$$F(x) = \frac{m-0.5}{n} \quad \begin{matrix} m : \text{rang de précipitation} \\ n : \text{nombre d'observations} \end{matrix}$$

Calculer la variable réduite de Gumbel donnée par la formule suivante :

$$y = - \ln (-\ln (F(x)))$$

La droite de GUMBEL est donnée par la formule :

$$x = (1/\alpha) y + x_0 \dots\dots\dots (III.20)$$

Les résultats de l'ajustement par la loi de « Gumbel » sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.18: Ajustement à la loi de Gumbel

Péri-retour	Fréquence	Ecart-type	Val. Théo	Intervalle de confiance (95%)	
				Borne inf	Borne sup
5	0,8	1,18	9,96	7,6	12,3
10	0,9	1,52	13,09	10,1	16,1
20	0,95	1,86	16,09	12,4	19,7
50	0,98	2,32	19,98	15,4	24,5
100	0,99	2,67	22,89	17,6	28,1
1000	0,999	3,84	32,52	24,9	40

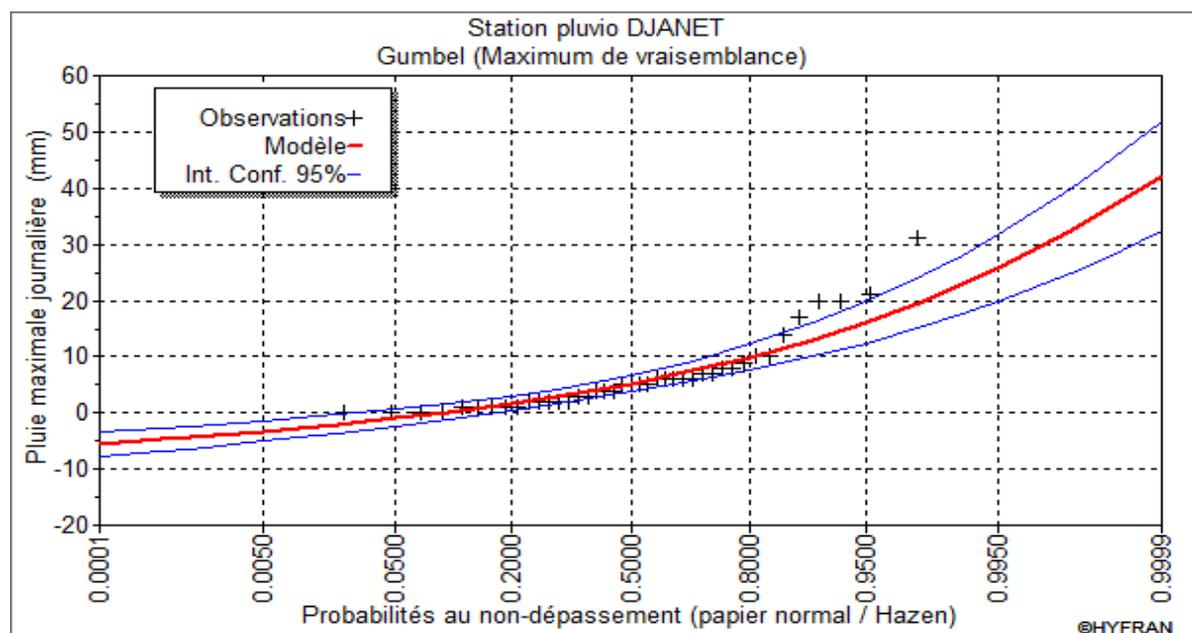


Figure III.9 : Ajustement d'une loi de Gumbel aux pluies maximales journalières observées à la station de Djanet pour la période (1972-2012)

Tableau III.19: Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon :

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	0,00
Maximum	Aucun	31,00
Moyenne	6,11	6,46
Ecart-type	5,35	6,80
Médiane	5,23	5,0
Coefficient de variation (Cv)	0,875	1,05
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1,14	1,83

b).Ajustement à la loi log-normal (loi de GALTON)

Paramètres d'ajustement à la loi Log normale :

$$u = \frac{\log P_{\max j} - \overline{\log P_{\max j}}}{\sigma_{\log P_{\max j}}} \dots\dots\dots(III.21)$$

D'où l'équation de la droite de GALTON s'écrit:

$$\text{Log } P_{\max j} = \overline{\log P_{\max j}} + u_{p\%} \cdot \sigma_{\log p_{\max j}} \dots\dots\dots(III.22)$$

Avec : $u_{p\%}$: variable de GAUSS pour différentes fréquences

Tableau III.20: Ajustement à la loi de Galton (log-normal)

Péri-retour	Fréquence	Ecart-type	Val. Théo	Intervalle de confiance (95%)	
				Borne inf	Borne sup
5	0,8	1,76	9,60	6,1	13,1
10	0,9	3,19	14,96	8,7	21,2
20	0,95	5,24	21,58	11,3	31,8
50	0,98	9,11	32,58	14,7	50,4
100	0,99	13,01	42,86	17,2	68,5
1000	0,999	35,31	92,50	23,3	161,7

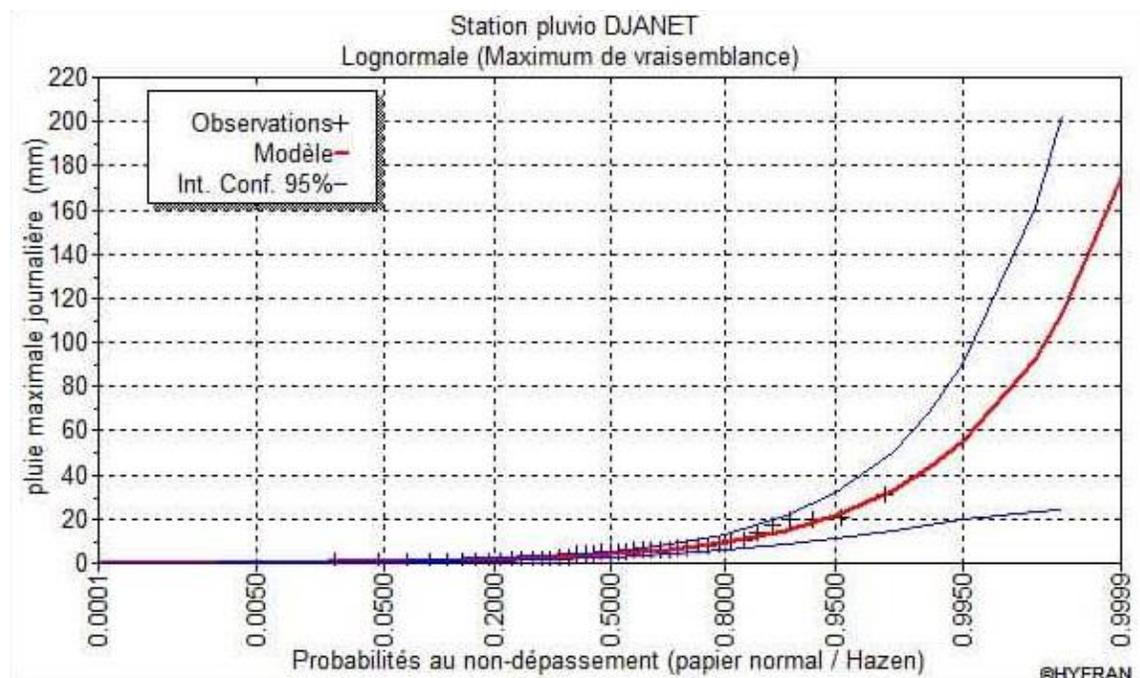


Figure III.10 : Ajustement de la loi de Galton (Log Normale)

Tableau III.21: Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton et de l'échantillon :

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0,00	0,00
Maximum	Aucun	31,00
Moyenne	6,83	6,46
Ecart-type	9,06	6,80
Médiane	4,11	5,0
Coefficient de variation (Cv)	1,32	1,05
Coefficient d'asymétrie (Cs)	6,30	1,83

Interprétation

Comparent les résultats de ces deux lois ; on trouve que la série des pluies maximales journalières s'ajuste mieux à la loi log normal, car, contrairement à l'autre loi, tous les points sont à l'intérieur de l'intervalle de confiance (voir Figure III.10)

III.4.4. Pluies de courtes durées

Les pluies maximales de courte durée sont généralement la cause des crues violentes qui provoquent d'importants dégâts et qui présentent le plus grand problème que connaissent les régions du Sahara, à ce propos l'étude de ce paramètre doit inciter une grande attention. Pour une période donnée (24 h) et une fréquence donnée, on peut estimer les pluies de courtes durées par la formule de Montanari :

$$P_{ct\ p\%} = P_{\max\ j\ p\%} \left(\frac{t}{24}\right)^b \dots\dots\dots (III.24)$$

$P_{ct\ p\%}$: Pluie de courte durée de même fréquence que $P_{\max,j,p\%}$ [mm].

$P_{\max\ j\ p\%}$: Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée [mm].

t : Temps [heure].

b : Exposant climatique (b= 0,1 pour la station de Djanet selon BODY).

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante:

$$I_0 = \frac{P_{ct}}{t} \dots\dots\dots (III.25)$$

Tableau III.22 : Les précipitations des différentes fréquences.

Période	5		10		20		50		100		1000	
Fréquence	0,8		0,9		0,95		0,98		0,99		0,999	
Pjmax	9,6		14,96		21,58		32,58		42,86		92,5	
t (h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)	Pct(mm)	It(mm/h)
1	6,99	6,99	10,89	10,89	15,70	15,70	23,71	23,71	31,19	31,19	67,32	67,32
2	7,49	3,74	11,67	5,83	16,83	8,42	25,41	12,71	33,43	16,71	72,15	36,07
4	8,03	2,01	12,51	3,13	18,04	4,51	27,24	6,81	35,83	8,96	77,33	19,33
6	8,36	1,39	13,02	2,17	18,79	3,13	28,36	4,73	37,31	6,22	80,53	13,42
8	8,60	1,08	13,40	1,68	19,33	2,42	29,19	3,65	38,40	4,80	82,88	10,36
10	8,80	0,88	13,71	1,37	19,77	1,98	29,85	2,98	39,27	3,93	84,75	8,47
12	8,96	0,75	13,96	1,16	20,13	1,68	30,40	2,53	39,99	3,33	86,31	7,19
13,83	9,09	0,66	14,16	1,02	20,42	1,48	30,83	2,23	40,56	2,93	87,54	6,33
16	9,22	0,58	14,37	0,90	20,72	1,30	31,29	1,96	41,16	2,57	88,82	5,55
18	9,33	0,52	14,54	0,81	20,97	1,16	31,66	1,76	41,64	2,31	89,88	4,99
20	9,43	0,47	14,69	0,73	21,19	1,06	31,99	1,60	42,09	2,10	90,83	4,54
22	9,52	0,43	14,83	0,67	21,39	0,97	32,30	1,47	42,49	1,93	91,70	4,17
24	9,60	0,40	14,96	0,62	21,58	0,90	32,58	1,36	42,86	1,79	92,50	3,85

t : Temps en heure (h)

P_{ct} : Pluie de courte durée en millimètre (mm)

I₀ : Intensité de pluies en millimètre par heure (mm/h)

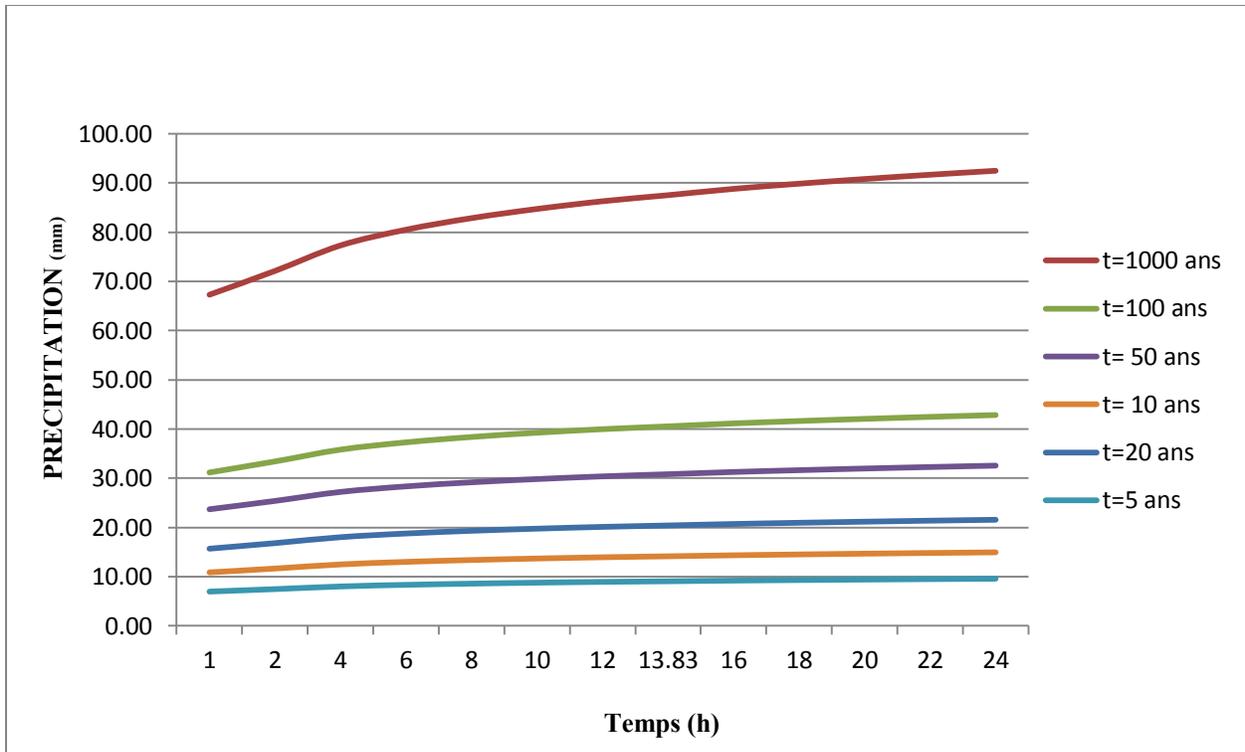


Figure III.11: Pluie de Courte Durée

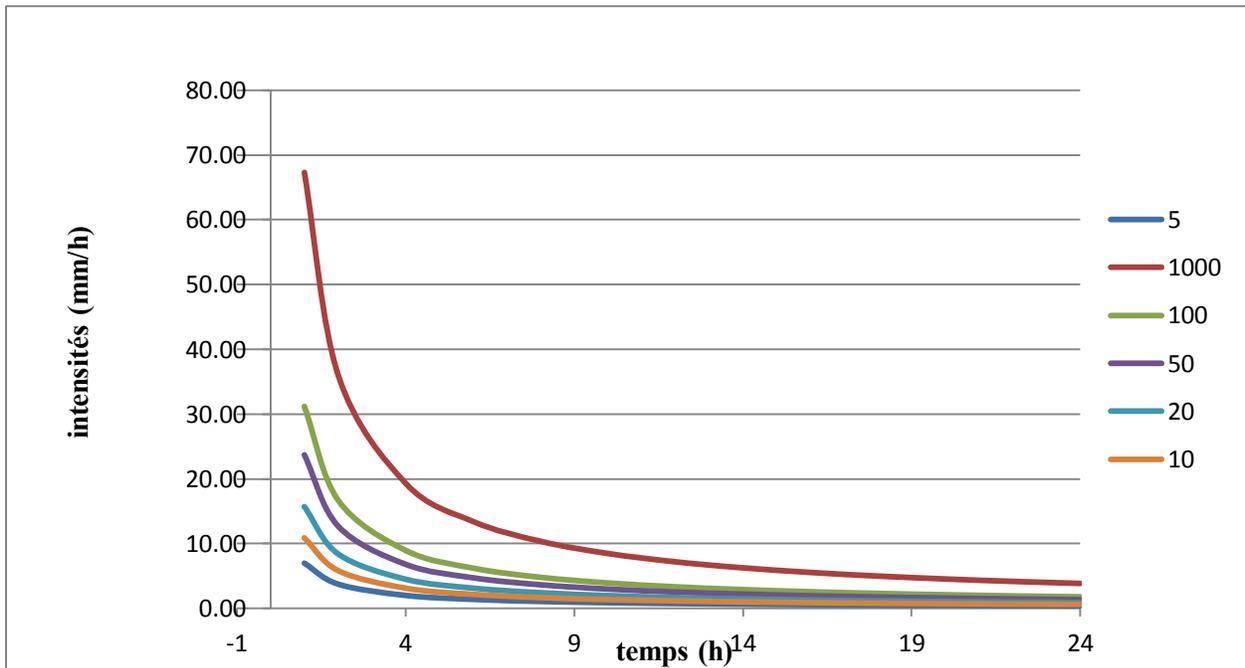


Figure III.12: Courbes Intensité-Durée-Fréquences (IDF)

III.5. Ruissellement

Au Sahara, et particulièrement dans la région de Djanet, nous sommes encore très loin du stade de mesures hydrométriques. Tout ce que l'on peut faire c'est estimer ces débits d'une manière assez grossière que nous exposons ci-après.

Cette manière d'estimer la lame ruisselée a été adoptée par Jean Dubief en 1959 dans son étude « Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara ».

Au Sahara, le ruissellement sera pratiquement nul en région sableuse, par contre sa valeur sera voisine de celle de la hauteur de pluie sur les versants dénudés des montagnes.

Un résultat sensiblement analogue a été obtenu en Egypte où l'on estime que la quantité de précipitation capable de ruisseler est donnée par la formule suivante (in Dubief, 1959):

$$L_r = 0,75(P-8) \quad I < 30 \text{ mm / heures} \dots\dots\dots (III.26)$$

$$L_r = P \quad I \geq 30 \text{ mm / heures} \dots\dots\dots (III.27)$$

avec,

L_r : Lame ruisselée (mm)

P : Pluie journalière maximale (mm)

I : Intensité maximale (mm/heure)

Si nous considérons que la durée de l'averse correspond au temps de concentration du bassin versant de l'oued Djanet, nous constatons que toutes les intensités maximales de différentes périodes de retour sont inférieures à 30 mm / heures (voir tableau III.23) d'où le ruissellement sera calculé par la formule (III.26). Le coefficient de ruissellement c'est le rapport de la lame ruisselée pour une fréquence donnée par la pluie correspondante

Tableau III.23: Ruissellement au bassin versant de l'oued Djanet

Période de retour (ans)	5	10	20	50	100	1000
Lame ruisselée (mm)	0,82	4,62	9,32	17,12	24,42	17,08
Coefficient de ruissellement	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6

III.6. CRUES

Des crues ont été signalées dans les régions sahariennes qui sont quelques fois très importantes, mais leurs apports et leurs fréquences restent encore des inconnues.

III.6.1. Débits maximum de la crue

Comme nous ne disposons d’aucune information hydrométrique dans le bassin versant de l’oued Djanet et son voisinage, nous estimons les débits de pointes de crues à partir des pluies maximales de 24 heures observées à la station de Djanet, en effet c’est à la méthode rationnelle que nous avons fait appel.

Cette méthode est basée sur une formule qui est fonction de trois paramètres importants et couramment cités dans la littérature : Superficie du bassin versant, Coefficient de ruissellement et intensité maximale de l’averse. Ce dernier paramètre qui présente une grande importance pour l’estimation des crues a été déterminé à partir des pluies journalières maximales observées à la station de Djanet.

Connaissant l’intensité maximale de la zone d’étude à une fréquence donnée, nous pouvons calculer le débit maximum pour la même fréquence par l’utilisation de la formule de Turraza :

$$Q = \frac{1}{3.6} C . I . S \dots\dots\dots(III.28)$$

avec,

Q : Débit de crue (m³/s)

I : Intensité maximale (mm/h)

C : Coefficient de ruissellement qui varie avec la période de retour T.

S : Surface du bassin versant (km²).

La pluie maximale de 24 heures la plus importante enregistrée à la station de Djanet pendant une période de 40 ans est de 31 mm.

Si nous supposons que la durée de cette pluie correspond au temps de concentration du bassin versant de Djanet, l’intensité maximale sera de 2.24 mm/h.

Le débit de crue correspondant à cette pluie calculé par la méthode rationnelle est de l’ordre de 840.9 m³/s si la quantité d’eau ruisselle dans sa totalité et elle est de 420.5 m³/s si le coefficient de ruissellement est à 50 %.

Les valeurs des débits de crue sont présentées ci-dessous :

Tableau III.24: Débits de crue de Oued Djanet

T (ans)	5	10	20	50	100	1000
C	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
I(mm/h)	0,66	1,02	1,48	2,23	2,96	6,33
Q(m ³ /s)	24,77	114,86	222,20	418,51	555,52	1425,5

III.6.2. Hydrogramme de crue

Les hydrogrammes des crues pour diverses fréquences sont évalués et sont tracés par la méthode de Sokolovsky qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue.

➤ Pour la montée de la crue:

$$Q_m = Q_{max} \left[\frac{t}{t_m} \right]^m \dots\dots\dots (III.29)$$

➤ Pour la décrue :

$$Q_d = Q_{max} \left[\frac{t_d - t}{t_d} \right]^n \dots\dots\dots (III.30)$$

Où : t_m : Temps de montée de la crue $t_m = T_c = 13,83$ heures

t_d : Temps de décrue $t_d = \alpha \cdot t_m$

m, n : Puissances des équations $m = 2, n = 3$

α : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue, dépend des caractéristiques du bassin versant.

Tableau III.25 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue α selon Sokolovsky (in Touaïbia, 2004)

Condition	A
petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables	2 à 2,5
petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales	3 à 4
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues	4 à 7

Le bassin versant du site Djanet se caractérise par un cours d'eau moyen, une perméabilité faible et une érosion moyenne à intense d'où $\alpha = 2$ et $t_d = 27,66$ heures

Tableau III.26 : Les débits des crues pour différentes périodes de retour

Débits de crue						
Temps (h)	5	10	20	50	100	1000
	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,52	2,40	4,65	8,75	11,62	29,81
4	2,07	9,61	18,59	35,01	46,47	119,25
6	4,66	21,62	41,82	78,77	104,56	268,30
8	8,29	38,43	74,35	140,04	185,88	476,98
10	12,95	60,05	116,17	218,81	290,44	745,29
12	18,65	86,47	167,29	315,08	418,23	1073,21
13,83	24,77	114,86	222,20	418,51	555,52	1425,50
14	20,300008	94,132	182,102	342,986	455,271	1168,254
16	16,402988	76,062	147,143	277,142	367,872	943,983
18	13,039639	60,466	116,972	220,316	292,442	750,424
20	10,170664	47,162	91,236	171,842	228,099	585,316
22	7,7567653	35,969	69,582	131,057	173,962	446,398
24	5,7586432	26,703	51,658	97,297	129,150	331,407
26	4,2611748	19,759	38,225	71,996	95,566	245,228
28	4,1369999	19,184	37,111	69,898	92,781	238,082
30	2,8525368	13,227	25,589	48,196	63,974	164,162
32	1,8659557	8,653	16,739	31,527	41,848	107,385
34	1,137958	5,277	10,208	19,227	25,521	65,489
36	0,6292454	2,918	5,645	10,632	14,112	36,213
38	0,3005195	1,394	2,696	5,078	6,740	17,295
40	0,1124819	0,522	1,009	1,900	2,523	6,473
42	0,0258342	0,120	0,232	0,436	0,579	1,487
44	0,0012779	0,006	0,011	0,022	0,029	0,074
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

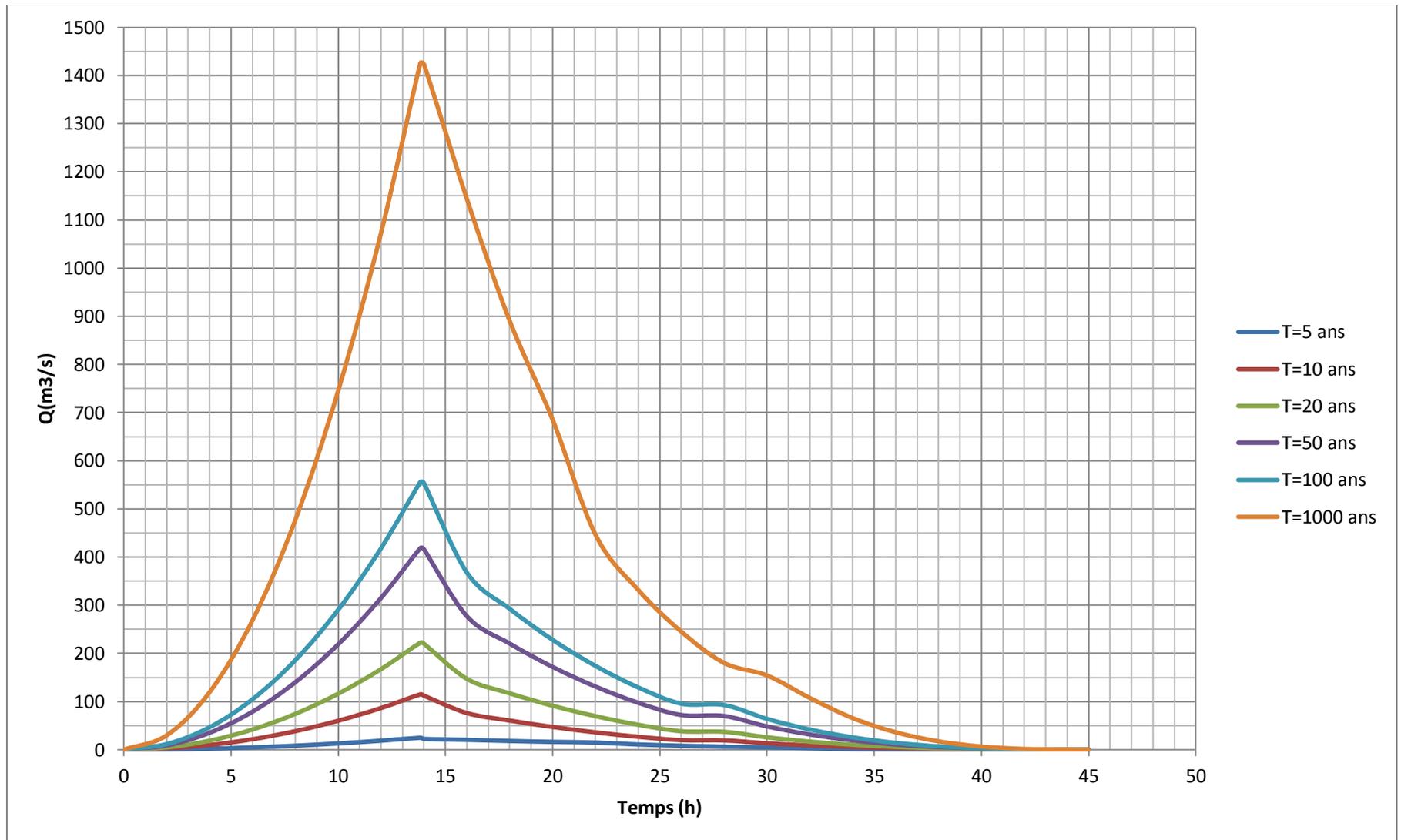


Figure III.13: Hydrogrammes de crues probables

Tableau III.27: Volumes des crues de différentes périodes de retour

Période de retour (an)	5	10	20	50	100	1000
Fréquence (%)	80	90	95	98	99	99,9
Débit de crue (m ³ /s)	24,77	114,86	222,20	418,51	555,52	1425,5
Volume des crues(Hm ³)	1,7	8,2	15,8	30,1	39,7	102,6

III.7.Transport solide

Un oued peut en quelques heures ou jours de crue transporter d’énormes quantités de sédiments. Les prélèvements ou les mesures dans la région d’étude ne sont pas disponibles et l’usage de formules empiriques ne semble pas adapté à ce type de région.

Dans le but de donner juste un ordre de grandeur de ce paramètre nous procédons à son estimation par l’utilisation de la formule de Gavrilovic.

Cette formule prend en considération le coefficient de température et les caractéristiques physiques du bassin versant.

$$W_{an} = T \cdot H_{moy.an} \cdot \pi \sqrt{Z^3} \cdot S \dots\dots\dots(III.31)$$

avec ;

W_{an} : Production annuel de débit solide (m³/an)

T : coefficient de température

$$T = (t^\circ/10)^{1/2} + 0,1$$

t° : température moyenne annuelle en °C $t^\circ = 23,4^\circ\text{C}$

$$T = 1,63$$

Z : coefficient empirique caractérisant l’érosion du bassin versant (Z = 0,7 : bassin versant de l’oued Djanet se caractérise par une érosion moyenne à intense) (in Touaibia,2004)

$H_{moy.an}$: Précipitation moyenne annuelle (mm) $H_{moy.an} = 14.8\text{mm}$

$$\text{L’apport solide est } W_{an} = 0,06 \text{ Hm}^3/\text{an}$$

Bien que le ruissellement se produise dans des régions montagneuses plus ou moins érodées sans aucune végétation et à la suite de pluies intenses, l’érosion pourra être forte car le problème est ici tout à fait différent de celui qui se pose en régions semi-arides.

Tout ce qu’on peut dire à l’heure actuelle c’est que les crues sahariennes sont généralement peu fréquentes mais assez rapides et sont susceptibles de déplacer des masses rocheuses importantes sous l’effet de pluies intenses.

Conclusion

Dans la région d'étude les pluies sont de faible importance quantitative, et les pluies torrentielles, orageuses, intenses et de courte durée sont rares mais ont très souvent surpris par la violence des crues générées sur des oueds secs et qui sont susceptibles de déplacer des masses rocheuses importantes sous l'effet de ces pluies intenses.

En effet, le climat dans cette zone d'étude est caractérisé par une grande variabilité annuelle et interannuelle, avec de grande période sèches et c'est pour cela que nous avons opté pour la méthode rationnelle pour l'estimation des crues qui est à priori la méthode la plus utilisée en Algérie pour l'estimation des crues des bassins versants non jaugés.

Chapitre IV

Etude hydrogéologique

Introduction

Sont présentées dans ce chapitre, les données hydrogéologiques nécessaires à l'analyse des critères de conception d'un barrage destiné à capter les eaux d'inféro-flux de l'oued Djanet. Cet ouvrage devra améliorer les disponibilités en eau souterraines dans la vallée en empêchant la vidange naturelle de la nappe.

IV.1 LES FORMATIONS SUCEPTIBLE D'ETRE AQUIFERE

A Djanet, on a pu identifier deux formations aquifères et d'importance inégale :

- Les formations gréseuses : elles forment la bordure Ouest de l'oued Djanet et s'étendent jusqu'au Sud du village d'Adjahil. Les seules données dont nous disposons actuellement sont d'ordre purement descriptif. Il s'agit de grés fins mais très épais présentant souvent des fissures, ce qui leur confère un intérêt hydraulique certain surtout dans la réalimentation de la nappe alluviale.

- Le remplissage alluvial : Les alluvions de l'oued renferment une nappe qui représente la principale sinon l'unique ressource en eau de la région. Il s'agit d'alluvions hétérogènes, allant du sable limoneux aux galets de petite taille et reposant sur un substratum de nature variée : granite altère, micaschistes ou parfois marnes grises. La nappe alluviale, généralement peu profonde s'étale sur une vingtaine de Kilomètres et présente une épaisseur moyenne de 15 m. Elle est sollicitée aussi bien pour l'alimentation des populations que pour les besoins de l'agriculture. La recharge naturelle de ces nappes aquifères s'effectue à la faveur des infiltrations lors des passages de rares crues.

Globalement, pour l'ensemble du Djanet, la ressource en eau renouvelable offerte par les Inféro-flux, donc le débit exploitable avec assez de sécurité à moyen terme, doit être de l'ordre de quelques centaines de l/s au plus (une dizaine de millions de m³/an).

IV.2 LES RESERVES EN EAUX DE LA REGION

Le réseau hydrographique du Tassili est le résultat de grands torrents qui ont creusé les fleuves et canyons, qui coulent à l'occasion des crues, sont la plus part du temps desséchés (Dubief, 1999). Ces derniers sont détaillés dans ce qui va suivre :

IV.2.1 Les eaux de surface

Aguelmam en Tamahaq ou les gueltas en arabe, sont des collections d'eau alimentées par le ruissellement des eaux des pluies. Elles sont relativement nombreuses au Tassili n'Ajjer et peuvent être temporaires ou plus rarement permanentes. Selon Dubief (1999), ces gueltas sont des mares d'eau d'importance variable produites par des écoulements des oueds ou de simples ruissellements à la surface des grés à la suite de pluies torrentielles. Leurs emplacements, leurs étendues et leurs formes sont extrêmement variables.

IV.2.2 Nappes d'eau souterraine

Comme nappes souterraine, on peut trouver dans la région d'étude les nappes phréatiques, les nappes profondes et les nappes fossiles.

IV.2.2.1 Nappes phréatiques

Les puits, en général peu profonds en Ajjer, sont liés aux nappes phréatiques. La pureté chimique de leur eau est donc très variable d'un endroit à un autre (Dubief, 1999). En 1960, Laferrere remarquait que les puits des oasis de Djanet ont une profondeur variant entre 5 et 6 m. Actuellement, le niveau de l'eau dans ces puits varie entre 8 et 12 m. L'abaissement du niveau de ces nappes peut être attribué à la faiblesse des précipitations actuelles, mais aussi, les pompes à moteur introduites depuis les années 1960 ont certainement contribué à la régression des nappes par l'exploitation excessive.

IV.2.2.2 Nappes profondes

Le massif Ajjer a été fissuré dans toutes les directions mais les fissures les plus fréquentes sont subméridiennes et intéressent surtout le versant Nord. Ces fissures sont étroites et plus ou moins comblées par des matériaux perméables, ce qui a fait qu'une partie des eaux ruisselant sur les grès peu perméables, ce sont infiltrées dans ces fissures. En d'autres termes, le système hydraulique des Tassili est un piège, très ouvert au sommet, il se referme lentement sur les eaux infiltrées de telle manière que celles-ci ne peuvent ressortir que par lente diffusion dont bénéficient les énormes appareils drainants offerts par la nature (vallées ou exceptionnellement, failles ouvertes) (Dubief, 1999).

IV.2.2.3 Nappes fossiles

Ils existent en nombre important dans les piedmonts du Tassili, comme le montrent les multiples forages réalisés dans le bassin d'Illizi ou à Djanet. Cette dernière localité en compte 12 exploitants d'eau fossile contenue dans l'aquifère du cambro-ordovicien.

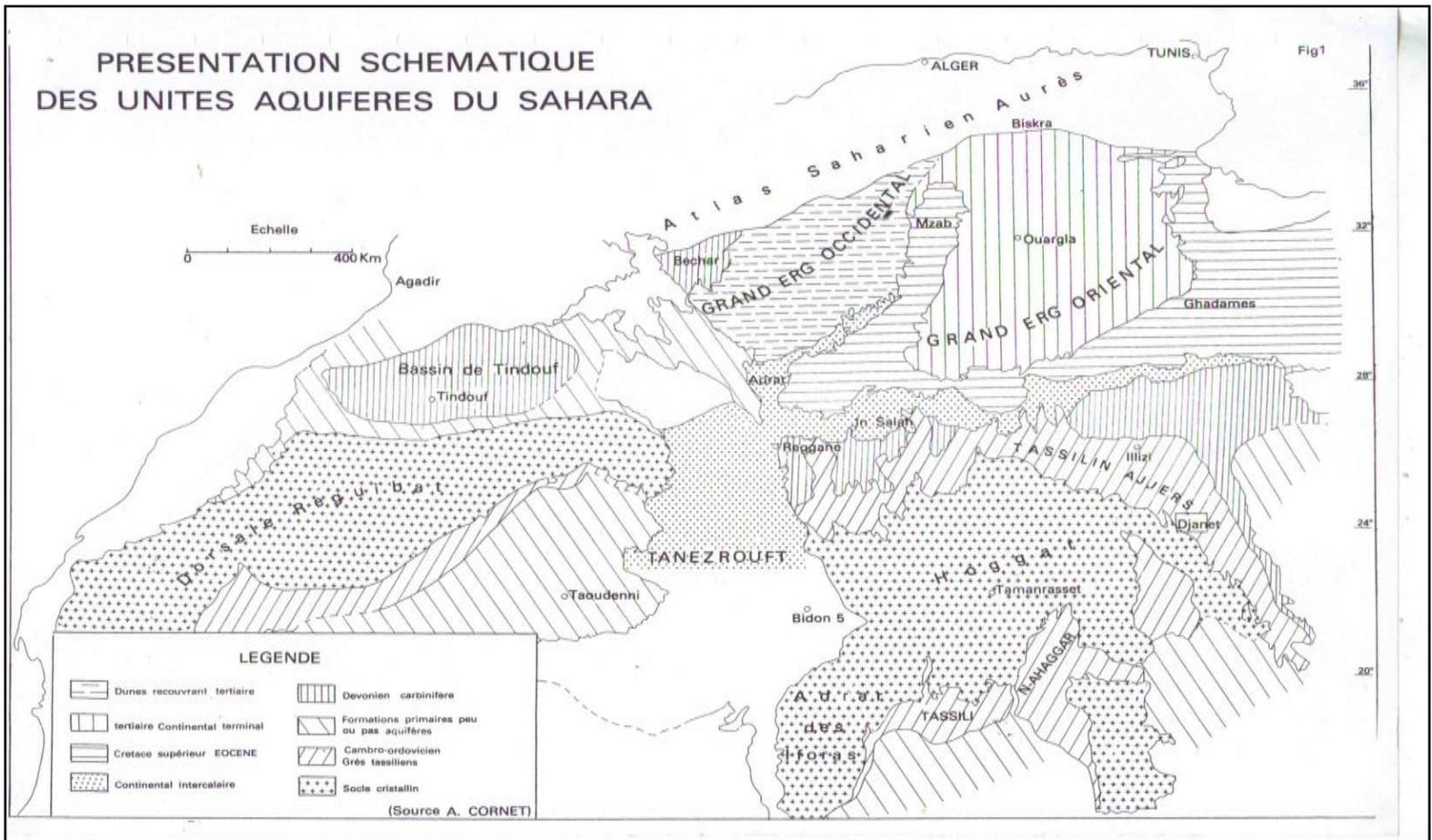


Figure IV.1 : Présentation Schématique des Unités Aquifères du Sahara

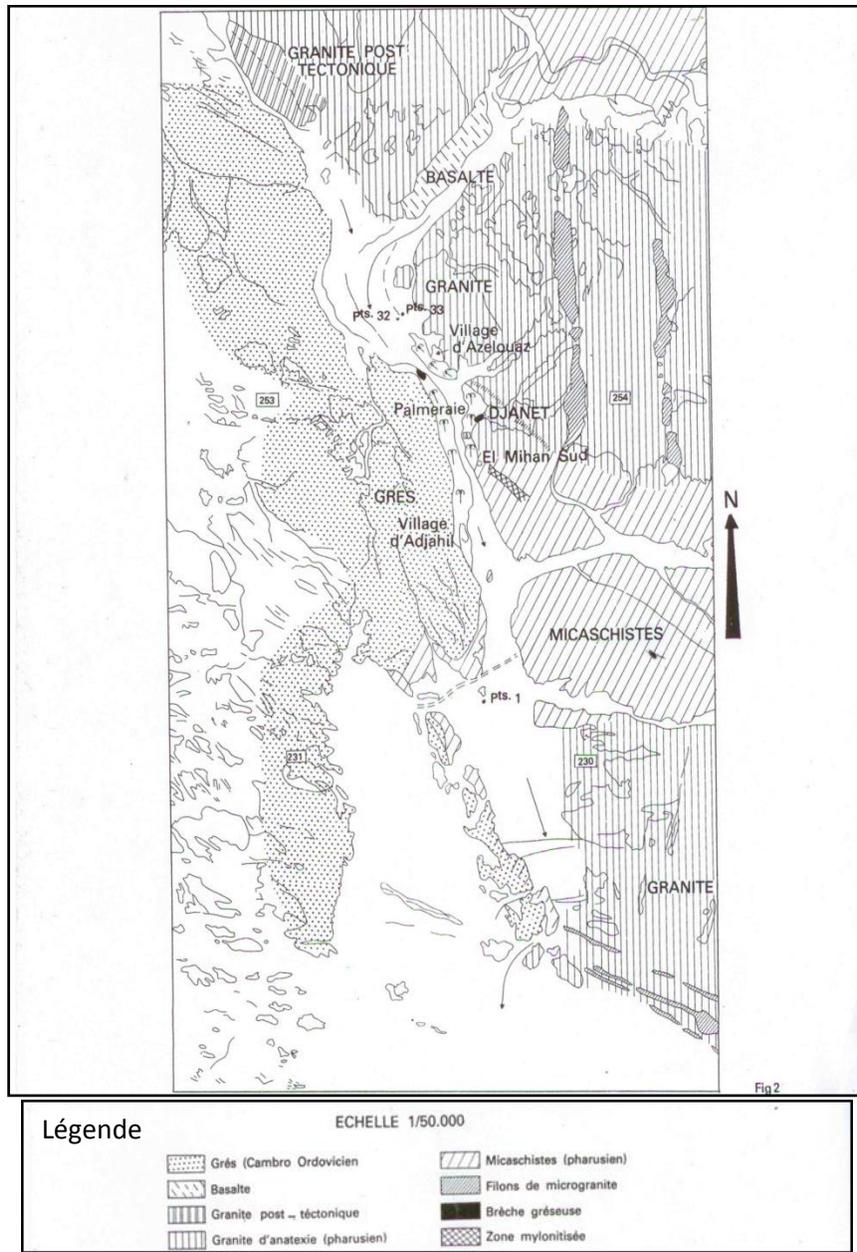


Figure IV.2 : Carte géologique de la zone d'étude (Echelle 1/50.000^{eme})

IV.3.ETUDE DE LA NAPPE DE L'INFERO-FLUX

IV.3.1. Caractéristiques générales de la nappe

Elle constitue la ressource principale du Tassili n'Ajjer. L'inféro-flux est un écoulement souterrain des eaux dans les alluvions et la couche d'altération de la roche sous-jacente, qui a été curé par l'oued. Cette nappe est libre alimentée par les crues. Son exploitation se fait actuellement par des puits artésiens et les forages.

IV.3.2. La géométrie de l'aquifère

Le domaine d'étude hydrogéologique a été défini à l'intérieur des limites naturelles de la cuvette alluvionnaire correspondant aux lits majeurs de l'Oued Djanet.

Ce domaine inclue bien entendu les quelques terrasses sablo-limoneuses déposées par les eaux de crues tantôt en rive gauche, tantôt en rive droite. Toute cette aire est latéralement cernée par des bordures rocheuses à haut relief.

Suivant le sens de l'écoulement des eaux, elle est limitée à l'amont par un étranglement de vallée sur l'Oued Djanet. A l'aval, la vallée se referme partiellement à hauteur de site de barrage et complètement quelques centaines de mètres plus bas.

Le milieu physique tel que défini comprend un système aquifère d'une nappe de type alluvial, libre, discontinu et une nappe de fissures continue dans l'Oued Djanet.

Le complexe aquifère s'étend sur:

- Une longueur proche de 17 km,
- Une largeur moyenne du lit majeur de l'oued de l'ordre de 580 m.
- Les épaisseurs saturées les plus fréquentes de l'aquifère alluvial sont de l'ordre de 15 m.

(Stucky-Enhyd ,2011)

IV.4 LES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

L'écoulement de l'eau souterraine est déterminé par trois groupes de paramètres hydrodynamiques : coefficient de perméabilité et transmissivité, gradient et charge hydraulique, et débit d'une nappe et vitesse d'écoulement des eaux souterraines.

Afin de faire une approche sur les caractéristiques hydrodynamiques du système aquifère, on peut se baser sur les essais de pompage. Le but ici sera de déterminer les paramètres hydrogéologiques T (transmissivité) et S (coefficient d'emmagasinement). Ces paramètres sont indispensables pour une exploitation de cette nappe. Les puits sélectionnés pour ces essais et leur répartition par secteur est la suivante :

Tableau IV.1 : Puits sélectionnés pour les essais et leurs répartitions par secteur

Secteur (Oued Djanet)	Nombre de puits a testé
Azelouaz	1
El Mihan	1

Il est à noter que l'essai sur le puits N°72 (El Mihan) est éliminé car à l'interprétation des données la valeur de transmissivité trouvé est nulle, l'essai effectué a été de courte durée, sans piézomètre d'observation et donc difficilement interprétables.

L'ensemble des résultats pour l'essai, est reporté dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.2 : Résultats des essais de pompage

secteur	N° de puits	Campagne de mesures	Puits	
			Transmissivité T (m ² /s)	Coéf. d'emmagasinement S(-)
Azelouaz	P161	HE	1,1 x 10 ⁻³	0,24 x 10 ⁻⁴

IV.5. PIEZOMETRIE

IV.5.1. La carte piézométrique

Le programme des investigations sur terrain pour parvenir aux évaluations de la ressource en eau souterraine de la nappe alluviale de l'oued Djanet a consisté en une sélection et utilisation des données d'un réseau de 161 points d'eau optimisé et représentatif.

Cet inventaire consiste au mesure des paramètres suivants : profondeur des puits, niveaux statiques et la caractéristiques des ouvrages d'exploitation (équipement, usage) (Cf. annexe IV-1)

IV.5.2. Interprétation de la carte piézométrique

Les tracés des différentes isopièzes permettent de dégager les commentaires suivants:

- ✓ L'observation de la carte piézométrique montre que l'espacement des lignes isopièzes n'est pas uniforme, donc elle présente une allure en accordéon.
- ✓ A l'aval de la cuvette, les isopièzes sont nettement plus resserrés. La profondeur de la nappe est de 3,11m au Puits (P93), donc proche du niveau de sol. Du point de vue hydrodynamique, on observe une résurgence de la nappe inféro-flux.
- ✓ Les profondeurs maximales des niveaux d'eau sont de 13,52 m au Puits (P97) et de 13, 00m au puits (P10) pour le mois Janvier 2011.
- ✓ Le gradient hydraulique (i) est légèrement élevé vers l'amont que vers l'aval

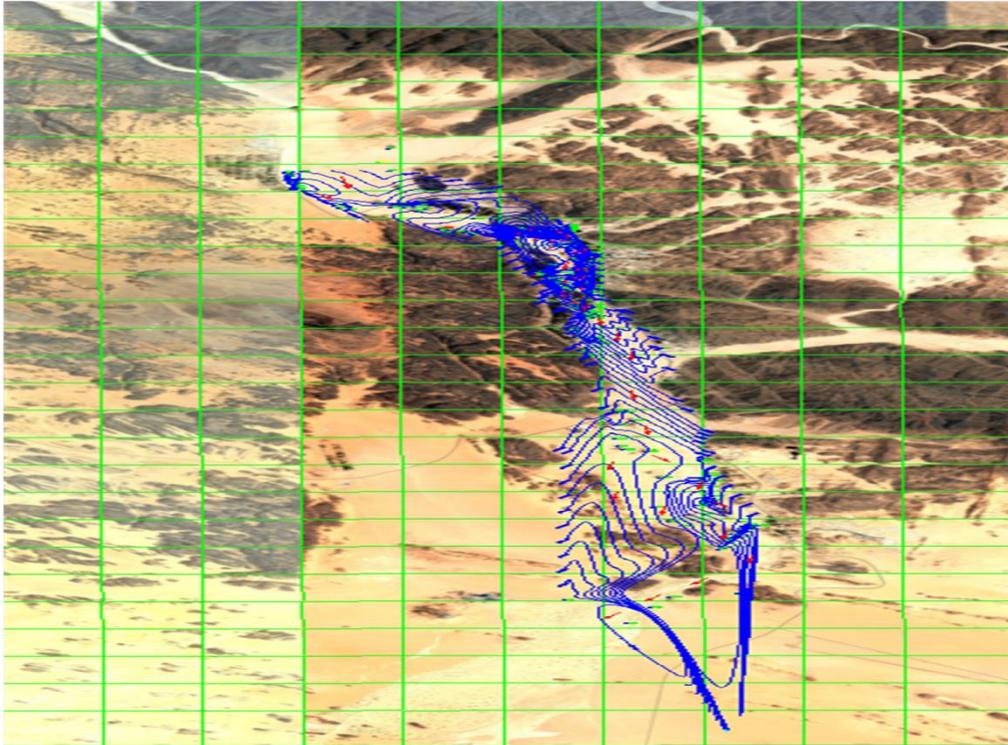


Figure IV.3 : Carte piézométrique de la zone d'étude (Echelle 1/50.000^{ème})

IV.5.3. Gradient hydraulique

Pour calculer le gradient hydraulique dans les différentes zones, on utilise la formule suivant :

$$i = \frac{H_2 - H_1}{L} \dots\dots\dots(IV.1)$$

H₂ : niveau piézométrique au point 2 (côte 1034.5m NGA).

H₁: niveau piézométrique au point 1 (côte 1024.28m NGA).

L : distance séparant les deux points (3335.3 m).

$$i=3,06.10^{-3}$$

IV.5.4.Sens d'écoulement de la nappe

L'observation de la carte piézométrique, montre que l'écoulement général des eaux souterraines s'effectue dans la même direction que Oued Djanet. La nappe généralement s'écoule vers l'axe du barrage (amont vers aval) .soit dans sens NO-SE à travers les alluvions dont les strates sont à perméabilités différentes.

IV.6. Mode d'alimentation de la nappe

L'alimentation de la nappe de la cuvette se fait par :

- L'infiltration des eaux lors des inondations du lit d'oued au moment des crues. Les débits de crue sont importants : l'étude hydrologique estime le volume d'une crue décennale à 8 Mm^3 avec un coefficient de ruissellement proche de 30% soit 70% des précipitations qui s'infiltrent et s'évaporent .
- Les précipitations directes sur la surface de la cuvette.

IV.7. Mode d'exploitation de la nappe

Les « sorties » d'eau actuelles de la nappe d'Oued Djanet sont de 3 ordres :

- La vidange souterraine par écoulement naturel à l'exutoire
- Les prélèvements par pompage depuis les puits.
- L'évapotranspiration comprenant l'évaporation de la nappe lorsque celle ci est proche de la surface du sol et l'évapotranspiration des plantes (jardins potagers des rives).

IV.8. Estimation des potentialités en eau

L'estimation des volumes réservoirs s'appuie sur les mesures effectuées tant au niveau de la nappe que des épaisseurs aquifères c'est à dire du remplissage alluvial et de socle fissuré peu perméable. Sur cette base on établit les volumes géologiques suivants (Stucky-Enhyd, 2011) :

Réservoir alluvionnaire saturé :

$$V_1 = H_1 \times l \times L \times S_1 \dots\dots\dots (IV.2)$$

Réservoir de fissures :

$$V_2 = H_2 \times l \times L \times S_2 \dots\dots\dots (IV.3)$$

ou,

H : épaisseur saturé

l : largeur aquifère (270m)

L : longueur aquifère (16662.84m)

} Tirer à partir du plan d'aménagement

S : coefficient d'emmagasinement moyen de 15% pour les alluvions grossières et 5% pour l'aquifère de fissures.

$$V_1 = 9 \times 270 \times 16662.84 \times 0.15 = 6 \text{ Hm}^3$$

$$V_2 = 6 \times 270 \times 16662.84 \times 0.05 = 2.02 \text{ Hm}^3$$

Soit une réserve totale d'environ 8.02 Hm^3

IV.9. Estimation du débit de l'inféro-flux

La loi de Darcy (1856) permet une approche du débit transitant le long de cette terrasse alluviale :

$$Q = K.S.i \dots \dots \dots (IV.4)$$

S : Section à travers laquelle s'effectue l'écoulement (m²).

K : Perméabilité du milieu (m/s).

I : Gradient hydraulique au niveau de la section (S).

Q : Débit de l'inféro-flux (m³/s)

$$\text{Comme } K = T/h \quad \text{et} \quad S = l.h$$

T : Transmissivité du milieu (m²/s)

h : Epaisseur de la Tranchée saturée (m)

l : Largeur de l'Oued au point de la mesure (m)

Alors la relation précédente devient : $Q = T.l.i$

Par ce fait, le débit de transit de l'inféro-flux passant par le puits 161 est de :

$$Q = 2.23 \text{ l/s} \approx 2 \text{ l/s} ; \quad \text{pour } T = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}, \quad \text{et } l = 665 \text{ m}, \quad i = 3.06 \times 10^{-3}$$

IV.10. Les prélèvements à la consommation

Afin d'évaluer le volume extrait quotidiennement de la nappe, nous avons mesuré le débit de pompage pour chaque ouvrage, grâce à une enquête sur les forages destinés à l'agriculture auprès des utilisateurs. Pour ce qui est des sources alimentées par les grès Tassiliens (nombre de 18 sources) seules trois d'entre elles, situées au niveau du village Adjahill, sont fonctionnelles leur débit est insignifiant et estimé à 0.2 l/s. Cette eau est acheminée dans un bassin utilisé pour l'irrigation des jardins agricoles (eaux stagnantes), et elle représente un danger sur le plan bactériologique (Stucky-Enhyd, 2011).

L'enquête sur les débits extraits annuels de la nappe alluviale a donné les résultats suivants :

- Débit extrait annuel Puits..... 583777,35 m³/an
- Débit extrait annuel Forages.....5897232,00 m³/an

Soit, un débit extrait annuel total de **6481009.35 m³/an**

En ce qui concerne les trois sources (S1, S2, S3) qui sont alimentées par les grès Tassiliens (Falaise qui longe l'oued Djanet), leur débit est d'environ 0,2 l/s.

- Soit, un débit annuel de: **18921.60 m³/an**

Cette enquête sur les volumes extraits montre que la nappe alluviale de l'oued Djanet :

Débit extrait journalier.....17756.19 m³/jours

Débit extrait par Heure.....739.84 m³/heure

Débit extrait par Seconde.....205,51 l/s

Les caractéristiques techniques relatives au forage de Djanet sont consignées dans un tableau (cf. annexe IV.2)

IV.11. Les pertes par évaporation de surface

L'analyse des données climatiques caractéristiques de la région de Djanet montre une évaporation potentielle très importante de l'ordre de 4201 mm/an sur les plans d'eau.

L'incidence de ce facteur sur la surface d'eau libre de la nappe alluviale est réelle dans le cas de proximité des eaux du sol en particulier lors de la période des plus hautes eaux où la recharge a lieu.

La profondeur critique, Z_{cr} , minimale à laquelle doit se situer la nappe pour échapper à l'évaporation est donnée par la relation d'Averjanov (URSS) (in Stucky-Enhyd, 2011)

où :

$$Z_{cr} = 1,7 \cdot 0,008 \cdot T_{moy} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Avec

$T_{moy} \text{ } ^\circ\text{C} = 23,4^\circ\text{C}$ (température moyenne annuelle) ;

$$Z_{cr} = 0,32\text{m}$$

Cette condition n'est pas réunie en période de recharge : la profondeur de la nappe est à proximité du sol au voisinage de l'exutoire.

La solution consiste à rabattre la nappe, dans cette zone par pompage et sur une courte période.

Cependant, pour une grande partie de l'année, la nappe subit un rabattement naturel, cela réduit le risque de pertes par évaporation.

IV.12. Confrontation ressources et besoins en eau

Il est établi qu'en règle générale le tarissement de la nappe s'effectue par les pertes naturelles de l'inféro-flux et l'exploitation par puits et forages.

Le but de notre aménagement est d'optimiser l'exploitation des ressources par valorisation et captage du débit inféro-flux et par une possible augmentation des prélèvements.

La relation exploitation et disponibilité en eau dans la cuvette alluviale est étudiée dans les termes suivants :

L'offre disponible dans l'aquifère bicouche est estimée à 8,02 Hm³ : il s'agit de potentialités totales. Ce volume disponible correspond à un état de total remplissage des réservoirs quant aux prélèvements opérés à l'échelle annuelle, ils sont de l'ordre de 6,48 Hm³

Conclusion

L'étude montre qu'à l'issue d'une période sèche les réserves permanentes ou statiques sont non négligeables : il a été aussi établi qu'à travers les profondeurs des niveaux d'eau et les épaisseurs aquifères réelles que même en cas de rabattement supplémentaire de la nappe née d'une exploitation plus accrue, l'infiltration des crues pourra le compenser grâce à l'importance de ces dernières et surtout en présence d'un terrain sec et perméable.

Dès lors, les réserves régulatrices seraient forcément supérieures à $6,48\text{Hm}^3$ (besoin en eaux de la région) en valorisant les capacités de stockage et la réalimentation.

Chapitre V

Etude des variantes d'aménagement

Introduction

Le barrage souterrain est un système consistant à retenir des eaux souterraines par un parafouille (corps du barrage) mis en place en travers des chenaux des eaux souterraines. Dans sa fonction de retenir de l'eau par un endiguement (barrage), il est assimilable au "barrage en surface".

La réalisation de barrage souterrain appelé barrage d'inféro-flux est destinée à récupérer la nappe d'inféro-flux et présente de multiples avantages, ils sont en général faciles de conception, ne posent pas de problèmes de sécurité, cependant la réserve d'eau est sujette à l'évaporation et à la pollution.

La mise en place du barrage souterrain consistera à empêcher la vidange naturelle de l'aquifère. Il s'en suivra :

- Un relèvement du niveau statique de la nappe.
- Une modification, à la baisse, du gradient d'écoulement naturel.
- Une réserve d'eau de la retenue du barrage avoisinant les 8 millions de m³.

V.1. CHOIX DU SITE DU BARRAGE :

Le principe du choix du site favorable pour un barrage souterrain est le même que celui d'un barrage superficiel, c'est-à-dire qu'il faut choisir un site qui peut retenir un maximum d'eau pour un coût minimum.

- **Description des sites potentiels pour le barrage inféro-flux**

- **SITE N°1**

Ce site est situé à In Abarbar à l'amont de la ville de Djanet à environ 7 km sur l'oued Edjareou (Djanet) les coordonnées du site d'après la carte d'Etat-Major Djanet feuille NG-32-IV à l'échelle 1/200 000^{ème}. Sont : $X = 546 \text{ km}$ $Y = 2720 \text{ km}$

L'altitude approximative du site est de 1060 m environ. L'épaisseur de la couche alluvionnaire à cet endroit peut atteindre les 11 m (voir mesures niveau statiques des puits à In Abarbar)

La largeur maximale de l'oued au niveau du site est de l'ordre de 100 m



Figure V.1: Vue de l'axe de futur barrage au niveau du site °1 (in Abarbar) sur l'oued Djanet

○ **SITE N°2**

Ce site est située dans la commune d'EFRI à 07 km environ au sud du chef-lieu de la Daïra de Djanet, les coordonnées du site d'après la carte d'Etat-Major Djanet feuille NG-32-IV à l'échelle 1/200 000^{ème} sont : X= 549 km Y=2712 km

L'altitude approximative du site est de 1005 m environ.

L'épaisseur de la couche alluvionnaire à cet endroit peut atteindre les 24 m (voir mesures niveau statiques des puits a EFRI en annexe IV.1) cette profondeur est confirmer lors des travaux de reconnaissances. La largeur maximale de l'oued au niveau du site est de l'ordre de 300 m.



Figure V.2: Site °2 (In Débirine au Sud d'EFRI) vue générale de la zone d'étranglement

Les observations de terrain, la synthèse des résultats des travaux géophysiques et aussi la simplicité et la particularité structurale ont facilité la compréhension de l'hydrodynamisme souterrain, et c'est garce à ça que nous avons établi le tableau récapitulatif suivant pour mieux mettre en évidence le choix du site qu'on fera par la suite

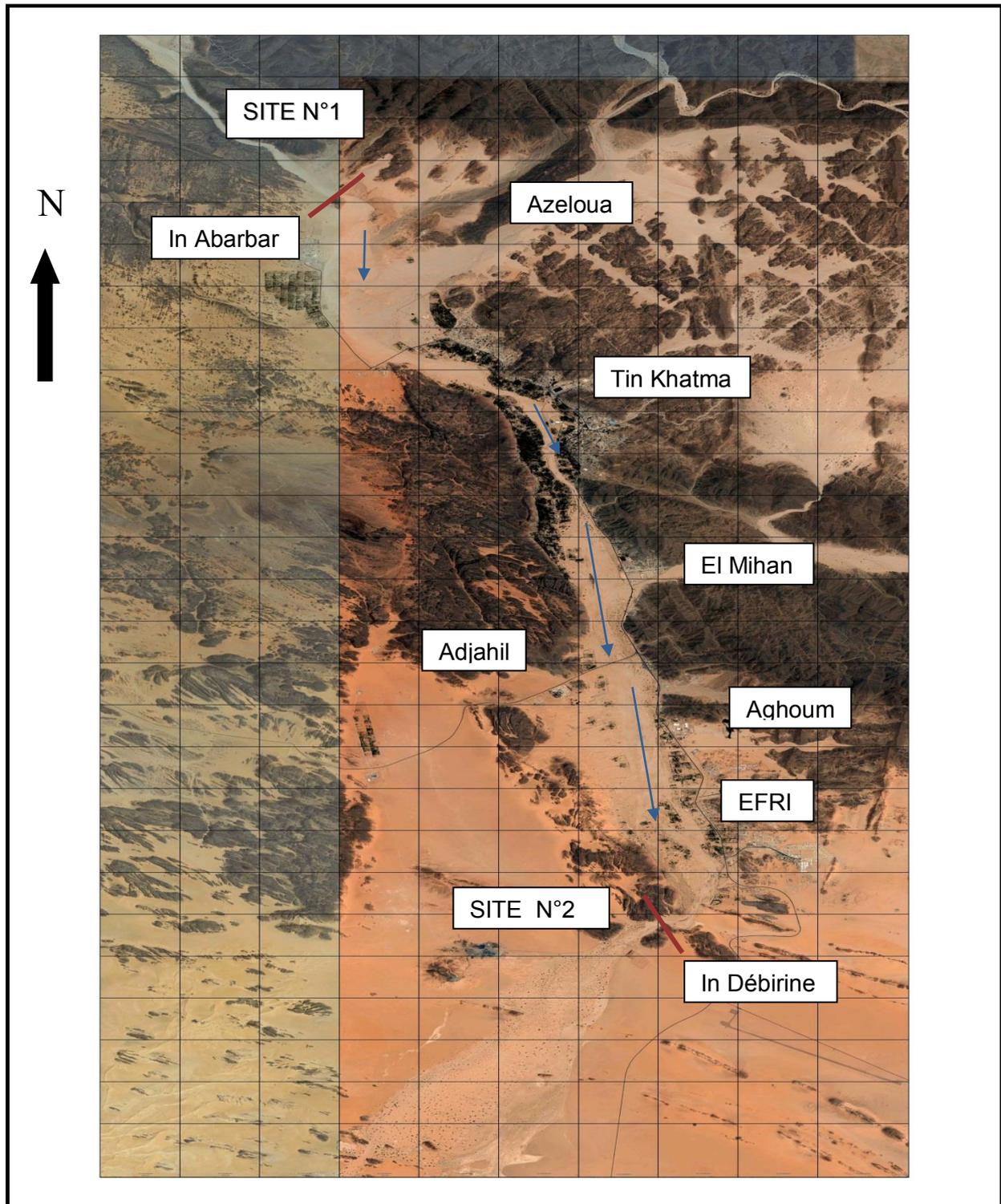


Figure V.3: Plan de Situation des Sites (Image Google) Echelle 1/100000

Tableau V.1: récapitulatif des sites potentiels

Site	Avantages	Particularités
Site 1 : in Aabarbar	<ul style="list-style-type: none"> - Rétrécissement - Largeur maximal de 100m - Accès facile 	<ul style="list-style-type: none"> - Petite cuvette donc contrôle d'un petit réservoir - Les eaux d'Oued TASSATOUT ne sont pas contrôlées - Site protégé par l'office du parc du Tassili - Assèchement totale des puits situés à l'aval de l'aménagement
Site 2 : EFERI	<ul style="list-style-type: none"> - Rétrécissement des deux rives - Contrôle de la quasi-totalité d'Oued Djanet - Les forages sont situés en majorité à l'amont du site 2 - La préservation des eaux contre la vidange naturelle donc utilisation maximale des eaux du réservoir - Situation en aval de la cuvette - L'affleurement du substratum granitique du côté rive gauche - Le redressement spectaculaire du filon granodioritique qui constitue un seuil naturel du barrage 	<ul style="list-style-type: none"> - Largeur très importante =>300m - Conduite de déversement des eaux usées qui traverse le long de l'oued

Relativement au tableau ci-dessus, il paraît clairement que le site n°2 (EFERI) est le plus avantageux et le plus adéquat pour la réalisation de notre aménagement et c'est sur ce site que nous allons projeter notre barrage d'inféro-flux.

V.2. VARIANTES ET TECHNIQUES DE REALISATION ENVISAGEABLES SUR LE SITE

Il existe des différentes techniques de construction du barrage souterrain, où les grandes catégories sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V.2 : Types des méthodes de construction du barrage souterrain (in Ministère de l'Environnement du Japon, 2004)

Catégorie	Méthode de construction	Structure	Caractéristique
Application de la méthode de paroi moulée d'étanchéité souterrain	Mur en palplanches d'acier	Construction continue des murs en palplanches d'acier	C'est convenable au sol faible, mais difficile à réaliser sur la couche graveleuse et la roches-disponible <i>in situ</i>
	Mur en palplanches de tube d'acier	Construction continue des murs en palplanches de tube d'acier	
	Paroi moulée	Mur de béton coulé sur place	Il y a des méthodes diverses en fonction des conditions du sol et elles ont toutes besoin des matériels d'une haute technicité.
	Paroi moulée de type tube	Paroi consistant en des pieux en mortier continuellement coulés sur place	C'est une méthode adoptée pour construire le barrage souterrain à l'île de Miyako au Japon. Elle nécessite des matériels d'une haute technicité.
Application de la méthode d'amélioration du sol	Méthode d'injection	Injection de mortier à travers des forages réalisés par intervalles	Cette méthode a été partiellement adoptée dans la construction du barrage souterrain à l'île de Miyako. Elle est largement applicable parce que les petits et moyens matériels sont utilisables, mais il est un peu difficile de constater l'effet d'étanchéité.
Application de la méthode générale de construction du barrage	Méthode de construction du barrage en béton	Structure construisant un barrage en béton sous terre ou à moitié sous terre (excavation /construction du corps du barrage / remblai)	C'est convenable au barrage souterrain de type «barrage en torrent» dont le haut est au-dessus du sol (il y a des exemples dans les pays comme le Kenya). Les frais des travaux sont plus élevés que ceux du barrage souterrain de type «barrage en terre», de plus, des mesures contre la fuite d'eau sont nécessaires. Mais, pour l'excavation profonde, les frais seront trop élevés.
	Méthode de construction du barrage en terre	Structure construisant un barrage en terre (digue en terre) sous Terre	Ce type de barrage peut être construit par des matériels de travaux publics ordinaires et le contrôle des travaux est également facile. Cependant, des mesures contre la fuite d'eau sont nécessaires et pour l'excavation profonde, les frais seront trop élevés.

Dans le site que nous avons choisi, les variantes envisageables sont limitées. Cela est dû à plusieurs facteurs dont nous citerons : la disponibilité des matériaux de construction dans la zone

de construction et la facilité de mise en œuvre de l'ouvrage, sans oublier l'aspect économique, et c'est en tenant compte de tous ces facteurs que nous avons choisi d'étudier les variantes suivante :

- Mur en paroi moulée
- Digue en enrochement
- Digue en argile

V.2.1. Mur paroi moulée

C'est la technique la plus utilisée pour l'étanchéité des sols, la paroi moulée est un écran vertical en béton construit sans blindage ni coffrage à partir de la surface du sol par excavation à l'aide de machines appropriées. Mais cette méthode demande des matériels d'une haute technicité.

V.2.2. Digue en enrochement

Ce type de barrages est plus facile à réaliser, il ne nécessite pas d'engins mécaniques sophistiqués. Cependant, des mesures contre la fuite d'eau sont nécessaires et pour l'excavation profonde, les frais seront trop élevés.

V.2.3 Digue en argile

Ce type de barrage est tout à fait convenable pour la rétention des eaux souterraines, cependant les frais d'excavation et de construction sont très élevés et il faudrait avoir une quantité suffisante des matériaux de construction.

V.3. Etude des variantes

V.3.1 Mur paroi moulée

V.3.1.1. Principe de construction

Les principaux avantages de la paroi moulée sont la continuité, la résistance, l'étanchéité et une mise en œuvre relativement facile.

Dans le cas du barrage inféro-flux de Djanet, la paroi moulée a pour objet d'assurer l'étanchéité de la couche alluviale, en conséquence relever le niveau statique de la nappe. Dans ce cas l'écran sera constitué d'un béton plastique faiblement dosé en ciment avec adjonction de bentonite, plastifiant/réducteur d'eau à haute performance ou un hydrofuge de masse liquide pour augmenter l'imperméabilité.

Avant les opérations d'excavation on exécute deux murettes guides pour assurer la régularité du tracé de la tranchée et canaliser la boue de bentonite (pour éviter les effondrements des parois et maintenir ainsi la tranchée stable) au voisinage de la surface.

Vu la grande longueur de la tranchée, les forages sont réalisés par panneaux de longueur limitée, en tenant compte de la cohésion du terrain en place et des contraintes extérieures au voisinage de la paroi. Les panneaux seront exécutés par séries paires et impaires, ce qu'on appelle la méthode des panneaux primaires, secondaires et tertiaire (Costet, 1983)

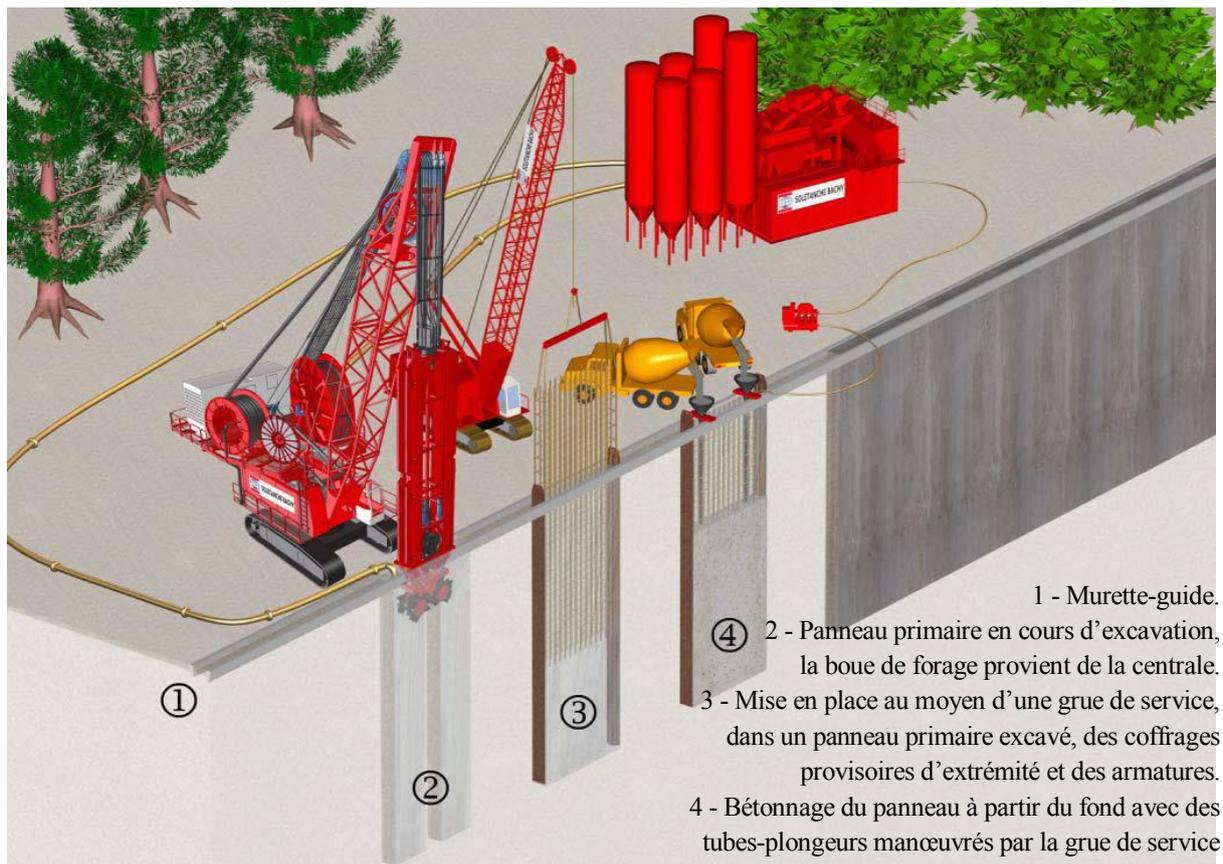


Figure V.4 : Schéma explicatif de construction de mur paroi moulée
 (in SOLETANCHE BACHY, 2007)

V.3.1.2. Calcul et dimensionnement

A- Réalisation des murettes guides

Profondeur 80 cm à 1.30 m, ces murettes ont pour but de guider la benne de forage, tout en maintenant les parois en tête de l'excavation. Après décoffrage, elles sont bétonnées tous les 3 à 4 m pour éviter le basculement dans la fouille.

B- Epaisseur du mur

L'épaisseur des parois verticales varie généralement de 0,50 m à 1,50 m en fonction de la profondeur qui peut atteindre des 100m

L'épaisseur est définie en fonction de la machine excavatrice et des caractéristiques du matériau de remplissage. En effet, la largeur de la benne preneuse est d'environ 0,60 m, on a adopté une épaisseur de 0,70 m pour le mur de la paroi moulée. Une telle épaisseur est suffisante pour supporter une charge allant jusqu'à 40 m.

D'après les normes, le gradient hydraulique normatif du béton plastique est égal à $I_{adm} = 100$.

Le mur paroi moulée du barrage est soumis à un gradient hydraulique donné par la relation suivante :

$$I_{\max} = \frac{h_{\max}}{b} \dots\dots\dots(V.1)$$

avec : I_{\max} : gradient hydraulique,

h_{\max} : Différence de charge maximale entre l'amont et l'aval du mur

b : épaisseur du mur paroi moulée, prise égale à 0,70 m

$$h_{\max}=h_{\text{am}}- h_{\text{av}} = 31,6 \text{ m} ; h_{\text{am}} = 31,6 \text{ m} \text{ et } h_{\text{av}} = 0$$

$$I_{\max} = 44,28 < I_{\text{adm}} = 100$$

Le gradient hydraulique égal à 44,28 est très inférieur au gradient admissible, on adopte donc l'épaisseur de 0,70 m pour la paroi moulée.

C- La longueur des panneaux

Le mur souterrain d'une longueur totale de 283,40 m, est constitué d'une partie centrale et de deux parties extrêmes (rives gauche et droite). La partie centrale, d'une longueur totale de 260,00 m sera réalisée par le procédé des parois moulées dans le sol et les deux parties extrêmes, d'une longueur totale de 23,40 m, seront réalisées avec la méthode traditionnelle à l'aide d'une pelle hydraulique

Dans la réalisation des parois moulées dans le sol, le problème le plus préoccupant est la stabilité des parois de la tranchée. Celles-ci doivent rester verticales pendant toute la période d'exécution. Pour se faire, en plus du remplissage de la tranchée par une boue de bentonite, il faut limiter la longueur de celle-ci (in Bouafia, 1996).

L'excavation de la partie centrale en béton plastique s'effectuera donc par panneaux primaires et secondaires. Leurs dimensions sont essentiellement fonction de la capacité de bétonnage du chantier et de la machine excavatrice. Il est donc nécessaire de rechercher une longueur optimale des panneaux.

Dans le tableau suivant, on donne la longueur des panneaux en fonction de la longueur de la benne preneuse.

Tableau V.3: Longueur de panneaux en fonction de la longueur de la benne preneuse (in Stucky-Enhyd, 2011)

Longueur de la benne (m)	Longueur de la morsure (m)			Total (m)
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	
2,2	2,2	2,2	1,6	6
2,5	2,5	2,5	1,6	6,6
2,7	2,7	2,7	1,6	7

Dans la pratique de réalisation des parois moulées en béton plastique, la longueur des panneaux n'excède pas 7,0 m.

Une benne de 2,70 m de longueur permet l'excavation de panneaux primaires de 7,00 m et secondaires de 6,0 m.

La longueur des panneaux d'excavation dépend aussi de la puissance des installations à béton (production de la station à béton et moyens de transport).

Pour diminuer le nombre de joints le long du mur, on adopte des panneaux primaires de 7.00 m et secondaires de 6.00 m.

Le nombre de panneaux nécessaires pour recouvrir la partie centrale est donné dans le tableau suivant :

Tableau V.4 : Nombre de panneaux primaires et secondaires

L, Benne m	Panneaux Primaires			Panneaux Secondaires			Total	
	L Unitaire m	Nombre	L Totale m	L Unitaire m	Nombre	L Totale m	Nombre	L m
2,7	7,00	20	140,00	6,00	20	120,00	40	260,00

V.3.1.3. Etude hydraulique du mur

L'étude hydraulique consiste en la définition du débit s'infiltrant à travers le mur paroi moulée. Le débit infiltré par mètre de longueur du mur est donné par la formule de Pavlovski (in .Gavish ,1997) :

$$q = \frac{K_0 \times (h_m^2 - h_c^2)}{2 \times d} \dots\dots\dots (V.7)$$

avec :

K_0 : Coefficient de perméabilité du matériau du mur, pour le béton plastique $K_0 = 10^{-7} \text{m/s}$

h_m : charge amont, $h_m = 31,6 \text{ m}$.

h_c : charge aval, $h_c = 0,0 \text{ m}$.

d : épaisseur du mur, $d = 0,70 \text{ m}$.

Le débit maximum infiltré est égale à : $q = \frac{10^{-7} \times 31,6^2}{2 \times 0,70} = 7,13 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

V.3.2. Digue en enrochement

Pour la réalisation d'un tel barrage il faudrait disposer d'un volume très important de matériaux rocheux et qu'il soit disponible en quantité suffisante et de bonne qualité à proximité du site.

La digue sera réalisée en enrochements (granites) compactés, l'étanchéité est assuré par une géomembrane, qui représente une alternative fiable et économique par rapport à des solutions plus traditionnelles tel que le béton ou l'argile, et dont la mise en place est très facile.

Pour éviter l'érosion de la crête du barrage par les eaux de crue, il faut l'enterré au

moins 0.5 m sous le niveau de terrain naturel donc la hauteur de barrage ne dépasse pas $H= 31.1$ m.

V.3.2.1 Largeur en crête

Différentes formules sont utilisées pour le calcul de la largeur en crête :

KNAPPEN

$$b_{cr}=1,65\sqrt{H} \dots\dots\dots (V.8)$$

F-PREECE

$$b_{cr}= 1,1\sqrt{H} + 1 \dots\dots\dots (V.9)$$

PRATIQUE

$$b_{cr}=\frac{5}{3}\sqrt{H} \dots\dots\dots (V.10)$$

Anonyme (simplifiée)

$$b_{cr}= 3,60\sqrt[3]{H} - 3 \dots\dots\dots (V.11)$$

Tableau V.5: récapitulatif des résultats de calcul de largeur de crête.

Formule	b_{cr} (m)
Knappen	9,18
Preece	7,12
Pratique	9,27
Anonyme	8,30

On opte pour une largeur de crête égale à: $b_{cr}= 8.5$ m

V.3.2.2. La longueur en crête

La longueur en crête est tirée à partir du plan de l'aménagement qui égale à :

$$L = 283.4\text{m.}$$

Pentes des talus

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations.

Pour les massifs, on donne des pentes qui paraissent optimal, comme montre le tableau ci-après :

Tableau V.6: Valeurs indicatives des pentes des talus (in Mihoubi, 2014)

Hauteur du barrage(m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H<5	- Homogène	2,5	2
	- A zones	2	2
5<H<10	-Homogène granulométrie étendue	2	2
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2	2,5
10<H<20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3	2,5
	- A zones	3	3
H ≥20	- Homogène granulométrie étendue	3	2,5
	- A zones	3	3

D'après le tableau(V.5) qui donne les pentes des talus en fonction de la hauteur et de type de barrage .on a choisi pour les calculs les pentes:

Parement amont $m_1 = 2.5$.

Parement aval $m_2 = 2.5$.

V.3.2.4. Dispositif de protection contre les effets de l'eau

Pour assurer la protection des talus, nous avons opté pour la mise en place d'une géomembrane pour assurer l'étanchéité du talus amont.

V.3.3 Digue en argile

Concernant cette variante, il faudrait disposer d'une quantité très importante de sol argileux à proximité de la zone d'étude, et il se trouve que cette quantité est disponible dans la région a seulement quelques kilomètres de la zone d'étude.

V.3.3.1 Caractéristique géométrique de la digue en argile

Les caractéristiques géométriques de cette variante sont presque identique à la variante digue en enrochement, la seule différence réside dans le choix des pentes de talus vu que les matériaux diffères. La digue en argile aura les caractéristiques suivantes :

$$bcr = 8,5 \text{ m} ; Lcr = 283,4 \text{ m}$$

Pour les pentes de talus et conformément au tableau V.5 nous allons prendre des pentes de 3 pour le talus amont et de 2 pour le talus aval.

V.4. Fixation du choix définitif du type de barrage

Pour faire le choix de type du barrage à construire, une étude de comparaison technico-économique de chacun des types de barrage est nécessaire, pour cela, on a pris en considération :

- Facilité de la réalisation.
- Emplacement des zones d'emprunts.

- Volume des matériaux de construction.
- Technologie de réalisation.

V.4.1.Calcul des volumes

V.4.1.1. Mur paroi moulée

➤ **Les murettes guidés**

On a deux murettes de section de forme Γ, le long de l'axe de barrage, le volume de murettes est :

$$V=2.S.L..... (V.12)$$

Avec :

L : Longueur totale de barrage L=283,4 m

S : La section de murette

$$S= (0.8*0.8)-(0.5*0.5)= 0.39 \text{ m}^2$$

$$V=0.39*283.4 = 110.52 \text{ m}^3$$

➤ **Le mur**

La profondeur, la surface latérale et le volume des panneaux sont donnés dans le tableau suivant

avec :

- Largeur de la benne preneuse = 0.60 m
- Epaisseur du panneau =0,70 m
- Eboulement ≈ 20 %
-

Tableau V.7: Détail quantitatif du mur paroi moulée

DETAIL QUANTITATIF							
PROFONDEUR, SURFACE LATERALE ET VOLUME DES PANNEAUX							
PAN, N°	PANNEAUX PRIMAIRES			PAN, N°	PANNEAUX SECONDAIRES		
	PROFONDEUR R	SURFACE	VOLUME		PROFONDEUR	SURFACE	VOLUME
	M	m ²	m ³		m	m ²	m ³
2	5,20	36,40	25,5	1	3,94	23,64	16,55
4	7,48	52,36	36,65	3	6,34	38,04	26,63
6	9,76	68,33	47,83	5	8,62	51,73	36,21
8	12,18	85,33	59,73	7	10,84	65,07	45,55
10	15,70	109,67	76,77	9	13,88	83,32	58,32

12	19,22	134,60	94,22	11	17,44	104,68	73,27
14	24,40	164,77	115,34	13	21,00	126,04	88,22
16	29,86	209	146,30	15	28,12	171,88	120,31
18	31,57	222	155,40	17	30,95	185,71	130,00
20	31,36	219,5	153,65	19	31,57	189,46	132,62
22	30,70	214,77	150,34	21	31,08	186,64	130,64
24	29,8	208,48	145,94	23	30,23	181,40	126,98
26	28,87	202,16	141,51	25	29,33	175,99	123,19
28	27,93	194,93	136,45	27	28,43	170,57	119,34
30	26,49	185,45	129,81	29	27,99	163,76	114,63
32	24,68	172,42	120,69	31	25,60	153,55	107,48
34	22,07	154,54	108,18	33	23,60	141,20	98,84
36	18,66	131,05	91,74	35	20,47	122,81	85,96
38	14,09	98,66	69,06	37	16,50	98,75	69,12
40	8,44	59,27	41,50	39	11,73	70,37	49,26
TOTAL	419,08	2923,69	2046,61	TOTAL	417,66	2901,61	1753,12
EBOULEMENT (20%)			409,32	EBOULEMENT (20%)			350,62
TOTAL BETON (m ³)			2456,00	TOTAL BETON (m ³)			2104,00
TOTAL						5429,00 m ²	4560,00 m ³

Dans ce cas le volume max du béton plastique est de l'ordre de 4560 m³.

Le bétonnage des parties extrêmes se fera par la méthode traditionnelle, par versement de béton (dosé à 350 Kg de ciment/m³).

Le volume de béton est calculé par :

$$V = (S_1 + S_2) \cdot b \dots \dots \dots (V.13)$$

Avec:

S₁: surface de partie extrême gauche S₁ = 23 m²

S₂: surface de partie extrême droite S₂ = 72.4 m²

b : largeur de la tranchée b = 0.70m

$$V = 50.7 \text{ m}^3$$

V.4.1.2. Digue en enrochement

On trace le profil longitudinal du barrage, on choisit des sections en travers du barrage et sur chaque coupe, on détermine la hauteur de la digue à l'aide de la formule suivante :

$$H_i = N_{cr} - N_{pi} \dots\dots\dots (V.14)$$

Où :

N_{cr} : Côte de la crête du barrage.

N_{pi} : Côte du pied du barrage dans la section i.

L'aire de la section transversale du barrage pour la coupe "i" est déterminée ainsi :

$$S_i = \frac{b_{cr} + B_i}{2} H_i \dots\dots\dots (V.15)$$

b_{cr} : Largeur en crête du barrage.

B_i : Largeur du pied du barrage au droit de la section « i »

$$B_i = b_{cr} + (m_1 + m_2) \cdot H_i \dots\dots\dots (V.16)$$

Où :

m_1, m_2 : Fruit du talus amont et aval respectivement.

Le volume total du barrage s'obtient par la somme des volumes partiels de ses sections.

Avec :

$$V_b = \sum V_i$$

$$V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot L_i \dots\dots\dots (V.17)$$

Où :

L_i : Distance horizontale séparant deux sections successives S_i et S_{i+1}

Recharge en enrochement

Tableau V.8 : Calcul estimatif des volumes des recharges en enrochement.

N° coupe	H_i [m]	B_i [m]	S_i [m ²]	S_{moy} [m ²]	L_i [m]	V_i [m ³]
1	0	8.5	0	185.8	44.3	8229.15
2	10.18	64.49	371.5	836.9	44.1	36905.41
3	20.27	119.985	1302.2	2104.2	47.1	99108.89
4	31	179	2906.3	2265.5	48.3	109422.42
5	22.81	133.955	1624.7	1164	45.2	52610.60
6	14.52	88.36	703.2	351.6	44.5	15646.28
7	0	8.5	0			
Volume Total						321922.76

Géomembrane

Les géomembranes viendront recouvrir la surface du talus amont du barrage, cette dernière s'obtient par la somme de surfaces partielles de ses sections, d'où l'aire partiel est déterminée ainsi :

$$S_i = \frac{d_i + d_{i+1}}{2} L_i \dots \dots \dots (V.18)$$

d_i: Largeur de la pente de talus amont au droit de la section « i »

$$d_i = \frac{H_i}{0.371}$$

Tableau V.9 : Calcul de la surface du masque en Géomembrane

N° coupe	H _i [m]	d _i [m]	L _i [m]	S _i [m ²]
1	0	0	44.3	607.8
2	10.18	27.4	44.1	1809.8
3	20.27	54.6	47.1	3254.5
4	31	83.6	48.3	3502.73
5	22.81	61.5	45.2	2274.01
6	14.52	39.1	44.5	870.81
7	0	0		
Volume total				12319.56

V.4.1.3 Digue en argile

Pour estimer le volume de la digue, le calcul se fait de la même manière que pour la digue en enrochement, en tenant compte bien sur des pentes de talus et du revêtement

Tableau V.10 : Calcul estimatif des volumes des recharges en argile

N° coupe	H _i [m]	d _i [m]	L _i [m]	S _i [m ²]
1	0	0	44.3	607.8
2	10.18	27.4		1809.8
3	20.27	54.6	47.1	3254.5
4	31	83.6	48.3	3502.73
5	22.81	61.5	45.2	2274.01
6	14.52	39.1		870.81
7	0	0	44.5	
Volume total				12319.56

V.4.2. Devis estimatif des variantes

Le tableau suivant donne les différents coûts des variantes :

Tableau V.11 : Récapitulatif des estimations du coût des variantes étudiées

Variante	Matériaux	Quantité (m ³)	Prix Unit (DA)	Coût (DA)	Coût total (DA)
Mur paroi moulée	Murettes (béton armé)	110,52	30 000	3 315 600,00	40 201 200,00
	Panneaux (béton plastique)	4560	8 000	36 480 000,00	
	Extrêmes (dosé à 350 Kg)	50,7	8 000	405 600,00	
Digue en enrochements	Recharges	321 922,76	1 200	386 307 312,00	404 786 655,00
	Géomembranes	12319.56	1500	18 479 343,00	
Digue en argile	Recharges	270454,79	2000	540 909 868,46	540 909 868,46

Conclusion

À la lumière des résultats du devis estimatif établi pour les variantes étudiées et renseignées dans le tableau récapitulatif (V.9), il apparaît clairement que nous ne pouvons arrêter notre choix que sur la 1^{re} variante, constituée d'un mur paroi moulée, car elle est la plus économique, par rapport à celle de la digue en enrochement et la digue en argile qui s'avèrent onéreuse et s'ajoute aux exigences des volumes importants d'excavation qu'exigent les variantes non retenues.

Chapitre VI

Les ouvrages annexes

VI.1. Voile d'injection

Comme la zone altérée, composée essentiellement d'une roche grano-dioritique friable et fissurée est perméable et ne peut être excavée à l'aide de la benne preneuse, on prévoit la réalisation d'un voile d'étanchéité par injection de coulis de ciment pour parer aux percolations d'eau à travers cette zone.

Le voile formé par les injections, en plus du rôle d'étanchéité, permet d'augmenter les caractéristiques mécaniques de la zone altérée et créer une continuité entre le mur paroi moulée, la zone altérée et la roche saine.

VI.1.1. L'épaisseur du voile d'injection

L'épaisseur du voile d'injection dépend de la nature du terrain, de charge maximale et de gradient hydraulique

Pour la couche altérée en conformité avec la nature du terrain (zone altérée) le gradient maximum admissible est égale à : $I_{adm} = 1,00$ conformément au tableau suivant :

Sol de fondation	Classe de l'ouvrage hydrotechnique			
	I H>100m	II 75m<H<100m	III 50m<H<75m	IV H<50m
Argile compactée	1,5	1,5	1,8	1,95
Limon	1,05	1,15	1,25	1,35
Sable moyen	0,7	0,8	0,9	1,00
Limon sableux	0,51	0,65	0,75	0,85
Sable fin	0,45	0,55	0,65	0,75

Dans le cas du voile prévu pour le barrage inféro-flux de Djanet :

-La charge maximale est égale à : $H_{max} = 31,6$ m

-Le gradient hydraulique s'exerçant sur le voile est donné par la relation suivante :

$$I_{max} = \Delta \frac{H_{max}}{T} < I_{adm} \dots \dots \dots (VI.1)$$

Cette relation permet de donner l'épaisseur minimale du voile.

$$T = \frac{H_{max}}{I_{max}} = \frac{31,6}{1} = 31.6 \text{ m}$$

VI.1.2. Nombre des trous d'injection et leurs profondeurs

La distance entre les trous d'injection sera déterminée in situ après essais d'injection. Pratiquement elle est comprise entre 3,5 et 4 m. Pour notre barrage on fixe la distance entre les trous à 4m.

La réalisation des injections se fera à partir des forages primaires puis secondaires et puis tertiaires d'ou :

- On réalise les forages primaires distants de 24 m l'un de l'autre.
- Entre deux forages primaires on réalise deux autres secondaires distants de 8m l'un de l'autre.
- Entre deux forages secondaires, juste au milieu, on réalise le forage tertiaire

Au tableau ci-dessous on résume les profondeurs totales pour les différents forages et par chaque zone traversée (on prévoit, reste à confirmer in situ, des forages complémentaires (= 10% du total des forages) et d'autres supplémentaires (= 10% du total des forages)

Tableau VI.1 : Récapitulatif des différentes profondeurs des forages dans différentes zones

Désignation	Profondeurs					
	Primaires (m)	Secondaires (m)	Tertiaires (m)	Complémentaires(m) (≈10%Total)	Supplémentaires(m) (≈10%Total)	Total (m)
- Paroi moulée	236,67	439,63	657,26	134	134	1601,56
- Zone altérée	195,96	372,56	546,53	112	112	1339,05
- Zone saine	12,00	5,00	7,50	03	03	30,50
Total (m)	444,63	817,19	1211,29	249	249	2971,11

Le nombre ainsi que les profondeurs des forages primaires (Cn), secondaires (Sn) et tertiaires (Tn) sont donnés dans les tableaux en annexes (annexe VI.1)

VI.1.3. Longueur du voile d'injection

L'injection sera effectuée à partir de la même plateforme de travail que la paroi moulée dans le sol au niveau supérieur des murettes guides à la côte 1000 m. La longueur totale du voile d'injection au niveau du site est de 2474 m.

Au niveau de la rive droite une plateforme suivant le profil en long sera exécuter pour les

travaux d'injections, la longueur totale du voile sur la rive droite est de 2500 m

VI.1.4. Le débit infiltré à travers le voile d'injection

La profondeur maximale du voile d'injection $S_{vi} \approx 32,4$ m.

Le débit spécifique d'infiltration est donné par la relation suivante :

$$q = k_0 \times j \times T \dots\dots\dots (VI.2)$$

avec :

k_0 : Coefficient de perméabilité du voile, $k_0 = 10^{-7}$ m/s

S_{vi} : épaisseur de la couche injectée en m, prise égale $S_{vi} \approx 32,4$ m.

j : gradient hydraulique donné par la relation suivante :

Δ : Coefficient dépendant de la largeur « B » et de la profondeur du voile d'injection « S_{vi} »

$$j = \Delta \frac{H_{max}}{T} \dots\dots\dots (VI.3)$$

Tableau VI.2 : Valeurs de Δ en fonction de la profondeur du voile d'injection selon la norme SNIP (in Mihoubi, 2014)

$\frac{B}{S_{vi}} < 1$	$0,75 < \Delta \leq 0,85$
$\frac{B}{S_{vi}} = (1-2)$	$0,70 < \Delta \leq 0,75$
$\frac{B}{S_{vi}} > 2$	$0,60 < \Delta \leq 0,70$

$$j = 0,75 * \frac{64}{32} = 0,75$$

D'où : $q = 10^{-7} \times 0,75 \times 32 = 24,77 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}.$

VI.1.4 Composition du coulis d'injection

Ciment : le ciment qui sera utilisé pour la confection des coulis d'injection doit avoir un nombre de Blaine (finesse de mouture ou surface spécifique) supérieur à 3000 cm^3/g . mais on peut utiliser d'autre ciment, par exemple un ciment à sulfate des hauts fourneaux résistants aux eaux agressives.

Bentonite : elle est utilisée pour la confection de la boue de forage lors des travaux d'excavation, pour améliorer les caractéristiques d'étanchéité du béton plastique et d'augmenter la fluidité du coulis d'injection.

Valeurs caractéristiques du coulis d'injection :

- Ciment 400 kg/m³.
- Bentonite (20 -40) kg/m³.
- Eau (820 -850) l/m³.

VI.2. Seuil déversant

Pour créer une recharge supplémentaire de la nappe, on prévoit la réalisation le long de l'axe du barrage un seuil déversant. En effet ce dernier joue un rôle d'une section de contrôle, et il permet à court terme de ralentir la crue, en conséquence donner la possibilité à l'eau de s'infiltrer encore plus dans la nappe et à long terme, une fois rempli d'apports solides (en général des alluvions), et créer une nouvelle réserve d'eau supplémentaire.

VI.2.1. Calcul hydraulique du seuil

Par le calcul hydraulique, on détermine la hauteur de la lame d'eau au-dessus du seuil déversant, en conséquence la côte du niveau d'eau dans la cuvette, au passage d'une crue centennale ($Q_{1\%}=555.52 \text{ m}^3/\text{s}$)

La formule générale des déversoirs donnant le débit déversé en fonction de la charge sur le seuil est la suivante : (Kermenski et Schterenliht, 1984)

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (VI.4)$$

Avec : Q : Débit évacué en m³/s ; m : Coefficient de débit ;

b : Largeur du seuil en m ; g : Accélération de la pesanteur m/s²

H : Charge sur le seuil en m.

En considérant que le seuil déversant est continu avec une longueur totale de 283, 4 m et un coefficient de débit de 0,46 (seuil de type Creager), la hauteur de la lame déversante sera égale à : $H=0,97 \text{ m} \cong 1\text{m}$. La côte du niveau des plus hautes eaux sera donc égale à 1000,1 m

VI.2.2. Profil d'un déversoir

Le profil du seuil déversant est de type Creager en béton armé d'une hauteur de 1.5 m et d'une longueur totale de 283,4 m, l'avantage de ce contour est qu'en chaque point de son

parement aval la pression est égale à la pression atmosphérique, donc il évite toute surpression qui provoque des risques de décollement.

La figure suivante montre les différents paramètres du profil normal du déversoir.

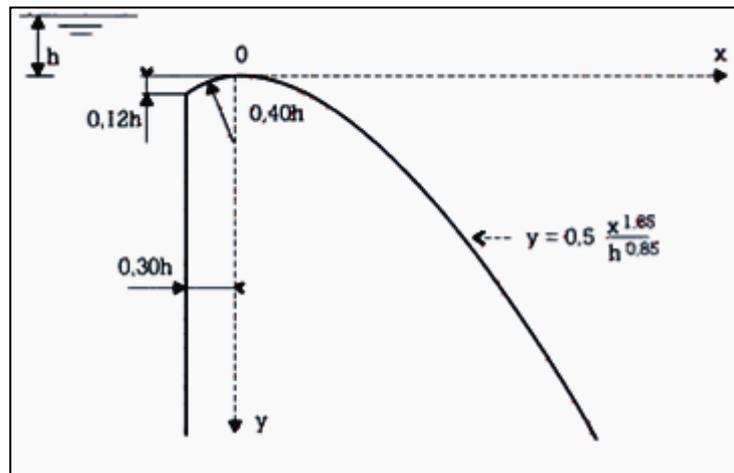


Figure VI.1 : Paramètres du profil d'un déversoir

On a:
$$\left\{ \begin{array}{l} a = 0.12 \times H = 0.12 \times 1 = 0,12 \text{ m} \\ b = 0.40 \times H = 0.4 \times 1 = 0,4 \text{ m} \\ c = 0.3 \times H = 0,3 \text{ m} \end{array} \right.$$

Les coordonnées du profil du déversoir sont déterminées à l'aide de l'équation suivante:

$$\frac{y}{H} = \left(\frac{x}{H} \right)^{1,85} \dots\dots\dots$$

(VI.5)

Selon les coordonnées calculées du déversoir et de la lame extérieure, on trace le profil

Tableau VI.3: Coordonnées du profil de déversoir type Creager

x	y
0,00	0,000
0,10	0,007
0,20	0,025
0,30	0,054
0,40	0,092
0,50	0,139
0,60	0,194

0,70	0,258
------	-------

VI.2.3. Calcul de stabilité du seuil

L'étude de stabilité est fondamentale dans la mesure où elle doit aboutir, pour l'essentiel à la définition de la géométrie des ouvrages. Le calcul sera effectué pour une largeur de 1 m linéaire.

VI.2.3.1. Vérification au glissement

La stabilité au glissement par rapport à une surface critique se définit par un rapport entre la somme des forces verticales et la sommes des forces horizontales, pour que le seuil soit stable au glissement il faut que la relation suivante soit vérifiée :

$$K_s = \frac{(f \cdot N + CF)}{T} \geq K_{adm} \dots\dots\dots (VI.7)$$

avec :

K_s : Coefficient de sécurité au glissement

K_{adm} : Coefficient de sécurité au glissement admissible ($K_{adm} = 1,1$)

N : Somme des forces verticales en t ;

T : Somme des forces horizontales en t ;

$f = \text{tg}(\varphi)$: Coefficient de frottement interne ($\varphi = 41,5^\circ$)

C : Cohésion en t/m² ($C = 1 \text{ t/m}^2$)

$F = b \cdot 1 \text{ m}$ (section de la base) où b est la largeur à la base en m ($b = 0,70 \text{ m}$)

Forces verticales

Comme forces verticales on prend en compte que le poids propre du seuil (sans compter la masse d'eau sur le seuil), il est donné par l'égalité suivante :

$$P_{pc} = \gamma_b \cdot S_{pc} \cdot L \dots\dots\dots (VI.8)$$

Avec : P_{pc} : poids propre du corps du seuil (tf)

γ_b : poids volumique de béton égale à $[2,5 \text{ tf/m}^3]$

S_{pc} : aire du profil de déversoir (m^2)

Ce qui donne : $N = P_{pc} = 9.2 \text{ t/m}$

Forces horizontales

Comme forces horizontales on prend en compte la poussée hydrostatique de l'eau sur le seuil et la poussée du sol au niveau de l'ancrage

- Poussée hydrostatique à l'amont :

Il est donné par la formule suivante :

$$P_h = 0.5 \gamma_w H^2 \dots\dots\dots (VI.9)$$

avec : P_h : poussée hydrostatique à l'amont (tf)

γ_w : poids volumique de l'eau (1 tf/m^3)

H : la hauteur d'eau donc on trouve : ce qui donne : $P_h = 9.4 \text{ tf}$

- Poussée des sédiments :

Il est donné par l'égalité suivante :

$$P_s' = \gamma_{s.s} \frac{h_s^2}{2} t g^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \dots\dots\dots (VI.10)$$

avec : P_s' : poussée des sédiments (tf)

$\gamma_{s.s}$: poids volumique des sédiments (tf/m^3) [$\gamma_{s.s} = 1.6 \text{ tf/m}^3$]

h_s : hauteur du sol exerçant la poussée, [$h_s = 0.5 \text{ m}$]

donc on trouve: $P_s' = 1.6 \frac{0.6^2}{2} t g^2(45^\circ - \frac{41.5}{2})$; ce qui donne : $P_s' = 0.063 \text{ tf}$

$K_s = 1,32 > 1,1$

Le seuil est donc stable au glissement

VI.2.3.2. Vérification au renversement

Pour que le seuil soit stable au renversement il faut que la relation suivante soit vérifiée :

$$K_s = \frac{\sum M^+}{\sum M^-} \geq K_{adm} = 1,5 \dots \dots \dots (VI.11)$$

Où :

K_s : Coefficient de sécurité au renversement

K_{adm} : Coefficient de sécurité au renversement admissible

$\sum M^+$: Somme des moments des forces stabilisatrices.

$\sum M^-$: Somme des moments des forces déstabilisatrices.

Le calcul de la stabilité ce fait autour du point d'arrêt aval qui est le point le plus défavorable dans le cas ou la côte du plan d'eau égale à la hauteur du seuil régulateur.

$$\sum M^+ = P_{pc} \cdot L = 15,6 \text{ tm/m}$$

$$\sum M^- = P_{eau} \cdot L_{eau} + P_s' \cdot L_s = 7.87 \text{ tm/m}$$

$$K_s = 1.98 > 1,5$$

La stabilité du seuil au renversement est donc assurée.

VI.2.3.3. calcul de résistance du barrage

La vérification se fera pour la section où les contraintes sont maximales, c.à.d. à la base du seuil. La relation suivante doit être vérifiée :

$$(\sigma_y)^{am,av} \leq [R_c]_{adm} \dots \dots \dots (VI.12)$$

où :

$[R_c]_{adm}$: la résistance à la compression admissible du béton ($\sigma_b = 0,6 f_{c28}$; béton dosé à 350 Kg ciment, où $f_{c28} = 20 \text{ MPa}$)

L'expression d'une flexion composée nous donne les contraintes :

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sum F}{B} \pm \frac{6 \sum M/o}{B^2} \dots \dots \dots (VI.13)$$

$(\sigma_y)^{am,av}$: contraintes calculées en une section donnée (tf/m^2)

B : largeur à la base (m)

M/o : moment par rapport au point le plus défavorable (tf.m)

$$\sigma_1 = 7.23 \text{ t/m}^2 \quad ; \quad \sigma_2 = -3.56 \text{ T/m}^2$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 = 7,23 \text{ t/m}^2 = 72,3 * 10^{-3} \text{ MPa} < [\text{Rc}]_{\text{adm}} = 12 \text{ MPa}$$

VI.3. Prise d'eau

Comme élément intégrant dans l'aménagement hydraulique, les prises d'eau occupent une place de grande importance. Pour une réserve d'eau souterraine, l'approvisionnement en eau par forage est incontestablement la solution la plus avantageuse.

VI.3.2. Exécution

VI.3.2.1. plan de tubage

Le programme de travail est conditionné par le plan de tubage et il nous devons tenir compte, dès le départ, des dimensions de l'ouvrage terminé et de celles de son tubage définitif constitué par plusieurs colonnes télescopiques.

- **Estimation du débit**

Le réservoir est considéré comme un aquifère a nappe libre. On peut estimer le débit de forage, à condition que nous ayons pu définir le rayon du cône de dépression provoqué par un premier pompage d'essai (au moyen de piézomètres). (Mabillot, 1995)

$$Q = \frac{\pi.P.(H^2-h^2)}{2,3.\log\frac{R}{r}} \dots\dots\dots \text{(VI.14)}$$

D'où :

Q : débit constant escompté [l/mn] ;

P : coefficient de perméabilité du terrain aquifère [l/mn/m²] ;

H : épaisseur de la couche aquifère (entre le niveau statique et le mur de la couche)[m];

h : hauteur de la colonne d'eau dans le forage, pendant le pompage [m] ;

R : rayon du cercle de bas de cône de dépression [m] ;

r : demi-diamètre intérieur de tubage [m] ;

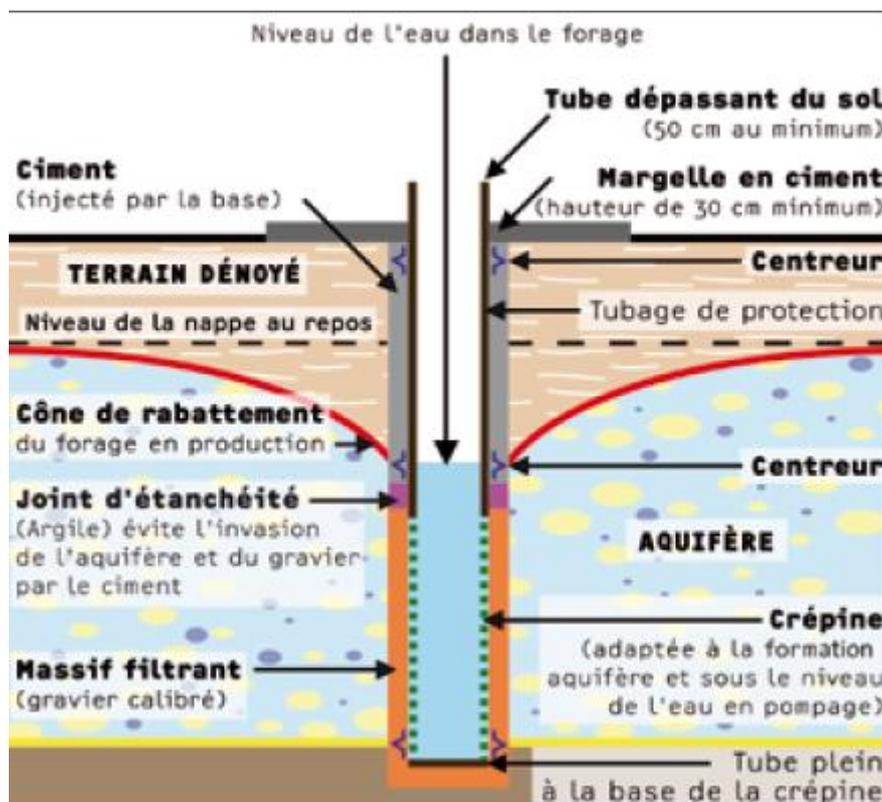


Figure VI.1 : Forage en nappe libre (in EGEE développement & BRGM 2003)

La valeur du débit Q qu'elles permettent d'obtenir servira à définir les caractéristiques des tubes et des crépines.

- **Le choix des diamètres des tubages**

Le choix du diamètre d'une colonne est souvent conditionné par l'encombrement de la pompe, et celui-ci est fonction du débit.

Il est recommandé de laisser un pouce de jeu entre pompe et tubage. Le diamètre intérieur sera donc environ 5cm plus grand que le diamètre extérieur de la pompe. Compte tenu des dimensions des groupes électropompes à moteur immergé, couramment utilisés en forage d'eau, nous avons dressé le tableau suivant qui permet de choisir les diamètres intérieurs d'après les débits prévus (Mabillot, 1995)

Tableau VI.4 : Diamètres des tubages en fonction des débits

diamètres intérieurs minima des tubages (pouce)	Débits maxima prévus (m ³ /heure)
4''	3
6''	50
8''	140
10''	250

Le diamètre extérieur sera fonction des contraintes mécaniques, tel qu'une colonne peut être exposée aux:

- Efforts de traction.
- Efforts d'écrasement (pression extérieure centripète).
- Efforts d'éclatement (pression intérieure centrifuge).
- Efforts de flambage et de flexion.

VI.3.2.2. Profondeur total du forage

On a l'intérêt à pousser le forage jusqu'au mur de la couche aquifère la plus basse, pour mettre ainsi toute la couche en production.

Donc on prend la profondeur total $H=31.6m$.

VI.3.2.3. La crépine

Une crépine est l'élément principal de l'équipement d'un forage d'eau, c'est une pièce de précision et son usinage doit permettre d'obtenir des ouvertures calibrées au dixième de millimètre.

- **Longueur et position des crépines**

La longueur varie selon la pression de l'eau dans la nappe et selon la nature et la granulométrie du terrain.

Pour une nappe libre en terrain hétérogène (notre cas), on aura intérêt à mettre surtout en production la couche la plus perméable, on va crépinée toute la couche grossière et environ la moitié de la couche de sable fin, avec des ouvertures différentes.

- **Ouverture des crépines**

On conçoit que la productivité d'un ouvrage varie selon la perméabilité du terrain qui l'entoure immédiatement. La zone la plus importante est celle qui est directement en contact avec la crépine. C'est celle où la vitesse d'écoulement de l'eau dans le terrain est la plus grande.

Nous verrons augmenter la perméabilité du terrain en contact avec la crépine. Pour cela, on cherche à retirer de cette zone les éléments trop fins qui s'y trouvent, soit en les faisant tomber dans l'ouvrage d'où ils seront extraits, soit en les refoulant plus loin dans la formation.

Pour que cette double action soit possible, il faut que les fentes de la crépine aient une ouverture dimensionnée de telle sorte qu'elles ne laissent passer que les grains trop fins indésirables. Le choix des grains à éliminer ne peut se faire que par l'analyse granulométrique.

La dimension de l'ouverture est donnée par le diamètre correspondant à 40 ou 50% de la courbe granulométrique

VI.3.2.4. Gravier additionnel

Le gravier additionnel a un rôle d'un stabilisateur de la formation. Le massif de gravier servira à tenir le terrain et à éviter sa désagrégation pendant le développement et la production, il a une épaisseur utile entre 3''= 75 mm et 8''=200 mm. Le matériau doit être propre, bien lavé. Il doit être rond ou angles arrondis.

Conclusion

En conclusion on peut dire que l'étanchéité de barrage est assurée grâce au voile d'injection (d'étanchement) mis en place quant à la prise d'eau, elle s'exécutera par un forage d'eau qui se situe à l'amont du site. Ce dernier doit être protégé contre les crues agressives de l'oued.

Chapitre VII

Organisation de chantier

Introduction

L'exécution d'un chantier de construction se traduit par la mise en œuvre d'un ensemble d'activités réparties dans le temps. La réalisation de ces activités entraîne la mise à disposition de ressources matérielles, humaines et financières, la finalité étant de réaliser entièrement un ouvrage bien déterminé dans des conditions bien définies de délai, de coûts et de qualité.

L'élaboration correcte et la mise en place d'un schéma d'organisation sont d'une nécessité vitale pour l'exécution convenable d'un chantier. Le schéma d'organisation permet la planification rationnelle et objective des ressources humaines, matérielles et financières de l'entreprise.

VII.1. Travaux d'exécution

Les différentes phases d'exécution du barrage souterrain seront comme suit:

Phase 1. Travaux préliminaires ;

Phase 2. Travaux d'exécution du mur paroi moulée dans le sol ;

Phase 3. Travaux d'exécution du voile d'injection au niveau du site ;

Phase 4. Travaux d'exécution du voile d'injection au niveau de la rive droite ;

Phase 5. Travaux d'exécution de prise d'eau ;

Ces tâches sont précédées d'une installation adéquate du chantier.

VII.1.1. Travaux préliminaires

Avant la réalisation du mur paroi moulée, il est nécessaire de réaliser certains travaux, dits travaux préliminaires, et qui comprennent notamment :

- Le décapage superficiel sur une largeur de 25m au niveau de l'axe du barrage, pour la mise en place de la plate-forme de travail.

Ces travaux seront réalisés à l'aide d'un bulldozer et les déblais seront mis en décharge.

- Excavation de la fouille des murettes guides à l'aide d'une pelle hydraulique à position inverse.

Les excavations de la fouille des murettes guides doivent atteindre la côte 997.20 m, le substratum sain pour la partie extrême gauche et les grès pour la partie extrême droite.

- Réalisations des murettes guides qui servent à guider la benne preneuse de l'engin excavateur, à protéger les parties supérieures de la crête du barrage et comme assise aux vérins hydrauliques durant l'arrachage des tubes joints. Elles sont réalisées en béton armé
- Fabrications et mise en place des panneaux préfabriqués de piste destinés à assurer un bon nivellement et joueront le rôle de la plate-forme de travail pour grue portant la benne preneuse évitant ainsi l'enfoncement des chenilles de la grue vue la présence de boue durant les travaux.

Ces panneaux sont en béton armé de dimensions de 1m x 3m x 0.30m

VII.1.2. Travaux d'exécution du mur paroi moulée

Le mur souterrain du barrage inféro-flux d'EFRI est constitué d'une partie centrale en paroi moulée d'une longueur totale de 260 m, et de deux parties extrêmes (rives gauche et droite) en béton ordinaire d'une longueur totale de 23.44 m.

Les travaux à réaliser dans cette phase sont :

- Excavation de la tranchée
- Bétonnage

VII.1.2.1. Excavation de la tranchée

L'excavation des parties extrêmes, sur une profondeur moyenne de 4 m (atteindre le substratum altéré), sera réalisée à l'aide d'une pelle hydraulique.

L'excavation de la partie centrale, sur une profondeur maximale de 32 m (Couche alluviale), se fera à l'aide d'une benne preneuse portée sur câble ou guidée par une barre rigide appelée " Kelly " : Benne et Kelly sont montés sur une grue particulièrement puissante et stable.

L'excavation de la partie centrale se fera par panneaux primaires et secondaires de longueur respective de 7 m et 6 m. Les tranchées ainsi réalisées sont constamment remplies d'une boue de bentonite pour stabiliser les parois.

VII.1.2.2. Bétonnage

Le bétonnage des parties extrêmes se fera par la méthode traditionnelle, par versement de béton dans la tranchée. Le béton est dosé à 350 Kg de ciment/m³.

Pour la partie centrale, un béton de paroi moulée est mis en place par le procédé du tube plongeur.

En effet, le béton arrive au fond de la tranchée par un tube de bétonnage et remonte lentement, chassant la boue. (Cette dernière sera récupérée et pompée vers un bassin de décantation où elle sera purifiée, puis réutilisée pour les travaux d'excavation d'autres panneaux). L'extrémité du tube doit toujours rester profondément enfoncée dans le béton de sorte qu'il n'y est pas d'inclusion de boue à l'intérieur du mur.

L'opération de bétonnage ne peut être interrompue, elle doit être faite en une seule opération. Avant le bétonnage, l'entrepreneur doit :

- Faire un bon nettoyage du fond du panneau excavé et le contrôle de densité de la boue ;
- Avoir une grande productivité des installations à béton, pour réaliser l'opération de bétonnage dans le plus bref délai (la durée de bétonnage d'un panneau ne doit pas excéder 6 heures).

VII.1.2.3 Joints

Pour assurer une bonne étanchéité entre les panneaux primaires et secondaires on prévoit l'utilisation des tube-joints qui seront retirés dès que le béton a fait prise.

Les tubes joints, d'un diamètre de 60 cm, doivent être descendus jusqu'au fond du panneau.

VII.1.3. Travaux d'exécution du voile d'injection

La réalisation d'un voile étanche entre le mur paroi moulée et le socle sain (dans la zone altérée), nécessite deux opérations essentielles, à savoir : le forage des trous d'injections et les injections de coulis (ciment + bentonite). Les travaux de forages et d'injection seront effectués trois mois après la mise en place du béton du mur paroi moulée.

VII.1.3.1. Forage des trous d'injection

Pour la réalisation du voile, on prévoit un forage total de 67 trous d'injection (13 primaires, 22 secondaires et 32 tertiaires).

Pour la réalisation du voile au niveau de la rive gauche de la cuvette on prévoit un forage total de 468 trous d'injection (234 primaires et 234 secondaires)

Au niveau du site rive gauche les forages des trous primaires s'arrêtent à 2 m de profondeur dans la roche saine, par contre les autres forages à 0,5 m seulement, ou la roche saine est constitué de grano-diorite de précambrien, Tandis que sur la rive droite du site ou la roche est constitué des grés de cambro-ordovicien fissuré, tous les forages s'arrêteront a une profondeur égale au niveau statique dans la couche alluviales.

Le forage des trous d'injection peut se faire soit par rotation pour tous les forages soit par roto percussion pour les forages secondaires, tertiaires et quaternaires si cela s'avère nécessaires.

Tous les forages primaires seront carottés et forés par rotation à l'aide de sondeuses. Les carottes prélevées serviront à contrôler l'état et la qualité du béton plastique mis en place, l'état de fissuration et la nature de la zone altérée.

La zone altérée traversée par les forages primaires doit faire l'objet d'essai d'eau du type Lugeons afin de déterminer les caractéristiques de perméabilité de la zone avant le début des travaux d'injection. Tous les forages primaires doivent ensuite être injectés.

Les forages carottés seront exécutés en diamètre de 96 mm.

Les autres trous d'injection seront exécutés en diamètre de 76 mm.

Tous les forages sont verticaux, néanmoins on peut prévoir, s'il s'avère nécessaire, un ou deux forages inclinés dans le massif rocheux au niveau des rives.

VII.1.3.2. Injection du coulis

Les injections se feront par la méthode ascendante. On fore le trou jusqu'à sa profondeur finale et on commence l'injection par le bas.

L'injection se fera par tranche de 3 à 5 m de longueur. L'isolement de la tranche à injectée se fera à l'aide d'obturateur gonflable à eau ou à air.

Les pressions d'injection seront progressivement croissantes jusqu'à l'obtention de la pression de refus.

VII.1.4. Travaux d'exécution de prise d'eau

La prise d'eau est un forage de profondeur de 20m, la réalisation se fait au début par un sondage foré, précédés par un essai de pompage pour estimer le débit de forage, en suite on réalise le tubage et l'installation de crépine et la pompe immergé.

VII.2. Approvisionnement du chantier en matériaux

Ciment : Le ciment peut être acheminé soit en vrac et stocké dans des silos où en sac de 50 kg et stocké dans un hangar.

Eau : L'eau de gâchage peut être obtenue à partir d'un puits réalisé dans l'oued

Agrégats à béton : Le sable entrant dans la composition du béton peut être extrait directement des alluvions de l'oued après purification et tamisage.

Le gravier peut être obtenu à partir d'une station de concassage installée sur le chantier ou acheminé d'une station de concassage la plus proche.

Bentonite : La bentonite est acheminée par sac de 50 kg à partir de l'usine de Maghnia

Electricité : Le chantier sera raccordé à la ligne électrique la plus proche du site en installant si nécessaire des stations abaissatrices ou élévatrices. L'énergie électrique peut être obtenue par l'utilisation d'un groupe électro-générateur. L'énergie est nécessaire pour l'alimentation des moteurs électriques de la centrale à béton et des malaxeurs de boue de forage et du coulis d'injection.

Acier à béton : Le chantier sera approvisionné en acier à béton de 12 mm de diamètre en tige de 12 m de longueur et en rouleaux pour l'acier d'assemblage de 6 mm de diamètre.

VII.3. Auscultation technique du barrage souterrain

L'auscultation consistera à l'emplacement à l'aval et à l'amont du barrage des piézomètres pour suivre les variations du niveau d'eau, dans le but de se renseigner sur l'état d'étanchéité du mur paroi moulée et de la zone injectée.

VII.4. Installation du chantier

Afin de mener à terme les travaux d'exécution de l'aménagement projeté, il est nécessaire d'avoir sur le chantier les installations suivantes :

- Un hangar de stockage des matériaux d'exécution livré en sac (ciment) ;
- Un bassin d'eau situé à un point dominant tout le chantier pour qu'il puisse alimenter toutes les autres installations en gravitaire ;
- Un bassin équipé d'un malaxeur à haute turbulence pour la confection de la boue entrant dans la composition du béton plastique ;
- Une centrale à béton avec au minimum trois compartiment séparé par des murs de cloison, le 1^{er} compartiment pour le sable, le 2^{eme} compartiment pour la fraction de

gravier 3/8 et le 3^{ème} compartiment pour la fraction de gravier 8/15. la centrale doit être munie d'un dragline servant à rapprocher les différents agrégats de l'entrée des doseurs.

- Un bassin muni d'un malaxeur pour la confection de la boue de forage ;
- Un atelier de réparation.
- Une aire pour la confection des panneaux de piste.

Ces installations sont nécessaires pour la réalisation du mur paroi moulée.

Pour les travaux d'injection, il est nécessaire d'avoir sur site une plate-forme aménagée pour le matériel d'injection suivant :

- Un malaxeur à haute turbulence ;
- Un malaxeur de reprise ;
- Une presse d'injection ;
- Un bac à eau ;
- Une pompe d'eau ;
- Une aire de stockage du ciment et de la bentonite.

VII.5. Planification

C'est une méthode dont dispose le cadre pour rendre son travail efficace, elle consiste en :

- Installation des postes de travail ;
- Observations instantanées ;
- Analyse des tâches ;
- Le chronométrage ;
- Définition des objectifs et des attributions ;
- Simplification des méthodes ;
- Stabilisation des postes de travail.

La technique de planification utilisée dans notre projet est la méthode basée sur le réseau, le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes, et la durée de réalisation.

On a ainsi utilisée le réseau à nœuds, l'opération est représentée par des nœuds et la succession des opérations par des flèches.

Ce réseau indique que  l'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

VII.5.1. Construction du réseau

Pour construire un réseau il convient d'effectuer les six (6) opérations suivantes :

- Etablissement d'une liste des taches
- Détermination des taches antérieures
- Construction des graphes partiels ;

- Regroupement des graphes partiels ;
- Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage ;
- Construction du réseau.

Il existe plusieurs méthodes basées sur le réseau, il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M (méthode du chemin critique).

VII.5.2. Les paramètres de la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

- TR : temps de réalisation ;
- DCP : date de commencement au plus tôt ;
- DCPP : date de commencement au plus tard ;
- DFP : date de finition au plus tôt ;
- DFPP : date de finition au plus tard ;
- MT : marge totale.

Où :

$$\begin{cases} DFP = DCP + TR \\ DCPP = DFPP - TR \end{cases}$$

VII.5.3. Chemin critique (C.C)

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTP) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).

Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$C.C \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR_{CC} = DTP \end{cases}$$

VII.5.4. Symboles des différentes opérations

Ces symboles sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau VII.1 : symboles des opérations

Symboles	Opérations	Durée (jours)
A	Installation de chantier	45
B	Décapage	30
C	Excavation, fouille de murettes guides	10
D	Réalisation de murettes guides	20
E	Excavation de la tranchée	90
F	Bétonnage	120
G	Forages et injections	60
H	Prise d'eau	30
I	terrassement du repère superficiel	20
J	Bétonnage du seuil	60
K	Travaux de finitions	30

Le réseau à nœuds de l'organigramme des opérations est représenté ci-après.

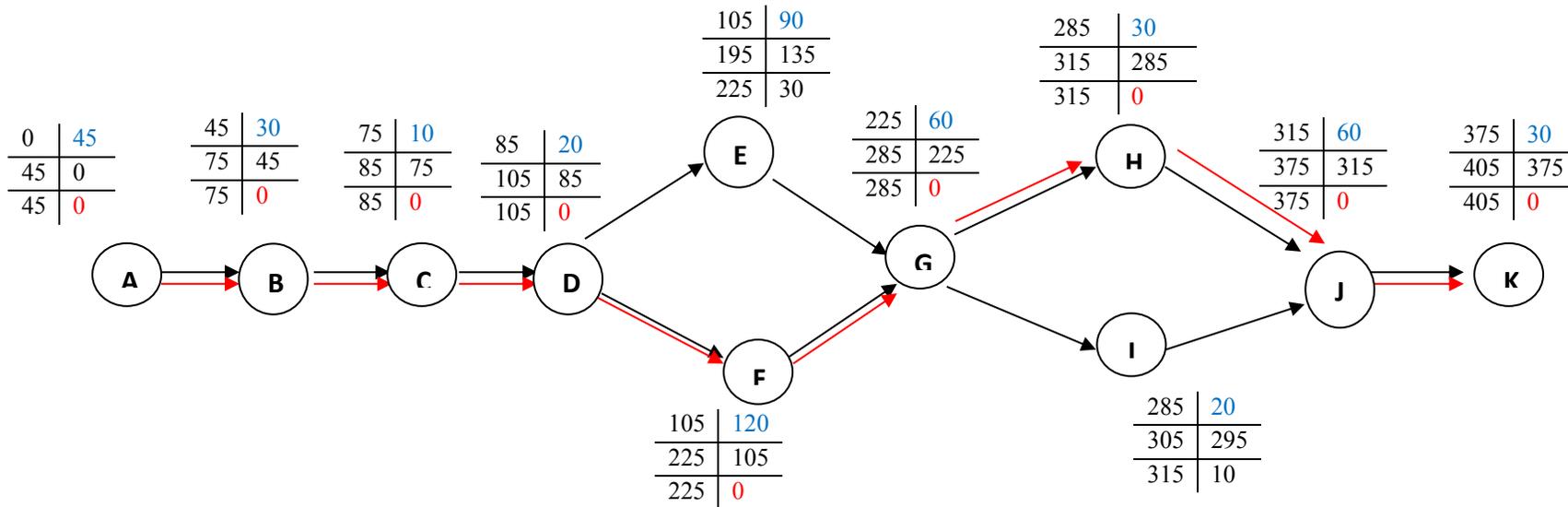


Figure VII.1: réseau de différentes opérations

VII.5.5. Détermination du chemin critique

Le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0), est donné par le chemin suivant:



$$DTR = \sum TR = 45 + 10 + 20 + 90 + 70 + 10 + 20 + 30 + 20 = 405 \text{ jours.}$$

Tableau VII.2: Programme des travaux pour la réalisation du barrage EFERI (Diagramme de GANTT)

OPÉRATIONS	TEMPS DE RÉALISATION (En Jours)														Observations
	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	
Installation de chantier	45														
Décapage		30													
Excavation, fouille de murettes guidées			10												
Réalisation de murettes guides			20												
Excavation de la tranchée				90											
Bétonnage				120											
Forages et injections								60							
Prise d'eau									30						
Terrassement du repère superficiel									20						
Bétonnage de seuil										60					
Travaux de finitions												30			

VII.6. Devis estimatif

Le devis estimatif est déterminé en fonction de la quantité des travaux et, des matériaux utilisés pour la réalisation du projet, notre étude concernant L'établissement du devis se basera essentiellement sur les prix actualisés adopter pour différentes quantité d'excavation, de remblais, de ferrailage, de coffrage et de bétonnage. (en TTC)

Tableau VII.3 : devis estimatif

1. INSTALLATION DE CHANTIER

N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (DA)	PRIX TOTAL (DA)
1	Installation de chantier		01	1 0 000 000	10 000 000
TOTAL (DA)					10 000 000

2. TRAVAUX PRELIMINAIRES

N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (DA)	PRIX TOTAL (DA)
2. 1	Décapage superficiel profondeur de 0 à 1,5 m	m ²	7 000	750	5 250 000
2. 2	Excavation de la fouille, terrain meuble	m ³	380	1000	380 000
2. 3	Excavation des parties extrêmes	m ³	60	3000	180 000
2.	Fourniture et mise en place du béton dosé à 350kg/m ³ dans les parties extrêmes	m ³	60	20 000	1 200 000

2. 5	Exécution et mise en place d'un panneau de piste de 3,0 m x 1,0 m de 0,30 m d'épaisseur, cela comprend: a) Béton dosé à 250 Kg/m ³ b) Acier à béton de (8 à 12) mm de diamètre c) Travaux de coffrage	U	2370	60 000	142 200 000
2. 6	Exécution d'un double mètre de murette guide comprenant: a) Béton dosé à 250 Kg/m ³ b) Acier à béton de (8 à 12) mm de diamètre c) Travaux de coffrage	m ³	230	15 000	3 450 000
TOTAL (DA)					152 660 000

3. PAROI MOULEE

N°	DESIGNATION	UNITE	Q-TE	P, U (DA)	PRIX TOTAL (DA)
3.1	Excavation sous la suspension de boue de forage d'un mètre carré de tranchée de 70 cm d'épaisseur de profondeur inférieure à 30 m à l'aide d'une benne preneuse.	m ²	5486	15 000	82 290 000
3.2	Décapage de la couche superficielle de béton du mur paroi - moulée sur une profondeur de 0.60 m	m ³	120	1 500	180 000
3.3	Bétonnage de la zone excavée avec un béton dosé à 350 kg/m ³	m ³	120	20 000	2 400 000
3.4	Fourniture et mise en place du béton plastique dans la tranchée (remplissage de la paroi)	m ³	3840	20 000	76 800 000
3.5	Excavation de la zone altérée	m ³	60	8 000	480 000
TOTAL (DA)					162 150 000

4. VOILE D'INJECTION

N°	DESIGNATION	UNITE	Q-TE	P,U (DA)	PRIX TOTAL (DA)
4.1	Travaux d'injection au niveau du site	m ²	4661	25 000	116 525 000
4.2	Travaux d'injection au niveau de la rive droite	m ²	45 000	25 000	1 125 000 000
TOTAL (DA)					1 241 525 000
TOTAL GENERAL EN (DA)					1 556 335 000

Le coût du barrage s'élève à un Milliard cinq cent cinquante-six million trois cent trente-cinq mille dinars (1 556 335 000 DA)

Conclusion

Cette organisation de chantier nous permettra de mener à bien la réalisation de notre projet d'inféroflux, en mettant en œuvre les moyens nécessaire et dans les meilleures conditions

Le respect de cette organisation est indispensable, quant au devis estimatif, il nous permet d'avoir une longueur d'avance sur les couts qu'on peut relatifs à la réalisation du barrage qui durera un peu plus d'une année

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude conçoit la faisabilité et les conditions pratiques d'exécution d'un barrage inféroflux à EFRI à l'endroit du site N°2, et les variantes d'ouvrage retenues s'appuient sur les données structurales d'ordre géologiques et hydrogéologiques, obtenues par les reconnaissances géotechniques au droit du meilleur site.

Le barrage souterrain projeté, destiné à régulariser à l'intérieure de la cuvette, le débit d'exhaure proche de 2 l/s, sera complètement enterré : il sera réalisé depuis la surface du sol, par la technique des parois moulées. Le mur aura une épaisseur de 0,70 m et une longueur totale de 283.7 m environ et sera dressé en travers de l'Oued en remplacement des alluvions à perméabilité moyenne sur une profondeur de 31,6 m.

A la base, un voile d'injection de la partie rocheuse perméable sera opéré, et permettra d'étancher les fissures plus ou moins ouvertes de l'aquifère granitique, l'imperméabilisation sera ainsi continue entre les alluvions et le socle altéré, jusqu'à l'horizon sain permettant ainsi d'emmagasiner un volume estimé à 8 millions de mètre cube.

Compte tenu des conditions topographiques du site de l'aménagement, l'exploitation ne peut se faire que par puits et forages à l'amont, préférentiellement aux endroits les plus transmissifs. Une exploitation rationnelle car il faut impérativement préserver cette ressource qui est un patrimoine commun, et cela sera possible que lorsque chacun aura vraiment pris conscience, à tous les niveaux, des enjeux et, notamment, de la fragilité de ce capital et de la portée des conséquences des actions quotidiennes de tous à son égard. La préservation des ressources en eau est l'affaire de tous. Il convient de changer à la fois les mentalités et les comportements, collectifs et individuels. C'est la condition d'un développement durable, soutenable et largement partagé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDOUN.F (2002) - *Etude de la dynamique spatio-temporelle des populations de Cupressus dupersiana A. Canus au Tassili n'Ajjer*. Thèse de Doctorat, Université de droit, d'Economie et des Sciences d'Aix- Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques de Saint- Jérôme, Marseille, 171 p.

BOUAFIA. A. (1996) *Mécanique des sols appliquées –Problèmes résolus-*, tome 1, Alger.

BOUAFIA. A. (2009) *Calcul pratique des fondations et des soutènements*, Office des publications universitaires (OPU), Alger.

BOUAFIA. A. (2011) *Introduction à la géotechnique, Tome 2*, Office des publications universitaires (OPU), Alger.

COSTET. J. (1983) *Cours pratique de mécanique des sols 2 : Calcul des ouvrages*, édition Dunod, Paris.

DUBIEF.J. (1957) *Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara*, ANRH, Alger.

Dubief. J, 1999 -*L'Ajjer Sahara central*, Ed. Karthala, Paris, 709 p.

EGEE développement& BRGM (2003) *Le forage géotechnique de qualité en région centre*

FENLON.J.M. (1964) *Etude géologique des séries primaires du Sahara central*, Centre national de la recherche scientifique.

Kilian. C (1925) - *Au Hoggar, Mission de 1922*, Paris, 190p.

LABORDE.J.P. (2000) *Eléments d'hydrologie de surface*, Université de Nice - Sophia Antipolis

MABILLOT.A (1995) *Le forage d'eau*, édition JOHSON FILTRATION SYSTEMS.

MAURICE LELUBRE. (1961) *Géologie de l'AHAGGAR*

MIHOUBI M.K, (1999). *Guide de dimensionnement d'un barrage déversoir (cas d'une fondation non rocheuse)*, édition Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Blida.

MIHOUBI. M.K et HASSANE M. (2000). *Guide de calculs pratiques des infiltrations sous les ouvrages hydrotechniques (cas sol de fondation non rocheux)*.Édition Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Blida.

MIHOUBI M.K. (2014): *Manuel des barrages en béton*, édition ENSH, Blida

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DU JAPON(2004) :*Projet expérimental de lutte contre la désertification*-Technologie du barrage souterrain de Nare

O.P.N.T., (2006) *Parc national du Tassili*.Ed.Off. Par. Nati. Tass., 8p.

STUCKY-ENHYD. (2004) *Etude de trois barrages inféro flux s à Ezerzé, Tazrouk et Ihelfen dans la wilaya de Tamanrasset, Mission II – Etude de Faisabilité Phase 4 - Etude Hydrologique Site de Djanet.*

STUCKY-ENHYD. (2011) *Etude d'un barrage inféroflux à Djanet (W. Illizi)*

TOUAÏBIA B. (2004) *Manuel pratique d'hydrologie*, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), Blida.

ANNEXES

Annexe II.1 : Valeurs des résistivités mesurées au niveau des sondages électriques

AB/2	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	F1	F2	F3	G1	G2	H1	H2
5	143	528	614	344	528	452	263	184	234	414	528	723	336	328	731	580	321	431	468	565	321	558	270	621	437
7	136	490	586	348	445	573	260	203	256	422	475	821	369	407	829	595	339	468	482	520	333	543	277	529	362
10	149	435	573	395	466	575	298	264	311	373	466	808	404	528	847	606	342	499	431	486	341	459	264	389	280
15	154	352	401	437	317	510	315	265	352	282	513	914	457	703	912	580	387	513	317	411	344	297	317	213	234
20	191	213	332	498	190	374	285	281	301	288	555	940	476	708	915	506	406	503	232	317	313	303	280	198	156
30	205	165	374	600	149	192	244	226	243	330	495	1168	385	550	742	302	365	359	201	282	256	203	223	141	112
40	203	148	401	657	134	132	222	232	257	317	643	1088	267	495	371	248	298	248	181	211	142	163	135	118	69
50	218	172	438	706	125	128	218	295	319	334	1088	1243	249	429	218	187	218	201	114	172	101	105	90	87	51
70	245	202	465	757	145	123	296	312	329	480	1531	1531	230	470	184	86	124	93	59	126	56	62	43	64	40
100	295	257	481	818	89	46	316	326	376	616	1566	1651	228	473	162	63	66	72	45	87	49	47	41	55	41

AB/2	I1	I2	J1	J2	K1	K2	L1	L2	M1	M2	N1	N2	N3	N4	O1	O2	O3	O4	O5	P1	P2	P3	P4	P5	P6
5	1583	437	1206	839	716	708	923	927	1040	818	219	686	414	357	1507	256	437	330	237	275	234	236	139	388	560
7	1334	603	1221	829	791	769	965	874	829	889	249	580	470	402	2159	219	422	352	265	171	324	240	148	444	637
10	1368	790	1243	784	793	746	870	849	699	901	264	637	560	476	2078	218	420	366	295	233	322	301	174	544	674
15	824	731	1150	746	573	457	600	629	487	774	387	703	668	528	2230	274	468	368	352	324	328	309	204	723	831
20	485	411	940	377	404	328	377	498	336	484	439	626	626	626	2543	258	423	326	360	319	309	326	278	757	1049
30	406	302	401	211	248	221	285	336	279	215	346	522	467	498	2995	395	376	276	299	423	374	474	238	1024	1262
40	456	312	293	207	211	211	336	352	284	202	267	351	323	414	2869	454	317	243	258	490	372	520	286	1177	1418
50	475	343	311	266	226	243	387	353	336	222	199	202	227	302	2900	463	225	175	237	507	444	574	345	1320	1652
70	470	366	326	271	260	260	454	355	417	242	111	87	129	179	2878	568	150	118	142	588	510	632	424	1632	1708
100	486	385	347	299	475	285	573	370	495	268	76	63	82	97	2961	614	98	83	91	610	587	689	490	1726	183

Annexe IV.2 : Caractéristiques techniques des forages de Djanet

N°	Situation	Date de Réalisation	Usage	Profondeur m	Débit l/s	Débit Extrait m3/an
1	IN ABARBAR		AEI	38	15	275940
2	TISRAS	1991	AEI	400	36	662256
3	IN ABARBAR	1987	AEI	20	10	183960
4	AZELOUAZ	1987	AEI	46	15	275940
5	AZELOUAZ	1987	AEI	30	15	275940
6	AZELOUAZ	1996	AEI	140	12	220752
7	TADJENTOURT	1987	AEI	130	8	147168
8	TADJENTOURT	1994	AEI	350	26	478296
9	PALMERAIE.Z.4	1988	AEP	20	12	378432
10	PALMERAIE.Z.2	1988	AEP	19	14	441504
11	TEGHARGHART	1994	AEI	350	40	735840
12	TEGHARGHART	1996	AEI	400	46	846216
13	TEGHARGHART	1992	AEI	300	20	367920
14	TEGHARGHART		AEI	314	33	607068

Annexe IV.1 Liste des points d'eaux, leurs profondeurs, leurs niveaux statiques et la caractéristique des ouvrages d'exploitation

Secteur	N°	Nom de propriétaire	Coordonnées UTM Clarke		altitude (Z) (m)	Profondeur eau sous le sol (m)	Niveau piézométrique	Date de Mesure	Débits (l/s)	Débits (m3/h)	Débits (m3/j)	Débits (m3/an)	Usages	Jours de pompage	Etat ouvrage
			X	Y											
IN ABARABAR	P1	Benadine Ahmed	545927	2718162	1045	9,85	1035,15	25/01/2011	2,00	7,20	10,80	3942,00	IRRI	1,50	
	P2	Dahoucheick	545886	2718198	1045	ND= 9,33		°	1,50	5,40	10,80	3942,00	IRRI	2,00	
	P3	Chefaoui	545884	2718242	1046	8,60	1037,40	°	2,00	7,20	21,60	7884,00	IRRI	3,00	
	P4	ayoub	546017	2718098	1047			°							Fermé
	P5	AdoudiAramoum	545936	2717996	1043	ND=8,60		°	2,00	7,20	21,60	7884,00	IRRI	3,00	
	P6	Zitounitaleb	545948	2717919	1041	7,40	1033,60	°	2,00	7,20	28,80	10512,00	IRRI	4,00	
	P7	Beryli	545990	2717825	1047	7,13	1039,87	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P8	Dahouhamou	546062	2718312	1044	8,90	1035,10	°	1,50	5,40	10,80	3942,00	IRRI	2,00	
	P9	KhelaouiRahmoune	546907	2719005	1045	ND=15,62		°	0,50	1,80	3,60	1314,00	IRRI	2,00	
	P10	Amrani	546926	2718331	1045	13,00	1032,00	°	0,50	1,80	3,60	1314,00	IRRI	2,00	
	P11	Bouarari Ahmed	546391	2717258	1040	7,31	1032,69	°	1,00	3,60	5,40	1971,00	IRRI	1,50	
	P12	Puits communal	546437	2717183	1042	ND=7,60		°	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	
	P13	Bouarari Mohamed	546524	2717141	1040	6,89	1033,11	°	2,00	7,20	36,00	13140,00	IRRI	5,00	
PZ16	DHW	546819	2718586	1043			27/01/2011								
AZLAOUZE	P14	Benomar Mahdi	546777	2717337	1043	7,22	1035,78	25/01/2011	2,00	7,20	28,80	10512,00	IRRI	4,00	
	P15	Boucheik	547084	2717222	1042	8,10	1033,90	°	1,50	5,40	27,00	9855,00	IRRI	5,00	
	P16	BarkakaneAhamed	547185	2717101	1042	7,56	1034,44	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P17	Ghemzerabdou	547290	2717167	1043	9,84	1033,16	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P18	Bousmha	547175	2717243	1041	7,82	1033,18	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P19	Meloudibrahim	547024	2717298	1042	7,83	1034,17	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P20	Benomar Mohamed	547134	2717345	1048	9,73	1038,27	°	1,50	5,40	18,90	6898,50	IRRI	3,50	
	P21	Benadin Fatma	547204	2717383	1048	8,35	1039,65	°	1,50	5,40	21,60	7884,00	IRRI	4,00	
	P22	DahouKaddour	547230	2717301	1043	8,03	1034,97	°	2,00	7,20	21,60	7884,00	IRRI	3,00	
	P23	Benomar Lamine	546943	2717230	1041	7,82	1033,18	°	2,00	7,20	28,80	10512,00	IRRI	4,00	
	P24	Elies zoura	548712	2716493	1048	9,5	1038,5	26/01/2011	1,50	5,40	27,00	9855,00	IRRI	5,00	
	P25	Kouma	548709	2716592	1042	7,06	1034,94	°	1,00	3,60	16,20	5913,00	IRRI	4,50	
	P26	Koussa	548711	2716593	1049	8,72	1040,28	°	1,50	5,40	27,00	9855,00	IRRI	5,00	
	P27	Elies	545990	2717825	1048	ND=8,18		°	1,50	5,40	10,80	3942,00	IRRI	2,00	
	P28	Meloudi fatma	545884	2718243	1046			°	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	inaccessible
	P29	Koussatalleb	549886	2705617	1045	6,65	1038,35	°	1,50	5,40	21,60	7884,00	IRRI	4,00	
	P30	Elies bella	545969	2717814	1046	7,13	1038,87	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P31	Djandam Mohamed	548711	2716593	1040			°							l'arrêt
	P32	Ibba Mohamed	548712	2716593	1053	6,92	1046,08	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P33	Zakiabdou	548712	2716594	1046	7,47	1038,53	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P34	Hassani aicha	548712	2716594	1047	5,21	1041,79	°	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	P35	TagaboAhamed	548487	2716269	1034	6,63	1027,37	°	1,50	5,40	21,60	7884,00	IRRI	4,00	
	P36	Issaoui	545990	2717825	1047	8,45	1038,55	°	1,50	5,40	13,50	4927,50	IRRI	2,50	
	P37	Bouchiri	548740	2716267	1049			°	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	inaccessible
	P38	Isakouakfi Mohamed	548500	2716365	1027	9,66	1017,34	°	1,50	5,40	18,90	6898,50	IRRI	3,50	
	P39	Elies Rahma	584443	2716458	1036	8,9	1027,1	°	1,50	5,40	13,50	4927,50	IRRI	2,50	
	P40	Ibba mabrouk	548403	2716493	1036	8,73	1027,27	28/01/2011	1,50	5,40	21,60	7884,00	IRRI	4,00	
	P41	Mouhamadiabdarman	548387	2717595	1046	6,18	1039,82	°	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	
P42	Miloudi fatma Bentabdellah	548213	2716587	1039	7,87	1031,13	°	1,50	5,40	13,50	4927,50	IRRI	2,50		
P43	Barkakanemohamed	548174	2716495	1048	6,52	1041,48	°	2,00	7,20	21,60	7884,00	IRRI	3,00		

Secteur	N°	Nom de propriétaire	Coordonnées UTM Clarke		altitude (Z)	Profondeur eau (m)	Niveau piézométrique	Date de Mesure	Débits (l/s)	Débits (m3/h)	Débits (m3/j)	Débits (m3/an)	Usages	Jours de pompage	Etat ouvrage	
			X	Y												
Tindjadad	P44	Hamadihiba	548488	2715148	1038	7,66	1030,34	28/01/2011	1,50	5,40	5,40	1971,00	IRRI	1,00		
	P45	Abdaouihama	548472	2715123	1038	7,42	1030,58	''	2,00	7,20	10,80	3942,00	IRRI	1,50		
	P46	Adamiakhamouk	548527	271547	1032	5,5	1026,5	''	1,50	5,40	5,40	1971,00	IRRI	1,00		
	P47	Chali ali hadj mouloud	548561	2715268	1034	8,14	1025,86	''	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00		
	P48	Moukhtaryaouitani	548628	2714883	1030	7,2	1022,8	''	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00		
	P49	Hassani cheick	548552	2714958	1035	8,18	1026,82	''	0,50	1,80	4,50	1642,50	IRRI	2,50		
	P50	Zamaki baraka	548537	2714813	1039	7,96	1031,04	''	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00		
	P51	Hassani cheick	548552	2714958	1031	8,16	1022,84	''	1,50	5,40	10,80	3942,00	IRRI	2,00		
	P52	Hassani mabark	548495	2715024	1035	5,93	1029,07	''	1,00	3,60	5,40	1971,00	IRRI	1,50		
	P53	Yousfi mabark	548586	2715027	1034	6,53	1027,47	''	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00		
	P54	Haidarsalah	548608	2715250	1036	6,92	1029,08	''	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00		
AZLAOUZE	P55	Chali ali moussa	547431	2716544	1045	7,1	1037,9	''	1,50	5,40	8,10	2956,50	IRRI	1,50		
	P56	Elies Hocéne	547523	2716529	1039	6,4	1032,6	29/01/2011	1,50	5,40	5,40	1971,00	IRRI	1,00		
	P57	GamazirAhamed	547586	2716496	1043	6,79	1036,21	''	1,50	5,40	10,80	3942,00	IRRI	2,00		
	P58	Barakan Ahmed	547675	2716449	1039	7,45	1031,55	''	1,50	5,40	10,80	3942,00	IRRI	2,00		
	P59	Belhadj aiche	547746	2716402	1045	ND=10,24		''	1,00	3,60	9,00	3285,00	IRRI	2,50		
	P60	Périmètre d'irrigation	547985	2716389	1038			''							ne fonctionne pas	
	P61	Adamiaghali	548018	2716317	1032	5,66	1026,34	''	1,50	5,40	5,40	1971,00	IRRI	1,00		
	P62	Aziziazouz	548119	2716329	1036	6,13	1029,87	''	1,50	5,40	5,40	1971,00	IRRI	1,00		
	P63	Badyafboudjamaa	548166	2716272	1035	6,13	1028,87	''	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00		
	P64	Gassou mouloud	548092	2716299	1035	5,41	1029,59	''	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00		
	P65	Elies mouloud	548041	2716255	1041	6,88	1034,12	''	1,50	5,40	21,60	7884,00	IRRI	4,00		
	P66	Elies khadija	548181	2716268	1036	6,76	1029,24	''	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00		
	P67	Ibbamouhamed	548166	2716077	1033			''			0,00			IRRI		inaccessible
EL MIHAN	P68	Ougacem Aghali	548892	2715615	1040	7,14	1032,86	30/01/2011	0,50	1,80	3,60	1314,00	IRRI	2,00		
	P69	Ougacem Mohamed	548740	2715654	1034	7,72	1026,28	''	1,00	3,60	9,00	3285,00	IRRI	2,50		
	P70	Abdadaoui Tahar	548800	2715420	1033	7,62	1025,38	''	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00		
	P71	Ougacem Ahm	548867	2715451	1036	5,70	1030,3	''	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00		
	P72	Abdouali sidi	548772	275385	1030	7,18	1022,82	''	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00		
	P73	Abdoualiomar	548832	2715277	1041	7,23	1033,77	''	0,50	1,80	4,50	1642,50	IRRI	2,50		
	P74	Elaafia Ahmed	548789	2715264	1036	7,34	1028,66	''	1,00	3,60	12,60	4599,00	IRRI	3,50		
	P75	KiramAghali	548834	27152232	1033	7,07	1025,93	''	0,50	1,80	7,20	2628,00	IRRI	4,00		
	P76	Abdadaoui Brahim	548793	2715160	1035	6,87	1028,13	''	0,50	1,80	7,20	2628,00	IRRI	4,00		
	P77	Ougacem baba	548809	2715126	1034	7,15	1026,85	''	0,50	1,80	5,40	1971,00	IRRI	3,00		
	P78	Hassani Aghali	548862	2715196	1029	7,40	1021,6	''	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00		
	P79	Abdoul	548899	2715120	1030	6,40	1023,6	''	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00		
	P80	Boukraouaalhassan	548859	2715061	1030	7,27	1022,73	''	0,50	1,80	7,20	2628,00	IRRI	4,00		
	P81	AbdoualiKhadija	548787	2715063	1037			''			0,00				ne fonctionne pas	
	P82	AbdoualiKhadija	548805	2715045	1026	7,00	1019,00	''	0,50	1,80	7,20	2628,00	IRRI	4,00		
	P83	Matali Brahim	548820	2715004	1030	8,34	1021,66	''	0,50	1,80	5,40	1971,00	IRRI	3,00		
	P84	Abdouali Mohamed	548856	2714959	1032			''	1,00	3,60	0,00	0,00		IRRI		inaccessible
	P85	Abddouiteine	548794	2714948	1033	6,77	1026,23	''	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00		
	P86	Ogace Ahmed Benali	548961	2714775	1034	ND=9,15		''	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00		
	P87	Ayoub Kandjeur	548879	2714683	1030			''	1,00	3,60	0,00	0,00		IRRI		inaccessible
	P88	Belankassidiahmed	548695	2714727	1029			''	1,00	3,60	0,00	0,00		IRRI		inaccessible
P89	Belankassidiahmed	548670	2714737	1029	7,71	1021,29	''	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00			
P90	Boukraoua Bachir	5488944	2714628	1030	5,00	1025,00	''	0,50	1,80	5,40	1971,00	IRRI	3,00			
P91	Matali Brahim mabarka	548587	2714767	1034			''						IRRI		inaccessible	

Secteur	N°	Nom de propriétaire	Coordonnées UTM Clarke		altitude (Z)	Profondeur eau (m)	Niveau piézométrique	Date de Mesure	Débits (l/s)	Débits (m3/h)	Débits (m3/j)	Débits (m3/an)	Usages	Jours de pompage	Etat ouvrage
			X	Y											
Adjahil	P138	Abdou alitahar ben hamada	549607	2712911	1034	ND= 11,50		31/01/2011	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P139	Kassomohamed ben hama	548974	2713160	1030	9,93	1020,07	“	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P140	Fakhi Hama	549001	2713141	1028	10,40	1017,60	“	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	
	P141	Amarrani Hama	548966	2713287	1020	ND=8,70		“	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	
	P142	Kakhi moussa	548769	2713279	1023	ND=10,92		“	1,00	3,60	14,40	5256,00	IRRI	4,00	
	P143	Abdou aliaissa ben hamada	548839	2713122	1026	ND=11,53		“	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	
	P144	Bensalhi Mohamed	548891	2712971	1024	9,32	1014,68	“	1,00	3,60	10,80	3942,00	IRRI	3,00	
	P145	Hassir	548765	2713418	1027	10,75	1016,25	“	1,00	3,60	9,00	3285,00	IRRI	2,50	
	P146	Abdou alihama	548698	2713519	1028	ND= 10,75		“	0,50	1,80	3,60	1314,00	IRRI	2,00	
	P147	Youcfielyas	548948	2713895	1032	8,21	1023,79	“	1,00	3,60	5,40	1971,00	IRRI	1,50	
	P148	Fassour Tata	548819	2713850	1027	7,60	1019,40	“	1,00	3,60	5,40	1971,00	IRRI	1,50	
	P149	AdodjaLahssin	548861	2713925	1033	9,65	1023,35	“	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P150	Ibbaibahim	548813	2714014	1033	12,00	1021,00	“	1,00	3,60	9,00	3285,00	IRRI	2,50	
	P151	Ibbaibahim	548925	2714044	1033	7,90	1025,10	“	0,50	1,80	3,60	1314,00	IRRI	2,00	
	S1		548811	2712878	1030			“	0,20	0,72	17,28	6307,20	IRRI	24,00	
S2	DahmaniMourthar	548865	2712782	1030			“	0,20	0,72	17,28	6307,20	IRRI	24,00		
S3	Machaourichifa	548900	2712717	1024			“	0,20	0,72	17,28	6307,20	IRRI	24,00		
TIN KHATMA	P152	Sankani Daoud	548858	2714106	1033	9,36	1023,64	“	1,00	3,60	5,40	1971,00	IRRI	1,50	
	P153	Elias Halima	548874	2714150	1028	8,70	1019,30	“	1,00	3,60	5,40	1971,00	IRRI	1,50	
	P154	KassoucheickTimalin	548826	2714222	1038	8,92	1029,08	“	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P155	SamakiAissa	548926	2714238	1032	8,34	1023,66	“	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P156	NadjmiNadjem	548972	2714178	1033	8,50	1024,50	“	1,00	3,60	9,00	3285,00	IRRI	2,50	
	P157	Mataliahmed	548927	2715839	1027	8,10	1018,90	“	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P158	Mahach Mohamed	548725	2716135	1037	7,64	1029,36	“	1,00	3,60	7,20	2628,00	IRRI	2,00	
	P159	Elies barhim	548574	2716090	1034	9,50	1024,50	“	1,00	3,60	3,60	1314,00	IRRI	1,00	
	P160	Mareouri Tahar	548651	2716001	1034	7,72	1026,28	“	1,50	5,40	5,40	1971,00	IRRI	1,00	
AZALOUZ A	P161	Elies Tahar	547790	2716861	1042	5,50	1036,50	01/02/2011	1,50	5,40	16,20	5913,00	IRRI	3,00	
	FA3		547491	2716590	1040			28/01/2011					A,E,P		
	FA4		5477680	2716496	1034			28/01/2011					A,E,P		

Annexe III - 1 : Série des pluies journalières maximales

Année	P_{JMAX}
1972	3,8
1973	1,7
1974	2,8
1975	3,0
1976	6,5
1977	8,1
1978	6,6
1979	14,8
1980	4,8
1981	6,7
1982	5,3
1983	2,5
1984	1,8
1985	2,0
1986	2,9
1987	0,1
1988	20,6
1989	5,1
1990	1,9
1991	7,2
1992	6,7
1993	0,4
1994	9,0
1995	17,0
1996	10,0
1997	8,0
1998	0,6
1999	31,0
2000	10,0
2001	2,0
2002	4,0
2003	1,0
2004	0,0
2005	21,0
2006	5,0
2007	5,0
2008	1,0
2009	20,7
2010	6,0
2011	4,0
2012	7,0