

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

**LABORATOIRE DE RECHERCHE GEOMATERIAUX,
ENVIRONNEMENT & AMENAGEMENT (L.G.E.A)**



En vue d'obtention du diplôme Master 2 en Génie civil

OPTION : Géotechnique et Environnement

THEME

**INJECTION D'UN COULIS DE CIMENT DANS
LES FONDATIONS D'UN BARRAGE EN TERRE
BARRAGE DE SOUK TLATA**

Présenté par:

AIT MIMOUNE Lynda

Proposé et encadré par :

M.r GABI Smail

Promotion : 2016/2017

Remerciements

Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à M. GABI (mon promoteur) pour avoir contribué à l'élaboration de ce présent mémoire.

Je remercie également tous mes professeurs. Aussi, je me permets d'exprimer tout mon Respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.

*A toute la promotion géotechnique et environnement
2016/2017*

Dédicaces

- ✓ *A mes chers parents*
- ✓ *A mon cher époux et mes chers enfants*
- ✓ *A mes chers frères sœurs et neveux*
- ✓ *A ma grande mère FATIMA*
- ✓ *A la mémoire de mes grands-parents*
- ✓ *A toute ma famille et ma belle famille*
- ✓ *A tous mes amis (es)*

Je dédie ce travail

Lynda.

Introduction Générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur l'injection des sols

Introduction 4

1. Généralités sur l'injection des sols 5

1.1. Historique 5

1.2. Définition de l'injection 6

1.3. Domaines d'applications 7

2. Les différents types d'injection 8

2.1. L'injection de comblement..... 8

2.1.1. Composition des coulis d'injection 9

2.1.2. Les différentes Phases de réalisation 9

2.1.3. Le voile d'étanchéité de barrage..... 10

2.1.3.1. Etanchement de massifs rocheux par injection..... 10

2.1.3.2. Moyen mis en œuvre 10

2.1.3.3. Coupe type..... 10

2.2. L'injection solide ou de compactage 11

2.2.1. Moyen mis en œuvre 12

2.2.2. Plot d'essai..... 12

2.2.3. Le phasage 13

2.2.4. L'injection de consolidation 14

2.2.5. Moyens mis en œuvre..... 15

2.2.6. Phasage des travaux..... 15

2.3. Injection de masses rocheuses 16

2.3.1. Les masses rocheuses saines fissurées 17

2.3.2. Le modèle FES pour masses rocheuses 18

3. Présentation des coulis et de la méthode GIN 19

3.1. Généralités sur les coulis 19

3.1.1. Les coulis de ciment 20

3.1.1.1. Le rôle de l'eau 21

3.2. La méthode GIN (Grout Intensity Number).....	22
Conclusion.....	25

Chapitre II : Etude Hydrologique, Géologique et Géotechnique

Introduction	26
1. Etude Hydrologique.....	27
1.1. Localisation du Barrage Souk Tlata:	27
1.2. Définition de l'Hydrologie	28
1.3. Bilan Hydrique d'une retenue	28
1.4. Le bassin versant	29
1.5. Caractéristiques hydrologiques du bassin versant.....	29
1.5.1. Indice de compacité de Gravelius	30
1.5.2. Le rectangle équivalent.....	31
1.6. Paramètres du relief.....	32
1.6.1. Courbe hypsométrique.....	32
1.7. Caractéristiques hydrographiques.....	35
1.8. Calcul de la précipitation moyenne sur le bassin versant.....	37
1.8.1. La moyenne arithmétique	39
1.8.2. La méthode des polygones de THIESSEN.....	40
1.8.3. La Méthode des isohyètes.....	41
2. Étude Géologique	43
2.1. Géologie de la région.....	43
2.2. Géologie du site	45
2.2.1. Stratigraphie	45
2.2.2. Description des lithofaciès.....	45
2.2.3. Tectonique	48
2.2.4. Altération.....	49
2.2.5. Perméabilité, conditions hydrogéologiques.....	49
2.2.6. Essais d'eau Lugeon et Lefranc :.....	49
2.3. Géologie du réservoir	52

2.4. Sismicité de la région :	52
3. Étude Géotechnique.....	54
3.1. Les essais d'identification	55
3.2. Les essais mécaniques	55
3.3. Résultats expérimentaux des essais en laboratoire et in situ	55
3.3.1. Compagne de reconnaissance.....	55
3.3.2. Résultats des essais en laboratoire et in situ	58
3.3.3. Type de barrage	62
3.3.4. Étude géotechnique des matériaux de construction	64
3.3.5. Description géotechnique des matériaux de constructions.....	68
3.3.6. Résultats des essais au laboratoire.....	73
3.3.7. Propositions pour l'utilisation des matériaux.....	76
3.3.8. Essais complémentaires	79
Conclusion.....	80

Chapitre III : Les essais d'injection

Introduction	81
1. Les essais d'injection.....	82
1.1. La consolidation	82
1.2. L'étanchement	82
1.3. Le scellement.....	82
1.4. Le remplissage.....	82
1.5. La compensation.....	83
2. Les écrans étanches	85
3. Essais Lugeon et Lefranc.....	86
3.1. Essai Lugeon	86
3.1.1. Applications de l'essai.....	87
3.1.2. Avantage de l'essai.....	87
3.2. Essai Lefranc	88
3.2.1. Applications de l'essai.....	88

Tables des matières

3.2.2. Avantage de l'essai.....	88
3.2.3. Pompage et mesures	89
4. Essais d'injection dans les fondations du barrage Souk Tlata.....	90
4.1. Généralités	90
4.2. Analyse des résultats des essais.....	93
4.2.1. Le plot I	96
4.2.2. Le plot II.....	96
4.2.3. Les résultats	98
Conclusion.....	99
Conclusion Générale	100
Références bibliographiques.	

Liste des tableaux

CHAPITRE 1

Tableau 3 1 : Exemples d'un coulis stable unique utilisé pour un certains nombre de barrages et de tunnels	21
--	----

CHAPITRE 2

Tableau 2 1 : variation de l'indice de pente global	34
Tableau 2 2 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)	35
Tableau 2 3 : Précipitations moyennes des stations pluviométriques	38
Tableau 2 5 : Précipitation moyennes par la méthode de Thiessen.	41
Tableau 2 6 : Précipitation moyennes par la méthode des isohyetes	42
Tableau II 3 4 Essais de reconnaissance (Forages)	56
Tableau II 3 4 2 3 : Densité relative des Alluvions de l'Oued Bougdoura d'après le S.P.T	61
Tableau II 3 4 4 Forages de reconnaissance pour la recherche des matériaux de construction.....	65

CHAPITRE 3

Tableau 4 1 : Caractéristiques d'injéctabilité des lithofaciès	94
Tableau 4 2 : Absorption des lithofaciès caractéristiques pendant le déroulement des travaux	97

CHAPITRE 1

Figure 2 1 image représentant un atelier de forage et pompes d'injection.....	8
Figure 2 2 Image représentant un atelier de forage et pompes d'injection	9
Figure 2 3 : Etanchement d'un massif rocheux par injection	11
Figure 2 4 : Zone d'étanchement des fondations d'un barrage en terre	11
Figure 2 5 : Centrale de pilotage et d'enregistrement	12
Figure 2 6 : Essai au cône d'Abrams	13
Figure 2 7 : Phases d'injection d'un mortier sous fortes pressions.....	13
Figure 2 8 Consolidation des murs bajoyers d'une écluse.....	14
Figure 2 9 : Atelier de forage et centrale d'injection.....	15
Figure 2 10 : Maillage type des forages sur une pile de pont	16
Figure 2 11 Rapport entre le RQD et le facteur de déformabilité de la masse. ...	17
Figure 2 12 : Exemple de relation contrainte déformation pour une masse rocheuse fissurée, sèche, chargée perpendiculairement aux discontinuités	18
Figure 3 1 :Champs d'injection des produits d'injection.....	20
Figure 3 2 : Définition du rapport eau sur ciment (E/C) en poids.	20
Figure 3 3 : Les limites de la procédure d'injection	23

CHAPITRE 2

Figure 1 1 Plan de situation du site du barrage de Souk Tlata.....	27
Figure 1 2 : 2Schématisation du bilan hydrique d'une retenue	29
Figure 1 3 Rectangle équivalent	32
Figure 1 4 Courbe hypsométrique	33
Figure 2 1 Coupe géologique « rive droite ».....	44
Figure 2 2 Coupe géologique « rive droite ».....	44
Figure 2 3 Coupe géologique rive gauche	45

Liste des figures

Figure 2 4 Coupes lithostratigraphiques du grès burdigalien	48
Figure 2 5 Diagramme de distribution des fréquences relatives	50
Figure 2 6 Interprétation schématique des principaux linéaments affectant la Grande Kabylie	53
Figure 2 7 Carte de zonage sismique du territoire algérien	54
Figure 3 1 Diagramme granulométrique des Poudingues Pliocènes	59
Figure 3 2 Diagramme granulométrique des grès burdigaliens	60
Figure 3 3 Diagramme granulométrique alluvions récente de l'Oued- Bougdoura	61
Figure 3 4 Essais de reconnaissance (Etude des matériaux de construction)	66
Figure 3 5 Abaque de plasticité des argiles colluviales	69
Figure 3 6 Diagramme granulométrique des argiles colluviales	69
Figure 3 7 Diagramme granulométrique des poudingues pliocènes.	72

CHAPITRE 3

Figure 1 1 : Ateliers de forage 1	84
Figure 1 2 : Atelier de forage 2	84
Figure 2 1 : Creusement d'un écran étanche avec une benne à câble.	86

Introduction Générale

Les barrages souvent appelés « pyramides utiles » font partie des plus grands ouvrages réalisés par l'homme. Depuis des milliers d'années, l'homme s'en sert pour l'utilisation de l'eau et la protection contre l'eau.

Les besoins en eau d'irrigation en Algérie comme chez d'autres pays du monde augmentent avec la population, l'urbanisation et les prévisions de modifications climatiques.

Constituer des réserves d'eau à l'aide de barrage est donc important. Il en est de même pour la production d'électricité dont les besoins augmentent ainsi que la volonté de production d'énergie dite propre, durable ou renouvelable. Les évolutions climatiques font aussi anticiper les risques en ce qui concerne la protection des personnes et des biens, il est donc nécessaire de maîtriser les digues et les lever dans ce but. Les ouvrages hydrauliques sont essentiels et déjà nombreux, beaucoup sont érigés en terre et remblai.

Dans son dernier rapport, Oxford Business Group (OBG) estime que «les efforts déployés par l'Algérie pour améliorer sa sécurité hydrique vont franchir une étape importante dans les deux ans et demi à venir avec la mise en service d'une série de nouveaux barrages». OBG se réfère notamment aux 75 barrages que compte le pays, d'une capacité totale de 6,5 milliards de mètres cubes. Ces ouvrages seront renforcés par 9 autres en cours de réalisation qui seraient prêts d'ici 2019. Il rappelle aussi dans le même contexte «les 80 sites supplémentaires recensés pour la réalisation de nouveaux barrages, et 30 d'entre eux ont fait l'objet d'études de faisabilité».

Introduction Générale

Le gouvernement entend alors faire passer à 139 le nombre total de barrages en Algérie d'ici 2030, et ce faisant, atteindre une capacité de stockage de près de 12 milliards de mètres cubes sur l'ensemble du pays.

Un deuxième grand ouvrage hydraulique se profile à l'horizon du développement local de la wilaya de Tizi Ouzou il s'agit du barrage Souk Tlata qui va être édifié sur l'oued Bouguedoura à 18 Km de Draa Ben Khedda sur une superficie de 472 hectares, après un arrêt de 03 ans les travaux du barrage ont repris, le challenge donc est de rattraper le retard enregistré.

Le barrage Souk Tlata compte parmi les grands barrages en Algérie, il est d'une capacité de 98 millions de m³, il est constitué d'une digue en terre de 95 m de hauteur et de 135 m de longueur en crête, les talus amont et aval ont une pente de 3/2 et le couronnement présente une largeur de 5,50 m.

La fonction d'un barrage est de constituer une réserve d'eau, il est donc évident que ces ouvrages doivent être et demeurer étanches. L'apparition de fuites dans un barrage peut avoir des conséquences néfastes à plusieurs titres : augmentation des pressions interstitielles et détérioration des conditions de stabilité, érosion interne pouvant aboutir à la rupture. D'autre part, compte tenu des besoins croissants en eau et en énergie de nos sociétés, il devient indispensable de pouvoir faire fonctionner les barrages au maximum de leur capacité. Tout cela conduit à prendre conscience de l'importance du traitement des fuites de tels ouvrages.

De nombreuses techniques existent aujourd'hui : elles sont choisies en fonction de nombreux paramètres liés à l'ouvrage lui-même, mais aussi à la géologie du site et à la géométrie des vides à traiter.

Le substratum rocheux de tous les barrages nécessite un traitement d'étanchéité afin d'éviter la percolation de l'eau sous la superstructure. Ce traitement est réalisé par injection de coulis sous pression, dans des forages à mailles resserrées. Ce type d'injection permet le comblement d'une cavité au-dessous d'une infrastructure existante ou projetée, afin de garantir la portance du sol de fondation et de son étanchéité.

Les problèmes d'étanchéité dans les ouvrages de remblais (digues de canaux et de barrages réservoir, terre-plein d'écluses ...) conduisent fréquemment les services exploitants à envisager ou à réaliser des travaux d'injection. Pour cela, il leur est utile de disposer de références ou de préconisations.

La présente étude traitera justement d'éventuels travaux d'injection d'un coulis de ciment dans les fondations du barrage en terre de SoukTlata afin d'assurer son étanchéité.

Le mémoire que l'on se propose de présenter s'articule autour de trois chapitres :

- **Chapitre 1.** Le premier chapitre donne des notions générales sur l'injection des sols.
- **Chapitre 2.** Le second chapitre porte sur la géologie, l'hydrologie ainsi que la géotechnique de l'assiette du barrage Souk Tlata.
- **Chapitre 3.** Le troisième chapitre qui représente la partie la plus importante du travail, traite des essais d'injection dans les fondations du barrage.

Introduction

Les méthodes d'amélioration des sols sont l'un des outils dont dispose l'ingénieur pour résoudre les problèmes de stabilité ou de déformations qu'il rencontre lors de l'élaboration d'un projet.

De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens au cours du 20ème siècle. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains, et, sont jugées efficaces. Certaines de ces méthodes et très anciennes, comme le battage de pieux de bois dans les sols de faible portance, d'autres sont plus récentes, comme les méthodes d'injection, de pilonnage ou de congélation. Elles ont connu, depuis une vingtaine d'années, un développement considérable et sont maintenant utilisées comme un élément à part entière des projets.

1 Généralités sur l'injection des sols

L'injection des sols est une technique de traitement des terrains dont les propriétés mécaniques initiales, médiocres, permettent difficilement la construction d'ouvrages du génie civil. Elle consiste à introduire, sous pression, un coulis plus au moins fluide qui circule dans les interstices du sol, jusqu'à sa prise. Le résultat en est une amélioration de l'étanchéité des terrains par diminution de la perméabilité (barrages, barrière étanche contre la migration des polluants,) et de la résistance mécanique du sol (ouvrages souterrains, fondations, ...). On distingue généralement trois types d'injection :

- l'injection par fracturation : elle consiste à remplir des vides et des fissures naturelles ou créées par la pression d'injection.

Elle est accompagnée donc d'une modification de la structure du terrain.

- l'injection par imprégnation : le traitement s'effectue sans altération de la structure du sol par circulation du coulis dans les espaces interstitiels.

- l'injection de compactage : le coulis remplit une cavité artificielle qui se développe et entraîne un compactage du terrain.

Nous allons commencer par présenter un bref historique de l'injection avant de définir le concept et de donner ses domaines d'application.

1.1 Historique

Depuis sa première utilisation par l'ingénieur C. Bérigny en 1802, la technique de l'injection a suivi les progrès réalisés dans le domaine des matériaux et des matériels du génie civil. Ce fût d'abord l'utilisation des liants hydrauliques, plus particulièrement le ciment Portland (1821), qui remplacèrent avantageusement les suspensions d'eau et de pouzzolanes. Leur emploi est alors principalement consacré au colmatage des fissures dans les roches et à l'amélioration des propriétés des sols grossiers.

Au début du vingtième siècle, l'injection profite du développement de matériels plus performants (pompes en acier et à haute pression permettant un contrôle indépendant de la pression et du débit, malaxeurs...). Les principaux aspects de l'injection sont déjà connus :

Contrôle de la pression d'injection, filtration de l'eau en excès, phase de remplissage et phase de refus, rôle de la finesse du ciment, essais d'eau, ... [Kutzner, 1996].

L'injection de terrains de plus en plus fins, en particulier les sables, conduits au développement de nouveaux coulis d'injection.

Les coulis chimiques en solution sont mis au point par Joosten en 1926. Des améliorations sur la composition et la fabrication de ces coulis sont apportées jusqu'à ce que leurs inconvénients soient mis en évidence. Le phénomène de synérèse est ainsi responsable de la pollution des nappes phréatiques et du manque de pérennité des terrains traités.

Dans les années 80, des coulis dits de nouvelle génération, à base de ciment fine mouture et de résines, se substituent aux coulis chimiques désormais interdits dans la plupart des pays. Les développements les plus récents portent sur la qualité de l'injection avec l'enregistrement des paramètres de forage et d'injection, l'emploi de malaxeur à haute énergie et l'apparition de l'informatique sur les chantiers [Gouvenot, 1990].

Des études systématiques sont également entreprises sur l'injection proprement dite et sur le comportement mécanique des sols injectés. Des progrès importants sont réalisés et l'injection commence à être intégrée à la conception des ouvrages.

1.2 Définition de l'injection

L'injection est un procédé permettant d'étancher des vides au moyen de produits liquides qui se solidifient dans le temps.

Cette technique permet de modifier certaines caractéristiques du sol, et notamment sa perméabilité sans nécessiter une substitution de matériaux, ce qui la distingue fondamentalement des procédés d'écrans étanches continus tels que les parois étanches au coulis, au béton ou au béton plastique. La forme des écrans injectés est liée à la géométrie des forages.

Les produits d'injection sont mis en place dans le sol par l'intermédiaire de forages. Mais les techniques et les types de produits utilisés diffèrent très sensiblement selon la nature des terrains à traiter. On peut distinguer trois cas principaux :

- L'injection dans les roches fissurées ;
- L'injection dans les terrains alluvionnaires ;
- L'injection de remplissage de cavité.

Quelques types d'injection appliquée, selon la classe du sol à traiter (sols fins ou grenus) :

- Injection de consolidation ;
- Injection d'étanchéité ;
- Injection de bourrage et de collage ;
- Injection de comblement ;
- Injection solide.

Ces techniques se font sous pression ou par un maillage de forages très serrés soit :

- **Par forages horizontaux** (ex : les tunnels), à l'intérieur des tunnels, lorsque la surface n'est pas accessible ou que les ouvrages sont très profonds. Dans ce cas, il faut traiter dans un premier temps, puis creuser, puis refaire un traitement sur une certaine longueur, puis recreuser sur cette même longueur, car on ne peut creuser que dans le terrain consolidé,
- **Par forages verticaux** traitement depuis la surface (ex : à la ville), on creuse souvent à faible profondeur. Alors le chantier d'injection se déplace en surface en précédant le tunnel. Mais le problème en ville pour traiter depuis la surface est un problème d'espace.

1.3 Domaines d'applications

Quelques domaines d'application des injections :

- Le renforcement ou le compactage des sols décomprimés ;
- Le traitement des poches de dissolution ;
- La création de radiers ou de voiles étanches ;
- Le comblement et la confortation d'anciennes carrières souterraines ;
- Le traitement des sols préalable à la création d'ouvrages souterrains ;
- La consolidation d'ouvrages fissurés ;
- Le scellement des micro-pieux et des tirants ;

- La reconstitution du contact extradors / terrain pour les ouvrages anciens enterrés.

2 Les différents types d'injection

Nous allons examiner dans cette section trois types d'injection qui sont : l'injection de comblement, l'injection solide ou de compactage, l'injection de consolidation.

2.1 L'injection de comblement

L'injection de comblement est préconisée dans le cas de remplissage des vides souterrains, pour éviter leur effondrement, et du traitement des fontis des terrains de couverture... Ces vides peuvent être d'origine naturelle (grottes, karsts...) artificielle (mines, carrières, souterrains...).

L'injection de coulis de comblement nécessite :

- Un atelier de forage pour atteindre les vides à traiter (pompe, unité de pilotage et d'enregistrement) ;
- Une centrale de fabrication des produits d'injection à grand débits.



Figure 2-1 image représentant un atelier de forage et pompes d'injection.

2.1.1 Composition des coulis d'injection

Ils sont composés de :

- Une charge inerte (sable, filler cendres volantes) ;
- Un liant hydraulique (ciment) ;
- Un stabilisateur (bentonite) ;
- Des adjuvants éventuels ;
- De l'eau.

2.1.2 Les différentes Phases de réalisation

Les travaux de comblement se font généralement en cinq phases :

- **Phase 1** : Localisation des cavités par forage ou exploration directe,
- **Phase 2** : Confinement des zones à traiter (murs de barrage, coulis rigidifié...),
- **Phase 3** : Comblement gravitaire au coulis,
- **Phase 4** : Clavage du toit des cavités par injection sous pression,
- **Phase 5** : Traitement des terrains de couverture par injection répétitive et sélective là où cela est nécessaire.

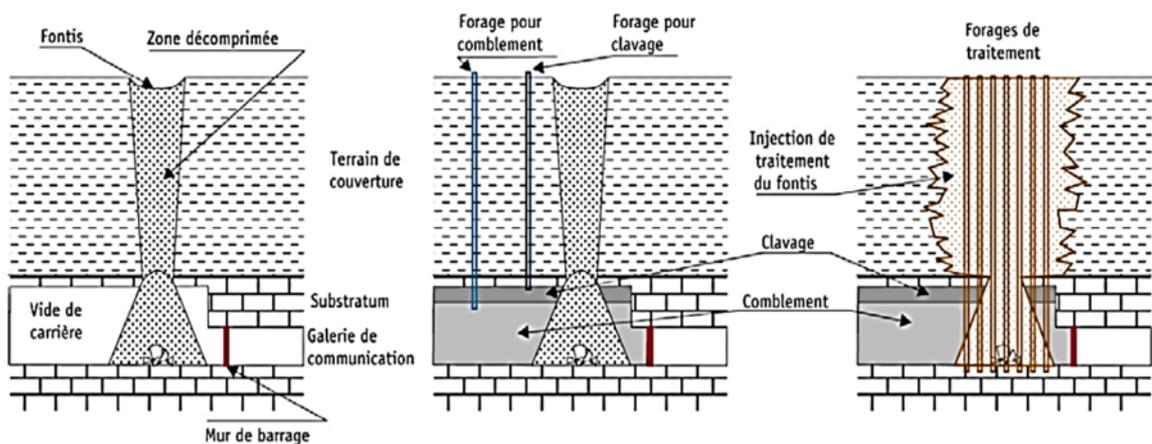


Figure 2-2 Image représentant un atelier de forage et pompes d'injection

2.1.3 Le voile d'étanchéité de barrage

2.1.3.1 Etanchement de massifs rocheux par injection

Le substratum rocheux de tous les barrages nécessite un traitement d'étanchéité afin d'éviter la percolation de l'eau sous la superstructure.

Ce traitement est réalisé par injection de coulis sous pression, dans des forages à mailles resserrées.

Ce type d'injection permet le comblement d'une cavité au-dessous d'une infrastructure existante ou projetée, afin de garantir la portance du sol de fondation et de son étanchéité.

2.1.3.2 Moyen mis en œuvre

A partir de la galerie de pied d'un barrage ou de la plinthe amont d'une digue, deux ateliers distincts vont intervenir alternativement :

- L'atelier de forage, qui perfore le béton puis le rocher, selon un maillage et des inclinaisons définis par des plots d'essais,
- L'atelier d'injection, qui permet la fabrication automatisée et la mise en œuvre des différents coulis, à l'aide de pompes hydrauliques. Chaque point d'implantation est injecté soit par passes descendantes où le forage et l'injection se succèdent alternativement, soit par passes ascendantes.

2.1.3.3 Coupe type

Le profil d'un voile étanche présente généralement plusieurs lignes de forages.

Chaque forage est lui-même injecté par passes :

- Injection de collage de l'ouvrage au substratum,
- Injection de peau des zones superficielles
- Altérées (étanchéité et consolidation),
- Injection profonde du cœur du massif rocheux (étanchéité).

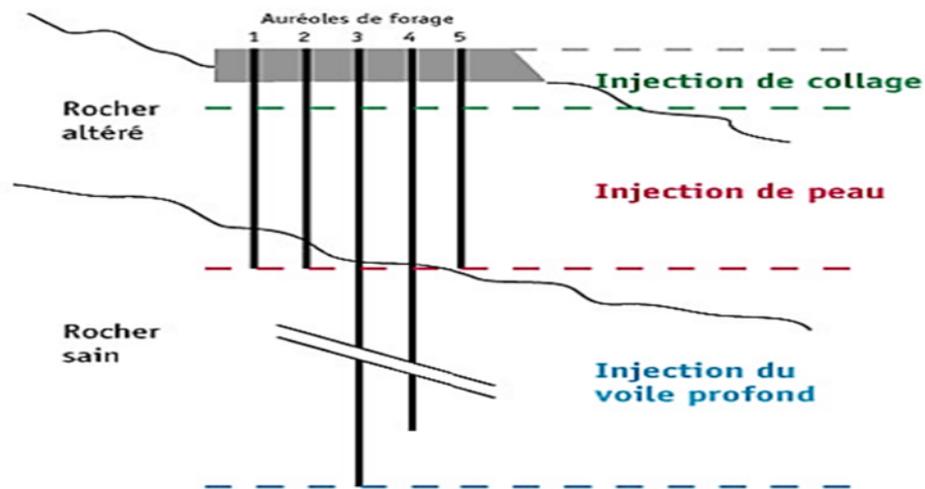


Figure 2-3 : Etanchement d'un massif rocheux par injection

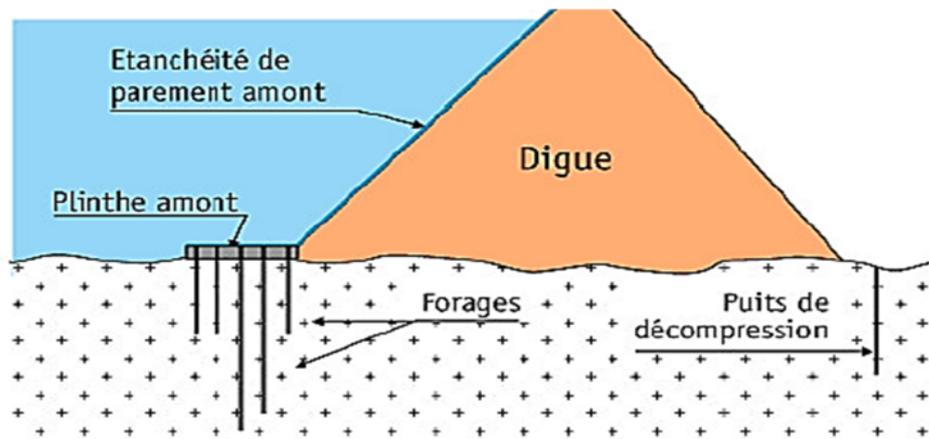


Figure 2-4 : Zone d'étanchement des fondations d'un barrage en terre.

2.2 L'injection solide ou de compactage

L'injection solide vise à incorporer dans le sol, sous forte pression, un mortier très ferme. L'objectif est de remplir les vides éventuels (terrains karstiques...), et d'assurer un compactage des terrains en place (sols compressibles...) tout en maîtrisant les quantités incorporées.

La réalisation d'injections au travers de forages tubés autorise 5 types d'applications :

- Amélioration de la portance d'un sol et/ou diminution des tassements,
- Traitement des terrains présentant des vides de dissolution,
- Reprises en sous-œuvre de fondations d'ouvrages,

- Protection sismique par réduction du potentiel de liquéfaction,
- Injection de compensation lors du creusement d'une galerie

2.2.1 Moyen mis en œuvre

La réalisation des colonnes nécessite trois ateliers distincts :

Un atelier de forage pour la mise en place d'un tube d'injection métallique Ø100 mm environ.

Une centrale de fabrication de mortier.

Un atelier d'injection composé d'une pompe à mortier et d'une centrale de pilotage et d'enregistrement.



Figure 2-5 : Centrale de pilotage et d'enregistrement.

2.2.2 Plot d'essai

Un plot d'essai initial permet de déterminer, en fonction du résultat recherché :

- Le maillage des injections, qui comprend souvent 2 ou séries de forages intercalées,
- Les critères de pression et volume à respecter en fonction des zones et des profondeurs.



Figure 2-6 : Essai au cône d'Abrams.

2.2.3 Le phasage

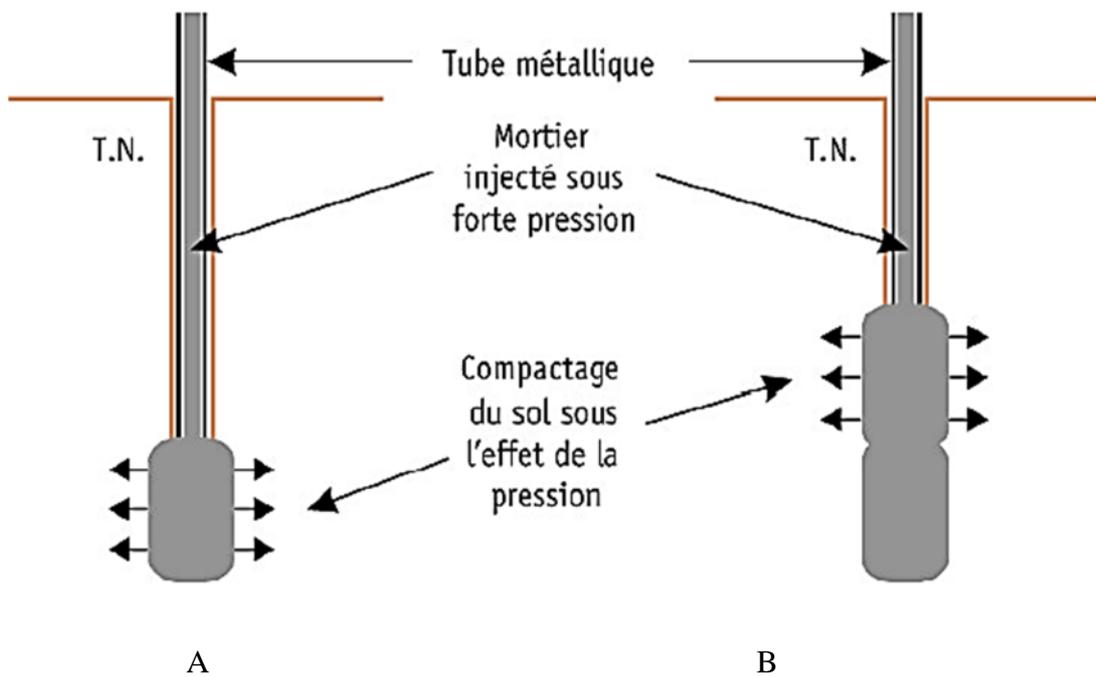


Figure 2-7 : Phases d'injection d'un mortier sous fortes pressions.

- Le mortier est injecté en remontant, par passes de 0,5 à 2 m, avec arrêt sur critères de déplacement, de volume ou de pression (jusqu'à 40 bars).

- Les passes d'injection sont arrêtées dès que :
 - Un déplacement est observé.
 - L'un des critères de pression ou de volume est atteint

2.2.4 L'injection de consolidation

L'injection de consolidation concerne le confortement d'un ouvrage ou d'un terrain ne présentant pas les caractéristiques mécaniques souhaitées, du fait d'une porosité, d'une fissuration et/ou fracturation trop importante. Ce modèle de traitement se fait en injectant un coulis sous pression par l'intermédiaire de forages traversant les zones concernées.

Ce type d'injection a plusieurs applications :

- La consolidation de terrains d'assises d'ouvrages (sous culées ou piles d'ouvrage, sous semelles de fondations...),
- Le traitement de terrains encaissants traversés par un ouvrage souterrain,
- La régénération du monolithisme des maçonneries...



Figure 2-8 Consolidation des murs bajoyers d'une écluse.

2.2.5 Moyens mis en œuvre

L'injection de consolidation nécessite :

- Un atelier de forage,
- Un atelier de fabrication des coulis,
- Un atelier composé de presses d'injection et d'une centrale de pilotage et d'enregistrement.



Figure 2-9 : Atelier de forage et centrale d'injection.

2.2.6 Phasage des travaux

Les travaux de consolidation se font généralement en quatre phases :

- Forage selon un maillage et des orientations définis en fonction du site et des objectifs recherchés,
- Equipement éventuel des trous par des tubes crépinés ou à manchettes,
- Injection du coulis sous pression en cherchant à atteindre des critères prédéfinis de pression ou de volume,
- Contrôle des travaux.

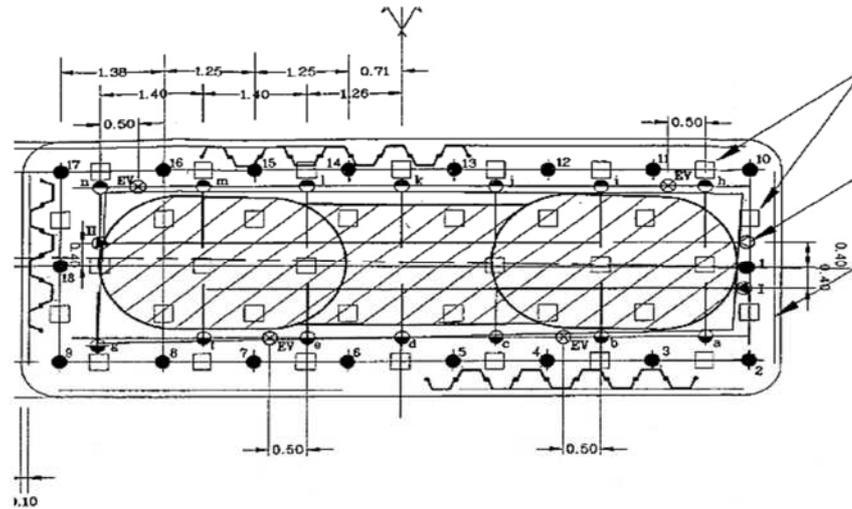


Figure 2-10 : Maillage type des forages sur une pile de pont.

2.3 Injection de masses rocheuses

Dans le cas du traitement de massif rocheux affectés par des fissures générant des circulations d'eau, le but de l'injection est de les remplir totalement.

Les forages exécutés dans ce type d'encaissant doivent rester ouverts sur une grande longueur sans risque d'éboulement. Il est possible d'injecter en une seule fois des tranches de terrain de plusieurs mètres, 3 m à 8 m en moyenne. Chaque tranche est appelée passe d'injection.

L'injection des massifs rocheux fissurés est réalisée soit " en remontant ", soit " en descendant ".

L'injection des roches fissurées se fait toujours par séries successives de forages alternés (primaires, secondaires, tertiaires). Les forages primaires sont souvent localisés sur une même ligne, ils sont espacés de quelques mètres.

Les secondaires sont exécutés entre deux primaires et les tertiaires entre deux secondaires, venant le cas échéant resserrer la maille des forages.

2.3.1 Les masses rocheuses saines fissurées

Il existe un grand nombre de roches saines qui sont subdivisées par des surfaces inter-stratigraphiques, des diaclases, des fissures, des failles et autres accidents et par toutes sortes de discontinuités.

L'interface de ces masses rocheuses présentent friction, cohésion et peut être même viscosité, la continuité de la roche est assurée à travers le plan de la fissure par endroits.

Dans une roche saine fissurée, le réseau des surfaces de discontinuité joue le rôle principal pour l'injection et c'est le seul aspect à prendre en compte.

Et dans ce cas on parlerait plutôt « d'injection des discontinuités » que « d'injection de la roche ».

Lors de l'injection il faut tenir compte de l'ouverture des discontinuités, leurs formes dans l'espace, la nature de leurs épontes de leur rigidité et fréquence.

Le premier essai établi par Don Deere pour quantifier les propriétés des roches fissurées est le RQD (Rock Quality Designation).

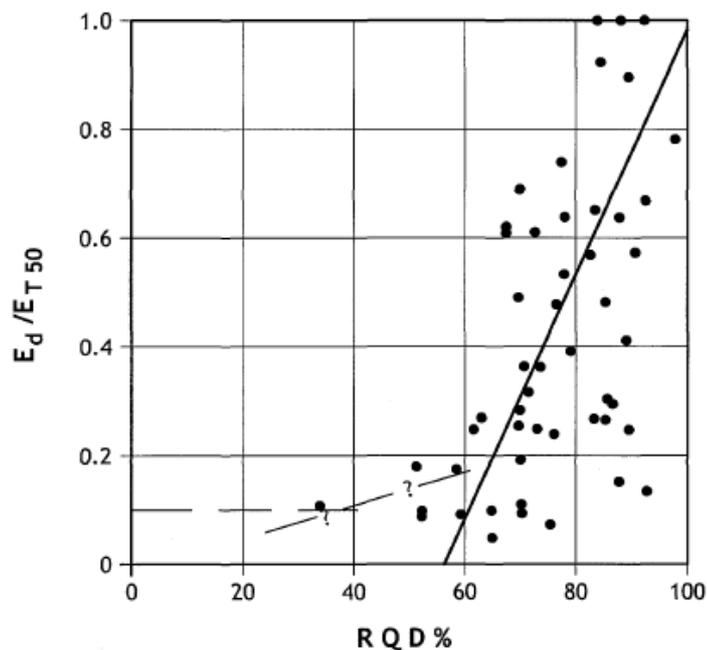


Figure 2-11 Rapport entre le RQD et le facteur de déformabilité de la masse.¹

¹Coon et Merritt, 1970.

Avec :

E_d : module de déformabilité.

E_{T50} : module d'élasticité.

2.3.2 Le modèle FES pour masses rocheuses

De nombreux modèles ont été développés pour comprendre l'injection de la masse rocheuse, mais le modèle FES (pour masse rocheuse fissurée, Élastique et Saturée) est toujours utile pour résoudre les problèmes de mécanique des roches (tassement, injection, construction de tunnels, etc.),

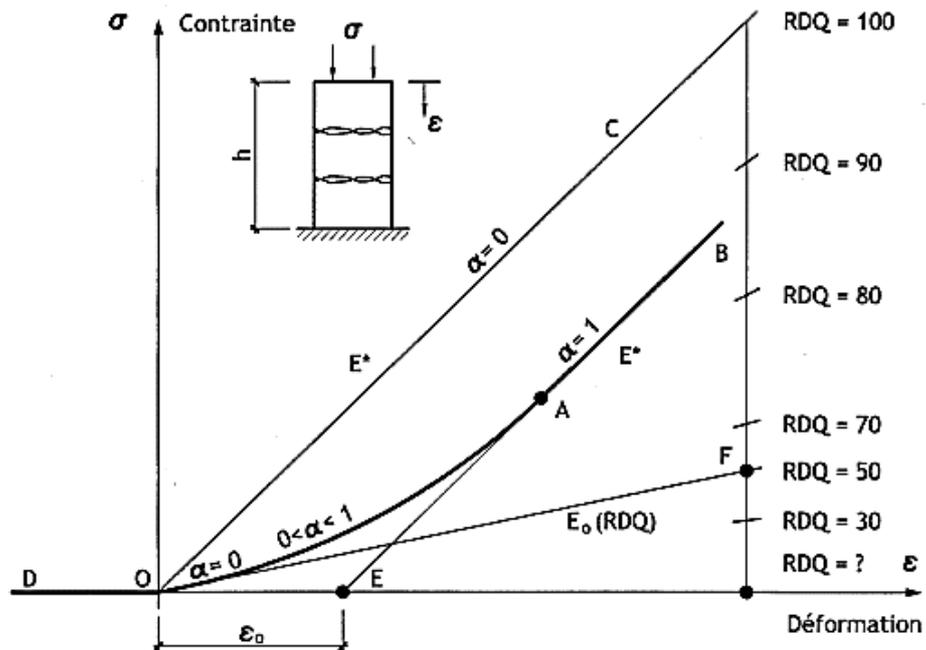


Figure 2-12 : Exemple de relation contrainte déformation pour une masse rocheuse fissurée, sèche, chargée perpendiculairement aux discontinuités.

Avec :

- OC : Déformation Élastique.
- OD : Ouverture des discontinuités en absence de contraintes.
- OF : compression initiale avec un module E_0 .

- OA : fermeture progressive de discontinuités (α : degré de fermeture : $\alpha = 0$ au premier contact ; $\alpha = 1$ fermeture totale)
- AB : Déformation élastique après la fermeture complète des discontinuités.
- ε_0 Fermeture totale des joints en contact (ou ouverture totale des discontinuités jusqu'à la perte de contact).

3 Présentation des coulis et de la méthode GIN

3.1 Généralités sur les coulis

L'histoire de l'injection est marquée par l'apparition successive de coulis de plus en plus performants sur le plan de l'injectabilité et de l'amélioration des terrains. Le choix d'un coulis dans la gamme des produits existants est alors guidé par l'objectif recherché pour le traitement (étanchéité, consolidation), par la nature, la granulométrie ou la perméabilité du sol.

On distingue ainsi :

- Les coulis de bentonite – ciment dont les proportions respectives dépendent de l'objectif du traitement puisque la bentonite assure de bonnes conditions d'étanchéité et le ciment de bonnes propriétés mécaniques.
- Les solutions ou coulis liquides (par exemple, les gels de silicate) aujourd'hui interdits pour des raisons de protection de l'environnement et de pérennité dans le temps.
- Les suspensions colloïdales à base de ciment.
- Les coulis spéciaux (coulis minéraux, résine, produits hydrocarbonés) dont l'utilisation reste exceptionnelle à cause de leur coût élevé.

Pour être efficaces, ces produits doivent avoir les propriétés suivantes :

- Ils pénètrent facilement le sol à traiter et restent stables pendant l'injection (c'est-à-dire qu'ils conservent leur homogénéité pendant l'injection) ;
- Ils confèrent au sol des caractéristiques mécaniques et hydrauliques suffisantes pour son exploitation ;
- Ils sont pérennes, c'est à dire que leurs caractéristiques sont durables à long terme.

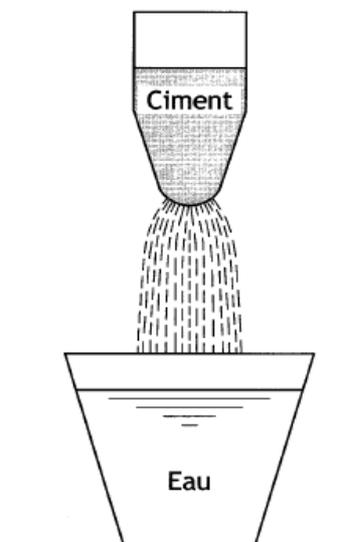
Coulis	Gravier	Sables			Silt	Argile
		Grossier	Fin	Ultra fin		
Ciment	[Barre noire]					
Ciment-Bentonite	[Barre noire]					
Gel silicate de soude dur	[Barre noire]					
Spinor A16	[Barre noire]					
Gel silicate de soude semi-dur	[Barre noire]					
SPINOR A12	[Barre noire]					
Résine	[Barre noire]					
Perméabilité (m/s)		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
Particules (mm)		2	0,5	0,25	0,075	

Figure 3-1 : Champs d'injection des produits d'injection.

3.1.1 Les coulis de ciment

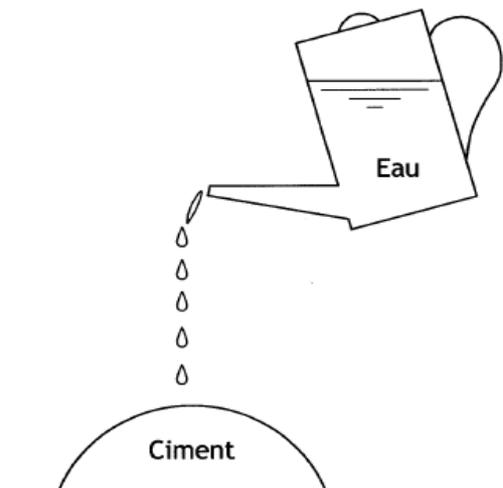
Un coulis de ciment est un mélange de ciment et d'eau. On définit dans ce cas le rapport eau / ciment E/C (rapport massique du ciment sur l'eau) c'est-à-dire le rapport des poids de l'eau et du ciment composant le coulis.

Parfois dans la pratique de l'injection



C/E = Ciment sur eau

Dans la technique du béton



E/C = Eau sur ciment

Figure 3-2 : Définition du rapport eau sur ciment (E/C) en poids.

3.1.1.1 Le rôle de l'eau

L'eau joue divers rôles à savoir :

- L'hydratation du ciment (E/C = 0.3 à 0.4).
- La Production d'un coulis fluide qui puisse se propager facilement le long de discontinuités, toutefois, cette fonction peut être assumée, partiellement par un fluidifiant.
- La Compensation des pertes d'eau du coulis dues à l'absorption de l'eau par une roche sèche.
- L'Ouverture des discontinuités avant l'arrivée du coulis afin de faciliter la pénétration, ce rôle peut être assumé par l'eau de la nappe phréatique ou par l'eau de saturation.

Toute fois pour avoir un coulis stable qui permet la pénétration des grains de ciment sans avoir à injecter de grandes quantités d'eau il faut ajouter des fluidifiants tel qu'indiqué dans les quelques exemples du tableau suivant :

Tableau 3-1 : Exemples d'un coulis stable unique utilisé pour un certain nombre de barrages et de tunnels

Ouvrage	E/C	Fluidifiant
Paute (Equateur) partie supérieure	0.6	Intraplast 1.4%
Alicura (argentine)	0.67	Intraplast 1.2%
El cajon (Honduras)	0.7	Bentonite 0.2%
Clyde (N. Zélande) 2 ^{ème} partie	0.6	Intraplast 1%
El Cocon (Argentine) réparation	1.0	Bentonite 0.5%
Sir (Turquie)	0.7	Ciment pouzzolanique, Mistra 1%
	Ou 1.0	Bentonite 1.2%
Katse (Lesotho)	0.59	Ciment + cendres. Complast 1.5%
PichiPicunLeufu (Argentine)	0.7	Divers
Potrerillos (Argentine)	0.7	Rheobuild/Viscocrète 1.7-0.8%
Ait Hamou (Maroc)	1.0	Bentonite 2%
Casecnan (Philippines) tunnel inférieur	0.63	Intraplast 1%

3.2 La méthode GIN (Grout Intensity Number)

La méthode GIN (Grout Intensity Number) est une variante des injections traditionnelles qui introduit un nouveau paramètre de contrôle de l'injection :

La constante G.I.N. a été développée par G. Lombardi, pour contrôler le déroulement des injections de rocher, dans le cadre des chantiers de barrages (LOMBARDI, 1993).

Elle a pour origine la constatation suivante :

Si le rocher est très ouvert, la pression d'injection est faible, et il faut injecter un volume de coulis relativement important, Si les ouvertures dans le rocher sont de faible taille, la pression d'injection augmente rapidement, en revanche les volumes d'injection nécessaires sont faibles. D'où l'idée d'introduire la notion du GroutIntensityNumber, ou G.I.N, défini par :

Le principe GIN :

L'application de la méthode consiste à prendre en compte la valeur d'intensité à chaque instant. La notion GIN est alors utilisée pour limiter la procédure d'injection.

Équation 3-1 : L'équation GIN

$$GIN = \text{Pression d'injection} \cdot \text{volume de coulis injecté}$$

Le volume utilisé dans cette formule est le volume injecté depuis le début du chantier à l'endroit considéré.

Le G.I.N. qualifie en quelque sorte l'énergie mobilisée par le processus d'injection. La méthode qui en découle consiste à fixer une valeur limite à ne pas dépasser. Cette valeur limite est déterminée sur chaque chantier à la suite d'un ou deux plots d'essai. La méthode autorise donc des pressions relativement élevées, mais pendant un temps limité et localement, des volumes importants, mais en limitant la pression, c'est-à-dire la dispersion du coulis tout en évitant des injections en volume important sous pressions élevées, qui pourraient être dommageables pour la stabilité du terrain.

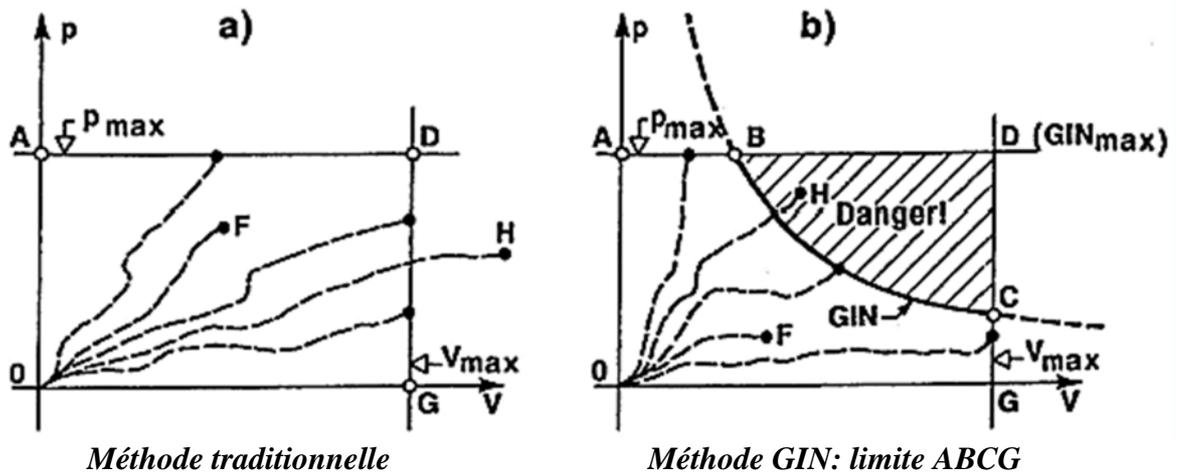


Figure 3-3 : Les limites de la procédure d'injection.

Limite ADG

P_{max} = Pression maximum ;

V_{max} = absorption maximum ;

GIN= courbe limite ($P \cdot V = \text{constant}$)

Dans la zone supérieure droite de la figure existe un danger d'hydrofracturation.

Des cheminements d'injection Fet H ne sont pas admis.

La méthode traditionnelle est un cas particulier de la méthode GIN avec :

Équation 3-2 : Cas de la méthode traditionnelle

$$GIN \geq P_{max} \cdot V_{max}$$

Le but est d'éviter l'existence simultanée d'une forte pression et d'un volume absorbé élevé ; c'est une combinaison dangereuse pour hydrofracturation ou l'ouverture excessive des discontinuités.

La signification de l'hyperbole GIN est de définir une ligne d'alerte envers les phénomènes cités ci-dessus (hydrofracturation et l'ouverture excessive des discontinuités).

En conséquence lorsqu'on établit les travaux d'injection trois limites doivent être prises en compte à savoir :

- La pression maximale (P_{\max}).
- L'absorption maximum (V_{\max}).
- L'intensité limite (GIN).

La méthode GIN est considérée comme un moyen simple et économique pour obtenir d'excellents résultats en évitant des coulis de faible résistance et facile à délayer, tout en garantissant un traitement homogène de la masse de roche et un remplissage complet des vides ainsi que l'élimination du risque d'hydrofracturation et du soulèvement excessif du terrain.

Conclusion

La technique d'injection de masses rocheuses est déjà fort ancienne, part d'un examen critique des habitudes courantes et essaye de remplacer des croyances subjectives par des notions basées sur la physique et l'informatique. Toutefois cette méthode ne représente pas l'étape finale de la technique de l'injection des roches ; des développements futurs peuvent être attendus.

Néanmoins la méthode GIN peut être considérée comme un pas important conduisant à des résultats plus économiques et plus satisfaisants.

Introduction

L'hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol. Au titre des échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre, l'hydrologie s'intéresse aux précipitations (pluie et neige), à la transpiration des végétaux et à l'évaporation directe de la couche terrestre superficielle.

La géotechnique est l'étude de l'adaptation des ouvrages humains aux sols et roches formant le terrain naturel. Les études géotechniques ont pour principal objet les études de sol pour la construction d'ouvrages (pavillons, immeubles, voiries, ouvrages d'art.), et notamment la définition des fondations.

La géologie applique les principes et les méthodes des sciences minérales et connexes aux travaux de l'ingénieur. Ce dernier ne peut en effet négliger ni les caractéristiques des sols, des roches, des massifs rocheux et des eaux souterraines, ni le rôle des processus géologiques en action ou potentiels. Elle se trouve tributaire à la fois des conditions naturelles d'un site ou d'un territoire et de la nature d'un projet, et doit faire appel, entre autres disciplines, à la géologie classique, à la pétrographie, à la mécanique des sols et des roches, à la géotechnique et à l'hydrogéologie.

Pour étudier un site il est prépondérant d'associer et détailler ces trois paramètres à savoir : l'hydrologie, la géologie et la géotechnique.

1 Etude Hydrologique

Les besoins en eau d'irrigation en Algérie comme chez d'autres pays augmentent avec la population, l'urbanisation et les prévisions de modifications climatiques. Constituer des réserves d'eau à l'aide de barrage est donc important. Il en est de même pour la production d'électricité dont les besoins augmentent ainsi que la volonté de production d'énergie dite propre, durable ou renouvelable. Les évolutions climatiques font aussi anticiper les risques en ce qui concerne la protection des personnes et des biens, il est donc nécessaire de maîtriser les digues et les lever dans ce but. Les ouvrages hydrauliques sont essentiels et notre pays compte 75 barrages d'une capacité de 6,5 milliards de mètres cubes. Ces ouvrages seront renforcés par 9 autres en cours de réalisation qui seraient prêts d'ici 2019, et parmi ces derniers on compte le barrage SOUK TLATA.

1.1 Localisation du Barrage Souk Tlata

Le barrage SOUK TLATA est situé sur l'oued Bouguedoura immédiatement en aval du confluent de l'Acif Tleta et de Tala Imedrane à 8 Km au sud de Draa Ben Khedda dans la wilaya de Tizi Ouzou (coordonnées X= 610.4, Y=376.1, Z=64). Le site du projet peut être atteint-en suivant la RN 25 en partant de Draa Ben khedda.

La retenue du présent barrage permettra la régulation de 98 Hm³ d'eau destinée à renforcer l'alimentation en eau potable et industrielle des régions de Tizi-Ouzou, Boumerdes et d'Alger.

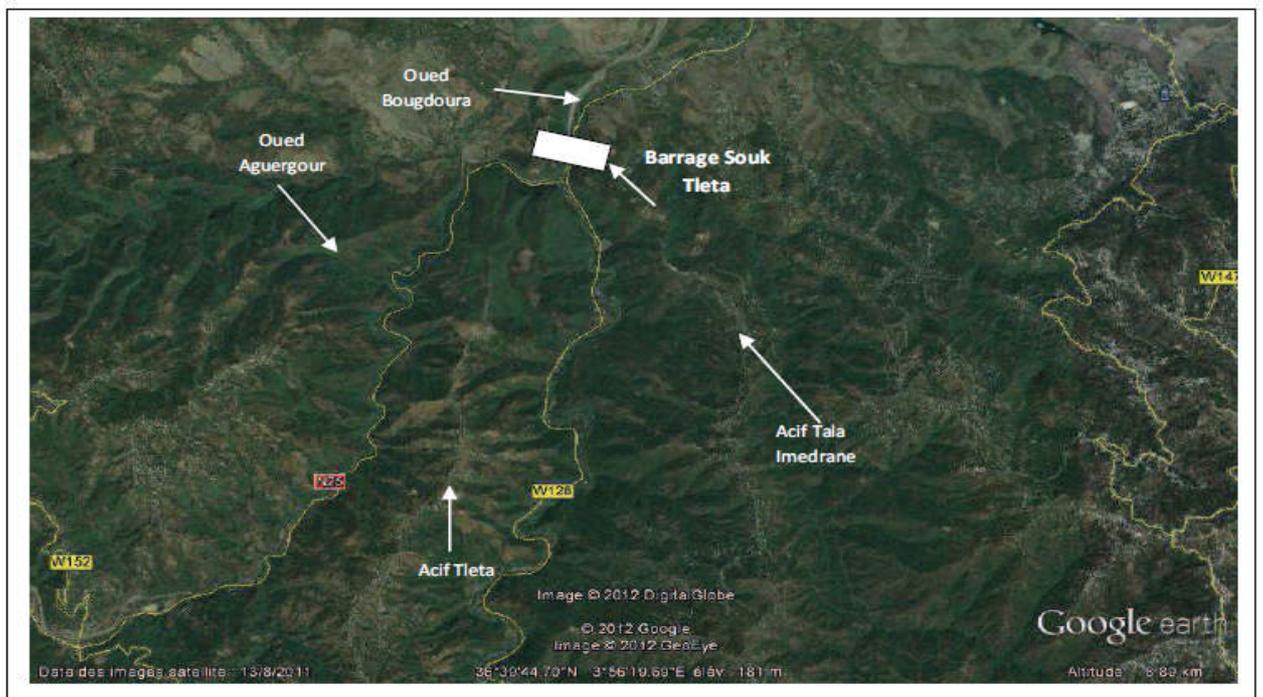


Figure 1-1 Plan de situation du site du barrage de Souk Tlata

1.2 Définition de l'Hydrologie

L'hydrologie peut être définie brièvement comme la science qui étudie le cycle d'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre et dans le sol tout en faisant appel à de nombreuses sciences. Elle est devenue aujourd'hui une technique importante de l'art de l'ingénieur intéressé par l'exploitation et le control des eaux naturelles.

1.3 Bilan Hydrique d'une retenue

Les possibilités de remplissage de la retenue constituent un élément essentiel des calculs économiques préliminaires destinés à vérifier la rentabilité des aménagements. De façon générale, le bilan hydrique d'une retenue est influencé par des flux en entrée et en sortie. (Voir Figure 2.2.)

Les flux en entrée peuvent être constitués :

- Des écoulements en entrée de la retenue (Q_{in}). Si la retenue est située sur une rivière, il s'agira majoritairement du débit en amont de la retenue. Autrement, il s'agira des écoulements générés sur le bassin versant de la retenue ;
- Des apports par les précipitations directes (Precip): il s'agit des pluies captées sur la surface de la retenue ;
- Des éventuels apports par la nappe, si présente (flux d'exfiltration dans le sens nappe vers retenue (I_{in})) ;
- Des apports par flux de condensation (ie, une évaporation négative, E_{in}).

Les flux en sortie peuvent être constitués :

- Des pertes par infiltration (les échanges retenues vers nappes, I_{out}) ; . des pertes par évaporation (E_{out}) ;
- Des prélèvements dans la retenue (Pomp) ;
- Des débits en sortie de la retenue (Q_{out}).

Ainsi, en notant $E=E_{out}-E_{in}$ et $I=I_{out}-I_{in}$ l'évolution du volume de la retenue ΔV s'exprime de la façon suivante :

$$\Delta V = Q_{in} + \text{Precip} - E - I - \text{Pomp} - Q_{out}$$

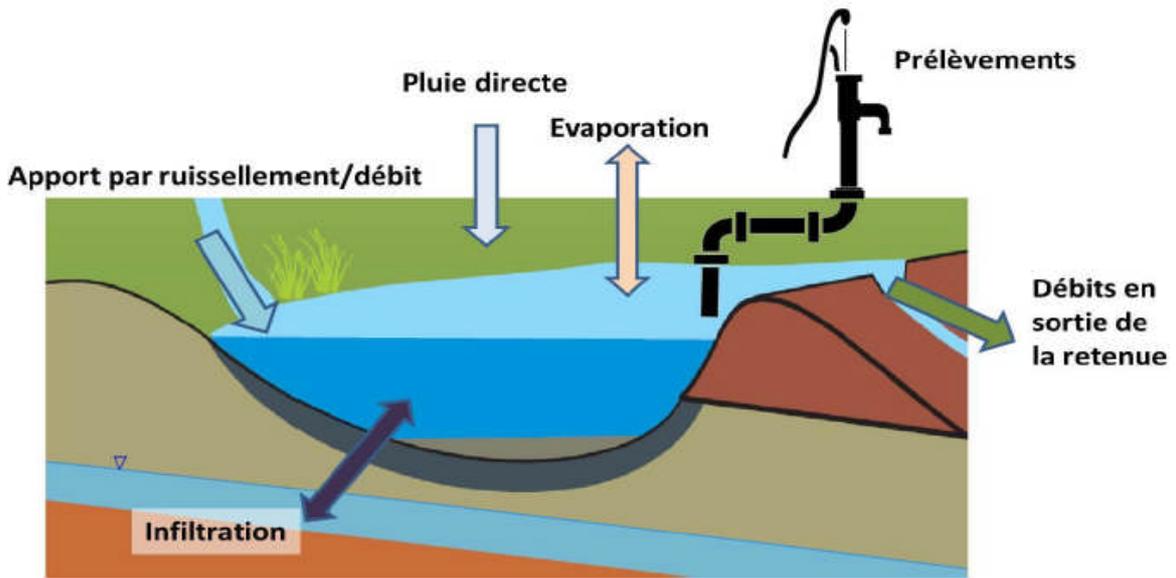


Figure 1-2 : Schématisation du bilan hydrique d'une retenue

Les apports sont majoritairement les écoulements en entrée, les pluies directes, et de possibles apports par la nappe. Les sorties sont constituées par l'évaporation, l'infiltration, les prélèvements dans la retenue, et les débits en sortie.

1.4 Le bassin versant

Un bassin versant est un domaine où tous les écoulements des eaux convergent vers un même point exutoire de ce bassin. Ainsi toute goutte d'eau qui tombe dans ce territoire délimité par des frontières naturelles se dirige vers le cours d'eau ou ses affluents, puis vers l'aval et son exutoire.

1.5 Caractéristiques hydrologiques du bassin versant

Périmètre	LP = 100 km
Surface versante	S = 465 km ²
Longueur du rectangle équivalent	LR=38km
Longueur du thalweg principal	LT = 33 km

Indice de compacité	C = 1.3
Altitude maximale	Hmax = 2164 m s.m.
Altitude moyenne	Hmoy = 529 m s.m.
Altitude minimale	Hmin = 64 m s.m.

1.5.1 Indice de compacité de Gravelius

Pour une même superficie, et pour une même averse, l'hydrogramme à l'exutoire d'un bassin de forme très ramassé sera très différent de celui d'un bassin très allongé. Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser la forme, et aussi de comparer les bassins versants entre eux, parmi ces indices celui de Gravelius qui caractérise la compacité du bassin versant. Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface. « C » augmente autant que la compacité diminue.

$$C = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

C= 1 lorsque le bassin versant est parfaitement circulaire.

C= 1.128 lorsque le bassin versant est carré.

C= 3 lorsque le bassin versant est très allongé.

Dans le cas du bassin d'Acif Tleta l'indice de Gravelius est de :

$$C = 1.3$$

Vu la valeur de « C » nous pouvons dire que le bassin versant Acif Tleta se caractérise par une forme peu allongée.

1.5.2 Le rectangle équivalent

Dans le but de comparer deux bassins versants du point de vue hydrologique, Gravelius a introduit la notion du rectangle équivalent. Elle consiste à assimiler le bassin versant à un rectangle de même périmètre et surface. Notons que la condition nécessaire pour cette assimilation est $C \geq 1.12$ [LLamas1993].

1. Longueur du rectangle équivalent

$$L = \frac{C\sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C}\right)^2} \right]$$

C : Indice de compacité.

S : Surface du bassin versant.

$$L = \frac{1.3\sqrt{465}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.3}\right)^2} \right]$$

$$L = 37.2 \text{ km}$$

2. Largeur du rectangle équivalent

$$l = \frac{C\sqrt{S}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C}\right)^2} \right]$$

$$l = \frac{1.3\sqrt{465}}{1.128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{1.3}\right)^2} \right]$$

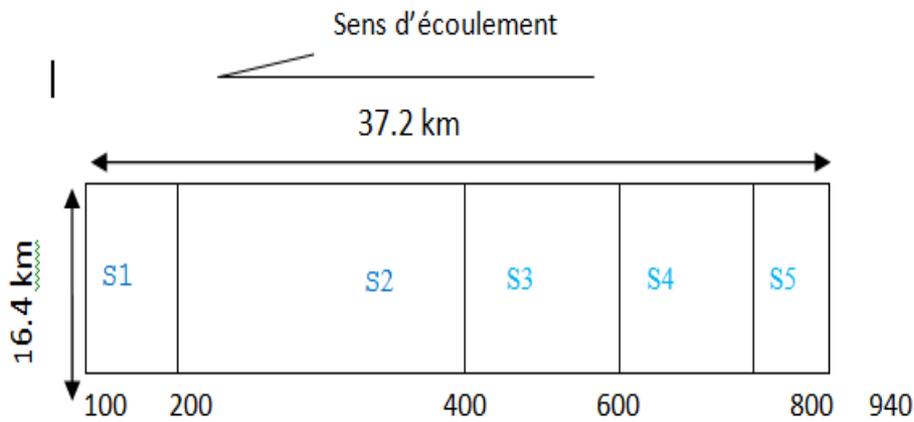


Figure 1-3 Rectangle équivalent

1.6 Paramètres du relief

L'importance des reliefs et leur articulation dans l'espace jouent un rôle essentiel dans le bilan hydrique et par conséquent dans l'aptitude aux écoulements. Afin de connaître les paramètres du relief du bassin, il est important de montrer la répartition de la surface totale en fonction de l'altitude sur une courbe.

1.6.1 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

Le but recherché est la détermination de la classe de relief, la hauteur moyenne, la médiane et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes de niveau.

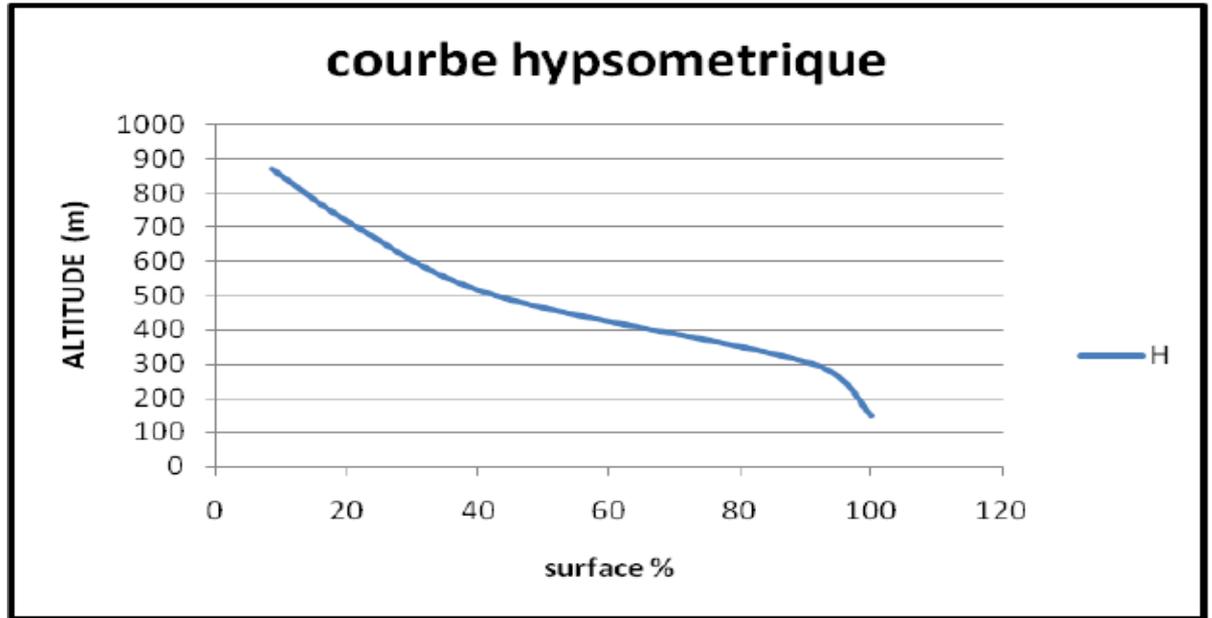


Figure 1-4 Courbe hypsométrique

- **Altitude moyenne du bassin versant**

$$H_{moy} = \sum \frac{S_i \times H_i}{S_{B/V}}$$

Elle est donnée par deux procédés :

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveaux (Km²)

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m)

S : Superficie du bassin versant (Km²)

H_{moy} = 430,7 m NGA

- **Altitude médiane**

L'altitude médiane est H_{med} est lue sur la courbe hypsométrique

$H_{50\%}$ = 430 m NGA

- **Indice de pente global**

Cet indice est déterminé par la formule suivante:

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

$$D = H5\% - H95\%$$

$$H5\% = 760\text{m}$$

$$H95\% = 122\text{m}$$

$$D = 638\text{m.}$$

L: la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = 16,79$$

Tableau 2.1 : variation de l'indice de pente global

1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

Cet indice de pente global sert aussi à classer le relief d'un bassin, mais pour permettre une comparaison plus efficace du bassin, du point de vue relief. Il convient de calculer la dénivelée spécifique.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

- Dénivelée spécifique

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quelque soit

$$Ds = Ig\sqrt{S}$$

sa surface. Elle est donnée par la formule :

Tableau 1 2 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

	Relief	Ds (m)
1	Relief très faible	<10
2	Relief faible	25
3	Relief assez faible	50
4	Relief modéré	100
5	Relief assez fort	250
6	Relief fort	500
7	Relief très fort	>500

$$Ds = 362.06 \text{ m}$$

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin Acif Tleta se trouve dans la classe R6 : donc Relief fort.

1.7 Caractéristiques hydrographiques

- **Densité de drainage Dd** : C'est le rapport entre la longueur totale des cours d'eau de tout ordre Lx sur la surface du bassin versant S.

$$D_d = \frac{\Sigma L_i}{S}$$

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

ΣL_i : longueur totale des talwegs d'ordre i en (Km) $\Sigma L_i = 16,85$ Km.

S : Surface du bassin versant.

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

$Dd = 0,71$ km/km²

- **Longueur moyenne des versants**

Dd: densité de drainage en (km/km²).

L: longueur du rectangle équivalent en (km).

L_i = 26,76

- **Temps de concentration du bassin versant t_c**

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire.

- Calcul du temps de concentration par la formule de GIONDOTTI

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

A : Surface du bassin versant en [Km²] ;

L : longueur du talweg principale en [Km];

H_{moy}, H_{min} : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].

T_c = 9.32 heures

- **Vitesse moyenne de ruissellement**

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L_P}{T_C}$$

L_p : longueur du talweg principal.

T_C : temps de concentration.

$$V_R = 3,54 \text{ Km/h}$$

1.8 Calcul de la précipitation moyenne sur le bassin versant

Le but de la mesure des précipitations en un point est d'obtenir un échantillon qui est censé représenter au mieux les précipitations sur toute une région. La région concernée par une mesure ponctuelle aura une superficie variable selon la densité du réseau de postes d'observations.

Le calcul de la pluie moyenne sur une surface plus ou moins étendue repose sur l'hypothèse que la pluie ponctuelle est représentative des régions alentours. L'exactitude de cette hypothèse dépend de l'étendue de la région que le pluviomètre est censé représenter, de l'hétérogénéité spatiale des pluies et de la topographie de la région.

L'hétérogénéité spatiale de la pluie est fonction du type de temps: des pluies convectives souvent de forte intensité peuvent intéresser une zone de superficie très restreinte.

La précipitation moyenne est calculée sur la base des données disponibles, les relevés sont effectués aux différentes stations pluviométriques existantes dans le bassin versant. Les valeurs ainsi obtenues sont encadrées (voir *tableau 2.4*)

La précipitation moyenne peut être évaluée par différentes méthodes :

- La méthode de la moyenne arithmétique ;
- La méthode des ISOHYÈTES ;
- La méthode de THIESSEN.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Tableau2.4 : Précipitations moyennes des stations pluviométriques

Année	Station						
	21901	21902	21903	21906	21907	21908	21909
68	636.4	613.7	715.2	657.7	811.91	692.8	688.68
69	1083.9	1058.7	1104.85	1119.74	1300.82	1386.9	1111.46
70	556.2	518.1	540.22	559.8	756.542	330.2	613.36
71	904	1154.6	912.33	1091.4	1489	1507.7	941.65
72	1047.8	975.4	1066.23	1157	1111	1181.8	1162
73	989	997.5	1003.31	1062.9	1051	1232.2	1021.92
74	565.1	545.1	593.1	571.8	920.3	704.8	621.75
75	845.2	822.4	970	556.6	919.8	1007	886.17
76	645.3	624.5	620.4	541.4	664.3	631.4	697.46
77	590.6	472.8	623.3	675	680	675.3	640.7
78	644.9	602.9	639.2	788.4	808.6	790.6	697.5
79	677.1	657.1	720	78.7	799.4	852.6	800.7
80	808.8	734	814.5	726.1	748.3	792.3	886.1
81	660.1	635.1	609.1	632.9	688	683.3	679
82	707.7	668.2	543.3	698.2	762.8	723.1	663.5
83	664.6	703.1	634.7	693.2	693.4	700.5	647.9
84	837.1	834.7	775.6	1064.3	986.2	944	896.8
85	658.1	715.8	665.9	714.8	693.5	648	694.1

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

86	895.6	880.6	912.6	928.2	914.8	837.7	985.7
87	520.4	520.9	500.4	570	648.85	602.88	514.4
88	720.4	597.7	685.6	661.2	649.48	6.3.64	729.4
89	514.5	475.6	495.6	453.4	560.62	496.79	727.3
90	714	743.7	709.06	715.3	851.47	846.54	752.2
91	658.5	729	649.7	724.3	851.06	761.88	729.8
92	672.1	651	664.2	686.53	710.83	677.41	722.76
93	535	515.3	517.5	745.05	545.33	478.39	593.34
P moy	721.2462	709.5192	718.6885	753.1892	831.4351	799.60	772.255

1.8.1 La moyenne arithmétique

On considère comme hauteur de précipitation moyenne, la moyenne arithmétique des valeurs enregistrées durant une période de 26ans. Les stations considérées sont :

Boghni	C021903
Souk Tleta	C 021918
Tizi Médéne	C 021901
Draa El Mizan	C021902
Tizi N'doukart	C021907
Tamelaht	C021908
Nezlioua	C021906

$$\overline{P}_1 = \frac{\sum P_i}{N}$$

P_i : Précipitation moyenne à la station i en (mm),

N : Nombre de station d'observation (N=7).

$$\overline{P}_1 = 756.44 \text{ mm}$$

1.8.2 La méthode des polygones de THIESSEN

La méthode des polygones de THIESSEN permet d'évaluer la hauteur moyenne des précipitations sur un bassin versant, d'après la moyenne pondérée des enregistrements effectués à plusieurs stations. Le facteur de pondération d'une station est la superficie du polygone. Celui-ci est formé par des médiatrices des segments d'union entre cette station et les stations avoisinantes. Le polygone peut être aussi limité par la frontière physique du bassin [Llamas93].

La hauteur moyenne des précipitations est :

$$\overline{P} = \frac{\sum P_i S_i}{\sum S_i}$$

P_i : Précipitation moyenne à la station i en (mm)

S_i : Superficie du polygone revenant à la station (i)

∑S_i : Surface du bassin versant

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Tableau 2.5 : Précipitation moyennes par la méthode de Thiessen.

Station	Souk Tleta	Tamelaht	Tizi N'doukart	Nezlioua	Draa El Mizan	Tizi Medene	Boghni
Précipitation moyenne Pi (mm)	772.3	799.6	828.7	745.05	709.5	721.2	718.7
Superficie du polygone Si Km²)	98.2	46.0	28.1	10.6	45.8	80.3	168.8

$$P_2 = 743.78 \text{ mm}$$

1.8.3 La Méthode des isohyètes

Une courbe isohyète est l'ensemble des points sur lesquels est tombée la même hauteur de pluie pendant une période déterminée. Pour pouvoir tracer les isohyètes avec un maximum d'exactitude, il faut que le réseau des pluviomètres soit très dense, en couvrant toute la superficie du bassin, on peut tenir compte des stations situées dans les bassins voisins.

Les cartes isohyètes sont tracées en joignant les points d'égales précipitations. Ceci nécessite une très bonne connaissance de l'environnement général du bassin versant.

La valeur de la précipitation moyenne sur la surface S est donnée par la moyenne pondérée.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} S_i P_i}{\sum_{i=1}^{10} S_i}$$

P_i : Moyenne pluviométrique entre deux isohyètes successives.

S_i : La surface délimitée par ces deux isohyètes, et par le contour du bassin Versant.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Tableau 2.6 : Précipitation moyennes par la méthode des isohyètes

Intervalles inter-isohyètes	Précipitation moyenne P_i (mm)	Surface inter- isohyètes S_i (Km ²)
828.7 – 825	826.85	0.2
825 – 800	812.5	8.5
800 – 775	787.5	95.6
775 – 750	752.5	122.7
700 – 725	727.5	70.3
700 – 725	712.5	65
675- 700	687.5	48
650 – 675	662.5	33.9
625 – 650	637.5	28.2
600 – 625	612.5	4.9

$$\sum_{i=1}^{10} S_i P_i = 350995 \text{ mm.km}^2$$

$$\sum_{i=1}^{10} S_i = 748 \text{ km}^2$$

$$\overline{P}_3 = 734.3 \text{ mm}$$

Pour conclure cette partie du chapitre, la pluviométrie moyenne donnée par les trois méthodes est 745 mm. La station représentative est la station de Nezlioua de code 021906.

2 Étude Géologique

La géologie est fondamentale pour le choix du type de barrage. Une analyse détaillée de l'ensemble des paramètres géologiques doit être entreprise avant de pouvoir se prononcer sur la faisabilité de tel ou tel type de barrage. C'est aussi la raison pour laquelle un programme d'investigation est de première importance quel que soit le type d'ouvrage et ses dimensions pour acquérir une bonne connaissance du sous-sol. La nature, la qualité et les caractéristiques des fondations vont donc jouer un rôle prépondérant dans la sélection du type d'ouvrage.

L'étude géologique doit concerner toutes les zones en relation géologique avec le projet. Cette surface comprend le site d'implantation du projet mais aussi ses alentours : elle s'étend principalement très en amont, où les pentes pourraient, soit être déstabilisées par le terrassement de la cuvette, soit apporter des matériaux par gravité, et en aval puisque les écoulements provoqués par les fuites contrôlées ou incontrôlées pourraient déstabiliser des zones sensibles. Le site d'implantation d'un projet, beaucoup plus restreint, correspond, quant à lui, à l'emprise du projet : les déblais, la cuvette et le remblai.

2.1 Géologie de la région

Le site du barrage de Souk Tlata se trouve sur le bord méridional du bassin sédimentaire du Miocène inférieur terminal (Burdigalien ou Cartennien pour certains auteurs) de la wilaya de Tizi-Ouzou. Ce bassin formé par une série épaisse de dépôts gréseux, pélitique et marneux, appartient à l'ancien golf miocène de la basse Kabylie, qui est la terminaison orientale du grand bassin sédimentaire de la Mitidja.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

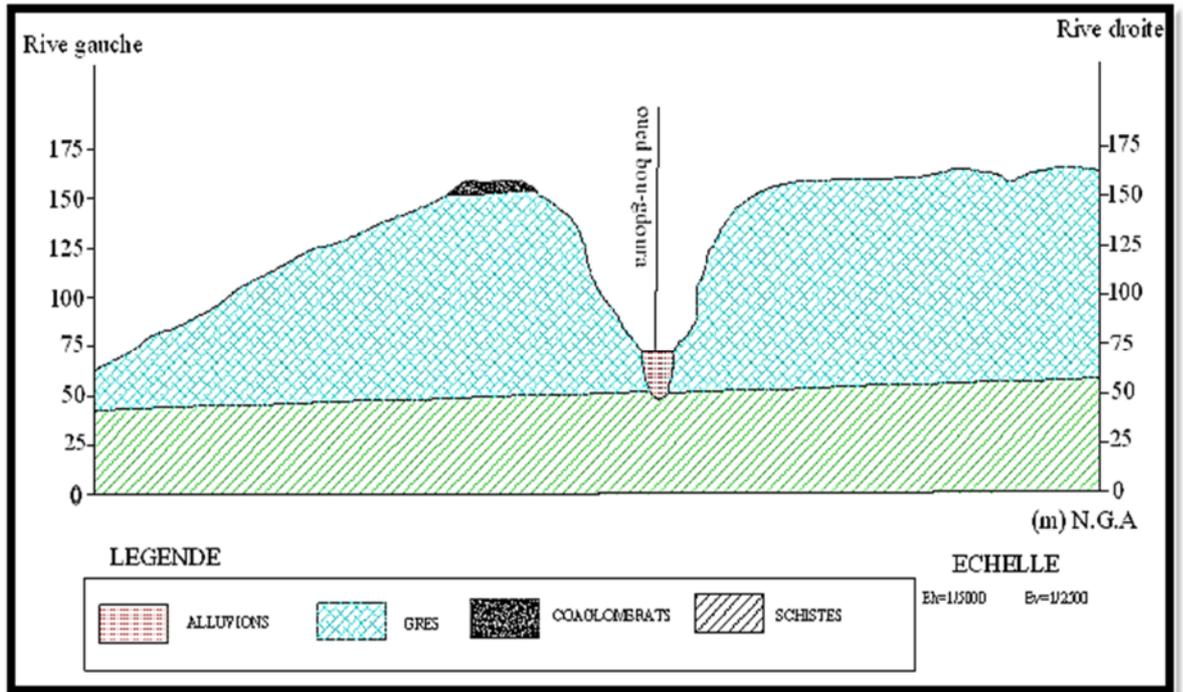


Figure 2-1 Coupe géologique.

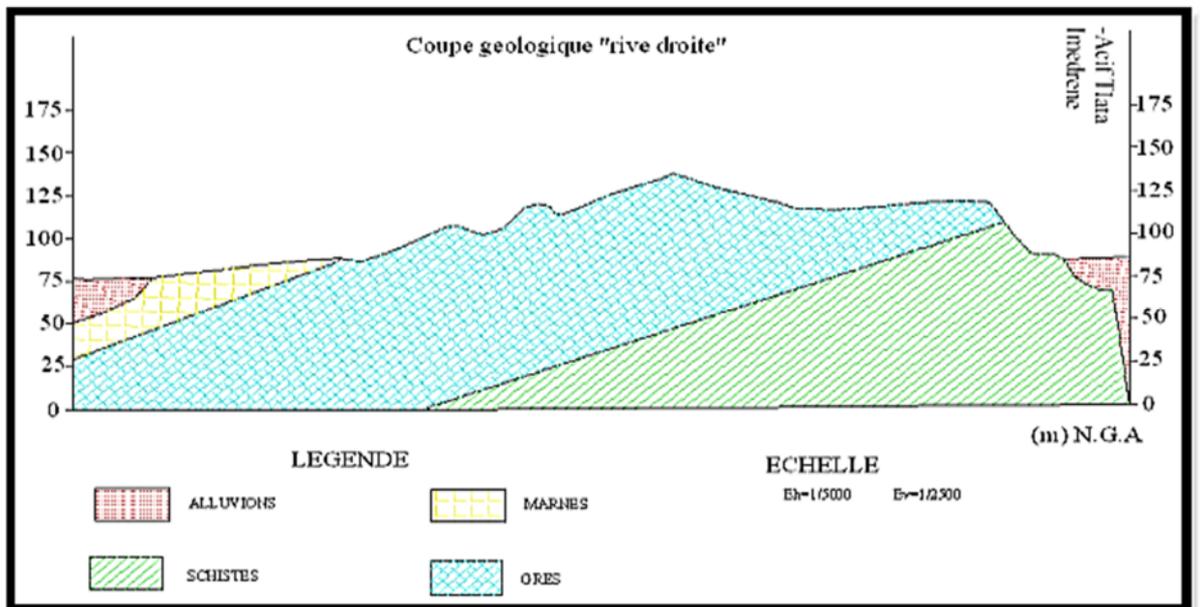


Figure 2-2 Coupe géologique « rive droite »

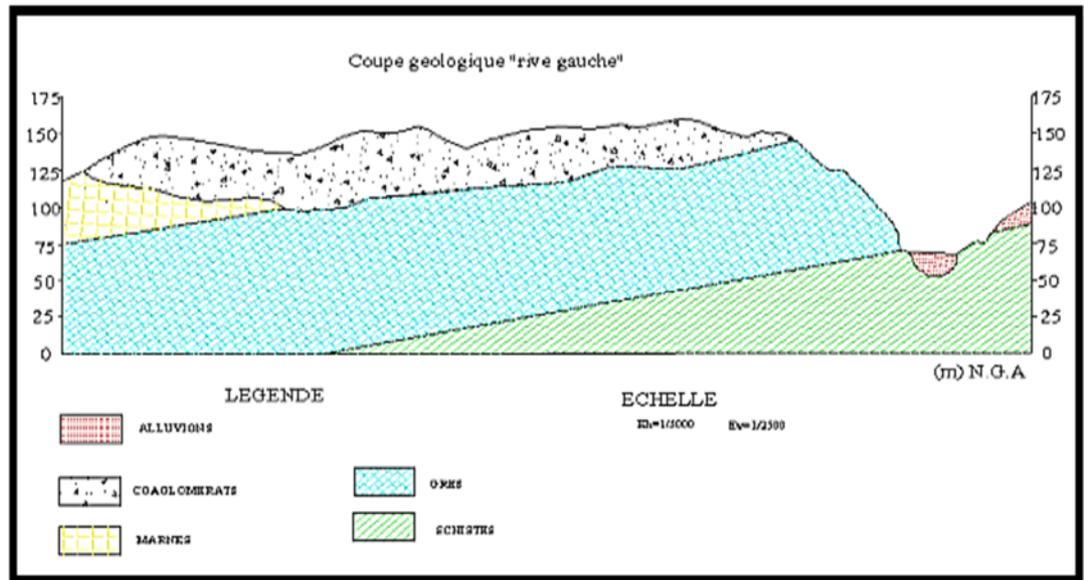


Figure 2-3 Coupe géologique « rive gauche »

2.2 Géologie du site

2.2.1 Stratigraphie

Les sédiments burdigaliens (étage terminal du Miocène inférieur) recouvrent le site du barrage avec un faciès transgressif et discordant les phyllades du socle métamorphique primaire, présente deux faciès qui passent latéralement de l'un à l'autre : Grès plus au moins fins, à ciment carbonatique et pélites plus au moins carbonatiques.

Par dessous, on retrouve des terrains qui appartiennent à la série cristallophyllienne terminale du socle gneissique et magmatique de grande Kabylie. Localement, les roches de la formation burdigalienne recouvertes par des dépôts alluviaux (poudingues), déposés par un ancien cours d'eau.

2.2.2 Description des lithofaciès

Les lithofaciès sont particulièrement les suivantes :

2.2.2.1 Débris en pente

Il s'agit de dépôts hétérogènes, pierreux-limoneux, produits par des anciens éboulements des hautes falaises gréseuses. Ils sont situés immédiatement en amont de la

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

confluence entre *Acif Tlata Imedrane*. Le CW 128 de *Boghni* coupe ces dépôts sur une longueur de 200 m environ, en formant un talus amont sub-vertical d'une dizaine de mètres de hauteur. L'affleurement est très bien exposé et présente les caractéristiques suivantes : gravier, pierres et blocs gréseux de 0.1 à 2 m³ (que l'érosion par ruissèlement met en surplomb) avec contours anguleux, faiblement cimentés, dans une matrice limoneuse-sableuse, déposés d'une façon chaotique sans structure reconnaissable ; les éléments cristallophylliens deviennent prépondérants vers l'extrémité méridionale de l'affleurement.

2.2.2.2 Colluvions

Ce sont des produits éluviaux des phyllades paléozoïques, remaniées par les mouvements de masse de la couche superficielle, ces dépôts présentent une plasticité et une consistance moyenne et occupent des surfaces importantes dans les versants de la cuvette. Il s'agit toutefois de gisements de faible épaisseur, ce n'est que près du village de Kantidja que les colluvions s'étendent sans discontinuité sur une surface d'une dizaine d'hectares. Ces colluvions peuvent être utilisées comme matériaux pour le noyau ; il faudra toutefois compter sur l'exploitation de petits gisements séparés les uns des autres.

2.2.2.3 Alluvions

Elles constituent les sédiments du lit des oueds. A la surface, elles sont constituées par du tout-venant, presque complètement exploité ; à 2m de profondeur, le matériau devient plus sableux. Il s'agit en général de graviers argileux et de sables limoneux-argileux.

Du point de vue pétrographique, les éléments sont, dans une mesure prépondérante, des gneiss et des pegmatites (43%) ; suivent les calcaires (29%), les micaschistes (22%) et les grès (6%).

La profondeur des alluvions de l'Oued Bouguedoura dans la zone de la gorge de Souk Tlata varie.

2.2.2.4 Phyllades

Elles affleurent sur les rives de l'Oued Bouguedoura et sont représentées par des schistes séricitiques et chlorito-graphiteux noirâtres avec veines et glands de quartz.

La schistosité est intense, clairement observable et tend à plonger vers le nord avec un pendage de 8-12°.

2.2.2.5 Poudingues

Elles occupent une surface importante dans la colline d'appui du barrage de la rive gauche et remplissent une vallée épigénétique profonde. En surface, l'altération les a transformées en un sol graveleux-sableux avec une matrice importante de limon argileux, tandis qu'en profondeur, elles deviennent très compactes, avec des horizons très fortement cimentés. De point de vue granulométrique, les poudingues sont composés de gravier argileux avec cailloux, de forme ronde, avec des blocs isolés qui peuvent atteindre le volume de 0.25 à 1m³.

Du point de vue pétrographique, les éléments sont dans une mesure prépondérante, des gneiss et Q-pegmatiques (58%) ; suivent les schistes micacés et les micaschistes (30%), puis les calcaires (3%) et les grès (1%) ; des argiles vertes représentent le (8%).

2.2.2.6 Grès burdigaliens

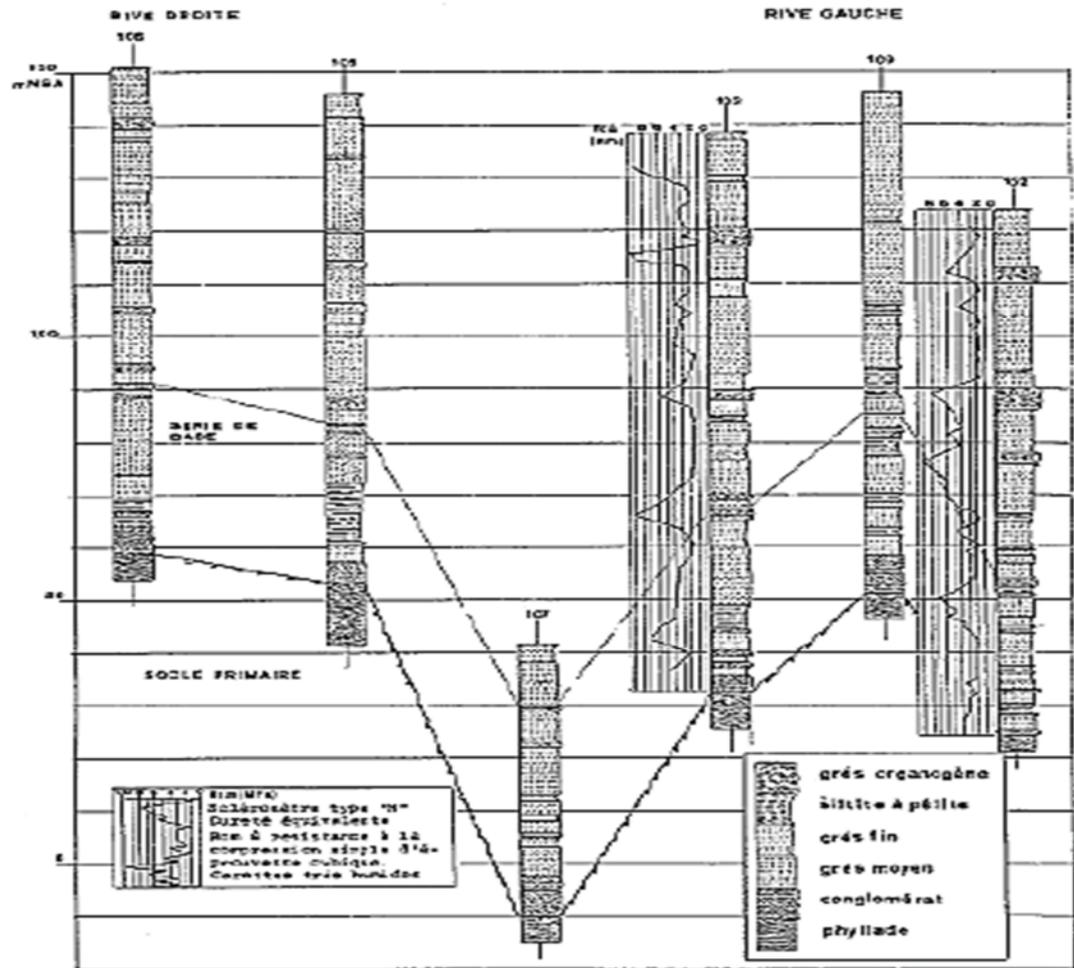
Les grès burdigaliens constituent les deux appuis du barrage. Il s'agit d'une formation gréseuse transgressive sur le socle phylladique, illustrée dans la figure 8. La transgression marquée par une série de conglomérats de base, formée par quelques mètres de poudingues localement grossiers, suivies de grès fins, sillites/pelites en alternance. Cette série a une épaisseur de 15-20 m.

Au-dessus de ces conglomérats de base, le burdigalien devient gréseux d'une façon assez homogène mais avec, toutefois, des bancs intercalaires organogènes c'est des grés à éléments sableux moyens-fins, à ciment carbonatque-sidérétique, tendres à mi-durs.

Les éléments détritiques sont essentiellement de quartz et, subsidiairement, des débris de roche métamorphique, micas et feldspath et sont typiques de molasses postorogéniques. Les couches organogènes sont, au contraire, très dures, et présentent une faune abondante de gastéropodes et lamellibranches.

Les grés non altérés sont de couleur grise, mais les roches altérées par hydrothermalisme ferrugineux présentent une couleur beige foncé à rouge brique ; les

zones peu altérées offrent des figures bigarrées (multicolore) localement les températures élevées ont conduit à une certaine cristallisation des éléments détritiques.



2.2.3 Tectonique

Les sédiments burdigaliens forment une structure monoclinique plongeant vers le nord avec un pendage (15 ; 20)⁰. Il s'agit d'une structure tectonique en forme « Horst » et « Graben » due aux mouvements épirogéniques de la néotectonique dispensée tardo-pliocène et poste-astienne, qui intéresse même les poudingues pliocène.

Par l'analyse des photos aériennes, on constate la présence d'un réseau dense de linéaments qui peuvent être attribués aux diaclases géantes ou aux failles subverticales déjà mentionnées.

2.2.4 Altération

Les sols éluviaux de couverture constituent le stade le plus avancé de l'altération des roches. Dans la zone d'affleurement des grès burdigaliens, la couche de « terra rossa » atteint quelques mètres d'épaisseur le long du versant de rive droite.

La dégradation physique, caractérisée par des fissures ouvertes qui se renferment vers le bas, atteignent en rive droite une profondeur de 10 m environ ; dans la rive gauche, confinée entre les vallées des Oueds Bouguedoura et Tlata et la vallée épigénétique, la décompression du massif rocheux est plus profonde et atteint le niveau des rivières.

L'altération chimique des grès est due aux circulations hydrothermales ferrugineuses ascendantes qui se sont produites le long des plans de rupture pendant les phases critiques de la néotectonique en pénétrant plus profondément dans les massifs les plus poreux.

En rive droite, l'altération hydrothermale a atteint la profondeur de 40 m, tandis que dans le versant de rive gauche elle est parvenue jusqu'à 70 m de profondeur. La différence entre la zone altérée et la zone saine est nette d'après les résultats des essais avec le scléromètre de type N sur les carottes prélevées.

2.2.5 Perméabilité, conditions hydrogéologiques

Pour déterminer le coefficient de perméabilité des roches de fondation, plusieurs essais d'eau en pression (Lugeon) ont été exécutés ; dans les alluvions de l'Oued de Bougdoura et dans les poudingues pliocènes, des essais d'eau ponctuels à niveau constant (Lefranc) ont été effectués.

2.2.6 Essais d'eau Lugeon et Lefranc

Le géologue lausannois Maurice Lugeon (1870-1953) a mis au point un essai d'eau qui est devenu universel. Au fur et à mesure de l'avancement du forage, on fait un essai d'eau par tronçons de 5m, sous une pression de 10kg/cm² (que l'on mesure généralement à l'entrée du forage) pendant 10min; en général 10kg/cm² (qu'il est d'ailleurs recommandé de ne pas dépasser) pour une zone qui se trouvera entre 0 et 100m de profondeur sous le niveau de la future retenue, et ainsi de suite. On mesure la quantité d'eau qui s'échappe dans le terrain. Cette unité de mesure (1 l/m X min sous 10kg/cm²) s'appelle le Lugeon.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

L'expérience a montré que le terrain est étanche (du point de vue de l'ingénieur), si les pertes sont inférieures à 1 litre par minute et par mètre de forage pendant 10 minutes. Il est rare que le rocher naturel soit si étanche. Pour la fondation d'un barrage, est considéré comme étanche sans injection un terrain qui absorbe moins de 1 unité Lugeon ; au-delà de 1ul il est considéré comme perméable et doit être injecté (Sabarly, 1968) En général on a :

Qualité du rocher	Unité Lugeon
Excellente	0 à1 l/ m X min
Bonne	1 à5 l/ m X min
Moyenne	5 à10 l/ m X min
Médiocre	Plus de 10 l/ m X min

La figure II-5 : les diagrammes de distribution de fréquences relatives du coefficient de perméabilité k en cm/s des alluvions, des poudingues pliocènes et des grés.

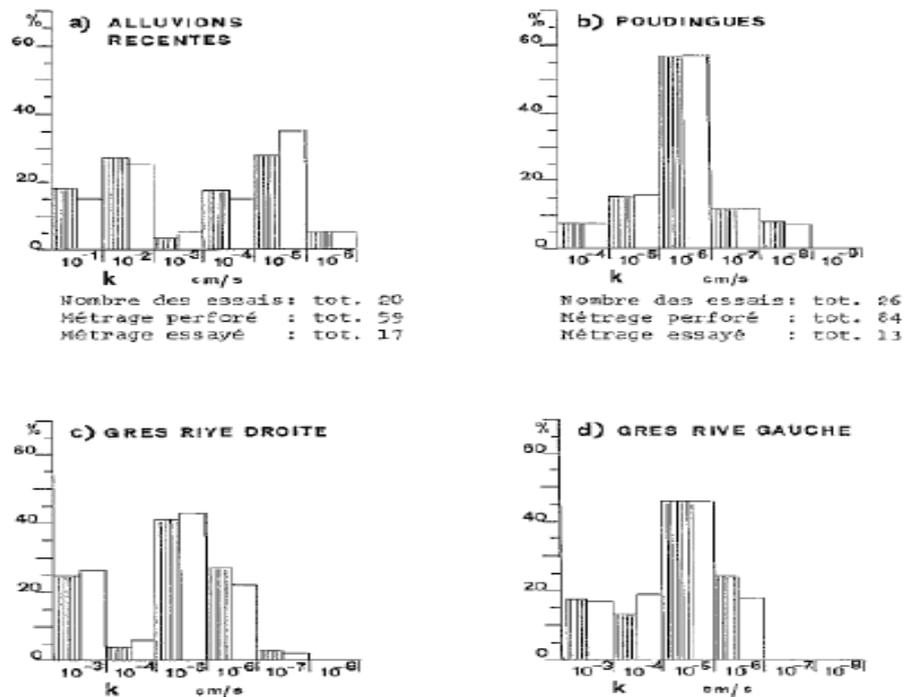


Figure 2-5 Diagramme de distribution des fréquences relatives

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Pour les alluvions de l'oued BOU-GDOURA, K varie entre (5.10^{-1} et 5.10^{-6}) cm/s ce qui met en évidence l'hétérogénéité du sol, confirmée également par les courbes granulométriques.

Les coefficients K des poudingues pliocènes, qui suivent assez bien une distribution normale, montrent des faibles perméabilités (5.10^{-1} et 5.10^{-7}) cm/s, dues surtout au degré élevé de consolidation et une certaine cimentation.

En ce qui concerne les grès, les nombreux essais exécutés indiquent que la différence de perméabilité entre les deux versants de l'oued Bouguedoura est faible. En général, la formation gréseuse est très perméable ; en effet 74% du métrage essayé présente un coefficient de perméabilité supérieur à 1.10^{-5} cm/s et 30% donne des absorptions d'eau élevées (K supérieur à 1.10^{-4} cm/s).

La série des conglomérats de base ainsi que les phyllades doivent être considérées comme peu perméable par porosité. Toutefois ces formations ainsi fracturées.

Les essais d'eau en pression dans les phyllades ont en effet donné des valeurs de K entre (1.10^{-4} et 1.10^{-5}) cm/s et entre (1.10^{-5} et 5.10^{-6}) cm/s.

Les fractures et les contacts stratigraphiques sont donc des chemins potentiels de fuite de l'eau de réservoir. Toutefois, à cet égard, c'est dans les collines de rive gauche que les risques sont les plus élevés.

Il faut s'attendre à de fortes perméabilités le long des bandes tectonisées, et en outre le long des contacts stratigraphiques entre des formations différentes. En effet, les plus grandes perméabilités ont été obtenues au contact entre les poudingues pliocènes et les grès burdigaliens, entre 42 et 52 m de profondeur. On doit ainsi supposer que pour la zone de contact entre le « bedrock » et les poudingues a été, en général, fortement sollicitée et altérée et que, par conséquent, elle pourrait représenter une zone préférentielle d'infiltration pour l'eau.

Les fractures et les contacts stratigraphiques sont donc des chemins potentiels de fuite de l'eau du réservoir. Toutefois, à cet égard, c'est dans la colline de rive gauche que les risques sont le plus élevés. En effet, le phénomène géologique le plus important du site

du barrage est la vallée épigénétique (colmatée par les poudingues pliocènes) qui traverse obliquement la colline susmentionnée.

2.3 Géologie du réservoir

Les roches qui affleurent sur les flancs des vallées d'Acif Tlata Imedrane et d'Acif Tleta appartiennent à la série cristallophyllienne du massif primaire kabyle. Il s'agit en général de schistes lustrés ou phyllades et de micaschiste, que la littérature scientifique définit par éctinites. On a affaire à trois lithofaciès :

- **Phyllades** : Schistes séricitiques et chlorito-graphiteux avec veines et glands de quartz.
- **Phyllades gneissiques** : traversées de nombreux filons de gneiss
- **Micaschistes** : schistes \pm micacés et \pm granulitisés

Les formations qui affleurent dans le bassin de retenue doivent être considérées comme peu perméable. Des pertes d'eau sont possibles à travers les poudingues fissurées qui colmatent la vallée épigénétique de la colline de rive gauche de l'Oued Bougdoura.

En ce qui concerne la stabilité des pentes naturelles, les zones les plus critiques sont celle où affleurent les phyllades, qui présentent des paramètres de résistance au cisaillement peu élevés et qui sont donc sensible à une vidange rapide. L'inclinaison moyenne des pentes dans les phyllades est de $20^\circ \pm 6^\circ$ (140 mesures).

2.4 Sismicité de la région

D'après les données historiques, la zone du barrage appartient à une région sismotectonique de faible à moyenne activité. En effet, elle se trouve loin des grands bassins sédimentaires, subsidents encore aujourd'hui du miocène inférieur (Chlef, Metidja, Soummam, Hodna) qui sont le centre des foyers sismiques les plus dangereux de l'Algérie.

G.Dubourdieu (1968) situe la zone concernée dans un couloir de probable risque sismique dans sa carte relative à la sécurité antisismique en Algérie littorale.

Par conséquent, le site du barrage n'est pas très distant des accidents tectoniques transversaux de direction $N140^\circ$ et $N75^\circ$ (figure II.6) qui ont joué un rôle important dans le soulèvement des chaînes atlasiques pendant le paroxysme miocène et les soulèvements

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

épirogéniques post-burdigaliens, comme, par exemple, les transversales de Bouira/ Isser et du Djurdjura/Bejaia.

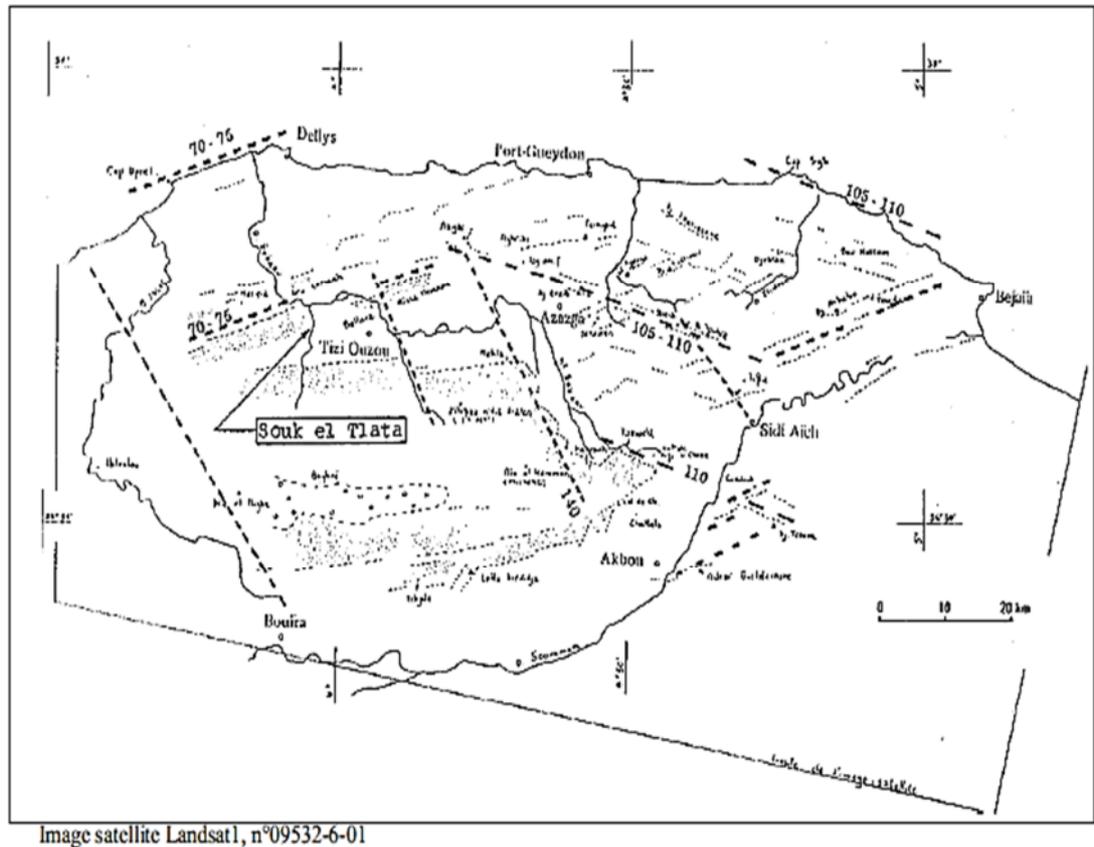


Figure 2-6 Interprétation schématique des principaux linéaments affectant la Grande Kabylie

Toutefois le site du barrage n'est pas très distant des accidents tectoniques transversaux de direction N°140 et N°75 qui ont joué un rôle important dans les chaînes atlasiques pendant le paroxysme miocène et les soulèvements épirogéniques post-burdigalien, comme par exemple, les transversales de BOUIRA-ISSER et du DJURDJURA-BEJAI. Par conséquent il est possible que la zone du barrage de Souk Tlata puisse ressentir bien qu'affaiblies par la distance, les secousses des séismes des régions sismo-tectonique actives environnantes.

D'après les données historiques, il faut s'attendre, dans la zone du site du barrage à des tremblements de terre : légers (IMM= I - III) avec une fréquence biennale, moyens (IMM=IV -V) avec une fréquence décennale et forts (IMM=IV - VII) avec une fréquence de 150 ans.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Aucun foyer sismique n'a été enregistré au site du barrage pendant ces dernières années dans un rayon de 40Km. Des secousses des zones actives environnantes sont, par contre ressenties dans la région de TIZI-OUZOU avec une certaine fréquence, mais avec une faible intensité (I –IV). Toutefois, les données historiques étant fragmentaires pour les périodes passées, l'on peut supposer que la zone du site a été sollicitée par des secousses d'intensité supérieure aux valeurs indiquées.

Par conséquent on estime pour le site du barrage les accélérations de pointe suivantes :

- $a_{max} = (0,06 ; 0,10)$ g période de retour de 100 ans
- $a_{max} = 0,15$ g période de retour de 500ans

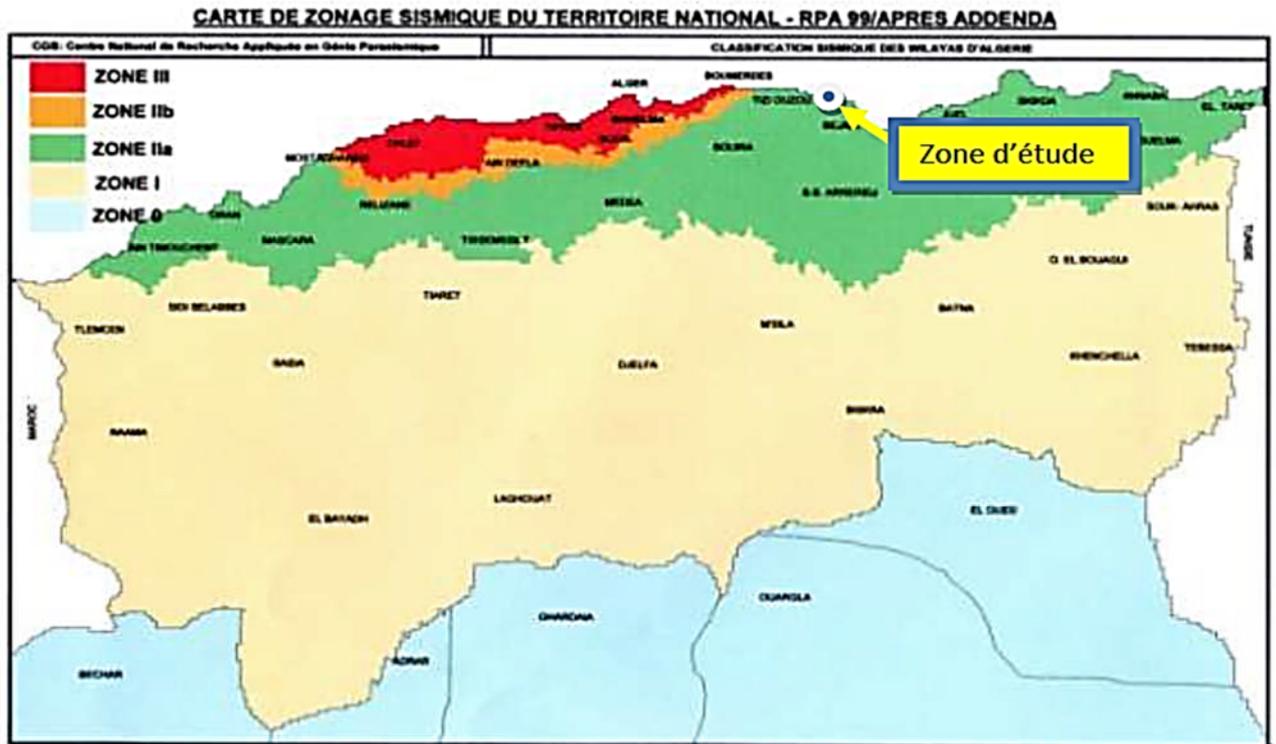


Figure 2-7 Carte de zonage sismique du territoire Algérien

3 Étude Géotechnique

Afin de définir les caractéristiques et les comportements mécaniques des sols, les paramètres géotechniques suivants sont basés sur les essais en laboratoire et les résultats de reconnaissances.

3.1 Les essais d'identification

- **L'analyse granulométrique** : étudie la répartition des grains, constituant le sol selon leurs tailles.
- **La limites d'Atterberg** : (limite de plasticité ; limite de liquidité ; indice de plasticité) caractérisant les différents états de consistance d'un sol fin.

3.2 Les essais mécaniques

- **Les essais de compressibilité** : le but de l'essai est de déterminer en laboratoire sur des échantillons intacts, les caractéristiques nécessaires au calcul des tassements aux sols en place sous le poids d'une charge verticale et au suivi de l'évolution dans le temps, de ces mêmes tassements.
- **L'essai triaxial** : Nous donne l'angle de frottement interne et la cohésion spécifique et éventuellement les contraintes normales et tangentielles admissibles.
- **L'essai Proctor normale** : Détermine la densité max requise correspondant à une teneur en eau optimum définie par l'énergie de compactage.

3.3 Résultats expérimentaux des essais en laboratoire et in situ

3.3.1 Campagne de reconnaissance

3.3.1.1 Roches de fondation

Exécution de 25 forages carottés à savoir :

- 4 dans le lit de l'Oued Bougdoura (forages 101, 104, 104bis et 107).
- 4 dans la zone d'appui en rive droite (forages 105, 106, 115 et 116).
- 11 dans la zone d'appui en rive gauche (forages 102, 103, 108, 109,110, 111, 112, 113, 119, 119 b et 120).
- 6 dans la zone d'assise du barrage auxiliaire (forages 121, 122, 123, 124, 125, 126).

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

3.3.1.2 Matériaux de construction

Argiles de noyau (zones AI, AII, AIII et AIV) : 22 forages.

Alluvions de recharge (Zone B): 16 forages 63 forages ont été exécutés au total, correspondant à 1847 m de perforation (voir Tableau III.2).

Tableau II.3.4 - : Essais de reconnaissance (Forages)

Roches de fondations		Matériaux de construction	
N du Forage	Profondeur/m	N du Forage	Profondeur /m
101	50	AI / 1	10
102	145.5	AI / 2	4.5
103	116	AI / 3	3.8
104	60	AI / 4	2.9
104 bis	40.5	AI / 5	3.8
105	105	AII / 1	5.5
106	100	AII / 2	5.5
107	78	AIII / 1	8.1
108	40	AIII / 2	12.55
109	100	AIII / 3	9.5
110	25	AIII / 4	3
111	30.1	AIII / 5	10.4
112	55	AIII / 6	12.6
113	25	AIII / 7	12.3
115	76.68	AIII / 8	10
116	69.7	AIII / 9	8.5

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

119	26	AIII / 10	3.4
119 bis	79.15	AIII / 11	10
120	35	AIII / 12	9.3
121	55	AIV / 1	5.1
122	45.1	AIV / 2	9.7
123	55.3	AIV / 3	4.7
124	40	B / 1	10
125	35	B / 2	10
126	35	B / 3	10
		B / 4	10
		B / 5	10
		B / 6	10
		B / 7	10
		B / 8	10
		B / 9	10
		B / 10	10
		B / 11	10
		B / 12	10
		B / 13	10
		B / 14	10
		B / 15	10
		B / 16	10

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Pour les essais au laboratoire géotechnique, 94 échantillons ont été sélectionnés, comme suit :

- **Pour les roches de fondation nous avons**

Roches de fondation	Nombre d'échantillons
Grès burdigaliens	16
Pélites burdigaliennes altérées	09
Phyllades	07

- **Pour les Matériaux de construction**

Matériaux de construction	Nombre d'échantillons
Alluvions argileuses	23
Pélites burdigaliennes	03
Grès burdigaliens	04
Poudingues pliocènes	03
Alluvions	29

3.3.2 Résultats des essais en laboratoire et in situ

3.3.2.1 Poudingues pliocènes

- Granulométrie : fraction inférieure à 0.06 mm : 5 - 12%
- Limites d'Atterberg: $WL=34,1 \pm 2,5$ %
 - $IP=10,5$ %
- Classification U.S.C.S. : GC
- Coefficient de perméabilité k d'après les essais ponctuels (Lefranc) dans les forages :

$$K = 5 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s.}$$

- Poids spécifique : $\gamma_s = 2,66 \pm 0,005 \text{ t/m}^3$
Densité sèche : $\gamma_d = 1,97 - 1,99 \text{ t/m}^3$

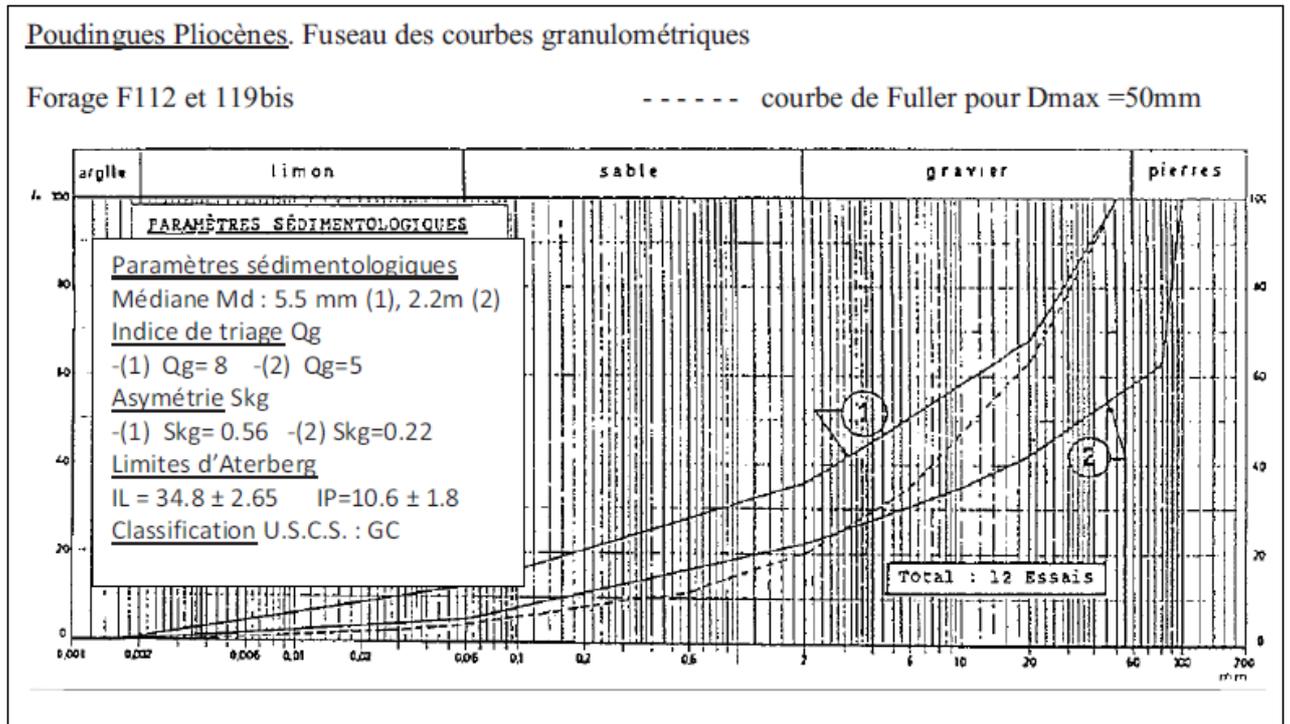


Figure 3-1 Diagramme granulométrique des Poudingues Pliocènes

3.3.2.2 Grès burdigaliens

- Granulométrie : fraction inférieur à 0.06 mm : 30 - 68% (figure III.1)
- Dureté au choc déterminée avec le scléromètre N : RM = 10,4 ±4
- Droite de régression de RM : RM = 7,8 ± 0,05 prof (m)
- Résistance à la compression simple : $\sigma_c = 102 \pm 5 \text{ kg/cm}^2$
- Résistance à la compression simple après 10 jours d'immersion :

$$\sigma_c = 80 \pm 38 \text{ kg/cm}^2.$$

- Résistance à la traction sur échantillons saturés : $\sigma_c = 16 \pm 4 \text{ kg/cm}^2$.
- Perte de résistance après 10j d'immersion : D= 18,9 ± 9,2.
- Désagrégation (SLAKING) après 70j d'immersion en eau; perte en poids : 0%
- Désagrégation après 25 cycles de gel et de dégel : perte en poids 4 – 11%
- Poids spécifique : $\gamma_s = 2,68 \pm 0,02 \text{ t/m}^3$
- Coefficient d'absorption : $W_s = 6,9 \pm 1,9 \%$

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

- Porosité : $P = 18,9 \pm 3,4 \%$
- Densité sèche : $\gamma_d = 2,14 \pm 0,05$
- Teneur en eau naturelle : $W_n = 3,6 \pm 2,8$
- Abrasivité Los Angeles LA= $46 \pm 20\%$
- Déformation cyclique, module sécante: $E_D = 38000 \pm 19000 \text{ kg/cm}^2$.

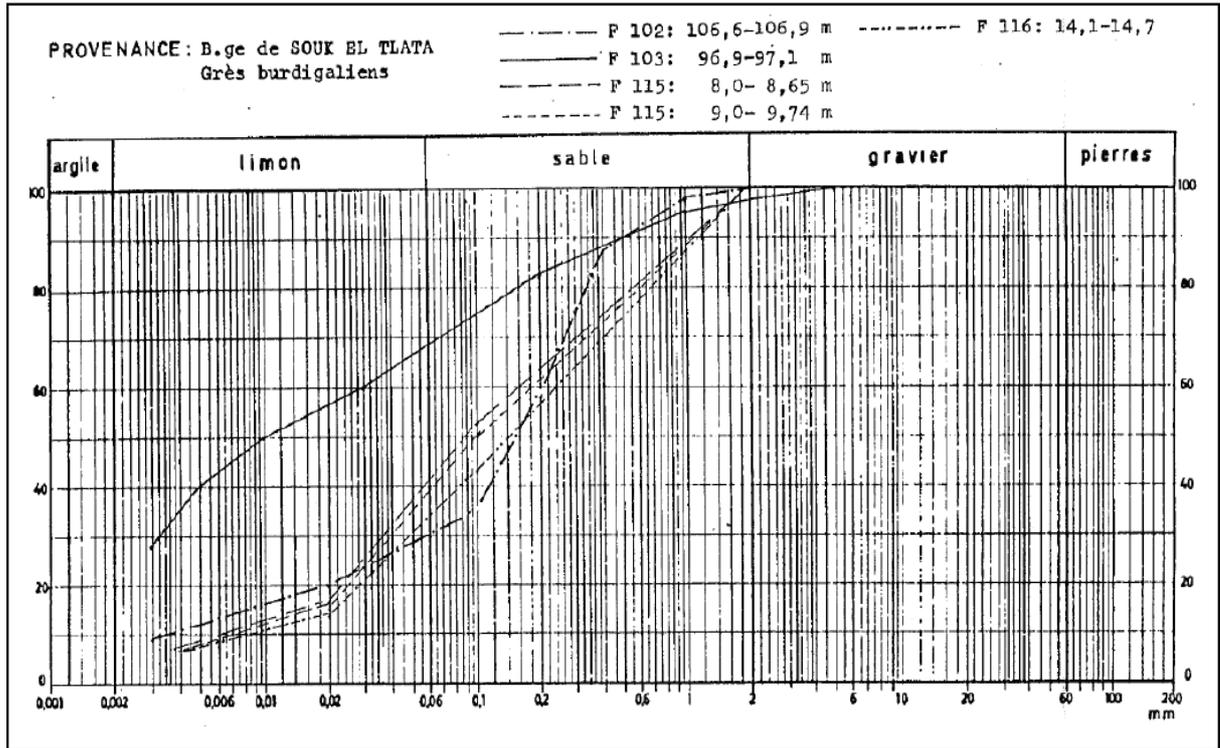


Figure 3-2 Diagramme granulométrique des grès burdigaliens

3.3.2.3 Alluvions actuelles de l'Oued Bougdoura :

- Granulométrie : fraction $< 0,06 \text{ mm}$: 8 - 23% (figure III.2)
- Classification U.S.C.S : GM/GM-ML à SM-ML/SM-ML
- Densité relative moyenne d'après S.P.T. : $71,5\% \pm 11$
- Densité relative « in situ », en surface, $DR = 59 \pm 20 \%$
- Densité in situ (densimètre) : $\gamma_d = 1,92 \pm 0,1 \text{ t/m}^3$
- Coefficient de perméabilité k d'après les essais ponctuels (Lefranc) dans les forages: $5 \cdot 10^{-1} - 6 \cdot 10^{-6}$; moyenne $5 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}$.

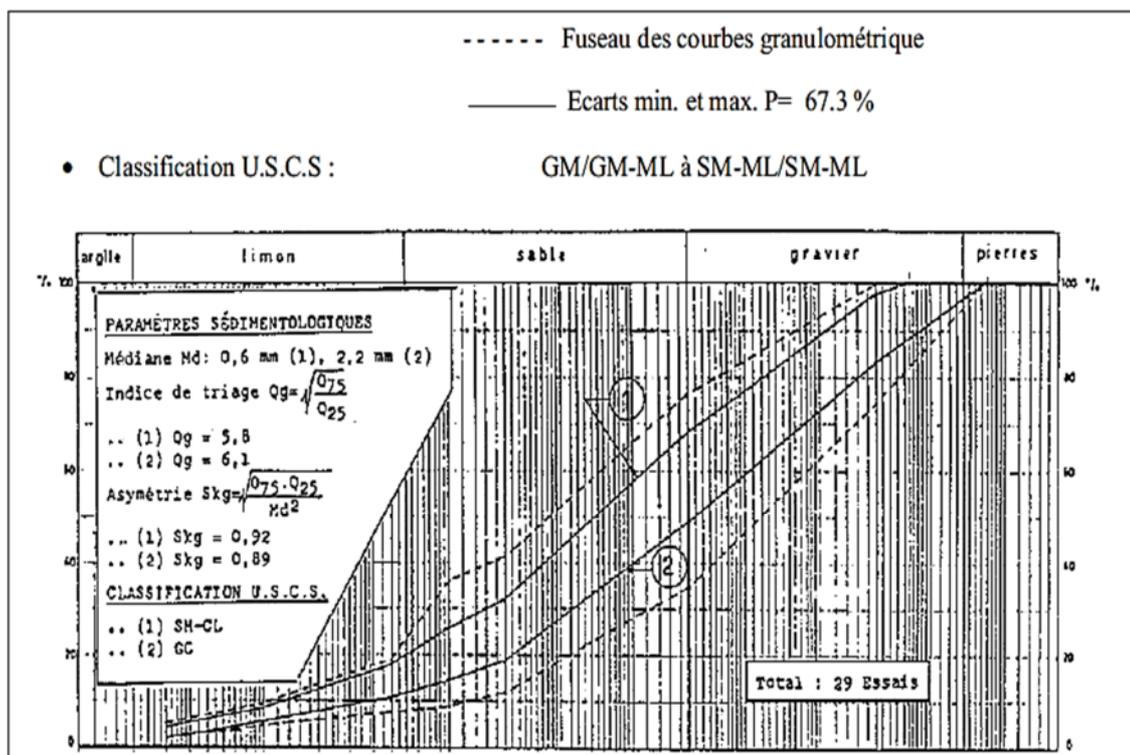


Figure 3-3 Diagramme granulométrique alluvions récente de l'Oued- Bouguedoura

Essais de pénétration standard (S.P.T)

- Alluvions de l'Oued Bouguedoura

Tableau II.3.4.2.3- -Densité relative des Alluvions de l'Oued Bouguedoura d'après le S.P.T¹

Forage et profondeur	Nombre de coups pour enfoncement de 15 cm de l'outil RAYMOND	N°30	N°30 Corrigé	Densité relative en %	Resistance à la compression simple d'après la consistance
F 104					
2- 2,45	6/15 6/15 9/15	12	37	72	
4- 4,45	7/15 7/15 10/15	14	35	70	

¹: D'après le diagramme de B.S.COFFMAN, "Estimating the relative Density of Sands", Civ. Engineering ASCE, 1960 : correction de N° 30 en fonction de la profondeur.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

6- 6,45	7/15 8/15 10/15	15	32	67	1,3 sol arg.
8- 8,45	8/15 10/15 13/15	18	34	69	
10- 10,45	7/15 10/15 25/15	17	29	64	
12- 12,45	6/15 16/15 25/15	22	35	70	
14- 14,45	4/15 6/15 7/15	10			
16- 16,45	8/15 12/15 16/15	20	26	60	
F 107					1,5 sol arg.
3- 3,45	15/15 9/15 12/15	21	56	60	
5- 5,45	9/15 13/15 11/15	22	51	86	
7- 7,45	8/15 12/15 10/15	20	54	88	
9- 9,45	6/15 9/15 13/15	15	27	62	
11- 11,45	6/15 10/15 15/15	16	26	60	
13- 13,4	5/15 7/15 8/15	12			

3.3.3 Type de barrage

Pour choisir le type du barrage à adopter il faut prendre en considération les facteurs suivants : la topographie, assiette structurale, lithofaciés, altération, conditions hydrogéologiques et mobilité des massifs rocheux.

3.3.3.1 Topographie

La Vallée est asymétrique ; le versant de rive gauche a une inclinaison moyenne de 35° et culmine sur une colline qui partage les oueds Bouguedoura et Agueroun, tandis que celui de rive droite monte avec des pentes plus raides (environ 51°), jusqu'à la cote 234 m NGA, sur la ligne de partage des eaux entre la vallée de l'Acif Mogdoul et celle de l'Acif Tala Imedrane.

3.3.3.2 Assiette structurale

Joints de stratification et de schistosité plongeant vers l'aval selon la direction d'écoulement de l'oued Bouguedoura.

Subdivision du rocher en polyèdres par un réseau dense de diaclases géantes et failles subverticales, qui décalent les blocs sous forme de "Horst" et "Graben".

Les linéaments tectoniques, qui suivent la direction d'écoulement des ruisseaux de la zone, sont orientés Nord-Sud et Est -Ouest.

3.3.3.3 Lithofaciès

Appuis en grès homogènes, tendres ($\gamma_{\text{sat}} = 80 \pm 38 \text{ kg/cm}^2$) avec passages de siltite dans la série du conglomérat de base.

Couche alluviale épaisse (environ 20 - 21 m) sur le fond de la gorge, qui recouvre des phyllades, des schisteuses à très laminées, en amont de l'axe, et de grès homogènes en aval de ce dernier.

3.3.3.4 Altération

Roche décompressée jusqu'à 10 m de profondeur environ en rive droite, tandis qu'en rive gauche la décompression atteint le fond de la vallée. Altération chimique (par hydrothermalisme) profonde des grès des versants d'appui (jusqu'à 40 m de profondeur en rive droite et jusqu'à 70 m en rive gauche), caractérisée par une coloration brunâtre, une faible résistance au choc déterminée à l'aide du scléromètre N et une faible résistance à la compression simple.

3.3.3.5 Conditions hydrogéologiques

Pertes possibles par infiltration sur les flancs de la vallée à travers le réseau de fractures et les contacts entre les différentes formations ainsi que par la voie de la vallée épigénétique de rive gauche.

Alluvions de fond vallée de faible densité relative; elles peuvent, en outre, se liquéfier en cas d'un tremblement de terre moyen-fort.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

- **Sismicité** : faible à moyenne
- **Stabilité des pentes du réservoir** : moyenne
- **Matériaux de construction**

Agrégats pour béton: carrière d'Ath Si Youcef au sud de Boghni, à 40 km de distance environ du site du barrage.

Matériaux de recharge, de noyau et de filtres à proximité du site.

Les facteurs résumés ci-dessus donnent à penser que le site de Souk el Tlata est acceptable pour la construction d'un barrage en terre/enrochement ou béton compacté au rouleau.

Une comparaison technico-économique des variantes, doit être faite pour déterminer le type de barrage à adopter.

3.3.3.6 Mobilité des massifs rocheux

Sollicité par des poussées latérales, l'appui de rive gauche est très délicat en ce qui concerne la stabilité. Ceci en raison d'une assiette structurale défavorable, d'un manque de soutien en amont à cause de la vallée de l'Acif Tatla et de la présence de la vallée épigénétique qui traverse obliquement la colline de rive gauche de l'oued Bouguedoura.

3.3.4 Étude géotechnique des matériaux de construction :

Pour procéder à la construction d'un barrage, il est indispensable de mettre en place de grandes quantités de matériaux. Le coût de la construction est en relation avec le prélèvement, le transport et la mise en place des matériaux donc il est souhaitable que les zones d'emprunts soient à proximité immédiates du site et les coûts du traitement des matériaux à savoir : la sélection, le concassage le lavage doivent être optimisés.

L'une des grandes difficultés de l'étude préliminaire d'un barrage consiste à garantir avec une bonne précision une qualité suffisante et homogène pour toute la quantité nécessaire.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Tableau II.3.4.4 -Forages de reconnaissance pour la recherche des matériaux de construction.

Argile zones AI - AIV		Gravier Zones B		Grès Zones C		Pélites Zones D		Poudingues Zones E	
Forage	Prof m	Forage	Prof m	Forage	Prof m	Forage	Prof m	Forage	Prof m
AI 1	10	B1	10	F115	76.68	F122	24.1	F112	55
2	4.5	2	10	F116	69.70	F123	55.3	F119B	79.15
3	3.8	3	10			F 126	35.0		
4	2.9	4	10						
5	3.8	5	10						
AII 1	5.5	6	10						
2	5.5	7	10						
AIII 1	8.1	8	10						
2	12.55	9	10						
3	9.5	10	10						
4	3	11	10						
5	10.4	12	10						
6	12.6	13	10						
7	12.3	14	10						
8	10	15	10						
9	8.5	16	10						
10	3.4								
11	10								
12	9.3								

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

AIV 1	5.1								
2	9.7								
3	4.7								

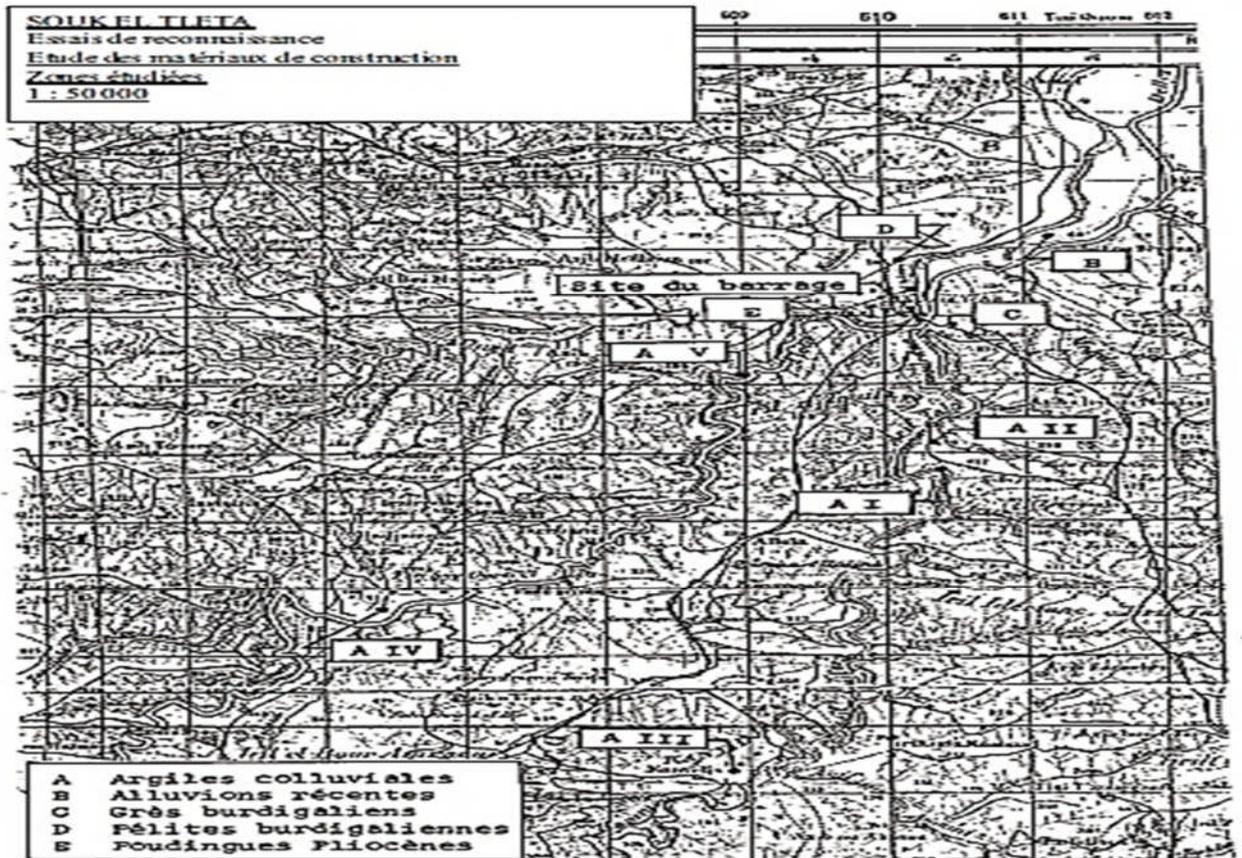


Figure 3-4 Essais de reconnaissance (Etude des matériaux de construction)

- Les zones sur la carte sont définies comme suit :

3.3.4.1 Alluvions graveleuses

Zone B : Est Située en aval du site du barrage, de coordonnées :

X = 611 500

Y = 378 800

3.3.4.2 Colluvions argileuses

Zone AI : Se trouve en amont du site du barrage, à 3km de distance le long du CW128 vers Boghni, en rive gauche d'Acif Tala Imedrane, de coordonnées : X=610 324

$$Y = 373\ 391$$

Zone AII : Est située En amont du site du barrage, à 2km environ de distance, en rive droite d'Acif Tala Imedrane, de coordonnées :

$$X = 610\ 315$$

$$Y = 374\ 057$$

Zone AIII : se trouve près du village de Kantidja, à 9 km environ de distance du site du barrage, dans la vallée d'Acif Tala Imedrane, de coordonnées :

$$X = 608\ 742$$

$$Y = 369\ 208$$

Zone AIV: est située Près du village de Oued Ksari, 9km environ en amont du site du barrage, en rive gauche d'Acif Tleta, de coordonnées :

$$X = 606\ 200$$

$$Y = 371\ 500$$

Zone AV: En amont du site du barrage, à 3 km de distance, le long de la RN 25 vers Draa El Mizan, en rive gauche d'Acif Tleta, de coordonnées :

$$X = 608\ 750$$

$$Y = 374\ 500$$

3.3.4.3 Pélites altérées

Zone D: Cette zone occupe une surface de grande étendue entre les vallées de l'Oued Aguer gour et de l'Oued Bouguedoura; les matériaux y présentent des caractéristiques assez homogènes.

Des échantillons ont été prélevés pendant l'exécution des forages, pour procéder à des essais en laboratoire en vue d'une exploitation éventuelle de ces matériaux pour la construction du barrage.

3.3.4.4 Grès Burdigaliens

Situé en **zone C** dans le versant de rive droite de l'Oued Bouguedoura, au droit du site du barrage, de coordonnées :

$$X = 610\ 358$$

$$Y = 374\ 579$$

3.3.4.5 Poudingues pliocènes

Zone E : elle se trouve entre le barrage principal et la digue de col, en rive gauche de l'Oued Bouguedoura.

Les carottes prélevées dans les forages exécutés ont été utilisées dans le cadre de l'étude géologique du déversoir auxiliaire pour procéder à leur classification en tant que matériaux de construction éventuels.

3.3.5 Description géotechnique des matériaux de constructions

3.3.5.1 Colluvions argileuses

Ce sont des produits éluviaux des phyllades paléozoïques, remaniées par les mouvements de masse de la couche superficielle. Couramment de granulométrie fine, englobant toutefois des débris rocheux, ces dépôts présentent une plasticité et une consistance moyennes et occupent des surfaces importantes dans les versants de la cuvette. Il s'agit toutefois de gisements de faible épaisseur ; elles s'étendent sans discontinuité sur une surface d'une dizaine d'hectares près du village de Kantidja, Avec une présence de matériaux organiques à partir de 4 à 5 m de profondeur.

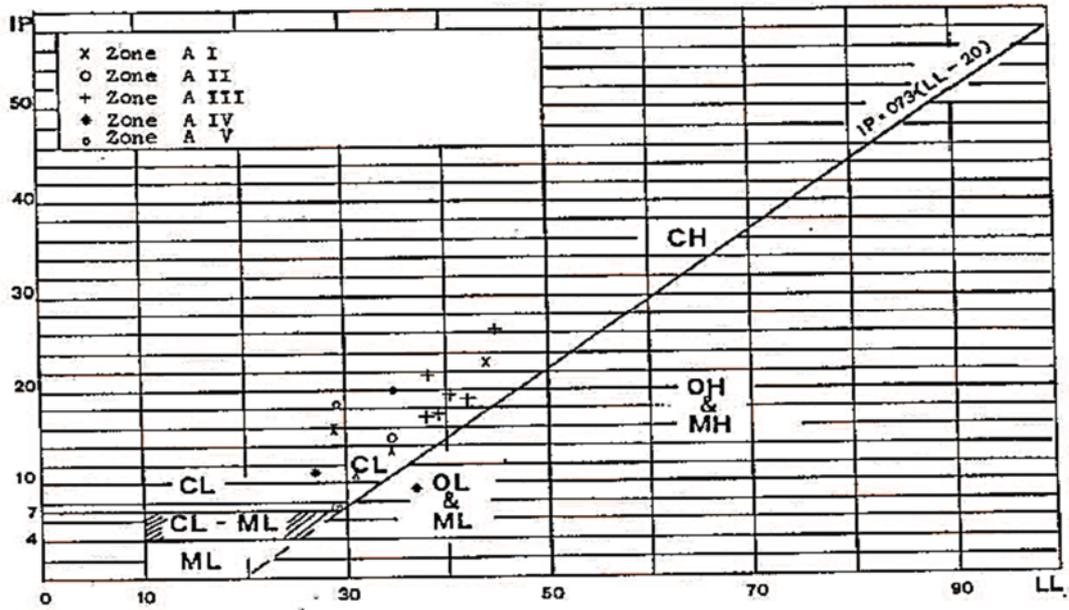


Figure 3-5 Abaque de plasticité des argiles colluviales

Ces colluvions de couleur beige à roux, passent localement de limon à de l'argile plastique. Il s'agit donc d'un matériau hétérogène, dont les caractéristiques granulométriques et de plasticité sont illustrées dans la figure II.3.4.5.2 La composante limoneuse est, en général, très importante.

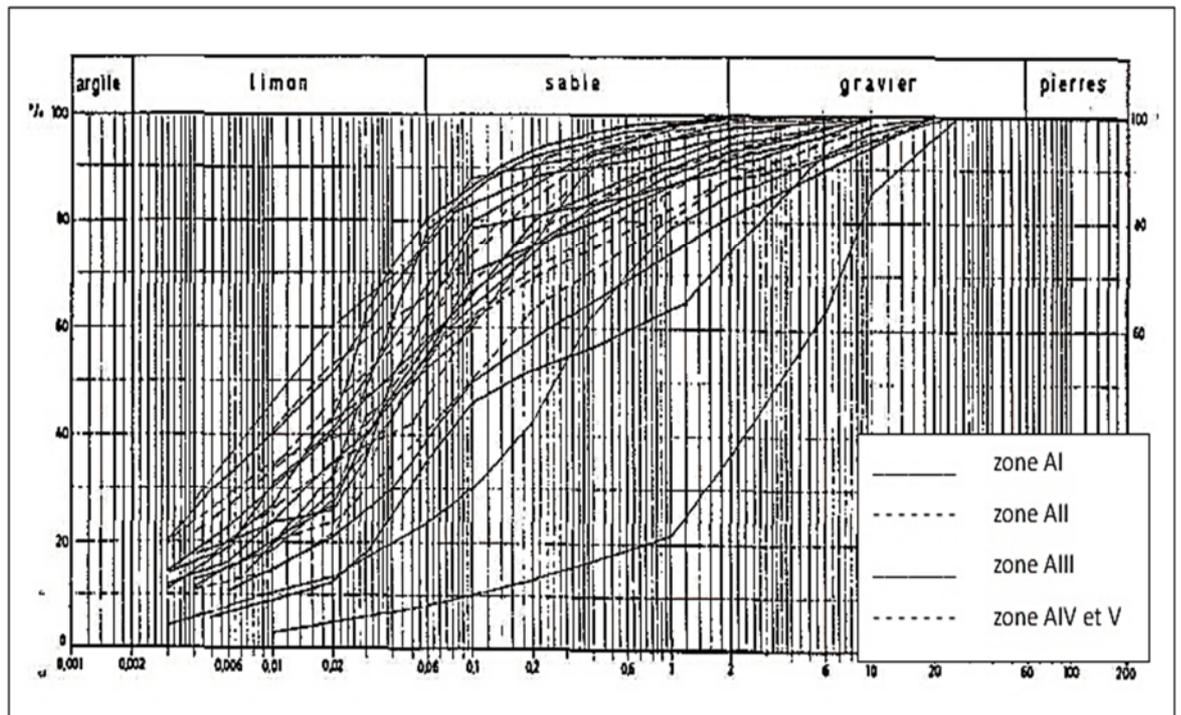


Figure 3-6 Diagramme granulométrique des argiles colluviales

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

Ces colluvions peuvent être utilisées comme matériaux pour le noyau; il faudra toutefois compter avec l'exploitation de petits gisements séparés les uns des autres. Les quantités requises par le projet sont toutefois modestes de l'ordre de 245'000 m³, répartis comme suit :

- Zone AI (vallée Acif Tala Imedrane) : le volume exploitable est de: 30 000 m³.
- Zone AII (vallée Acif Tala Imedrane) : le volume exploitable est de: 25 000 m³.
- Zone AIII (vallée Acif Tala Imedrane, village de Kantidja) : Volume exploitable présumé: 140 000 m³.
- Zone AIV (vallée d'Acif Tleta) : le volume exploitable est de: 15 000 m³.
- Zone AV (vallée d'Acif Tleta) : le volume exploitable est de: 35 000 m³.

Remarque : la zone de Kantidja reste toujours très intéressante ainsi que le long de la route vers Oued Ksari, il y a d'autres petits gisements d'argile colluviale également exploitable.

3.3.5.2 Grès Burdigaliens

Ces sédiments sont largement représentés dans la zone du barrage et constituent en fait la roche de fondation des appuis de l'ouvrage. Il s'agit de grès fins, bien classés, tendres à mi-durs, à ciment carbonatique, de couleur ocrée à grisâtre; localement, ils présentent des intercalations organogènes relativement importantes.

Les massifs sont entrecoupés par un réseau dense de diaclases géantes et de failles subverticales, produites par la néotectonique cassante de la région; elles sont accompagnées de nombreuses mini-fissures. Le carottage a donné les valeurs moyennes résumées ci-après:

Profondeur(m)	Intensité de fissuration k (Nombre de fissures par m)	RQD
0-10	1,5 ± 0,8	67 ± 27
10-20	1,3 ± 0,9	52 ± 20
20-30	1,4 ± 0,8	55 ± 34
30-40	1,3 ± 0,7	60 ± 33

Remarque : les grès miocènes peuvent être exploités comme pierres de maçonnerie ; à cause de leur faible densité et résistance à la compression, ils ne peuvent être prévus pour des recharges en enrochement mais pourraient toutefois être employés sous forme de grès désagrégé comme recharge d'un barrage.

3.3.5.3 Poudingues pliocènes

Les poudingues du Pliocène s'étalent sur une surface d'une vingtaine d'hectares sur la colline du versant de rive gauche de l'Oued Bouguedoura, et remplissent une large vallée épigénétique, d'une centaine de mètres de profondeur, des forages ont été exécutés jusqu'à une profondeur maximum de 55 m.

Après environ 3,8 m mètres de couverture éluviale, des alluvions graveleuses ont été traversées, prises dans une matrice limo-argileuse, à densité relativement élevée et présentant un certain degré de cimentation, jusqu'à une profondeur de 20 m; des conglomérats dur comme du béton sont aussi présents à des horizons (10 à 20 cm). Au-dessous de 25 m, la couleur du conglomérat devient grisâtre; ce qui pourrait être interprété aussi comme un bloc isolé de conglomérat de la série de base de la formation gréseuse burdigalienne.

Ce bloc généralement gréseux mais aussi gneissiques et conglomératiques de volume variable pouvant atteindre quelques mètres cubes, est situé en rive gauche de l'Oued Bouguedoura, en aval du site du barrage.

Du point de vue pétrographique, les éléments, généralement sphériques, sont constitués par:

- Grès 1%
- Gneiss et Q-pegmatites 58%
- Calcaires 3%
- Micaschistes 30%
- Boules d'argile verte 8%.

Les forages ont révélé localement la présence d'eau souterraine, mais à des profondeurs variant entre -5 et -30 m ;il s'agit de poches isolées de capacité limitée.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

La zone du site du barrage offre des gisements importants de poudingues, qui pourraient être employés pour les recharges ; La figure II.3.4.5.3 illustre une zone potentielle d'exploitation.

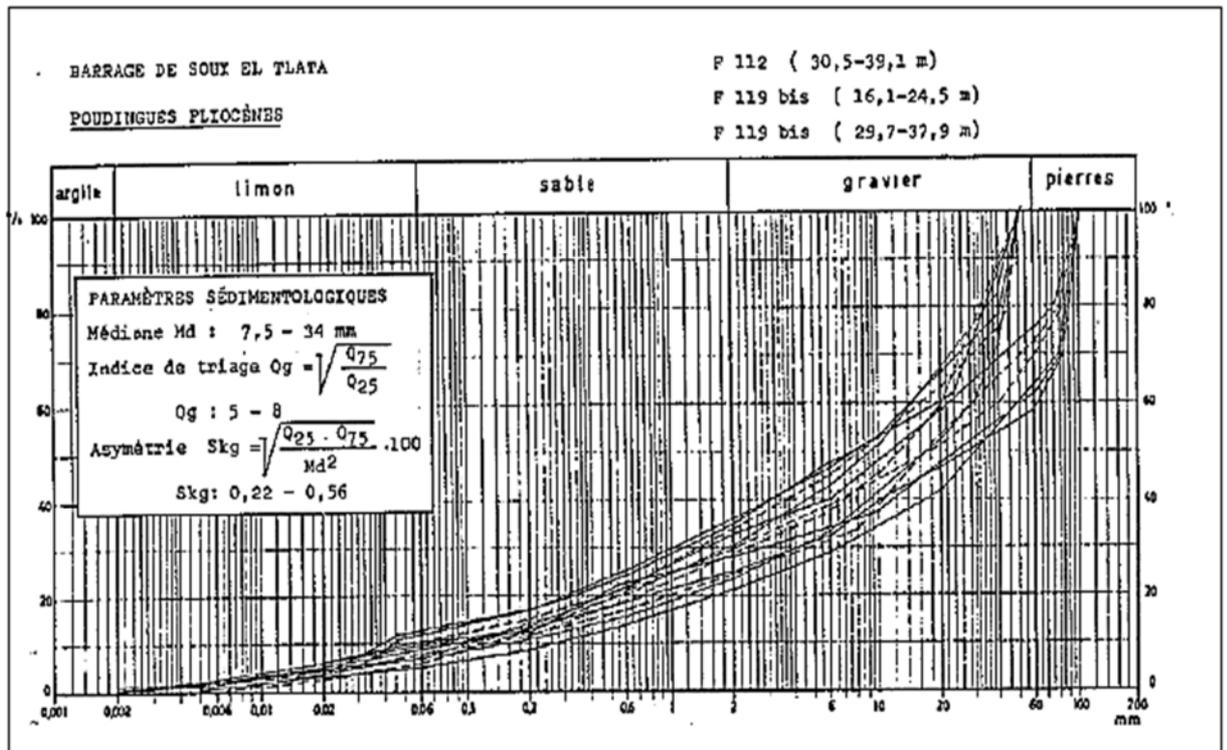


Figure 3-7 Diagramme granulométrique des poudingues pliocènes.

3.3.5.4 Pélites altérées

Affleurant sur les versants de rive gauche de l'Oued Aguer gour, ces argiles sont le produit éluvial plus ou moins remanié des pélites grises, feuilletées à schisteuses de la formation burdigalienne. L'épaisseur de la couche éluviale est de 6 m environ, mais, au-dessous, les pélites sont encore fortement altérées jusqu'à une profondeur de l'ordre de 10 m.

Remarque : les Pélites altérées ne sont pas facilement utilisables comme matériaux de noyau du barrage, car ils présentent une teneur en carbonates élevée, ce qui comporte un risque sensible de microfissuration en cas de retrait.

3.3.5.5 Gneiss et filons de Q-pegmatite

Ces roches affleurent localement dans la zone du réservoir. Concassées et criblées de manière adéquate, elles peuvent constituer un bon correctif pour les matériaux de filtre.

Signalons encore l'affleurement similaire situé à environ 7 km de distance du site du barrage.

3.3.5.6 Les calcaires

A 35 km de distance du site du barrage, au sud de Boghni, se trouve une grandecarrière de calcaires avec une station de concassage en service (granulats 0/1 et 0,2, 3/8, 8/15, 15/25 et 20/40), propriété de la Wilaya de Tizi Ouzou. Le gisement se trouve au pied septentrional de la "chaîne calcaire" du Djurdjura.

3.3.6 Résultats des essais au laboratoire

Les résultats des essais en laboratoire sur échantillons représentatifs des matériaux sont résumés ci-dessous :

- La teneur en matière organique a été obtenue par voie chimique.
- Les essais de compactage Proctor ont été exécutés à l'énergie de 60 t/m³.
- Les essais de compressibilité à l'oedomètre ont été poussés jusqu'à 20 kg/cm² et la consolidation a été mesurée à 4, 8, 12 et 16 kg/cm².
- Les essais triaxiaux CU ont été réalisés sous contrepression avec mesure de pressions interstitielles; les pressions de confinement ont été de 3,6 et 9 kg/cm².
- Les essais de perméabilité au perméamètre se sont déroulés avec charge variable.

3.3.6.1 Alluvions de l'Oued Bougdoura

Les paramètres moyens de compactage Proctor standard sont:

- $\gamma_d = 2,13 \pm 0,3 \text{ t/m}^3$
- $W_{opt} = 7,3 \pm 0,5\%$
- $S_r = 80\%$
- L'abrasivité Los Angeles est de 29 - 35%.

Un échantillon reconstitué a été essayé à l'odomètre et à l'appareil triaxial en conditions drainées et consolidées, en donnant les résultats suivants :

- $E_0 = 470 \text{ kg/cm}^2$ ($\Delta p = 10 - 20 \text{ kg/cm}^2$)
- $-C = 1,1 \text{ kg/cm}^2$
- $-Q = 36^\circ$

3.3.6.2 Les argiles colluviales

Il s'agit de limons argileux plus ou moins détritiques, de plasticité moyenne-faible, la fraction inférieure à 2 micron est en moyenne de 11%.

Les limites moyennes d'Atterberg sont caractérisées par :

-WL = 35%

-IP = 17%

L'activité colloïdale est inférieure à 2 et la teneur en matière organique varie entre 0,2 et 2% (en moyenne $0,9 \pm 0,7\%$).

Les caractéristiques de compactage Proctor standard sont:

- $\gamma_d = 1,83 \pm 0,05 \text{ t/m}^3$

- $W_{opt} = 14,7 \pm 1,6\%$,

- $S_r = 83\%$.

Les essais mécaniques réalisés sur échantillons reconstitués D.P. ont fourni les résultats suivants:

- Module de compressibilité E_o (Δp : 2-10 Kg/cm^2 : 229 kg/cm^2) (6 essais)

- Coefficient de consolidation $C_v = 3,5 \text{ cm}^2/\text{s}$

- Résistance à la compression simple $q_s = 1,47 \text{ kg/cm}^2$ (4 essais)

- Gonflement libre $G_f = 0,5\%$

- Cohésion efficace $C' = 0,35-0,55 \text{ kg/cm}^2$ (2 essais)

- Angle de frottement efficace $\varphi' = 18-19^\circ$ (2 essais)

3.3.6.3 Poudingues altérés

Caractéristiques moyennes de compactage Proctor standard :

$$-\gamma_d = 2,27 + 0,3 \text{ t/m}^3$$

$$-W_{opt} = 4,7 + 0,8 \%$$

$$-S_r = 71\%$$

Le coefficient de perméabilité d'échantillons reconstitués donne :

$$K = 2,4 \text{ à } 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s.}$$

- Proposition pour les calculs des barrages les paramètres géotechniques :

Alluvions:

Densité humide (Proctor) : $\gamma_d = 2,1 \text{ t/m}^3$

Densité saturée: $\gamma_{sat} = 2,2 \text{ tm}^3$

Résistance au cisaillement : $C = 0 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 35^\circ$$

Module de compressibilité : $E_o = 450 \text{ kg/cm}^2$

Coefficient de perméabilité : $k = 1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$

Argiles colluviales

Densité humide (Proctor) $\gamma = 1,8 \text{ t/}$

Densité saturée : $\gamma_{sat} = 1,9 \text{ t/}$

Résistance au cisaillement $C' = 1,7 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 18^\circ$$

$$S_u = 0,7 \text{ kg/cm}^2$$

Module de compressibilité : $E_o = 200 \text{ kg/cm}^2$

Coefficient de perméabilité : $k = 1 \cdot 10^{-5} \text{ à } 1 \cdot 10^{-6} \text{ cm/s}$

Grès désagrégés à sable

Densité humide : $\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$

Densité saturée : $\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ t/m}^3$

Résistance au cisaillement : $C = 0 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 30^\circ$$

Grès désagrégés à gravier

Densité humide : $\gamma = 2,1 \text{ t/m}^3$

Densité saturée : $\gamma_{\text{sat}} = 2,15 \text{ t/m}^3$

Résistance au cisaillement : $C = 0 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 34^\circ$$

Matériaux pour filtres de transition

Densité humide : $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$

Densité saturée : $\gamma_{\text{sat}} = 2,05 \text{ t/m}^3$

Résistance au cisaillement : $C = 0 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 32^\circ$$

Matériaux pour le batardeau

(Alluvions argileuses ou poudingues altérées)

Densité humide : $\gamma = 2,1 \text{ t/m}^3$

Densité saturée : $\gamma_{\text{sat}} = 2,2 \text{ t/m}^3$

Résistance au cisaillement : $C = 0,5 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 28^\circ$$

3.3.7 Propositions pour l'utilisation des matériaux

➤ **Noyau**

Les colluvions argileuses proposées sont en prépondérance des limons argileux présentant des caractéristiques géotechniques qui s'approchent davantage des limons que

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

des argiles. Elles contiennent en outre une quantité modérée de débris rocheux et des passages avec matière organique.

L'exploitation des zones d'emprunt devra être faite avec beaucoup de soin: les couches plus particulièrement détritiques ou organiques devront être éliminées et mises en dépôt.

- Les caractéristiques limites à respecter sont les suivantes:
 - Limite de liquidité WL =25-50
 - Indice de plasticité IP =10-25
 - Φ maximum 100-120 mm

Le matériau sera mis en place par couches ne dépassant pas 30 cm d'épaisseur

Après compactage, et présentant une densité en aucun cas inférieure à la densité sèche maximum de l'essai Proctor standard à l'énergie de 60 t/m³. La perméabilité sur place ne devra pas dépasser 5×10^{-8} cm/s. La teneur en eau devra être comprise entre -1 et +2 % de W_n optimum.

- **Les recharges amont du barrage**

On pourra utiliser un tout-venant d'un diamètre maximum de 30 cm; la fraction inférieure à 60 mm devra être comprise entre 40 et 100%; les éléments inférieurs à 2mm seront compris entre 10 et 50% tandis que la fraction inférieure à 0,075 mm ne devra pas dépasser 20%. Après compactage, sur des épaisseurs ne dépassant pas 50 cm, la densité sèche sera d'au moins 2,1 t/m³.

- **Les alluvions sélectionnées**

Ces alluvions constituant la couche amont ne devront pas avoir un pourcentage supérieur à 5% passant au tamis 0.074 dans le but d'obtenir une zone drainante indispensable pour la stabilité du barrage, et c'est aussi valable pour les recharges graveleuses du batardeau.

- **Les alluvions du tout-venant** devront avoir un diamètre maximum de 30 cm, une fraction de 60 mm entre 40 et 100%, les éléments inférieurs à 2 mm entre 10 et 50% tandis que la fraction inférieure à 0.075 mm ne devra pas dépasser les 20%.

Chapitre II : Etude du barrage en terre de Souk Tlata

La transition devra avoir 30 mm de diamètre maximal des grains et la fraction passant à 2 mm entre 70 et 85%.

- **Les recharges aval** du barrage sont constituées de grès provenant des fouilles de l'évacuation de crue. Puisqu'on a relevé dans la formation gréseuse une alternance de couche plus dure, on prévoit de sélectionner la partie plus grossière et résistante.

Ce matériau sélectionné, grès type 2, sera placé dans la portion extérieure de la charge avale tandis que le matériau tout-venant, grès type 1, sera placé à l'intérieur de la même recharge.

Au cas où les formations gréseuses ne puissent par fournir des remblais répondants aux critères ci- après, on pourrait les remplacer par des alluvions tout-venant et sélectionnée, identiques à celles de la recharge amont.

Granulométrie à respecter après compactage des grés bourdigalien :

Grés type 1(tout-venant),

-Matériaux passant au tamis 0.074 mm \leq 35%

Grés type 2(sélectionnée)

-Matériaux passant au tamis 0.074 mm \leq 8%

- **Pour les filtres et les drainages** on pourra utiliser, par criblage les alluvions de l'Oued Bouguedoura. Quel que soit le système de construction la densité relative après compactage ne devra en aucun cas être inférieure à 75%. Les filtres auront une granulométrie comprise entre 0.1 et 2 mm et le drainage entre 2 et 15 mm.

- **Enrochement amont:** il s'agit d'une couche de blocs en calcaire de la carrière d'Ath si Youcef reposante sur un lit de tout-venant de la même carrière. Dans le but de bien serrer l'enrochement, il est préférable remplir les vides par des pierres de moindre diamètre.

- **Terrain végétal :** une couche de 40 cm de terrain végétal sera posée sur la face du barrage, après préparation, seraensemencé graminacées.

- **Colmatage** : tous les matériaux provenant des fouilles peuvent être mise en place en colmatage à condition que l'épaisseur des couches ne dépassera pas 50 cm après compactage et la valeur limite du point spécifique ne descendra pas en dessous de 1.8 t/m³.

3.3.8 Essais complémentaires

Après les essais de reconnaissances complémentaires nécessaires dans les zones d'emprunt et avant la mise en place des matériaux, il faudra définir en détail les propriétés géotechniques suivantes :

3.3.8.1 En laboratoire

Pour les matériaux de noyau, les résistances au cisaillement, les gonflements, les oedométries des niveaux plus plastiques. Une étude devra aussi être entreprise pour démontrer que les argiles ne sont pas dispersives (sensibles): analyse du complexe cationique d'absorption, C.E.C. (cation exchange capacity). Des contrôles minéralogiques devront également être effectués; analyses au microscope électronique, aux rayons X et thermo-différentiel.

Pour les alluvions et les poudingues, on mesurera la résistance au cisaillement en présence de fines jusqu'à 20% ainsi que la perméabilité. Les alluvions qui seront utilisées pour les zones de transition seront examinées du point de vue de la nature des fines pour s'assurer que celles-ci ne sont pas cohésives.

3.3.8.2 In situ

Essais d'exploitation des grès et des poudingues en particulier pour ce qui concerne l'usage du Ripper Remblais d'essai en utilisant tous les matériaux envisagés, en particulier les grès et les poudingues pour établir les règles de compactage. Essais de perméabilité des courbes compactées. Enfin, il faudra étudier plus en détail les caractéristiques géotechniques des calcaires de la carrière d'Ath si Youcef prévus pour les drains et comme agrégats pour le béton.

Conclusion

Après l'analyse de toutes les données géotechniques de terrain et de laboratoire, effectuées que ce soit à l'endroit du site du barrage Souk Tlata ou au niveau de la cuvette et ses proximités (zones d'emprunts pour la construction du barrage) on peut faire les conclusions et les recommandations suivantes :

Des agrégats à béton ne peuvent raisonnablement provenir que des carrières d'Ath si Youcef, ainsi que des matériaux divers sont disponibles en quantités suffisantes à moindre distance du site, qui peuvent être utilisés pour réaliser un barrage en matériaux meubles.

On peut donc conclure que toutes les conditions géotechniques sont convenables pour la réalisation d'un barrage en matériaux meubles sur le site d'Oued Boug-Doura daïra Draa ben khedda, willaya de Tizi-Ouzou.

Introduction

L'injection d'un coulis de ciment dans un terrain alluvionnaire constitue un traitement de terrain efficace qui permet de construire un ouvrage souterrain sans porter préjudice à l'intégrité structurelle du bâti existant.

Afin de prendre en compte, d'une manière rationnelle, l'amélioration des propriétés mécaniques des sols apportés par l'injection, une campagne d'essais d'injection a été conduite dans le but de déterminer l'injectabilité des massifs rocheux des fondations avec des coulis de ciment.

1 Les essais d'injection

Les essais d'injection consistent à remplir les vides d'un terrain avec un coulis de caractéristiques rhéologiques adaptées, à base de ciment, afin d'en améliorer principalement les caractéristiques mécaniques et la cohésion, et d'en diminuer la perméabilité.

Le coulis est envoyé dans le milieu à traiter à partir de la surface ou à partir d'ouvrages auxiliaires tels que, par exemple, des galeries ou des puits. Selon le type de problèmes rencontrés dans le sol, l'injection aura pour objectifs la consolidation, l'étanchement, le scellement, le remplissage ou la compensation.

1.1 La consolidation

Cette technique permet d'améliorer la résistance mécanique d'un terrain, pour faciliter les excavations ou la traversée des zones de franchissements difficiles lors du creusement de galeries ou augmenter la portance générale d'un massif de fondation. Elle permet aussi de consolider les fondations d'ouvrages mitoyens qui peuvent être déstabilisées par l'excavation d'une fouille à proximité.

1.2 L'étanchement

L'objectif est de créer des écrans (verticaux ou horizontaux) limitant les circulations d'eau dans le terrain (exemple : écran étanche sous un barrage) ou des fonds étanches (lorsque le substratum étanche naturel est trop profond).

1.3 Le scellement

Ce type d'injection consiste à sceller au sol, sous pression, une armature métallique (barre, câble de précontrainte, tube, profilé, etc.) pour obtenir une haute capacité d'arrachement ou de chargement sur cette armature.

1.4 Le remplissage

Il est destiné, par exemple, à combler les cavités naturelles du terrain (exemple : le remplissage de carrières souterraines) ou artificielles telles des vides annulaires.

1.5 La compensation

La compensation permet, lors du creusement par exemple de tunnels, en injectant le sol situé au-dessus de l'ouvrage, de limiter et de compenser les tassements résultant du déconfinement du terrain.

On distingue trois modes d'injection :

- L'injection par imprégnation des vides existants par un coulis fluide ;
- L'injection par claquage du massif et remplissage par un coulis fluide. C'est l'injection sous pression qui provoque l'ouverture des fissures dans lesquelles se place le coulis ;
- L'injection par serrage d'un coulis épais.
- La composition du coulis à utiliser est fonction de la nature et de la porosité du terrain et du type d'injection.

Les principaux coulis utilisés sont à base de ciment ou de mélange ciment et bentonite.

L'injection est réalisée à l'aide de matériels spécifiques comprenant une centrale de préparation du coulis, les centrales et pompes d'injection et les tubes d'injection (à obturateur simple, à manchettes, etc.). Les opérations d'injection sont précédées d'un forage préalable du terrain.



Figure 1-1 : Atelier de forage 1



Figure 1-2 : Atelier de forage 2

2 Les écrans étanches

Les écrans étanches sont des structures enterrées destinées à réduire, empêcher ou détourner des écoulements souterrains ou établir une coupure imperméable pour isoler un site.

Ils sont utilisés à titre provisoire et définitif pour réaliser soit des ouvrages hydrauliques soit des ouvrages de protection de l'environnement.

Ils sont réalisés à l'aide de coulis auto-durcissables à base de bentonite et de ciment, dans des terrains généralement alluvionnaires (sols meubles de faible compacité, hétérogènes, Perméables) en présence d'une nappe aquifère. Ils peuvent être linéaires (pour réaliser l'étanchéité de barrage ou de cours d'eau) ou circulaires (pour réaliser, par exemple, des enceintes fermées destinées à mettre hors d'eau une fouille ou isoler une zone polluée). Ils doivent être étanches, résistants tout en étant déformables (afin de suivre les mouvements de terrain sans se fissurer) et pérennes sous l'action de l'eau de la nappe phréatique. La technique consiste à réaliser une tranchée en continu en utilisant comme fluide de perforation, le coulis bentonite-ciment qui en se substituant au sol formera après durcissement l'écran définitif.

Les écrans étanches sont mis en place principalement pour deux types d'application : la réalisation de barrières étanches à la migration des eaux souterraines ou d'enceintes de confinement de zones polluées. Leur profondeur peut atteindre jusqu'à 100mètres.

Les barrières étanches sont utilisées pour la construction de tranchées couvertes, de parkings, de stations de métro, de piles de pont, de quais ou d'écluses. Dans ce cas, elles assurent un rôle provisoire en permettant la réalisation des ouvrages à l'abri de la nappe phréatique. Elles peuvent être utilisées à titre définitif pour assurer l'étanchéité de digues, de rivières, de canaux ou de barrages.

L'étanchéité complète de l'écran est garantie en le prolongeant et en assurant un ancrage dans une couche inférieure imperméable.



Figure 2-1 : Creusement d'un écran étanche avec une benne à câble.

3 Essais Lugeon et Lefranc

3.1 Essai Lugeon

L'essai Lugeon est essentiellement destiné à évaluer les possibilités de circulation de l'eau dans une roche ou une maçonnerie. Il consiste à injecter de l'eau sous pression dans une cavité constituée d'une portion de forage de dimensions connues, et à mesurer le débit d'injection pour différents paliers de pression, pendant un temps donné.

La cavité est réalisée dans le sol à la base d'un forage. Elle est limitée à sa partie inférieure par le fond du forage et à sa partie supérieure par un obturateur. Un tube d'injection relie cette cavité à la surface du sol. Le résultat de l'essai est un paramètre qualitatif d'absorption d'eau exprimé en unité Lugeon, laquelle correspond à un débit d'un litre par minute par mètre de longueur sous une pression de 1 MPa maintenue constante pendant 10 minutes.

3.1.1 Applications de l'essai

L'essai Lugeon s'applique aux matériaux rocheux, maçonneries ou aux sols dont les caractéristiques mécaniques acceptent une pression d'eau compatible avec la réalisation de l'essai, soit 1 MPa.

3.1.2 Avantage de l'essai

Le principal avantage de cet essai est sa relative simplicité de mise en œuvre. Il permet de mettre en évidence des hétérogénéités de perméabilité dans les matériaux rocheux.

Le résultat de l'essai est un paramètre d'absorption d'eau exprimé en unité Lugeon dont la correspondance avec une véritable perméabilité est fonction notamment du diamètre de la cavité d'essai. Par ailleurs les pressions d'injection élevées peuvent conduire à des phénomènes de colmatage ou de claquage des terrains qui perturbent l'interprétation du résultat de l'essai.



Figure 3-1 : Schéma de la sonde Lugeon
Figure 3-1bis : Sonde Lugeon-photo Rouen 2010 avec double packer.

3.2 Essai Lefranc

L'essai Lefranc est un essai qui permet d'évaluer ponctuellement la perméabilité horizontale d'un terrain aquifère situé au-dessous de la nappe (sol saturé).

Il consiste à :

- Créer une charge différentielle, par rapport à la charge correspondant au niveau initial de la nappe, dans une cavité de dimension connue préalablement réalisée dans le terrain à la base d'un forage et aménagée de telle sorte que la filtration de l'eau engendrée par cette charge différentielle ne se fasse que par les parois de cette cavité ;
- Mesurer l'évolution dans le temps de cette charge différentielle qui peut être produite soit par le prélèvement soit par l'apport dans la cavité d'un débit d'eau constant.

3.2.1 Applications de l'essai

L'essai Lefranc permet une mesure de la perméabilité locale, réalisable lors d'une campagne de sondages géotechniques. Dans la pratique, l'essai teste une épaisseur de sol de l'ordre de 50 cm. Il présente donc un caractère ponctuel et n'est représentatif que si plusieurs essais permettent d'établir une analyse statistique pour éventuellement caractériser des hétérogénéités.

L'essai Lefranc permet de caractériser des sols de perméabilité comprise entre 10^{-2} et 10^{-7} m/s.

3.2.2 Avantage de l'essai

Il s'agit d'un essai relativement simple à réaliser et à interpréter, d'un coût et d'une durée plus faibles que ceux d'un essai de pompage en vraie grandeur. Il est également réalisable avec des matériels de forage géotechnique usuels, et un matériel de mesure relativement simple.

3.2.3 Pompage et mesures

L'essai débute au moment où commence le pompage ou l'injection d'eau. Les mesures du niveau d'eau dans le forage sont effectuées toutes les minutes pendant les vingt premières minutes. Au-delà, les lectures sont poursuivies toutes les 5 min jusqu'à l'obtention de trois valeurs successives qui ne diffèrent pas de plus de 1 cm entre elles. Si cela ne se produit pas, l'essai est arrêté au bout d'une heure. Après annulation du débit, le niveau d'eau dans le forage est mesuré aux intervalles de temps suivants : au moment de l'annulation du débit ; 30 s après ; une minute après ; puis toutes les minutes pendant un temps égal à la moitié de la durée de l'essai à débit constant non nul.

- 1- Section d'essai
- 2- Système de support de section de test
- 3- Tube de mesure
- 4- Dispositif pour mesurer la pression
- 5- Unité de mesure de pression
- 6- Dispositif d'application de la pression ou de la différence de hauteur
- 7- Burette
- 8- Packer
- 9- enveloppe

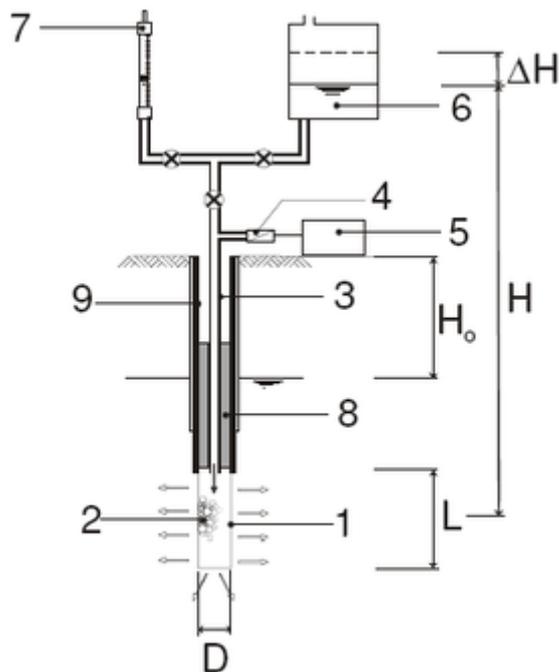


Figure 3-2 : Schéma de principe d'un essai Lefranc avec packer

4 Essais d'injection dans les fondations du barrage Souk Tlata

4.1 Généralités

Pour l'étude du rideau d'imperméabilisation du barrage souk Tlata, un programme d'essais a été réalisé dans le but de déterminer l'injectabilité des massifs rocheux des fondations avec des coulis de ciment.

Les essais d'injection ont été exécutés en deux lieux différents le long de l'axe prévu du rideau à savoir :

- **PLOT I** : il est situé en rive gauche de l'oued Bouguedoura, près du forage F 104 bis, ayant pour coordonnées 375 957/610 193 à la cote de 65 m NGA ; il englobe la formation des grès burdigaliens et les schistes phyladiquessous-jacents.
- **PLOT II** : il se trouve sur le flanc gauche de Oued Ksari, pas loin du forage F 119 bis, ayant les coordonnées 376 136/ 609 936 et a la cote de 147 m NGA ; les roches concernées sont les poudingues pliocènes et les pyélitesburdigaliennes sous- jacentes.

Chaque plot est constitué de six forages d'injection (série A,B,C ,D,E,F) , disposés à 5m de distance l'un de l'autre dans le plot II, et par deux forage de contrôle (X et Y).

Tous les forages sont inclinés de 35° par rapport au plan vertical avec un plongement vers SSW en relation à l'orientation des surfaces structurales les plus défavorables.

L'emplacement des plots d'injection ainsi que le schéma de la maille des forages sont illustrés dans l'esquisse géologique de la figure 4-1.

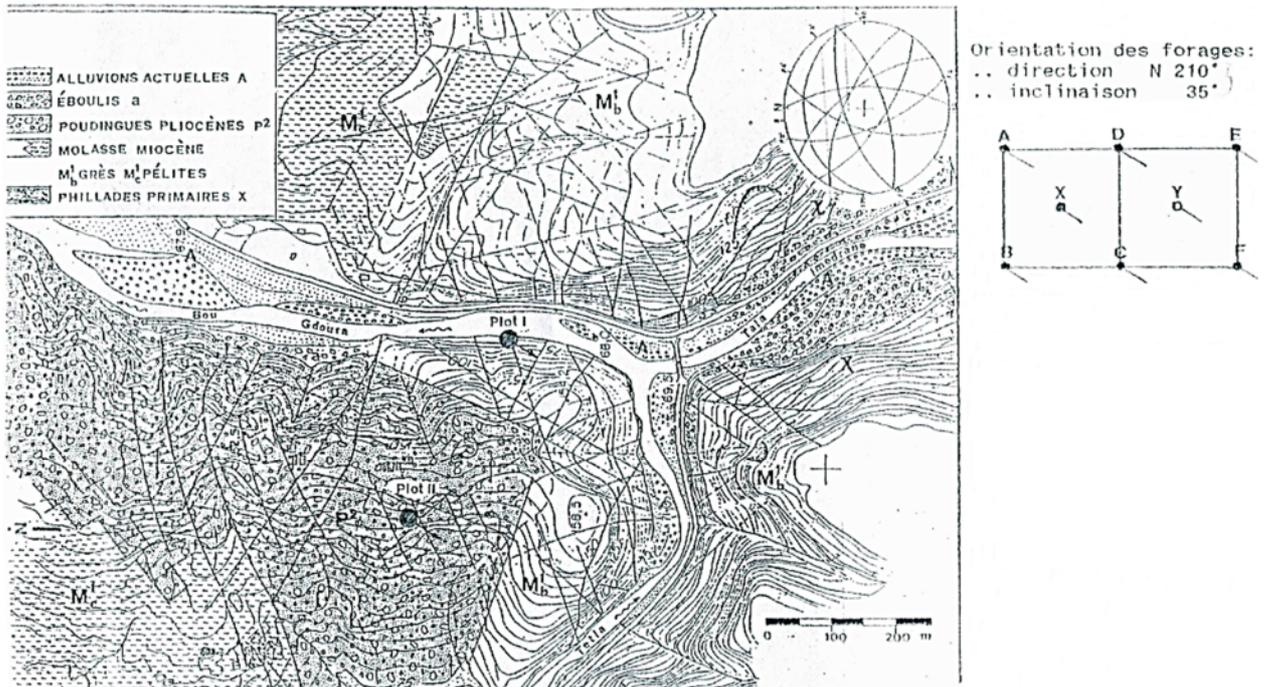


Figure 4-1 Esquisse géologique : Situation des plots d'injection et schéma d'implantation des forages

La longueur de forage du plot I est de 70 m, tandis que celle des trous de l'autre plot varie entre 64 et 67 m dans les forages A, B, D, X, Y et atteint 90 m en A, E et F.

Pendant l'avancement des forages, des essais d'eau en pression (essai Lugeon) ont été exécutés dans les roches gréseuses et phylladiques du plot I et pélitiques du plot II ; et des essais par gravité ont été aussi réalisés, à travers les poudingues du plot II, à niveau constant (Lefranc)

Au moment de la réalisation des essais Lugeon dans les phyllades (plot I) et dans les pélites (plot II) des éboulements des parois du trou ont surgis.

Globalement 165 essais ont été faits :

- 62 essais Lugeon
- 103 essais Lefranc

Les injections ont été réalisées en tranche de 5m à travers les roches lapidaires et de 3m dans les poudingues, en remontant à partir de la profondeur effective de 50 m vers la surface.

Chapitre III : Les essais d'injection

La longueur totale des forages injectés est de 720 m c'est une valeur inférieure à la longueur programmée à cause des éboulements et l'instabilité des parois.

Des coulis stables de ciment ont été utilisés avec un dosage en poids

Eau/Ciment =1, injectés à une pression moyenne de 6-7 Kg/cm², mesuré en surface ; la durée moyenne des injections a été de 20 minutes environ par tranche d'essai.

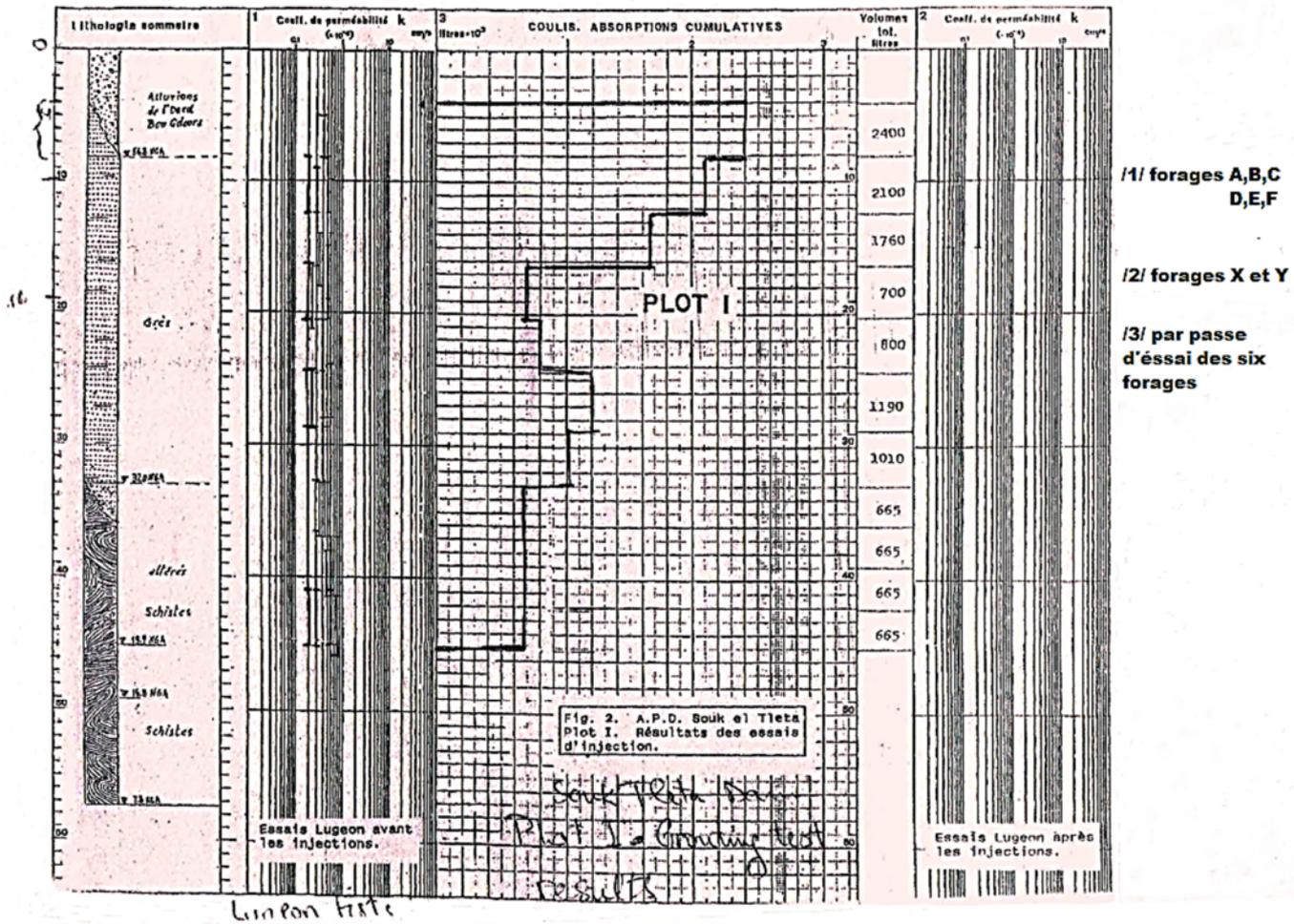


Figure 4-2 illustration graphique des résultats des essais (Plot I)

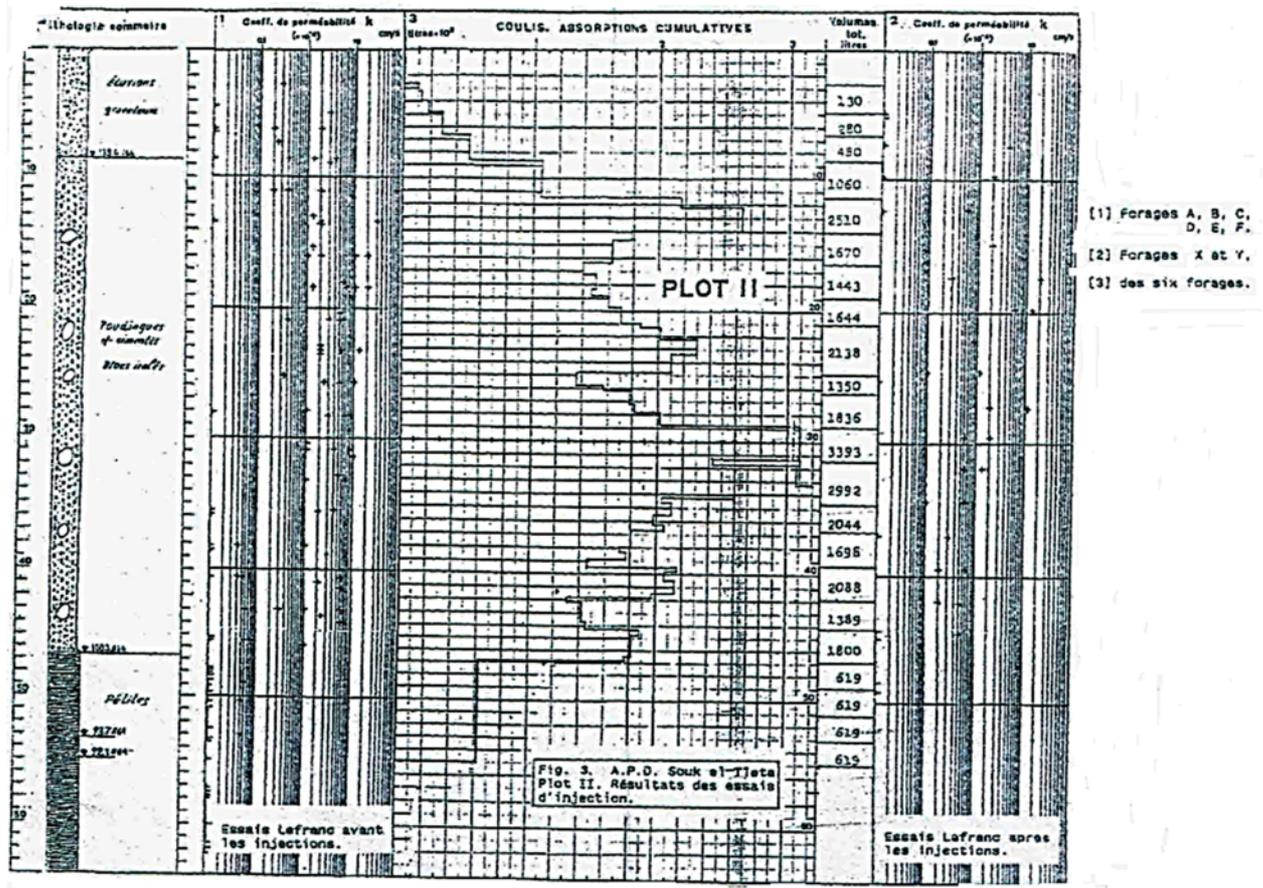


Figure 4-3 illustration graphique des résultats des essais (Plot II)

4.2 Analyse des résultats des essais

Les résultats des essais sont illustrés graphiquement au niveau des figures 4.2 (Plot I) et figure 4.3 (Plot II) et à côté de la colonne stratigraphique, toutes les valeurs du coefficient de perméabilité K en cm/s et des essais d'eau avant et après les injections ainsi que les absorptions cumulées de coulis de ciment en litres par rapport aux profondeurs effectives ont été reporté sur les figures citées précédemment.

Cette représentation, va permettre une évaluation globale de la qualité des travaux exécutés et par conséquent confirme la subdivision des faciès lithologiques.

Les caractéristiques d'injectabilité des lithofaciès sont résumées dans le tableau (4-1), où il a été reporté pour chaque plot le métrage effectif essayé et les coefficients moyens de perméabilité.

Tableau 4-1 : Caractéristiques d'injectabilité des lithofaciès

Lithofacies	tranche cote (NGA)	Epaissur des couches	Métrage total essayé	Essais de perméabilité avant les injections K (moyen) cm/s	Essai d'injection avec coulis de ciment					Essais de perméabilités après les injections			
					mélange E/C	Pression moyenne bar	Absorption volume Litres	Absorption quantités de ciment Kg	Consommation de ciment Kg/m				
<p><u>Plot I</u></p> <p>Zone de transition entre les alluvions de l'oued bouguedoura et les grès. grès fissurés zone de transition entre les grès et les schistes. Schistes altérés</p>	-60,9 56,8	4.2	24.6	5.5×10^{-5}	1/1	2400	6 ± 4	1800	73	1.0×10^{-5}			
	-56.8 48.4	8.4	50.4	3.4×10^{-5} (± 1×10^{-5})							3860	2895	57
	-48.4 32.0	16.4	98.4	3.4×10^{-5} (± 1×10^{-5})							3700	2775	28
	-32.0 19.9	12.1	72.6	4.9×10^{-5} (± 2×10^{-5})							2660	2022	28

Chapitre III : Les essais d'injection

<u>Plot II</u>	--			1.3 x 10 ⁻⁴						1.0x 10 ⁻⁴	
Eluvions poudingues altérées	graveleux	144.2 138.4	5.85	35.1	(± 2x 10 ⁻⁴)	1/1	890	7 ± 2	667	19	2.4 x 10 ⁻⁴ (±5x10 ⁻⁴)
	Pélites -	-138.4 100.3	38.1	228.6	5.6 x 10 ⁻⁴ (± 1x 10 ⁻⁵)		29055		21791	95	
		-100.3 92.1	8.2	47.6	-		2475		1881	39	

4.2.1 Le plot I

- Les essais d'eau en pression (Lugeon) ont été faits généralement à faible pression, entre 2 et 4 Kg/cm².
- Pour les forages de contrôle X et Y le résultat de trois essais uniquement ont été retenus à cause de des problèmes techniques d'exécution (refoulement d'eau). Par conséquent le coefficient moyen K obtenu avec les essais après injection n'est pas statistiquement significatif.
- Après analyse des absorptions de coulis en tenant compte du temps de déroulement des travaux, il est remarqué des variations peu marquées d'injectabilité des lithofaciès traités (tableau). Cela signifie que les essais d'injection n'ont pas atteint l'optimum d'efficacité à cause des faibles pressions employées (en moyenne 6 Kg/cm²) et de la distance de 5 m entre les forages, certainement grande.
- Les schistes phyladiques sont peu injectables à partir de 20 m NGA environ.

4.2.2 Le plot II

- Les coefficients de perméabilité des poudingues sont en moyenne plus élevés par rapport à ceux obtenus dans les forages verticaux qui sont de l'ordre de $10 E^{-6}$ cm/s.
- La différence entre les valeurs moyennes de K des essais dans les poudingues, exécutés avant et après les injections, est petite, malgré une absorption de 29 000 litres environ de ciment.
- Outre, comme pour le plot I, aucune réduction significative n'est observée au niveau des absorptions des coulis pendant le déroulement des essais (plot II). Cela est dû à la distance de 4 m entre les forages, qui est grande par rapport à la perméabilité des poudingues.
- Les pélites sont imperméables au dessous de la couche altérée, qui a une épaisseur de 10 m environ.

Tableau 4-2 : Absorption des lithofaciès caractéristiques pendant le déroulement des travaux

<i>Plot I</i>	C	F	E	D	A	B
<i>Grès fissuré</i> <i>(58, 8- 48,4</i> <i>m NGA)</i>	350	290	130	1650	1150	290
<i>Grès(48, 4- 32,0</i> <i>m NGA)</i>	400	790	460	430	370	1250
<i>Schistes altérés</i> <i>(32, 0- 19,9 m</i> <i>NGA)</i>	800	300	390	320	350	500
<i>Plot II</i>	A	F	B	E	D	C
<i>Poudingues</i> <i>(138, 4- 108,5 m</i> <i>NGA)</i>		2625	6100	1550	6150	6750
<i>(108,5 - 100,3 m</i> <i>NGA)</i>	200	2100	900	350	550	2000
<i>Pélites altérées</i> <i>(100,3 - 92,0 m</i> <i>NGA)</i>	375	550	300	300	150	600

Remarque

Dans le but d'optimiser le traitement des fissures On peut réaliser une certaine consolidation ou une certaine étanchéité en augmentant le nombre de trous à injecter ou bien en réduisant ce nombre mais en augmentant les pressions d'injection relatives, c'est-à-dire en

augmentant le rayon d'action de chaque trou. La distance entre les perforations peut en principe être variée proportionnellement à la troisième racine de l'intensité de l'injection.

4.2.3 Les résultats

Les essais d'injection ont donné les résultats suivants :

- Les grés fissurés ont absorbé en moyenne 57 Kg/m s'ils sont peu fissurés. L'épaisseur de la zone fissurée varie entre 9 et 13 m.
- L'absorption moyenne des schistes phylladiques de la couche d'altération correspond à celle des grès peu fissurés. L'épaisseur de la zone altérée varie entre 15 et 16 m. Au-dessus les schistes sont peu injectables (15 Kg/m de ciment environ).
- L'absorption moyenne des poudingues, dont la perméabilité s'est révélée plus grande que dans les forages de la campagne de reconnaissance, est de 95 Kg/m.
- Les pélites altérées, qui concernent une couche de 10 m environ d'épaisseur, ont absorbé en moyenne 39 Kg/m de ciment. Mais au-dessous elles sont imperméables.
- Le dosage de coulis stable de ciment est arrêté à : R/C = 1 et pour le rideau d'étanchéité du barrage il est recommandé de réaliser une rangée de forage verticaux, distancés de 1,5 à 3 m dans le complexe gréseux-phylladique.
- Les consommations de ciment prévues sont les suivantes :

Grés fissurés	100- 120 Kg/m
Grés peu fissurés	60 Kg/m
Schistes phylladique	15 Kg/m
Poudingues	35 Kg/m

Conclusion

- Le projet des injections dans le massif de fondation d'un barrage est partie intégrante du projet de l'ouvrage lui-même. On ne peut l'en dissocier ;
- Dans la pratique les conditions à respecter sont extrêmement variées : par conséquent ;
- Il est difficile sinon impossible d'imposer a priori par des normes ou des cahiers de charges des conditions très strictes et définitives pour les coulis et les procédures d'injection ;
- Il faudrait se contenter d'énoncer des principes généraux et de préciser un nombre limité de critères ;
- C'est le fait de l'auteur du projet d'établir les conditions à respecter pour garantir le succès de l'opération.

L'objectif de cette étude était l'injection d'un coulis de ciment dans les fondations du barrage en terre de Souk Tlata afin d'assurer son étanchéité.

Pour se faire nous avons fait appel à plusieurs disciplines scientifiques complémentaires : Les données hydrauliques, géologiques et géotechniques de la région constituent le socle de ce projet. Ces dernières ont influencé toute la structure, notamment le choix des matériaux du corps du barrage, de la fondation et des mesures spécifiques de sécurité.

Face à un projet de barrage en terre comme celui de Souk Tlata, le souci de l'ingénieur est de créer un ensemble constitué du barrage et de sa fondation étanche, de façon à éviter (éliminer) les infiltrations, réduire le volume de fuite et éviter les accidents. Cette étude démontre justement le bien-fondé d'une prise en compte systématique, dans les calculs d'ouvrages, de l'amélioration des propriétés mécaniques des sols par une injection de coulis à base de ciment. D'une part, cette prise en compte de l'augmentation de la rigidité et de la résistance des sols injectés, moyennant la considération de facteurs de sécurité, peut se traduire par des économies substantielles sur les ouvrages de soutènement à court terme (entre un à six mois, durée moyenne des travaux de forage par plot d'injection), mais également à long terme, puisque la plupart des coulis de nouvelle génération ont un effet pérenne (durable).

Le projet des injections dans le massif de fondation d'un barrage est partie intégrante du projet de l'ouvrage lui-même. On ne peut l'en dissocier ;

➤ Dans la pratique les conditions à respecter sont extrêmement variées : par conséquent il est difficile sinon impossible d'imposer a priori par des normes ou des cahiers de charges des

conditions très strictes et définitives pour les coulis et les procédures d'injection ;

➤ Il faudrait se contenter d'énoncer des principes généraux et de préciser un nombre limité de critères ;

➤ C'est à l'auteur du projet d'établir les conditions à respecter pour garantir le succès de l'opération.

➤ Enfin le traitement par injection apparaît comme un moyen efficace et rapide d'étanchement de sites complexes.

Références bibliographiques

- Afiri Ryma, *Etude de faisabilité d'un barrage en terre – Barrage souk Tlata*, Mémoire de Master UMMTO 2011.
- Akkli Talatizi, *Etude des infiltrations à travers une digue de barrage en terre. Cas d'un barrage Algérien*, Mémoire de Magister UMMTO 26 juin 2014.
- Cherchem Nacira, *Etude du barrage Souk Tlata sur l'oued Bouguedoura*, Mémoire de Master UMMTO 2012.
- Christophe Dano, *Comportement Mécanique des sols injectés*, Génie Civil. Ecole centrale de Nantes, 2001.
- Citeau Marc et Rajot Jean Pierre, *Barrage de Montaubry- Etanchement de la digue par injection*, janvier 2006.
- Congard Philippe, « Calfeutrement des joints dans les travaux publics », Techniques de l'ingénieur. Février 2003.
- Degoutte Gerrard et Royet Paul, *Aide-mémoire de mécanique des sols*, réédition 2009.
- Fali Massinissa, *Etude de la stabilité des talus d'une digue en terre, cas des digues du barrage souk tlata*, Mémoire de Master UMMTO 2013.
- Heragmi Ali, *Choix et conception de l'organe de l'étanchéité des barrages en terre. Barrage El Agrem- Jijel*, 2009.

Références bibliographiques

- Lombard Giovanni i. Dr Ing. Dr h.c, *L'injection des masses rocheuses*, 6 juin 2003.
- Lombardi Giovanni. Dr Ing. Dr h.c, « Aspects spécifiques de l'injection du massif rocheux », *Symposium sur l'injection Rabat*, 8 février 2007
- Magnan jean- Pierre, George Pilot, « Amélioration des sols », *Construction et travaux publics/ mécanique des sols et géotechnique*, 1998.
- Michalski E.R. et Clerdouet.D, *La sécurité des petits barrages*, Décembre 1988.
- Thiriot. C, *Hydrodynamique des digues et barrages en terre*, 1973.

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

MINISTRE DES RESSOURCES EN EAU

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU

DE LA WILAYA DE TIZI OUZOU

**FICHE TECHNIQUE
DU BARRAGE SOUK TLETA**

I) PRESENTATION GENERALE DU PROJET D'AMENAGEMENT

Le barrage de Souk Tléta dont la capacité atteint les 98 Hm/an et une hauteur de 95 m, est situé sur l'oued de Bouguedoura à 8 Km au sud de la ville de Draa Ben Khedda, il s'étalera sur 04 communes à savoir Tadmait, Maàtka, Ait Yahia Moussa et Tirmatine. Ce projet est entrepris par le groupement d'entreprises Turques NUROL OZALTIN pour un délai de réalisation de 40 mois et un montant global s'élevant à 5.785.238.901,78 DA.

Ce barrage permettra à coup sur, à la wilaya de faire face à la pénurie d'eau que connaissent les villages limitrophes à savoir les villages de la commune de Tirmatine, Sidi Naàmane, Tadmait, Maàtkas, M'kira et Ait Yahia Moussa ainsi que le nouveau pôle urbain de Oued Fali, soit 188 villages pour une population actuelle de 240.000 Habitants.

1. Localisation :

- **Wilaya** : Tizi Ouzou
- **Daïra** : Draa Ben Khedda
- **Commune** : Tadmait

2. Destination :

L'aménagement du barrage de SOUK TLETA, dont le volume régularisé annuel est de **98 Hm³**, est destiné à renforcer l'alimentation en eau potable et industrielle du couloir **Tizi Ouzou, Boumerdes**.

3. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

- Superficie du bassin versant : 465 Km²
- Périmètre du bassin versant : 100 Km
- Apport moyen annuel : 150 Hm³
- Capacité de la retenue : 89,5 Hm³
- Volume régularisé : 98 Hm³
- Volume utile : 77,5 Hm³

4. COMPOSITION ET DESCRIPTION DE L'AMENAGEMENT

4.1 Barrage principal

Digue : En remblai zoné

- Niveau de retenu maximal : 125 m
- Niveau de retenu normale : 122 m
- Hauteur de la digue : 95 m

Digue de col : En remblai zoné

- Hauteur : 25 m

4.2 Ouvrages annexes

Évacuateur de crue :

- Type : Latéral,
- Débit max évacué : 1480 m³/s

Dérivation Provisoire :

- Type : Deux galeries polycentrique
- Longueur de la galerie : 365 m chacune
- Diamètre : 08 m

Ouvrage de prise :

- Type : Inclinée
- Nombre de prise : 02
- Niveau de prise d'eau inférieur : 82,99 m
- Niveau de prise d'eau supérieur : 104,99 m

Vidange de fond :

- Type : Galerie
- Débit max : 130 m³/s

4.3 VOLUME DES TRAVAUX :

- Excavation : 1.507.000 m³
- Remblais : 1.500.000 m³
- Bétons : 104.000 m³
- Forages et injection : 50.000 ml

5. AUTORISATION DE PROGRAMME

- **Intitulé :** « CONSTRUCTION DU BARRAGE DE SOUK TLATA »
- **Inscription :** 21/ Février 2010
- **Numéro de l'opération nouveau :** Nk.5.321.2.262.068.03

Montant : 11 milliards de DA dont 3,250 Milliards DAT

➤ **1^{ère} réévaluation :** juin 2010

Montant : 13 milliards de DA dont 3,997 Milliards DAT

Annexe 1 : Fiche technique du barrage Souk Tlata

- **2^{ème} Réévaluation** : Juin 2013

Montant: 15.172.000.000 DA dont 4.053.000.000 DAT

- **3^{ème} Réévaluation** : prévue pour la loi de finances 2015, accordée pour la loi de finances 2016 (attente notification).

Montant: 17.413.200.000 DA dont 4.088.000.000 DAT

II. ETAT DES CONTRATS

II.1 – MARCHE TRAVAUX

- Appel d'offres lancé : **31.12.2009**
- Ouverture des plis : **21.03.2010**.
- Passé en CNM (bureau) : **07.03.2011** et en plénière : **29.02.2012**
- Contrat attribué au Groupement d'entreprises : **NUROL/ÖZALTIN (Turquie)**
- Montant du marché en HT: **2.156.654.934,00 DA** et **27.879.937,00 Euro**.
- Montant du marché en TTC : **5.785.238.901,78 DA TTC**
- Délai : **40 mois**
- ODS notifié le : **15.05.2012**
- Plusieurs ODS d'arrêt et de reprise ont été notifiés: (**20.05.2012-29.09.2012**), (**01.10.2012- 22.12.2012**), (**13.01.2013- 08.09.2013**) et (**02.10.2013-08.04.2014**).
- Période d'arrêt : **36 mois**.

II.2- MARCHE : ETUDES D'EXECUTION ASSISTANCE TECHNIQUE ET SURVEILLANCE DES TRAVAUX

- Appel d'offres national et international lancé : le **31.01.2012**
- Ouverture des plis effectuée : le **14.03.2012**
- **BET TRACTEBEL Engineering** (France)
- Visa CSM accordée le **09.01.2013**.
- Marché visé le **03.04.2013**
- Montant du marché en HT: **181.900.230,00DA** et **3.187.410,00Euro**.
- Montant du marché en TTC : **620.795.125,20 DA TTC**
- **ODS** notifié le : **10/06/2013**.
- Délai : **50 mois**

II.3- MARCHE DEVIATION PROVISOIRE DE LA RN25 ET LE CW128

A. MARCHE TRAVAUX

- **Entreprise Belhadi Abdesselam**
- Montant du marché en TTC : **708.009.120,00 DA TTC**

Annexe 1 : Fiche technique du barrage Souk Tlata

- ODS : 24/12/2012
- Délai : **08 mois**
- Plusieurs ODS d'arrêt et de reprise ont été notifiés: **délai total des arrêts 26 mois**
- Avenant : en cours de passation CSM pour la prolongation de délai et la prise en charge des quantités supplémentaires.

B. CONVENTION POUR SUIVI ET CONTROLE DE LA RN25 ET LE CW128

- **Bureau d'Etudes CEHTP**
- Montant de la convention **2.223.000,00 DA TTC**
- Délai : **08 mois**
- ODS notifié le : **11/11/2013.**
- **Délai total des arrêts : 27 mois**

C. CONVENTION POUR LE LABORATOIRE DE CONTROLE DE LA RN25 ET LE CW128

- **laboratoire CONSOLIDA**
- Montant de la convention **3.463.200,00DA TTC**
- Délai : **160 jours** ODS notifié le : **06/11/2013.**

II.4-A- MARCHÉ REALISATION DES LOGEMENTS DE RECASEMENT

- Entreprise **GESI TP.**
- Montant du marché en TTC : **3.171.004.571,27 DA TTC**
- ODS notifié le : **16/03/2014.** Délai de réalisation : **20 mois**

II.4-B- MARCHÉ ETUDES D'EXECUTION ET SUIVI DE LA REALISATION DES LOGEMENTS DE RECASEMENT

- **BET ADS PROGRESS.**
- Montant du marché en TTC : **13.706.447 ,63 DA TTC**
- ODS notifié le : **18/03/2014.**
- **Avenant N°1** : prolongation de délai de 06 mois.

II.4-C- LABORATOIRE DE CONTROLE

Laboratoire LMSG

- Montant de la convention **2.177.370,00 DA TTC**
- Délai : **40 jours**
- ODS notifié le : **11/11/2013.**
- Travaux achevés : **03/05/2014**

II.4-D-CONTROLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

- Entreprise : **EPE SPA CTC CENTRE**
- Montant du marché en TTC : **14.105.221 ,04 DA/ TTC**
- ODS notifié le : **14/05/2015**
- Délai : **23 mois**

II.5-MARCHE SOCIETE DE GARDIENNAGE

- Société de Gardiennage : **SARL « Management Sécurité »**
- Montant du marché en TTC : **361 764 000.00 DA TTC**
- ODS notifié le : **17/06/2014**
- Délai : **40 mois**

II.6 MARCHE D'ELABORATION DU COMPLEMENT D'EXPERTISE FONCIERE

- Cabinet Géomètre Expert Foncier **MOHIA MOULOUD**
- Montant de la convention «1^{ère} tranche»: **2.106.000,00DA TTC**
- Délai : **12 mois**
- ODS notifié le : **27/07/2010**
- Montant de la convention «2^{ème} tranche»: **3.685.500,00DA TTC**
- Délai : **12 mois**
- ODS notifié le : **23/04/2013**
- Montant de la convention «3^{ème} tranche»: **1.404.000,00 DA TTC**
- Délai : **12 mois**
- ODS notifié le : **12/02/2015**
- Montant de la convention «4^{ème} tranche»: **3.802.500,00 DA TTC**
- ODS notifié le : **22/08/2015**
- Délai : **12 mois**

II.7- MARCHE : DEFORESTATION DE LA CUVETTE

- Cahier des charges : **en cours d'élaboration.**

II.8-DEPLACEMENT DES CIMETIERES

- Convention résiliée avec l'entreprise **ETP SEMSOUN**
- Une deuxième consultation est à relancer.

III. ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX :

Avancement physique

III.1.Travaux du Barrage

Annexe 1 : Fiche technique du barrage Souk Tlata

➤ Études d'exécution	60%
➤ Installation de chantier	100%
➤ Campagne de reconnaissances complémentaires	95%
➤ Digue principale	05%
➤ Digue de col	75%.
➤ Évacuateur de crues	05%
➤ Dérivation provisoire : galerie de vidange de fond	100%
➤ Chemins d'accès de la digue	40%

Taux d'avancement global 20%

III.2. AVANCEMENT DES TRAVAUX DES MARCHÉS AUXILIAIRES :

III.2.1. Travaux de la déviation provisoire de la RN25 et CW128 :

➤ Longueur total :	6, 636Km
➤ L'ouverture de l'emprise :	100%
➤ terrassements	95%
➤ remblais	95%
➤ Ouvrages busés DN 1000 (24 Ouvrages)	100%
➤ Ouvrages busés DN 2000 (02 Ouvrages)	100%
➤ pose de couche de fondation	95%
➤ pose de couche de base	95%
➤ pose de Béton bitumineux	75%

Taux d'avancement global 85%

NB Le tronçon N° 03 à été mis en service

Un tronçon de 300 ml est à l'arrêt pour cause d'opposition par la famille

Hassani

III.2.2. travaux de réalisation des 271 logements(Relogement) :

➤ Etude Géotechnique	100%
➤ Etude d'exécution	100%
➤ Lot construction	50%
➤ Lot VRD intérieur (murs de soutènements)	5%
➤ Lot VRD extérieur (voiries et aménagement)	40%

Taux d'avancement global 45%

V., CONTRAINTES

A- Expropriation

Liste de relogement : la liste des familles concernées par le relogement arrêtée à **236 familles** après son examen par la commission de la wilaya.

En février 2016 : des arrêtés modificatifs d'expropriation intégrant les bénéficiaires de logement ont été établis par la wilaya :

- **commune de Tadmait** : Nombre de Familles à reloger **145**.
- **commune de Tirmatine** : Nombre de Familles à reloger **35**.
- **commune de AIT YAHIA MOUSSA** : n'a pas pu être arrêtée à ce jour en raison de la contestation par la commission de wilaya de la liste des bénéficiaires remis par le P/APC, avec un nombre de **56** familles à reloger.

B- Indemnisations

Le montant global de l'indemnisation est de 4.500.000.000 DA, la première tranche consignée au niveau du trésorier de wilaya de 2.151.000.000 DA a été consommée en sa totalité, la consignation du montant complémentaire de : 2.388.125.796,68 DA est tributaire de la décision de réévaluation de l'opération sur le reliquat de la loi de finances 2015.

C- Contraintes travaux

- Le chantier a connu plusieurs arrêts dus aux oppositions requérantes des expropriations totalisant ainsi une période d'arrêt de 35 mois.
- La déviation provisoire des routes RN25 et CW 128 de a connue aussi un retard de 26 mois en raison des oppositions des expropries et du changement du tracé initial. Son achèvement est prévu pour la fin juin.
- La carrière d'Assi Youssef prévue pour l'extraction des agrégats de béton, enrochements, filtre et drain est située dans le Parc National de Djurdjura, la wilaya a émet un avis défavorable quant à son exploitation. La compagnie de reconnaissance complémentaire lancée en vu d'identifier de nouvelles carrières, a permis d'arrêter une carrière à Souk Elhad sur les quatre prospectées qui répond aux spécifications techniques du contrat en qualité et en quantité.

Annexe 1 : Fiche technique du barrage Souk Tlata

Actuellement les travaux sont axés essentiellement sur :

La Préparation des zones d'emprunts des colluvions et alluvions
Réalisation de la digue de col.
Poursuite des travaux de creusement des galeries de la dérivation provisoire.
Début des travaux de l'Evacuateur de crues (excavation, protection des talus).

D- Contrainte financière

Le montant de l'AP actuel est de 15.172.000.000 DA.

Le montant accordé sur le reliquat de la loi de finances 2015 en instance de notification est de 2.356.000.000 DA soit un total de 17.528.000.000 DA .

Le montant sollicité pour la loi de finances 2017 est de 5.130.000.000 DA pour prendre en charge l'avenant des travaux du barrage et celui de la déviation des routes ainsi que l'avenant des VRD des logements de recasement et autres marchés(déforestation ,déplacement de cimetières).

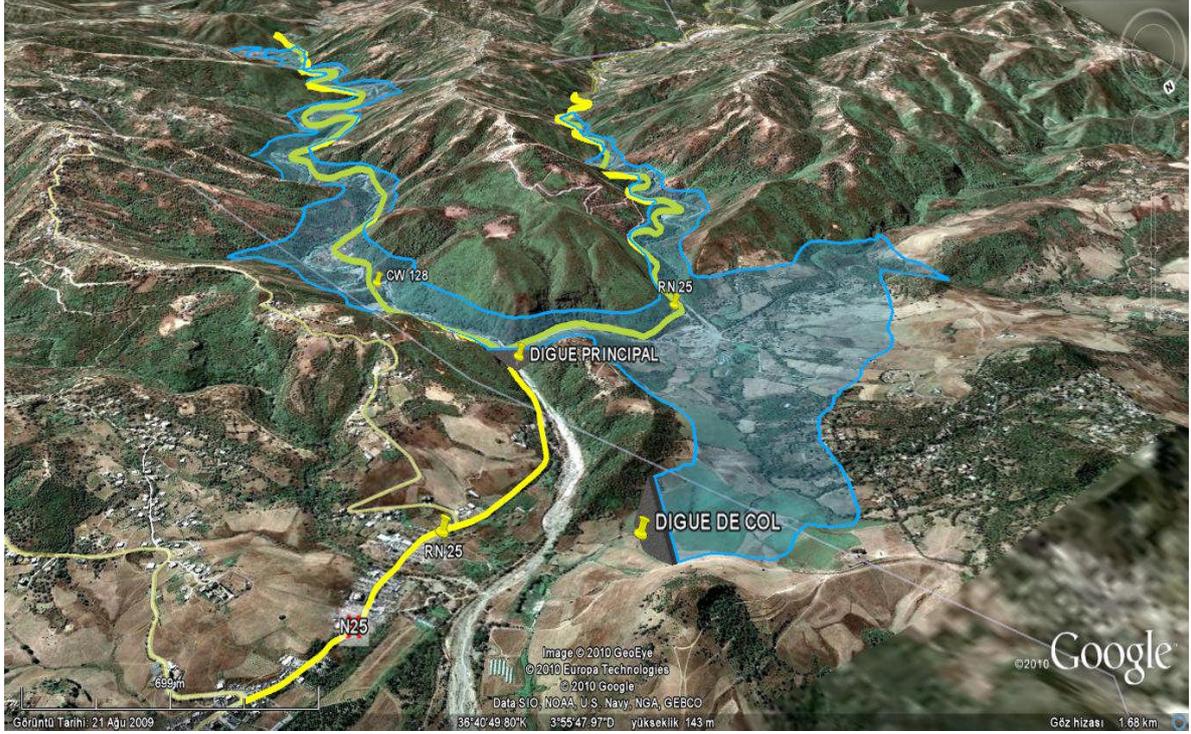
E- déviation définitive de la RN25 et CW128

La mise en eau du barrage risque d'être reportée en raison des travaux de la déviation définitive des routes RN25 et CW128 qui est à la charge de la DTP.

A ce jour, l'opération n'est pas encore inscrite, la DTP s'est limitée à la réalisation seulement de l'étude d'APD. Le cout de la déviation et modernisation de la RN 25 et CW 128 est estimé à **7.000.000.000,00 DA.**

Annexe2 : Quelques illustrations du barrage Souk Tlata

Situation générale du barrage souk tlata



Evacuateur de crues



Annexe2 : Quelques illustrations du barrage Souk Tlata

Forage par explosif à l'évacuateur de crues



Portail amont



Annexe2 : Quelques illustrations du barrage Souk Tlata

Portail amont et Sortie des galeries de dérivations provisoires



Portail aval et sortie des galeries de dérivation provisoires



Annexe2 : Quelques illustrations du barrage Souk Tlata

Bassin de dissipation d'énergie - vidange de fond-



Mise des remblais à la digue de col



Annexe2 : Quelques illustrations du barrage Souk Tlata

Digue de col

