REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Géologiques

***MEMOIRE***

**En vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Spécialité : HYDROGEOLOGIE**

**Thème :**

# Etude hydrogéologique d'un barrage : cas de Souk N'Tleta

Barrage de Souk N'Tleta (W.TiziOuzou) en cours de construction

***Présenté par :***

AMARI Amokrane

AMEUR Thamila

***Devant le Jury composé de :***

| | | |
|---|---|---|
| AIGOUN Chabane | MAA/UMMTO | Président |
| DEHMOUS Hocine | MCA/UMMTO | Examinateur |
| ABDESSLAM Malek | MCA/UMMTO | Encadreur |

Session 2020 / 2021

# *Remerciements*

*Nous tenons à remercier* ***Mr ABDESLAM Malek*** *Qui nous a suivis et aidés tout au long de ce travail.*

*Nous sommes aussi reconnaissants à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Nous remercions aussi Monsieur BERRAHAL Youcef, Directeur des projets de l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT) de Tizi Ouzou, qui nous a permis de faire notre stage pratique. Aussi, je remercie toute l'équipe de l'ANBT pour leur aide et leur encadrement.*

*Notre profonde gratitude va également aux membres du jury qui nous fera l'honneur d'évaluer ce travail.*

*Nous désirons exprimer nos remerciements à tous ceux qui, par leur aide et encouragement, nous ont permis d'achever ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant ma formation.*

*A ma chère Sœur : Ilissia.*

*A mes grands-parents.*

*A mes proches : Oncles, tantes, cousins et cousines.*

*A mes amis : Moumouh, Lyes, Ouissam,Marzuk,*

*Hcen, Tarik, Ghania, Rara,*

*Rabah, Yanis, Samir*

*Et Nawal.*

*A mon binôme AMEUR Thamila et toute sa famille.*

*A toute la promotion ``hydrogéologie"*

*Amokrane*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents qui m'ont soutenue et encouragée durant ma formation.*

*A mes chers Sœurs : Mira, Thanina et Yelena.*

*A mes grands-parents.*

*A mes oncles et en particulier mon cher oncle parti trop tôt : AGUEDAL Salem.*

*A mes proches : Tantes, cousins et cousines en particulier : Sifaks, Tiziri et Gaya.*

*A mes amis : Ghania, Melissa, Yanis, Massinissa, Soussa et Lydia.*

*A mon binôme AMARI Amokrane et toute sa famille.*

*A toute la promotion ``hydrogéologie"*

*Thamila*

# Sommaire

## SOMMAIRE

**Remerciements**
**Dédicace**
**Sommaire**
**Liste des figures**
**Liste des tableaux**
**Liste des photographies**
**Liste des schémas**
**Liste des abréviations**
**Introduction générale ……..** 01

**Chapitre I : Généralités sur la région d'étude**

I.1. Situation géographique et topographique du site du barrage Souk N'Tleta..... ..... 02
I.1.1 Situation géographique ……..... 02
I.1.2 Topographie du site ……..... 03
I.2. Choix du type de barrage……..……..... 03
I.3. Généralités sur le projet et caractéristiques du barrage de Souk N'Tleta..... 03
I.3.1 La digue ou barrage principal ..... 04
I.3.2 La digue de col ……..……..... 04
I.3.3 Galeries de dérivation …..……..……..... 06
I.3.4 Galeries d'injections et de prospection……..... 06
I.3.5 Ecrans d'étanchéité……..……..... 07
I.3.5.1 Ecran d'étanchéité par injection……..... 07
I.3.5.2 Ecran d'étanchéité sous forme de paroi moulée ..... 07
I.3.6 Forages et galeries de drainage ..... 07
I.3.7 Routes, voies et galeries d'accès ..... 07
I.3.7.1 Déviations des routes nationales (RN25) et de wilaya (CW 128)..... 07
I.3.8 Vidange de fond ..... 08
I.3.9 La prise d'eau ..... 09
I.3.10 L'évacuateur de crue ..... 09
I.3.11 Protection des talus ..... 10
I.3.11.1 Talus amont..... 10
I.3.11.2 Talus aval..... 10
I.4. Géologie de la region..... 10
I.4.1 Le Socle Kabyle..... 10
I.4.2 La Dorsale Kabyle ou Chaine calcaire..... 11
I.5. Géologie du site..... 13
I.5.1 Phyllades ou socle schisteux…….... 13
I.5.2 Grès burdigaliens ..... 14
I.5.3 Le Plio-quaternaire..... 14
I.5.3.1 Dépôts de pente…….... 15
I.5.3.2 Colluvions..... 15
I.5.3.3 Eluvions ..... 15
I.5.3.4 Alluvions..... 15
I.6. Tectonique et fracturation..... 15
I.7. Sismicité..... 17

I.8. Hydro-climatologie..... 17
I.8.1 Etude du complexe physique du bassin versant d'Oued Bou Gdoura..... 17
I.8.1.1 Paramètres morpho-métriques..... 18
I.8.2 Réseau hydrographique..... 21
I.8.2.1 Hiérarchisation du réseau..... 21
I.8.2.2La densité de drainage Dd..... 21
I.8.2.3 Temps de concentration……..... 21
I.9. Paramètres climatiques……..... 22
I.9.1 Les précipitations……..... 22
I.9.1.1 Les moyennes mensuelles des précipitations…..... 22
I.9.1.2 Les moyennes annuelles des précipitations…..... 23
I.9.2 Les températures……..... 24
I.9.2.1 Les températures moyennes mensuelles…..... 24
I.9.2.2 Les températures moyennes annuelles…..... 25
I.9.3 L'humidité……..... 26
I.9.4 Les vents……..... 26
I.9.5 Les jours de siroco……..... 27
I.9.6 Indice d'aridité……..... 27
I.9.7 Estimation de l'Evapotranspiration……..... 27
I.9.7.1 Estimation de l'Evapotranspiration Potentielle ETPc (mm)..... 28
I.9.7.2 Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Thornthwaite..... 29
I.9.7.3 Conclusion..... 30

**Chapitre II : Reconnaissance géologique et hydrogéologique du site du barrage de Souk N'Tleta (wilaya de Tizi -Ouzou).**

II. Introduction……..... 33
II.1. Forages de Reconnaissance géologique par sondage carottés……..... 33
II.1.1 Forages de Reconnaissances (rive droite ; fond de vallée et rive gauche)...…..... 34
II.1.1.1 Rive droite……..... 34
II.1.1.2 Fond de vallée……... 38
II.1.1.3 Rive gauche……... 44

**Chapitre III : Imperméabilisation par coulis d'injection du site du barrage de Souk N'Tleta (wilaya de Tizi -Ouzou).**

III.1. Imperméabilisation des alluvions du lit de l'Oued en amont du barrage ..... 52
III.1.1 Paroi moulée..... 52
III.1.1.1 Les Caractéristiques de la paroi moulée..... 53
III.1.1.2 Procédés de réalisation de la paroi moulée..... 53
III.2. Imperméabilisation des contreforts par coulis d'injection……..... 56
III.2.1 Forages d'injection du coulis……..…..…..…..……..... 56
III.2.2 Procédure d'injection du coulis……..……..... 56
III.2.3 Coulis d'injection utilisés pour l'imperméabilisation…...……..…..... 59
III.2.4 Forages d'injection (rive droite ; fond de vallée et rive gauche)……..... 60
III.2.4.1 Injection en rive droite……..... 60
III.2.4.2 Injection en fond de vallée……... 65
III.2.4.3 Injection en rive gauche……... 70

**Conclusion générale …….....** 86

**Références bibliographiques**

**Annexes**

# Liste des figures

Figure 1 : Situation et limites du bassin versant de Souk N'Tleta.....03

Figure 2 : Barrage du Souk N'Tleta : digues principale, plan d'eau et coupe type montrant la position et la nature des matériaux utilisés .....06

Figure 3 : Digue de col, plan d'eau et coupe type montrant la position et la nature des matériaux utilisés .....06

Figure 4 : Coupe Est_Ouest au droit de la Digue principale du barrage de Souk NTleta avec décapage des alluvions, des parois du berceau, les galeries de dérivation, d'injection et de vidange, évacuateur de crue et écran d'étanchéité.....08

Figure 5 : Extension du plan d'eau du barrage de Souk N'Tleta et déviation des routes RN25 (en rouge) et CW128 (en jaune) ANBT .....09

Figure 6 : Coupe géologique N-S du Nord de l'Algérie (M. Durand Delga 1969).....12

Figure 7 : Coupe synthétique NS du Miocène sur les phyllades du site du barrage Souk N'Tleta (D.Raymond 1976).....16

Figure 8 : Carte géologique et structurale du site du barrage Souk N'Tleta (ANBT).....17

Figure 9 : Localisation du site du barrage de Souk N'Tleta et des communes dans lesquelles se situe son plan d'eau .....19

Figure 10 : Courbe hypsométrique du BV d'Oued Bougdoura.....21

Figure 11 : Représentation graphique de l'évolution des précipitations moyennes mensuelles (ANRH).....24

Figure 12 : Histogramme de précipitations entre 1989/1990 et 2020/2021.....25

Figure 13 : Evolution des températures moyennes mensuelles (°C) à la station ONM de T.O pour la période (1990-2021)…….....26

Figure 14 : Graphique illustrant le bilan hydrologique selon Thornthwaite (station de Tizi-Ouzou)…….....30

Figure 15 : Forages réalisés avec essais d'eau Réaction mécanique du sol (voile d'étanchéité rive gauche)…….....49

Figure 16 : Perméabilités des tranches de forages réalisés avec essais d'eau (voile d'étanchéité rive gauche)…….....49

Figure 17 : Description lithologique du sondage au droit du site de la paroi moulée.....53

Figure 18 : Coupe en travers du site de la digue montrant la paroi moulée étanche barrant le profil de l'oued……..53

Figure 19 : Coupe transversale de la paroi moulée sur l'axe de l'oued Bougdoura.....55

Figure 20 : La coupe type du batardeau amont …….....55

Figure 21 : Fissuration et remplissage des grès……..63

Figure 22 : Exemple de fractures sur les carottes……...63

Figure 23 : Fracturation dans les grès gris……..64

Figure 24 : Répartition des absorptions du coulis au niveau du plot d'essai n°01.....65

Figure 25 : Histogramme de consommation de ciment par partie en fond de vallée.....69

Figure 26 : Situation des zones et plots d'essais sur la route de col…….....70

Figure 27 : Consommation de ciment par forages  zone N°01 rive gauche.....72

Figure 28 : Consommation de ciment par forages zone N°02 rive gauche….....74

Figure 29 : Consommation de ciment par forages de zone N°03 rive gauche.....77

Figure 30 : Consommation de ciment par forage zone N°04 rive gauche.....79

Figure 31 : Consommation de ciment par forages zone N°05 rive gauche.....81

Figure 32 : Consommation de ciment par forages zone N°06 rive gauche……83

# Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition hypsométrique du BV Oued Bougdoura.....20

Tableau 2 : Caractéristiques altimétriques du BV d'Oued Bougdoura.....21

Tableau 3 : Classification du relief selon Ig, Ds par l'ORSTOM .....22

Tableau 4 : Moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1989/1990-2020/2021(Source ANRH) .....23

Tableau 5 : Précipitations annuelles (mm) entre 1989/1990-2020/2021 (source ANRH) .....24

Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles (°C) à la station ONM de T.O pour la période (1990_2021) .....25

Tableau 7 : Evolution des températures moyennes annuelles pour la période (1989/1990-2020/2021) (source ONM de T.O) .....27

Tableau 8 : Humidité relative moyenne mensuelle en % de la station de T.O, période (1989/1990-2020/2021) (Source ONM T.O) .....27

Tableau 9 : Répartitions mensuelles des vitesses du vent .....27

Tableau 10 : L'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite .....29

Tableau 11 : Bilan hydrologique (1989/1990-2020/2021) en fonction de l'ETP de Thornthwaite .....30

Tableau 12 : Représentation de coefficients de perméabilité en fonction des sols.....36

Tableau 13 : Composition (formulation) des coulis d'injections utilisés dans le projet.....59

Tableau 14 : Paramètres rhéologiques (in-situ)…….....60

Tableau 15 : Paramètres GIN.....61

Tableau 16 : Récapitulatif des essais sur coulis d'injection au niveau du plot d'essai N°01(rive droite) ……61

Tableau 17 : Résumé des forages d'injections au niveau du plot d'essai n°01 (rive droite).....64

Tableau 18 : Quantité des travaux et d'absorption/plot test n°01 rive droite…….....65

Tableau 19 : Paramètres GIN.....66

Tableau 20 : Paramètres classiques.....66

Tableau 21 : Absorption au niveau du plot d'essai dans les schistes partie amont.....68

Tableau 22 : Résumé des résultats d'injection au fond de vallée.....69

Tableau 23 : Paramètres GIN.....70

Tableau 24 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°01 rive gauche…….....71

Tableau 25 : Résumé des travaux dans la zone 01.....72

Tableau 26 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°02 rive gauche..... .....73

Tableau 27 : Résumé des travaux dans la zone 02.....74

Tableau 28 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°03 rive gauche.....75

Tableau 29 : Résumé des travaux dans la zone 03…….....76

Tableau 30 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°04 rive gauche.....78

Tableau 31 : Résumé des travaux dans la zone 04.....79

Tableau 32 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°05 rive gauche.....80

Tableau 33 : Résumé des travaux dans la zone 05.....81

Tableau 34 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°06 rive gauche.....82

Tableau 35 : Résumé des travaux dans la zone 06…….....83

Tableau 36 : Résultats globaux des travaux réalisés au niveau de la piste d'accès à la digue de col….84

# Liste des photographies

Photo 1 : Dérivation provisoire 1 et 2.....07

Photo 2 : Vidange de fond en rive gauche.....09

Photo 3 : Prise d'eau en rive gauche.....10

Photo 4 : Evacuateur de crue en rive droite.....10

Photo 5 : Socle schisteux à la base de la digue principale du barrage de Souk N'Tleta surmonté de conglomérats.....15

Photo 6 : Eléments détritiques et présence de coquillage dans les grès Burdigalien.....15

Photo 7 : Présence de faille normale à l'amont de la rive droite du barrage de Souk N'Tleta.....17

Photo 8 : Fracturation des grès sur la rive droite à l'amont du barrage de Souk N'Tleta.....18

Photo 9 : Photo des caisses du sondage carotté P12 de 18m dans les alluvions jusqu'au substratum schisteux.....52

Photo 10 : Vue d'engins de bétonnage de la Paroi-Moulée, avec tubes plongeurs et de pompage……..54

Photo 11 : Vue du batardeau amont en enrochement et mise en place du noyau argileux de la digue sur la paroi moulée par compactage au rouleau «pied de mouton» …….....…..55

Photo 12 : vue depuis la rive droite du batardeau amont…….....56

Photo 13 : Obturateur simple.....57

Photo 14 : Centrale de fabrication de coulis automatique de marque O.CUOGHI TW500.....58

Photo 15 : Mini central marque TECNIWELL modèle TWMG57.....58

Photo 16 : Appareil d'injection de coulis avec essais d'eaux.....58

# Liste des schémas

Schéma 1 : Schéma illustratif des machines utilisées pour l'injection et leurs positionnements……...59

Schéma 2 : disposition et consommation moyenne par forage……...67

# Abréviations

## TABLE DES ABREVIATIONS

APD : Avant Projet Détaillé.
ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts.
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
NGA : Nivellement Général de l'Algérie.
ONM : Office Nationale météorologie.
ABH : Agence des bassins hydrographiques.
ETP : Evapotranspiration potentielle.
ETR : Evapotranspiration réelle.
CI : Coulis d'Injection.
A : La superficie ($Km^2$).
P : Périmètre.
Ig : Indice de pente globale.
Kc : Indice de compacité de Gravelius.
Max : Maximale.
Min : Minimale.
Moy : Moyenne.
DS : Dénivelé spécifique.
DR : Densité relative
Tc : Temps de concentration.

# Introduction générale

# Introduction générale

La Wilaya de Tizi-Ouzou enregistre un apport pluviométrique moyen annuel de près de 900 mm/an. Les eaux de surface représentent 48%, le reste est répartie entre l'évaporation, l'infiltration et le déversement vers la mer. De ces 48%, l'ANBT s'est attelée de mobiliser une partie en construisant le barrage de Souk N'Tleta qui fait l'objet de notre présence contribution. Ainsi cette ouvrage vient à l'appui du barrage de Taksebt pour couvrir les besoins en eau potable et l'agriculture de la région, avec une capacité de 98 $Hm^{3.}$

Ce barrage est situé dans le bassin versant de l'Oued Bougdoura, affluent en rive gauche de l'Oued Sébaou.

Ce travail a pour but, d'étudier l'hydrogéologie du site du barrage de Souk N'Tleta (Tizi-Ouzou) pour déterminer la perméabilité des appuis du barrage et étanchéifier le site du barrage.

Cette recherche est née à l'aide de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) dans le cadre de la préparation de notre diplôme de Master en Géologie appliquée, option Hydrogéologie. Nous avons ainsi participé aux injections de coulis d'imperméabilisations des zones du barrage et aux essais au laboratoire de chantier (contrôle qualité du coulis d'injection). Les alluvions de l'axe du barrage sont également très perméables.

Les objectifs principaux de ce mémoire sont:

- L'étude de la géologie de l'assise du barrage et de ses annexes;
- L'étude hydro climatologique du bassin versant de l'oued Bougdoura ;
- L'analyse des forages de reconnaissance géologique par sondages carottés,
- Caractérisation et techniques d'essais réalisés sur les coulis au laboratoire de chantier de réalisation du barrage;
- Imperméabilisation du milieu par coulis d'injection dans les appuis du barrage, et du lit du cours d'eau;

Le présent travail se compose de trois chapitres et d'une conclusion générale dont les contenus se présentent comme suit :

* Le premier chapitre synthétise les généralités sur la zone d'étude et les caractéristiques techniques du barrage :

- Situation géographique et topographique du site du barrage Souk N'Tleta
- Généralités sur le projet et caracteristiques du barrage de Souk N'Tleta
- Géologie de la region et du site
- Tectonique et fracturation
- Sismicité
- Hydro-climatologie

* Dans le deuxième chapitre nous nous sommes intéressées aux caractéristiques hydrogéologiques du site du barrage en étudiant les forages de reconnaissances géologiques par sondages carottés pour définir les perméabilités de chaque couche dans les différentes zones (rive droite, fond de vallée et rive gauche).

* Dans le troisième chapitre, vu les perméabilités des formations géologiques et discontinuités (fracturation et contactes géologiques) des appuis, l'ANBT a opté pour l'injection comme solution pour les endroits qui nécessitent une imperméabilisation par coulis d'injection qui a été contrôlé par suivi des pressions et des essais au laboratoire.

# Chapitre I

## Présentation de la zone d'étude

# I.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET TOPOGRAPHIQUE DU SITE DU BARRAGE SOUK N'TLETA

## I.1.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le site du barrage de Souk N'Tleta est situé sur l'oued Bougdoura à l'extrémité occidentale de la Grande Kabylie. Le bassin versant du barrage est situé dans la région comprise entre 3°45' et 4°05' longitude Est, 36°25'et 36°45' latitude nord, à 8 Km au sud de la ville de Draa Ben Khedda et à 12 Km du chef-lieu de la wilaya de Tizi Ouzou. Ce Site est accessible en empruntant la route Nationale (RN) 25 en partant de Draa Ben Khedda vers Draa El-Mizan et le Chemin de wilaya (CW) 128 à partir de la Ville de Tizi Ouzou vers Boghni- Draa El-Mizan.

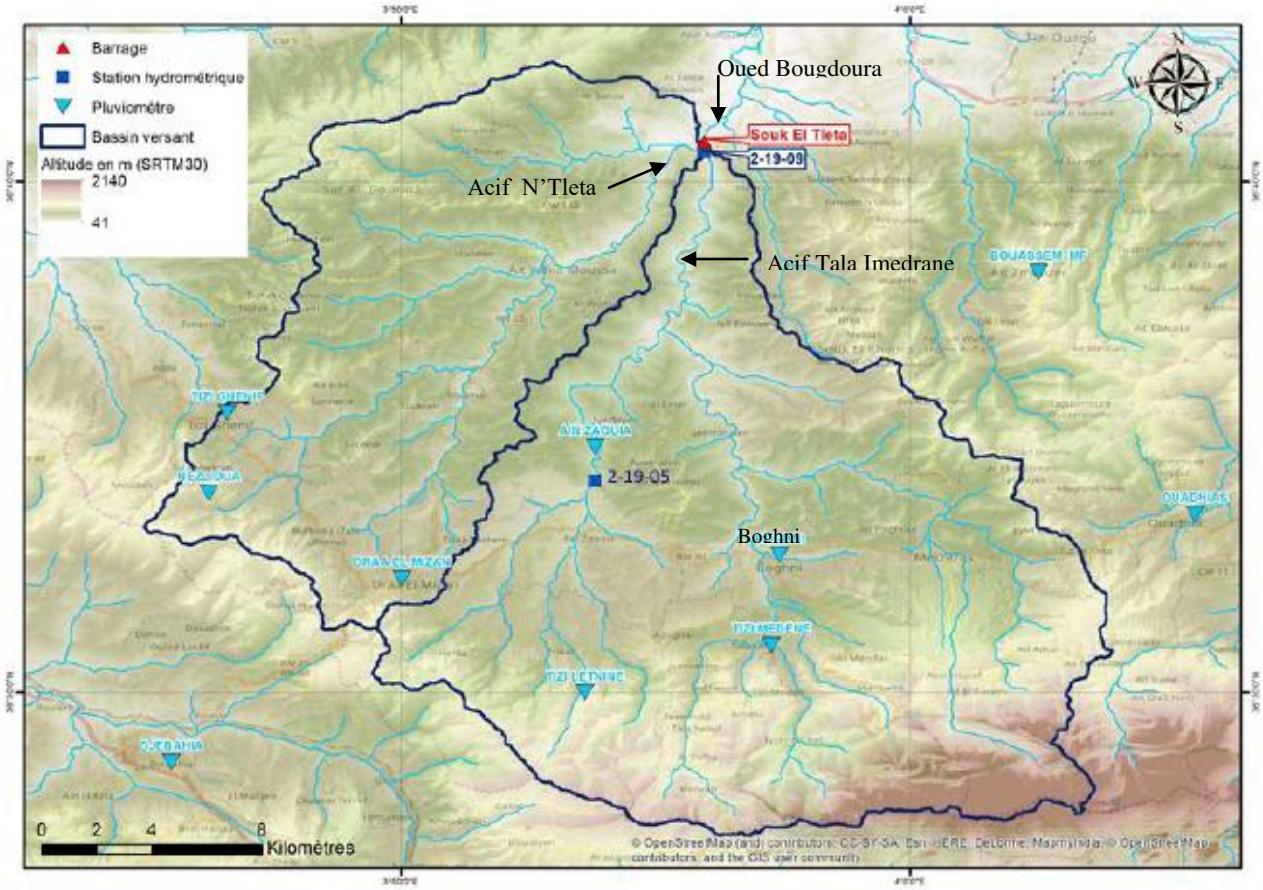



Figure 1 : Situation et limites du bassin versant du barrage de Souk N'Tleta.

## I.1.1 TOPOGRAPHIE DU SITE

La cuvette est constituée essentiellement par deux branches formées de la vallée de l'Acif N'Tlata coté Dra El Mizan et de Tala Imerdrane axe Boghni , qui confluent tout en amont du site du barrage pour s'engager dans une gorge, choisie pour ériger la digue de barrage.

Le fond de la rivière est situé à la côte ou niveau 64 m NGA et présente au site de la digue d'une largeur minimale d'environ 50 m. Les flancs de la vallée culminent à plus de 150 m NGA. Quant à la largeur de la vallée, à la cote du sommet du barrage, est de 200 m environ.

## I.2 CHOIX DU TYPE DE BARRAGE

Le choix du type de barrage se fait en fonction des caractéristiques locales, en particulier de la nature du sol de fondation et de la forme de la vallée, des matériaux de construction disponibles au voisinage du site du barrage. On peut proposer des variantes et en écarter d'autres selon des problèmes de transport, d'approvisionnement, de l'extraction des matériaux de construction de leurs zones d'emprunt ainsi que des conditions économiques.

L'étude géologique, géotechnique et hydrologique sont les bases fondamentales de ce type d'études.

Les principaux paramètres à prendre en considération dans le choix du type de barrage sont :

- La topographie du site.
- La morphologie de la vallée.
- Les conditions géologiques et géotechniques.
- Les matériaux de construction.
- L'hydrologie.

Pour le cas présent, les conditions topographiques, géotechniques, hydrologiques et géologiques du site permettent d'envisager un barrage zoné en matériaux locaux.

## I.3 GÉNÉRALITÉS SUR LE PROJET ET CARACTERISTIQUES DU BARRAGE DE Souk N'Tleta

Le projet de barrage de Souk N'Tleta, dont la capacité sera de 98 $Hm^3$ et une hauteur de digue 95 m, permettra d'alimenter en eau potable et industrielle les villes se trouvant sur le couloir Tizi Ouzou - Boumerdes - Alger.

•La réalisation de ce projet a été confiée par l'Agence National des Barrages et Transferts (ANBT) à un groupement d'entreprises Turques appelé NUROL OZALTIN. L'étude et la surveillance des travaux sont assurées par un bureau d'études Français (COB-TRACTEBEL).

•Le barrage de Souk N'Tleta sera réalisé par deux digues, en matériaux meubles dont la principale aura une hauteur de 95 m qui correspond au niveau 130,70 m NGA.

•Une digue de col sera réalisée pour barrer la dorsale en rive gauche. Cette digue aura une hauteur de 25 m qui correspond au niveau de 130,70 m NGA.

•La disponibilité des matériaux de recharges sur l'oued de Bougdoura et sur le site, ne pose aucun problème à part les enrochements qu'il faut chercher d'une carrière hors du site.

•L'évacuateur de crue sera réalisé à la rive droite du barrage, avec un déversoir latéral d'une largeur de 126 m au niveau normale de la retenue 122 m NGA et un coursier de 20 m de largeur et 258.5 m de longueur.

•Le barrage a une tour de prise (02 prises d'eau). La capacité de la prise est de 7 $m^3/s$. La vidange du fond est dimensionnée pour décharger un débit de 130 $m^3/s$.

## I.3.1 La digue ou barrage principal :

La digue principale sera constituée en géomatériaux meubles avec (figure 02) :

- Noyau central en colluvions argileuses.
- Recharge à l'amont en alluvions graveleuses-sableuses (0/200).
- Recharge à l'aval en blocs de grès (0/200).
- Parement amont constitué d'enrochement en calcaire dont les blocs varient entre 15 et 75 cm.

Elle est caractérisée principalement par :

- Une hauteur de 95 m.
- Niveau de la retenue normale : 122 NGA.
- Les plus hautes eaux : 125 NGA.
- Une cote de la crête : 130.70 NGA.
- Une longueur en crête : 156 m.
- Une largeur de la crête : 10 m.

## I.3.2 La digue de col :

La digue de col, d'une hauteur de 25 m, permet de fermer la retenue dans son extension en rive gauche, où cette zone est plus basse en altitude que la hauteur de la digue principale. Elle repose sur des marnes (grises) compactes du Miocène. Elle est réalisée en remblais zonés comme pour la digue principale avec :

## I.3.4 Galeries de dérivation :

La dérivation des écoulements du cours d'eau pendant la phase des travaux, sera assurée par les deux ouvrages de dérivation provisoire (DP1 et DP2), ayant une forme intérieure polycentrique de 8 m de diamètre creusée en rive gauche pour évacuer la crue du chantier dont le débit est estimé à 1090 $m^3/s$ :

- **Dérivation provisoire 1 (DP1) :** Cet ouvrage, adossé à la rive gauche, en amont du barrage, entre la DP2 et le lit de l'Oued Bougdoura. Elle est constituée d'une galerie souterraine de 338.26 m, d'une galerie à l'air libre de 26.26 m de long et d'un chenal de 71.45 m de long.

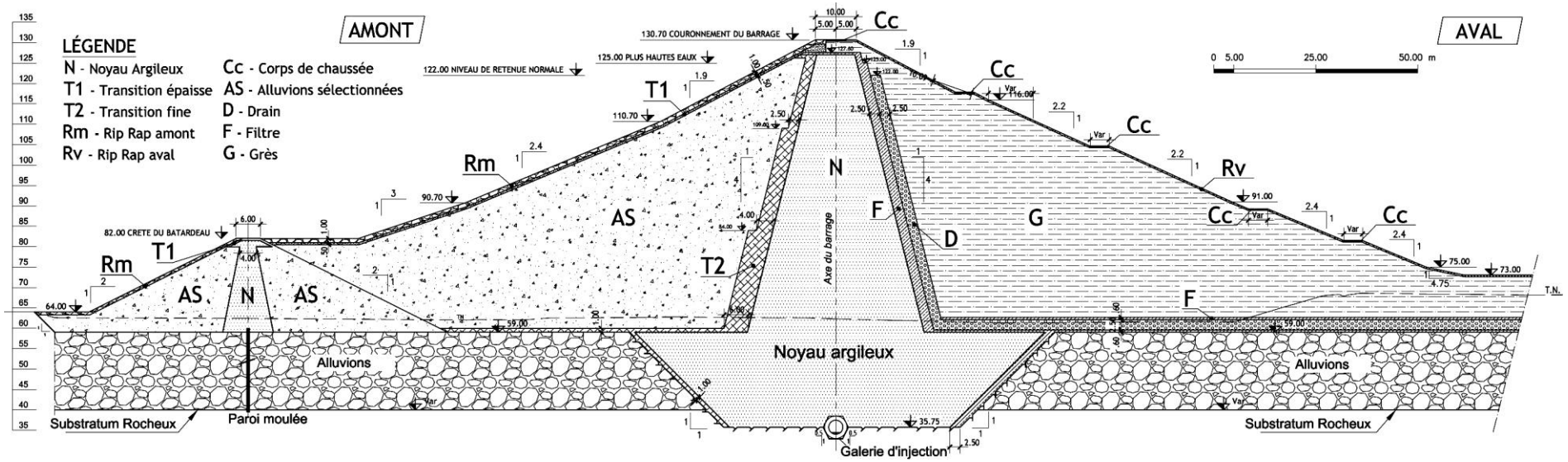



Figure 2 : Barrage du Souk N'Tleta : digue principale et plan d'eau et coupe type montrant la position et la nature des matériaux utilisés.

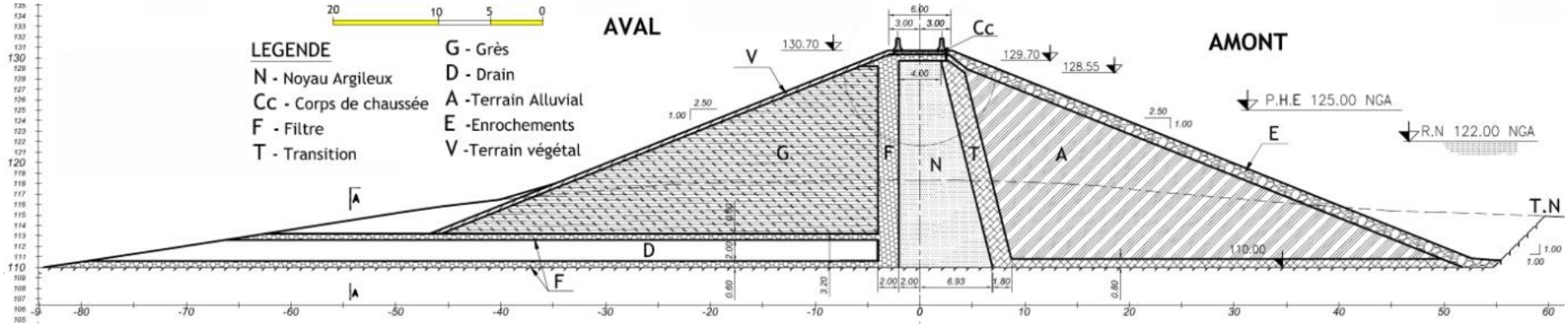



Figure 3 : Digue de col et plan d'eau et coupe type montrant la position et la nature des matériaux utilisés.

- **Dérivation provisoire 2 (DP2) :** Située du coté du talus de la rive gauche, elle est constituée d'une galerie souterraine de 348.1 m de long, d'une galerie à l'air libre de 26.29 m et un chenal de 10.31 m de long.

À la fin des travaux, ces deux dérivations seront transformées en galerie de vidange de fond (DP1) et galerie de restitution (DP2).

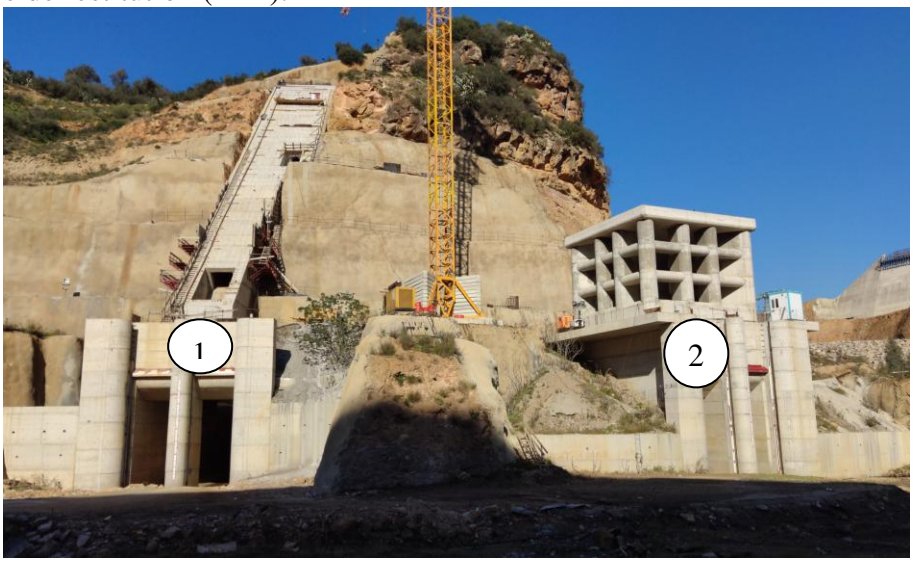



Photo 1 : Dérivations provisoires 1 et 2.

## I.3.5 Galeries d'injections et de prospection :

Un système de galeries d'injection et de drainage, pour l'écran d'étanchéité du barrage, de 1.75 m de rayon, est implanté sous le berceau (centre de la digue). Elles traversent la digue et les deux galeries de dérivation en rive gauche et sous le déversoir en rive droite.

Deux autres galeries d'injection sont implantées, à hauteur du niveau maximum d'eau, en rive droite et en rive gauche. Cette dernière servira d'accès à la digue de col.

## I.3.6 Écrans d'étanchéité :

### I.3.6.1 Écran d'étanchéité par injection :

Il est conçu dans le but de prolonger latéralement et en profondeur la retenue constituée par le noyau du barrage, afin de limiter les infiltrations vers l'aval. Il sera réalisé par injections de coulis de béton à partir du berceau à la base du noyau du barrage et des galeries d'injection.

### I.3.6.2 Écran d'étanchéité sous forme de paroi moulée :

La paroi moulée située sous le batardeau amont, sert à étanchéifier la base du lit de l'oued, qui est constitué d'alluvions, pour limiter les venues d'eau lors des excavations pour l'implantation du noyau argileux constituant le cœur de la digue principale qui sera ancré dans les schistes imperméables à la côte 35,75 m NGA.

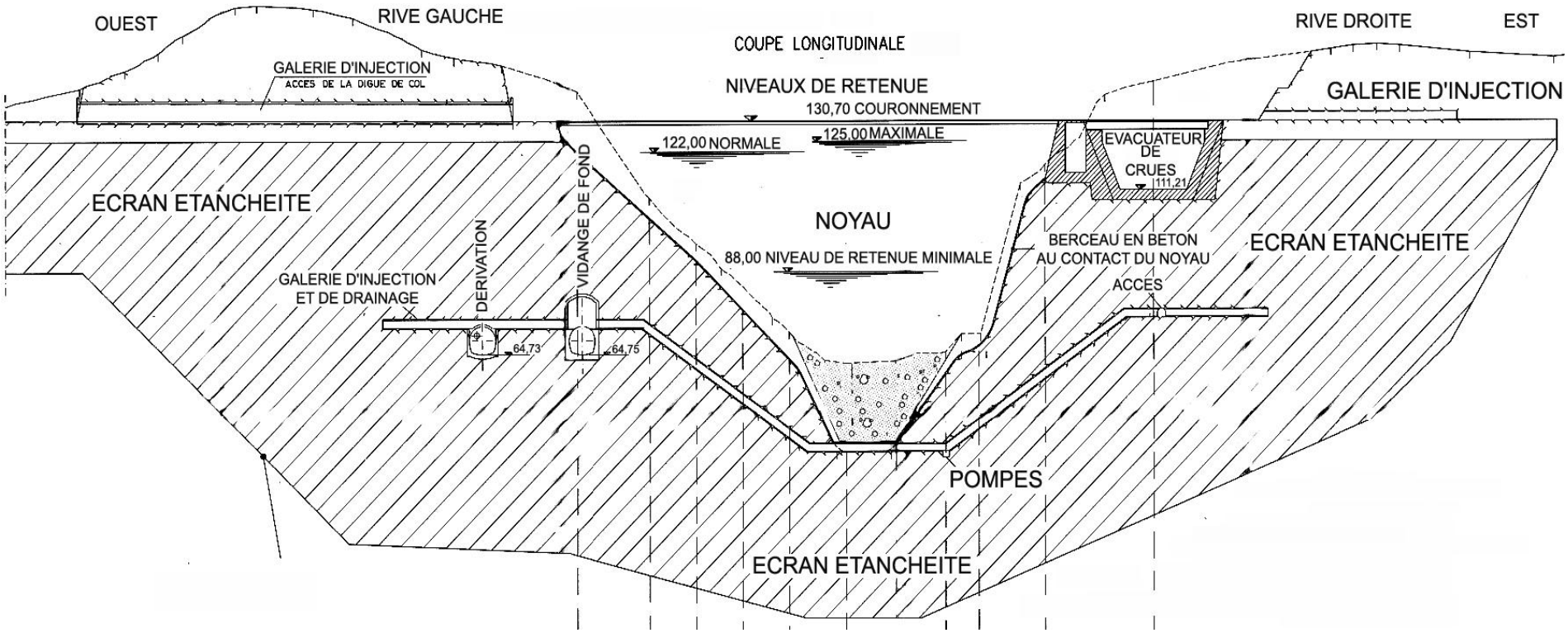



Figure 4 : Coupe Est_Ouest au droit de la Digue principale du barrage de Souk NTleta avec décapage des alluvions, desparois du berceau, les galeries de dérivation, d'injection et de vidange, évacuateur de crue et écran d'étanchéité.

### I.3.7 Forages et galeries de drainage :

Les galeries d'injection serviront pour le drainage des eaux de la digue avec les forages (piézomètres) qui permettront de faire un suivi de la piézométrie.

### I.3.8 Routes, voies et galeries d'accès :

L'accès aux différents ouvrages du projet s'effectue par un réseau de routes et de galeries. Ou en distingue :

-Route d'accès à la digue de col.
-Route d'accès au hangar de dépôt.
-Galerie d'accès à la digue de col et d'injection à la côte 130.7 NGA en rive gauche.
-Galerie d'accès à la galerie d'injection se trouvant sous l'évacuateur de crue en rive droite.

### I.3.8.1 Déviations des routes nationales (RN25) et de wilaya (CW 128) :

Ce sont des axes de circulation importants pour le trafic routier dans la région. Ils seront touchés par le niveau d'eau de la retenue du barrage. De ce fait, ces routes seront déviées avec réalisation de nouveaux tracés comportant un viaduc qui enjambera le plan d'eau au dessus de l'Acif Tala Imedrene et d'un tunnel.

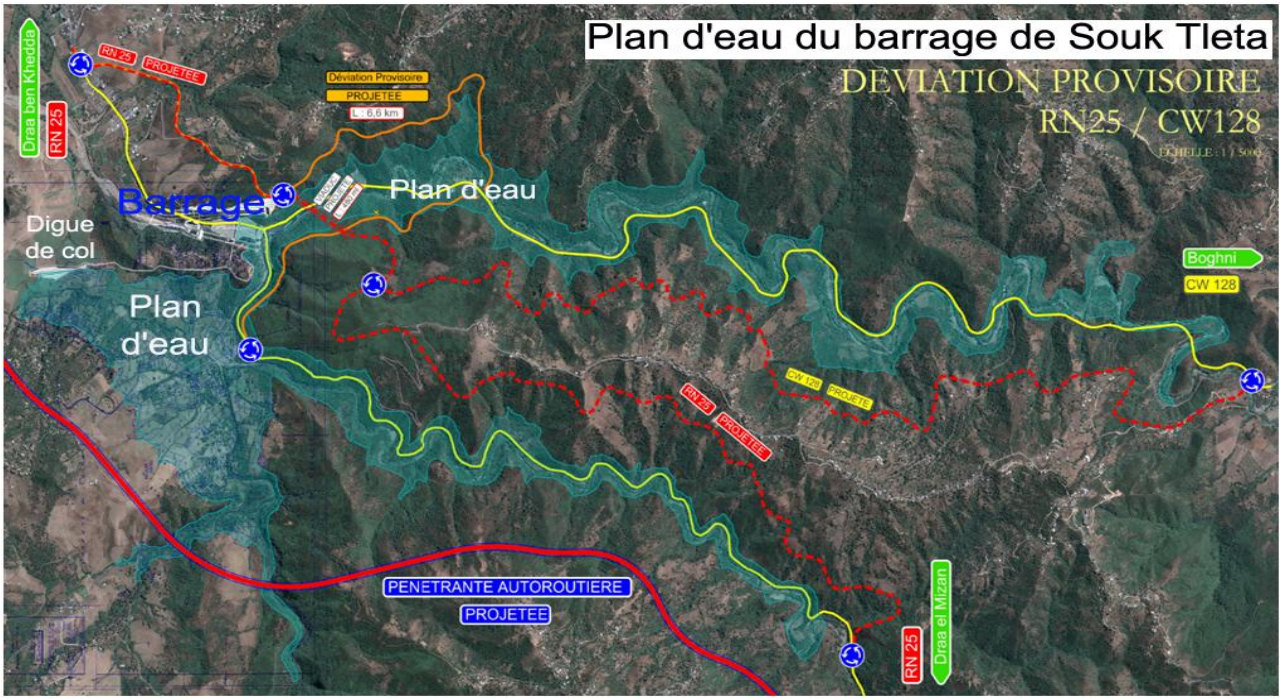



Figure 5 : Extension du plan d'eau du barrage de Souk N'Tleta et déviation des routes RN25 (en rouge) et CW128 (en jaune) ANBT.

### I.3.9 Vidange de fond :

Cet ouvrage est adossé à la rive gauche en amont du barrage. La vidange de fond est dimensionnée pour décharger un débit de 130 $m^3/s$, lorsque le niveau du barrage est à 122 m NGA. A partir de ce niveau, le volume utile peut être vidangé en 7 jours environ.

Photo 2 : Vidange de fond en rive gauche.

## I.3.10 La prise d'eau :

La capacité de la prise est de 7 $m^3/s$. Le plan incliné consistant la surface supérieure de la prise d'eau forme avec l'horizontale un angle d'environ 31°. La base de cette tour est située à la cote 64 m NGA et a une largeur de 5 m. Si l'on remonte le plan incliné, on rencontre successivement les deux prises de la conduite d'adduction. Ils ne sont pas alignés, mais décalés de 3.5 m l'un par rapport l'autre.

Photo 3 : Prise d'eau en rive gauche

## I.3.11 L'évacuateur de crue :

Cet ouvrage, dimensionné pour une crue maximale de 1 840 $m^3/s$, est réalisé en rive droite. Il comprend :

- Déversoir à la côte 122m NGA

- Un coursier dont le profil en long de forme parabolique, commence à la côte 111.5 m NGA avec une largeur de 20 m et se termine après 258.5 m de longueur à la côte 58 m NGA avec une largeur de 40 m.

- Un bassin d'amortissement constitué par un double bassin à la côte 58 - 60 m NGA pourvu d'une série de redans pour favoriser le ressaut de l'eau et la dissipation d'énergie.

Photo 4 : Evacuateur de crue en rive droite.

## I.3.12 Protection des talus :

Les talus d'un barrage sont sensibles à l'érosion due au ruissellement des eaux de pluie, au renard provoqué par le ressuyage des eaux de saturation du barrage, et en ce qui concerne le parement amont à l'attaque des vagues ainsi que la vidange rapide.

### I.3.12.1 Talus amont :

On opte pour une protection en enrochement (rip-rap). Pour les deux digues (principale et digue de col), cette protection consiste à la réalisation des couches d'épaisseur prédéterminées de blocs de pierres. Le matériau devra être sain, d'un poids capable de résister à la poussée des vagues (15 à 75cm).

### I.3.12.2 Talus aval :

Une couche de terrain végétal d'une épaisseur de 40 cm couvre le talus aval pour les deux digues. Cette couche prolonge de 2.5 m vers la crête pour la digue principale et de 0.5 m pour la digue du col.

## I.4 GEOLOGIE DE LA REGION

La région d'étude est située, du point de vue géologique, dans l'Algérie du Nord qui est lié à l'orogène alpin périméditerranéen d'Afrique du Nord.

Les terrains affleurant sur ce territoire sont constitués de diverses formations géologiques d'âges différents comme décrits dans le Livret des Ressources minérales de la wilaya de Tizi-Ouzou. (ORGM, Ziani et Arkoub 1994). Ce sont essentiellement :

1) le socle kabyle et sa couverture paléozoïque ;
2) la Dorsale Kabyle ou chaîne calcaire ;
3) l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) ;
4) les nappes de flyschs ;
5) le Miocène post-nappes ;
6) le Quaternaire.

### I.4.1 Le Socle Kabyle :

Il est constitué de terrains métamorphiques et cristallins, qui affleurent en grande partie dans la zone centrale et Sud du territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou, à la limite du flanc Nord du Djurdjura. Il est subdivisé en trois ensembles structuraux, superposés de bas en haut :

1- Un socle gneissique fortement métamorphique, composé de « noyaux », avec des gneiss fins, localement migmatitiques, auxquels sont superposés des gneiss œillés à microcline, biotite, plagioclase, muscovite, des granites, calcaire marbreux et marbre.

2- Une série de schistes satinés, faiblement métamorphisés. Il s'agit de séricito-schistes et de chlorito-schistes au sein desquels s'intercalent des porphyroïdes œillés. La base de cette série est très diversifiée et comporte, de haut en bas, des marbres, quartzites, séricito-schistes et amphibolites ;

3- Des schistes argileux et silteux peu métamorphiques.

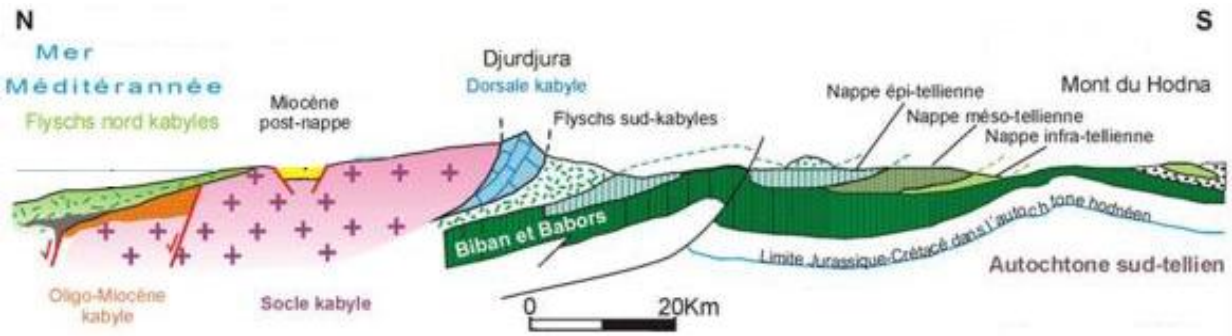



Figure 6 : Coupe géologique N-S du Nord de l'Algérie (M. Durand Delga 1969)

## I.4.2 La Dorsale Kabyle ou Chaine calcaire :

La chaîne du Djurdjura, limite Sud du BV Bougdoura, constitue le tronçon le plus important de la Dorsale Kabyle. Elle s'étend sur près de 50 km d'Ouest en Est, et culmine à 2308 m (Lalla Khedidja). Elle se dresse comme une barrière entre les formations du socle métamorphique au Nord et celles du Crétacé tellien au Sud. Ce sont les formations calcaires liasiques ou localement celles de l'Eocène qui déterminent ses principaux reliefs.

Les terrains qui constituent cette unité structurale sont d'âges divers :

**Carbonifère :**

Les formations qui constituent la chaîne du Djurdjura débutent par des dépôts carbonifères qui surmontent immédiatement les schistes cristallins.

Le Carbonifère est représenté par une puissante série (environ 500 m) de dépôts, où l'on peut distinguer de bas en haut trois ensembles principaux :

- Des schistes gris ou gris verdâtre, à rares intercalations de grès fins micacés et de lydiennes.
- Une alternance de schistes micacés, de psammites à débris végétaux et de grès généralement fins.
- Un ensemble assez semblable au précédent, mais où les grès deviennent plus grossiers, passant même dans la partie supérieure de l'assise à des poudingues à petits galets de quartz.

**Permo- Trias et Trias :**

Ils sont représentés par des formations "continentales" formées essentiellement par des grès siliceux rouges, des calcaires en gros bancs ou lits, parfois en plaquettes, où dominent les calcaires dolomitiques, mais dont les termes caractéristiques sont des calcaires vermiculés.

**Lias :**

Il est subdivisé dans la Dorsale en :

**a- Infra-Lias inférieur :**

Les dépôts de l'infra-Lias et du Lias inférieur sont représentés pas des cargneules et dolomies, des calcaires dolomitiques jaunâtres qui se poursuivent par environ 100 à 400 m de calcaires massifs, de teinte gris clair à pâte fine, grain fin et parfois oolithique.

**b- Lias supérieur :**

Ces dépôts se distinguent nettement du Lias inférieur. Ils sont représentés par un ensemble de calcaires en dalles à silex, de faciès variés, de marno-calcaires et de marnes.

**Crétacé :**

Les dépôts du Crétacé sont constitués de marnes, d'argiles et de grès.

**Lutétien :**

Les dépôts de cette période sont représentés essentiellement par de petits bancs de calcaires jaunes, surmontés par des calcaires massifs à nummulites. Au sommet, ces calcaires montrent

progressivement des grains de quartz et passent à des calcaires franchement gréseux et des conglomérats à grands foraminifères.

**Oligocène :**

Les dépôts de l'Oligocène sont de nature essentiellement détritique. Ils sont tout à fait comparables à un flysch, allant des conglomérats les plus grossiers à des argiles schisteuses de teinte sombre, en passant par toute une gamme de grès variés dans lesquels s'intercalent plusieurs niveaux de calcaires.

Sur le versant Nord du Djurdjura, l'Oligocène est représenté par des grès tendres, de faciès assez particulier, connus sous le nom de "grès de Drâa -el-Mizan" dans la partie amont de la cuvette du barrage. Ces grès sont jaunâtres ou ocracés à ciment calcaire ou argileux, généralement friables. Ils sont fréquemment micacés et montrent parfois des traces charbonneuses de plantes ou de petits amas lenticulaires de lignites. Les bancs constitués de ces grès sont séparés par des intercalations de marnes sableuses et de marnes qui deviennent quelquefois prédominantes. L'épaisseur de cette formation peut atteindre ou même dépasser 1000 m.

**a. L'Oligo-Miocène Kabyle :**

C'est une formation conglomératique et gréseuse, transgressive, comprenant des éléments du Socle Kabyle et de la Dorsale Kabyle qui s'est formé pendant l'Aquitano-Burdigalien, qui repose en discordance sur le socle kabyle métamorphique.

**b. Les nappes de flyschs :**

Elles sont à matériel Crétacé et nummulitique et s'empilent en couches pelliculaires, charriées sur les différentes zones, comme c'est le cas pour le Nord de la Kabylie. Dans ces unités structurales, on distingue les : flyschs numidiens, les flyschs massyliens, le flysch du Haut Sebaou-Azazga, le flysch de Port Gueydon et le flysch maurétanien.

**c. Le Miocène post-nappe :**

Ce sont des terrains d'âge Miocène déposés postérieurement à la mise en place des nappes. Les terrains de cet ensemble occupent un vaste synclinorium qui s'étend sur près de 80 km d'Est en Ouest (Tizi Ouzou se place au centre du bassin). À l'Est il arrive au méridien d'Azazga. Il est représenté par des conglomérats et d'une molasse gréso-marneuse (100 à 250 m d'épaisseur) et d'une formation argilo- marneuse (500 m au maximum).

**d. Le Quaternaire :**

Il est représenté par des faciès variés. Dans les vallées, il se développe avec des cailloutis, les alluvions (anciennes, récentes et actuelles) de blocs polygèniques, des colluvions (argiles et pelites).

Les grandes falaises calcaires du Djurdjura sont généralement bordées par d'importantes masses d'éboulis, fréquemment cimentés et se transforment en brèches. Elles sont très développées et s'étalent en cône de déjection dans la dépression de Boghni et de Mechtras en amont du BV Bougdoura.

## I.5 Géologie du site du barrage de Souk N'Tleta :

Les formations géologiques de la région du barrage sont constituées :

* A l'amont de la gorge de Souk N'Tleta affleurent les sédiments Burdigaliens qui sont discordants sur les phyllades du socle métamorphique primaire :

- Grès plus ou moins fins, tendres, à ciment carbonaté, marnes et marnes gréseuses plus où moins carbonatées.

- Phyllades du socle métamorphique primaire.

Localement, les roches de la formation burdigalienne sont recouvertes par des dépôts plio-quaternaire : poudings, Alluvions, colluvions...

### I.5.1 Phyllades ou socle schisteux :

Elles affleurent sur les rives de l'Oued Bougdoura, au droit du site de la digue principale, 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 %.

Photo 5 : Socle schisteux à la base de la digue principale du barrage de Souk N'Tleta surmonté de conglomérats.

### I.5.2 Grès burdigaliens :

Les grès constituent les deux appuis du barrage.

Il s'agit d'une formation gréseuse transgressive sur le socle phylliteux. Elle est marquée par une série de conglomérats de base, formée par quelques mètres de poudingues localement grossiers, suivis de grès fins, avec pélites en alternance. Cette série à une épaisseur variable qui ne dépasse pas 20 mètres.

Le Burdigalien devient gréseux d'une façon assez homogène au-dessus des conglomérats de base. Toutefois, il est constitué d'éléments détritiques essentiellement des grains de feldspaths, de quartz et de fragments de roches métamorphiques et de coquillages.

Photo 6 : Eléments détritiques et présence de coquillage dans les grès Burdigalien.

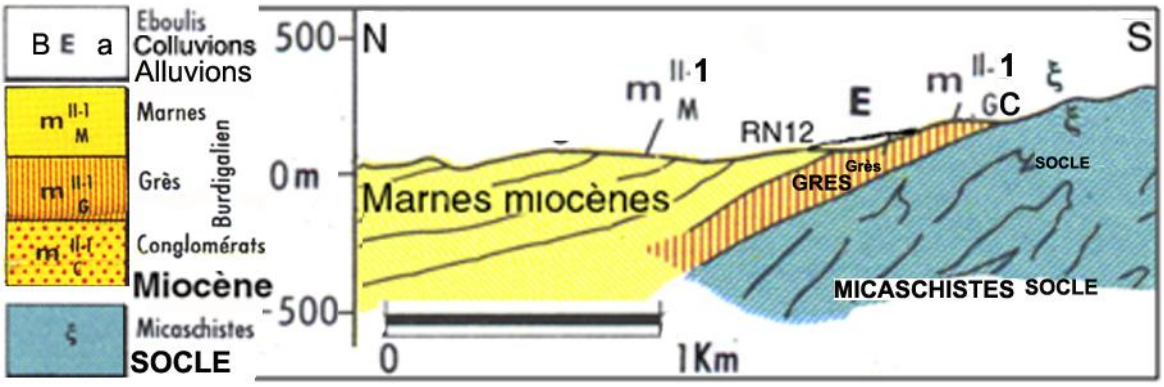



Figure 7 : Coupe synthétique NS du Miocène sur les phyllades du site du barrage Souk N'Tleta.

(D.Raymond 1976)

## I.5.3 Le Plio-quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont composés de graviers argileux avec cailloux, de formes rondes, déposés par un ancien cours d'eau. Ils occupent une surface importante dans la colline d'appui du barrage en rive gauche et remplissent une vallée épigénétique profonde. En surface, l'altération les a transformés en un sol graveleux-sableux avec une matrice importante limono-argileuse, tandis qu'en profondeur il est compacte.

### I.5.3.1 Dépôts de pente :

Ce sont des dépôts hétérogènes, pierreux, limoneux, produits par des anciens éboulements des hautes falaises gréseuses. Ils sont situés immédiatement en amont de la confluence entre l'Acif Souk N'Tleta e t l'Acif Tala Imedrane.

### I.5.3.2 Colluvions :

Ce sont des produits de remaniement par des mouvements de masse superficiels, qui intéressent surtout les pélites burdigaliennes, affleurant en aval du site du barrage.

### I.5.3.3 Eluvions :

Ce sont des produits d'altération argilo-limoneux plus ou moins détritiques, de couleur rougeâtre, provenant de tous les lithofaciès affleurant dans la zone du barrage.

### I.5.3.4 Alluvions :

Elles constituent les sédiments du lit des oueds. A la surface, elles sont constituées par du tout-venant. Du point de vue pétrographique, les éléments sont, dans une mesure prépondérante, des gneiss et des pegmatites ; suivent les calcaires, les micaschistes et les grès.

## I.6 Tectonique et fracturation :

Les conditions structurales du site de Souk N'Tleta paraissent simples, les sédiments burdigaliens forment une structure monoclinale plongeant vers le Nord avec un pendage de 15-20 %. Si l'on observe les stratigraphies, on remarque le décalage d'un sondage à l'autre de la formation gréseuse burdigalenne par rapport au socle métamorphique primaire. Il s'agit à nouveau d'une structure tectonique en forme de « horst » et « graben », due aux mouvements épirogéniques de la néotectonique distensive tardo-Pliocene et post-astienne, qui intéresse même les poudings Pliocène. C'est surtout par l'analyse des photos aériennes que l'on a pu constater la présence d'un réseau dense de linéaments qui peuvent être attribués aux diaclases géantes ou aux failles subverticales. (APD SOUK Tlata, LOMBARDI ENGINEERING, octobre 1991).

Un réseau dense de failles subverticales affecte les grès, les poudingues pliocènes et les pélites. Les directions de plongement et les pendages de ces linéaments subverticaux, relevés par photographies aériennes, sont :

- F1 : N070° ; F3 : N055°
- F2 : N140° ; F4 : N200°

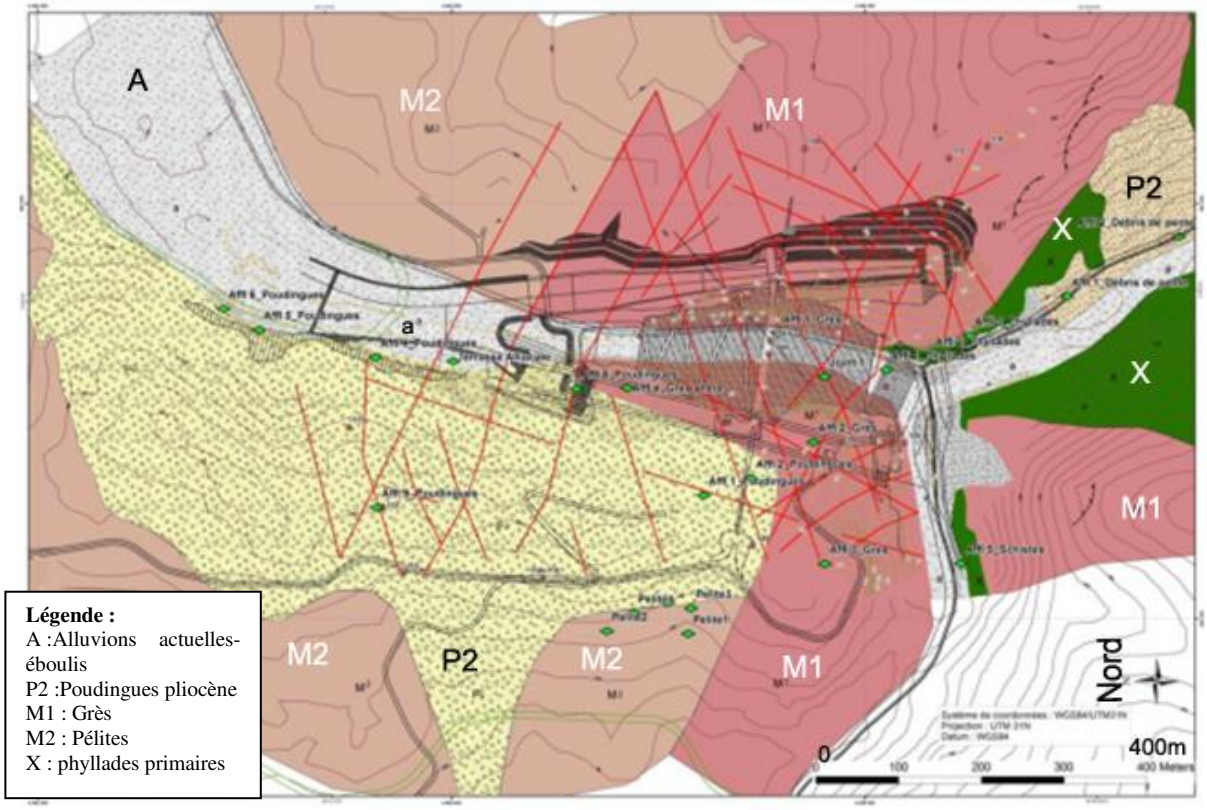



Figure 8 : Carte géologique et structurale du site du barrage Souk N'Tleta (ANBT).

Photo 7 : Présence de faille normale à l'amont de la rive droite du barrage de Souk N'Tleta.

Photo 8 : Fracturation des grès sur la rive droite à l'amont du barrage de Souk N'Tleta.

## I.7 Sismicité :

D'après les données historiques, la zone du barrage appartient à une région sismotéctonique de moyenne activité. Elle se trouve loin des grands bassins sédimentaires, qui subsident encore aujourd'hui, du Miocène Inferieur (Cheliff, Mitija, Soummam, Hodna) qui sont le centre des foyers sismiques les plus dangereux de l'Algérie.

Du Bourdieu (1968) situe la zone concernée dans un couloir de probable risque sismique dans sa carte relative à la sécurité antisismique en Algérie littorale. En effet, le site du barrage n'est pas très distant des accidents tectoniques transversaux de direction N140° et N75° exemple, les transversales de Bouira/Isser et du Djurdjura/Bejaia Il est possible que la zone du barrage de Souk N'Tleta puisse ressentir de faibles secousses, la zone a été affectée par le séisme de Boumerdes en 2003.

Les alluvions récentes de l'oued Bougdoura amplifient l'intensité des secousses sismiques. Etant donnée leur faible densité relative (DR=60 %), elles peuvent se liquéfier en cas de fort tremblement de terre.

## I.8 Hydro-climatologie :

### I.8.1 Etude du complexe physique du bassin versant d'Oued Bougdoura :

Le bassin versant d'Oued Bougdoura objet de notre étude, fait partie du grand bassin versant du Sébaou lui-même rattaché aux Bassins côtiers algérois de l'ANRH et de l'ABH Algérois- Hodna-Soummam. Il répond au code 02-19. Il est limité (Voir figure 06) :

- Au Nord par la ligne de crêtes bassin de l'oued Sébaou Maritime02-20, à l'Est par la ligne de partage des eaux avec Oued Sebt (02-18).
- A l'Ouest par la ligne de partage des eaux du bassin 02-05.
- A l'Est par la ligne de partage des eaux avec le bassin de l'oued Aissi (02-17).
- Au Sud par la ligne de crêtes de la chaine de Djurdjura.

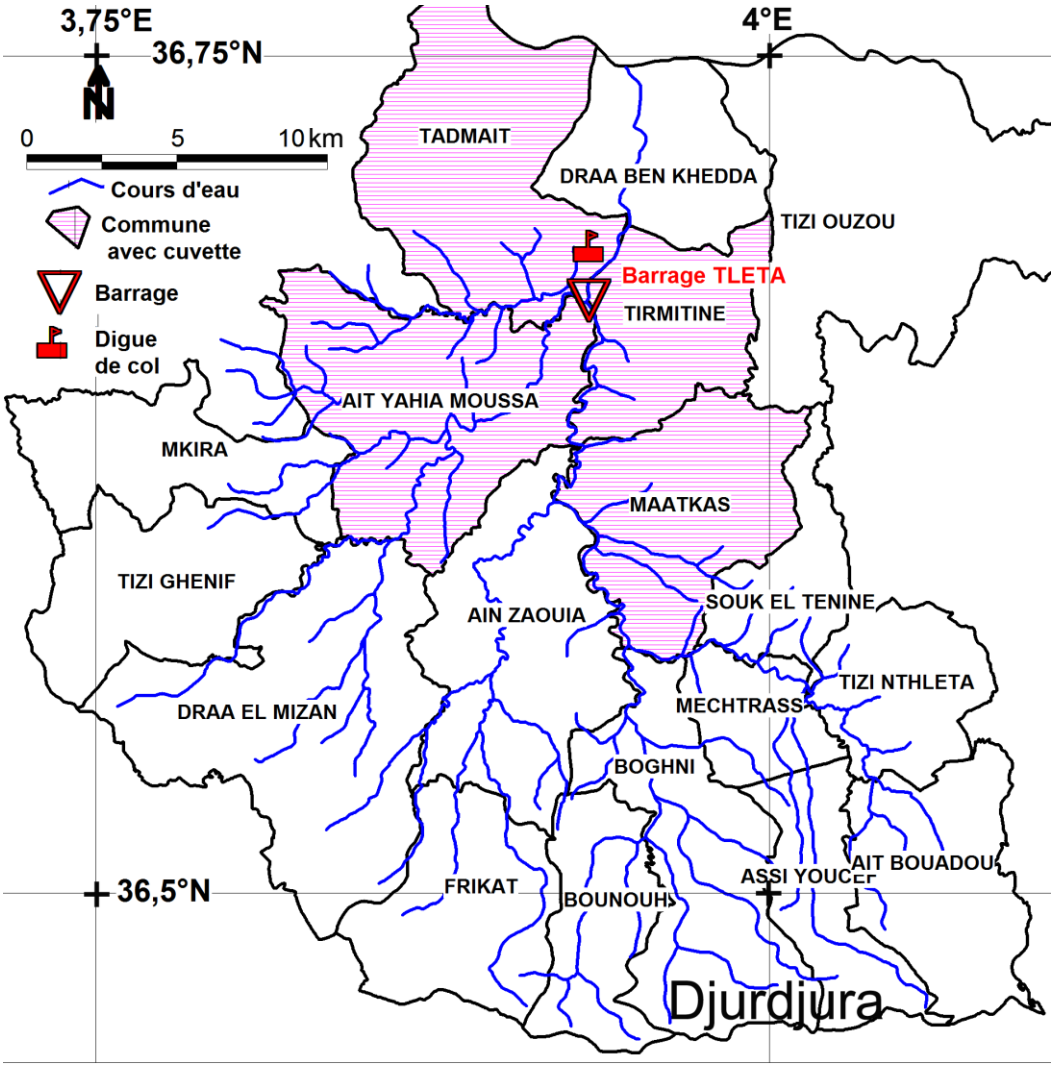



Figure 9 : Localisation du site du barrage de Souk N'Tleta et des communes dans lesquelles se site son plan d'eau.

### I.8.1.1 Paramètres morpho-métriques :

**La superficie « A » en ($km^2$) et le périmètre « P » en (Km) :**

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête ou contour du bassin. Sa mesure est faite soit à l'aide d'un planimètre ou par la méthode de carroyage, et elle est généralement exprimée en Km². Le périmètre est la longueur, généralement exprimée en km, de la ligne de contour du bassin ; sa mesure est faite à l'aide d'un curvimètre.

Le résultat obtenu indique que le sous bassin versant est d'une surface de 466.4 $km^2$ et d'un périmètre de 138 km.

**Indice de compacité de Gravelius (kc) :**

L'indice de compacité déterminé par GRAVELIUS (Kc), est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle occupant une superficie équivalente. Cet indice définit la forme du bassin versant, forme arrondie lorsque Kc≈1 ou allongé pour un Kc>, donné par la formule suivante :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi . A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Kc : indice de compacité de Gravelius. A : surface du sous bassin versant.

P : périmètre du sous bassin versant.

Pour :

- 1<Kc<1.12 bassin versant forme un cercle.
- Kc = 1.12 bassin versant forme un carré.
- Kc >1.12 bassin versant forme un rectangle.

Après l'application numérique on trouvera : **$K_c$= 1.79,** donc notre bassin versant forme un rectangle.

**Dimension de rectangle équivalent :**

Le rectangle équivalent est une transformation purement géométrique en un rectangle ayant le même périmètre, superficie, indice de capacité Kc, même condition d'écoulement que ceux du bassin versant considéré. De cette façon, les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux largeurs du rectangle déduites des expressions suivantes :

1. Longueur du rectangle équivalent : $L = Kc \frac{\sqrt{A}}{1.128}\left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2}\right)$ L= 61.3347847 m

2. Largeur du rectangle équivalent : $l = Kc \frac{\sqrt{A}}{1.128}\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2}\right)$ l=7.6628622 m

**La courbe et la carte hypsométrique :**

La courbe hypsométrique représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude pour caractériser le relief et déterminer les caractéristiques altimétriques du bassin versant.

L'hypsométrie de bassin versant d'oued Bougdoura est donnée dans le tableau suivant :
Tableau 1 : Répartition hypsométrique du BV d'oued Bougdoura.

| Altitude(m) | Ai entre les courbes ($km^2$) | Ai cumulé ($km^2$) | Ai en pourcentage % | Ai en pourcentage cumulé % |
|---|---|---|---|---|
| 2167-1000 | 31.14 | 31.14 | 6.68 | 6.86 |
| 1000-800 | 22.76 | 53.9 | 4.88 | 11.56 |
| 800-600 | 46.2 | 100.2 | 9.90 | 21.46 |
| 600-400 | 129 | 229.2 | 27.65 | 49.11 |
| 400-200 | 212 | 441.1 | 45.45 | 94.56 |
| 200-64 | 25.32 | 466.49 | 5.44 | 100 |
| Total | 466.42 | | | |

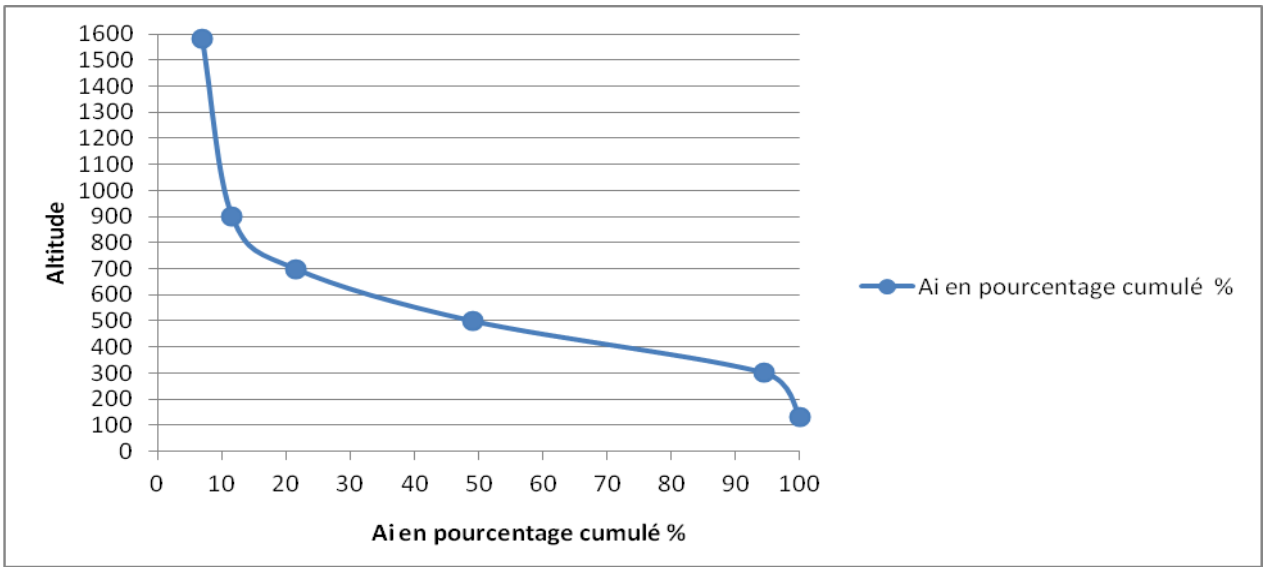



Figure 10 : Courbe hypsométrique du BV d'oued Bougdoura.

Le tracé de la courbe hypsométrique, nous a permis de déduire certaines altitudes caractéristiques de ce bassin. Celles–ci sont représentées dans le tableau ci-dessous :

L'altitude moyenne est exprimée par la relation suivante : Hmoy = $\frac{HiSi}{S}$ = 500 m.

Tableau 2 : Caractéristiques altimétriques du BV d'oued bougdoura.

| Altitudes caractéristiques | Altitude(m) |
|---|---|
| Altitude de fréquence 95% | 1000 |
| Altitude médiane de fréquence 50% | 480 |
| Altitude de fréquence 5% | 100 |
| Altitude moyenne H moy | 500 |
| Altitude min | 64 |

**Indice de pente globale Ig :**

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5 % et 95 % de la surface

du bassin et la longueur du rectangle équivalent. L'objet de cet indice est de caractériser les pentes d'un bassin et permettre des comparaisons et des classifications.

$$Ig = \frac{|H(5\%) - H(95\%)|}{L}$$ Ig= 14.67 m

**Dénivelé spécifique :**

Les dénivelés spécifiques Ds dérivent de la pente globale Ig en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à$\sqrt{S}$. Elle donne lieu à une deuxième classification de l'ORSTOM après celle de l'indice de pente globale :

$$Ds = Ig\sqrt{s} \leftrightarrow \frac{D}{L}\sqrt{Ll} \leftrightarrow D\sqrt{\frac{l}{L}}$$ Ds=316.82 m

Tableau 3 : Classification du relief selon Ig, Ds par l'ORSTOM.

| Première classification | Type de Relief | Deuxième classification |
|---|---|---|
| Ig <0.002 | Relief très faible (R1) | Ds<10m |
| 0.002 <Ig <0.005 | Relief faible (R2) | 10m<Ds<25m |
| 0.005<Ig <0.01 | Relief assez faible (R3) | 25m<Ds<50m |
| 0.01<Ig <0.02 | Relief modéré(R4) | 50m<Ds<100m |
| 0.02<Ig <0.05 | Relief assez fort(R5) | 100m<Ds<250m |
| 0.05<Ig < 0.1 | Relief fort (R6) | 250m<Ds<500m |
| 0.1<Ig | Relief très fort(R7) | 500m<Ds |

Selon Ig le relief du bassin versant de Bougdoura est modéré avec une pente moyenne.

## I.8.2 Réseau hydrographique :

Se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement et qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. Le réseau hydrographique se caractérise essentiellement par son hiérarchisation et son développement (nombre et longueurs des cours d'eau).

### I.8.2.1 Hiérarchisation du réseau :

Nous avons utilisé la classification de Stahler qui consiste à chiffrer la ramification du réseau. Chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance, appelée ordre du chenal.

- Tout drain qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1.
- Puis, le calcul de la valeur de chaque drain se fait selon la méthode suivante : un drain d'ordre n+1 est issu de la confluence de deux drains d'ordre n.
- L'ordre de Strahler d'un bassin versant est l'ordre du drain principal à l'exutoire.

### I.8.2.2 La densité de drainage Dd :

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant :

$$Dd = \frac{\sum Li}{A}$$

### I.8.2.3 Temps de concentration :

Se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier. On le calcule pour prévenir les crues et la propagation de polluants. Il existe plusieurs formules : Turazza, Kirpich et Giandotti. Nous allons utiliser celle de Giandotti qui est défini comme suit :

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{h}}$$

tc : temps de concentration, en heures. S : surface du bassin versant, en $Km^2$.
L : longueur du talweg principal, en Km.
h : différence d'altitude moyenne du bassin et celle de l'exutoire, en mètres.

L'application numérique donne un temps de concentration de 10 h 40 min.

## I.9 Paramètres climatiques :

Le climat en Algérie du Nord est de type Méditerranéen dans tout son étendu caractérisé par sa grande variabilité des précipitations et des températures annuelles. Cette variation est due essentiellement aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la mer Méditerranée et des influences du Sahara par le Sud et de l'océan Atlantique par le Nord-Ouest.

Pour la zone étudiée, la station la plus représentative qui dispose des enregistrements est celle de Tizi-Ouzou appartenant au réseau O.N.M.

Les données climatiques considérées sont essentiellement les précipitations, les températures et d'autres phénomènes climatiques (vent, insolation, humidité, etc.).

## I.9.1 Les précipitations :

Le terme précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. La précipitation est un facteur très important, qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement l'alimentation des nappes aquifères et le régime des cours d'eaux.

### I.9.1.1 Les moyennes mensuelles des précipitations :

La précipitation moyenne mensuelle nous permet de donner un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations en se basant sur des calculs de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré pour un nombre d'années quelconques.

Les moyennes mensuelles des hauteurs de pluies calculées sur la période de 32 ans (1989-2021) sont indiquées au tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Moyennes mensuelles des précipitations pour la période 1989/1990-2020/2021(source ANRH).

| | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Juin | Jt | Aout | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T.O (mm) | 36.0 | 64.4 | 112.8 | 118.7 | 121.0 | 85.2 | 80.0 | 78.6 | 55.6 | 11.2 | 2.9 | 5.9 | 772.4 |

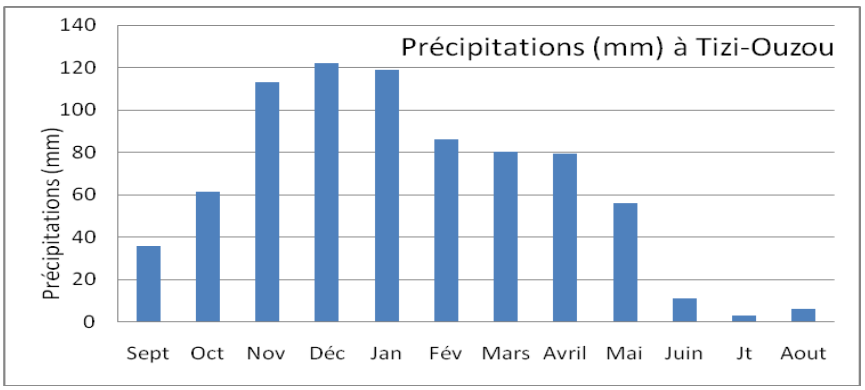



Figure 11 : Représentation graphique de l'évolution des précipitations moyennes mensuelles. (ANRH).

Les mois les plus pluvieux sont : novembre, décembre, janvier et février et les moins pluvieux sont : juin, juillet et août.

### I.9.1.2 Les moyennes annuelles des précipitations :

Pour mieux visualiser l'année la plus pluvieuse durant la période d'observation, nous avons regroupé les précipitations annuelles dont les résultats sont regroupés dans le tableau :

Tableau 5 : Précipitations annuelles (mm) entre 1989/1990-2020/2021 (source ANRH).

| Année | St ONM T.O | année | St ONM T.O | année | St ONM T.O |
|---|---|---|---|---|---|
| 1989/1990 | 504.5 | 2000/2001 | 606.9 | 2011/2012 | 1 033.9 |
| 1990/1991 | 755.6 | 2001/2002 | 461.8 | 2012/2013 | 1028.9 |
| 1991/1992 | 766.6 | 2002/2003 | 1 217.5 | 2013/2014 | 915.4 |
| 1992/1993 | 689.3 | 2003/2004 | 832.6 | 2014/2015 | 831.8 |
| 1993/1994 | 551.3 | 2004/2005 | 696.3 | 2015/2016 | 967.6 |
| 1994/1995 | 865.0 | 2005/2006 | 696.3 | 2016/2017 | 767.9 |
| 1995/1996 | 822.8 | 2006/2007 | 793.1 | 2017/2018 | 619.7 |
| 1996/1997 | 500.0 | 2007/2008 | 931.6 | 2018/2019 | 947.8 |
| 1997/1998 | 1 113.20 | 2008/2009 | 1 010.8 | 2019/2020 | 607.7 |
| 1998/1999 | 689.5 | 2009/2010 | 963.8 | 2020/2021 | 540.7 |
| 1999/2000 | 556.4 | 2010/2011 | 1016.6 | | |

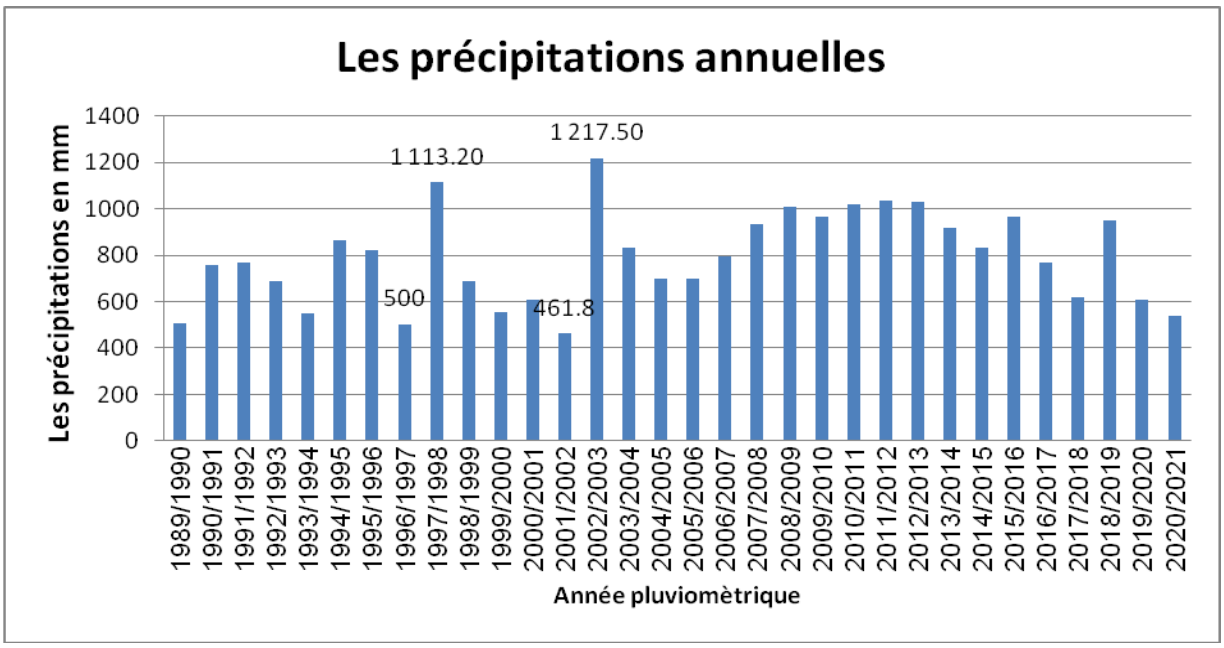



Figure 12 : Histogramme de précipitations annuelles entre 1989/1990 et 2020/2021.

On constate que l'année (2002/2003) est la plus pluvieuse avec 1217.5 mm/an, précédé directement par l'année la plus sèche avec 461.8 mm/an.

## I.9.2 Les températures :

Les températures sont le deuxième facteur important dans l'étude climatique, car agissant directement sur le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

### I.9.2.1 Les températures moyennes mensuelles :

Les températures moyennes mensuelles mesurées dans la station sur une période de 32 ans sont reportés dans le tableau :

Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles (°C) à la station ONM de T.O pour la période (1990_2021).

| T.O | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | Jt | Aou | annuel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T^0$moy | 24.5 | 20.3 | 14.9 | 11.7 | 10.5 | 11.2 | 13.6 | 15.9 | 20.0 | 24.4 | 28.0 | 28.3 | 18.6 |
| $T^0$min | 18.9 | 15.3 | 11.1 | 7.7 | 6.4 | 6.8 | 8.6 | 10.7 | 14.1 | 18.0 | 21.2 | 22.0 | 13.4 |
| $T^0$max | 31.2 | 26.8 | 19.9 | 16.4 | 15.3 | 16.4 | 19.3 | 21.7 | 26.5 | 31.3 | 35.4 | 35.4 | 24.6 |

L'histogramme des températures moyennes mensuelles montre :

Les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de décembre, janvier, février et mars où on remarque que le mois le plus froid est le mois de janvier (avec une température moyenne de 10.5°C).

Par contre, les plus fortes valeurs caractérisent les mois de juin, juillet et août où on remarque que le mois le plus chaud est le mois d'août (avec une température moyenne de 28.3°C).

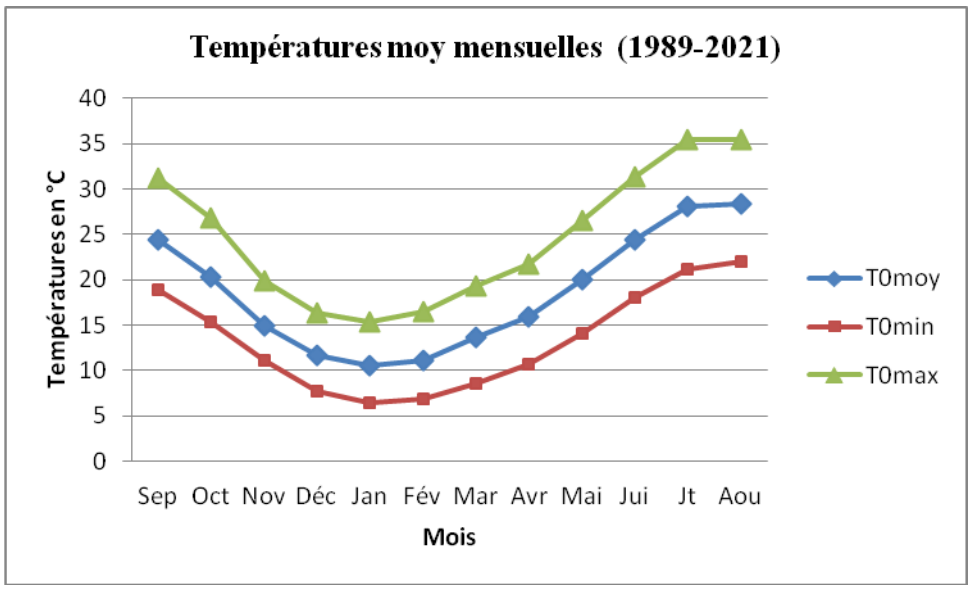



Figure 13 : Evolution des températures moyennes mensuelles (°C) à la station ONM de T.O pour la période (1990-2021).

### I.9.2.2 Les températures moyennes annuelles :

Les températures moyennes annuelles pour la station de mesure ONM Tizi-Ouzou sur une période de 32 ans d'observation sont reportées dans le tableau :

Tableau 7 : Evolution des températures moyennes annuelles pour la période (1989/1990-2020/2021) (source ONM de T.O).

| Année | St ONM T.O | Année | St ONM T.O | année | St ONM T.O |
|---|---|---|---|---|---|
| 1989/1990 | 18.5 | 2000/2001 | 18.9 | 2011/2012 | 18.4 |
| 1990/1991 | 17.7 | 2001/2002 | 18 | 2012/2013 | 18.1 |
| 1991/1992 | 16.9 | 2002/2003 | 19.3 | 2013/2014 | 18.7 |
| 1992/1993 | 17.5 | 2003/2004 | 18.0 | 2014/2015 | 19.2 |
| 1993/1994 | 18.5 | 2004/2005 | 18.1 | 2015/2016 | 18.7 |
| 1994/1995 | 18.2 | 2005/2006 | 18.5 | 2016/2017 | 19.6 |
| 1995/1996 | 18.1 | 2006/2007 | 18.9 | 2017/2018 | 17.9 |
| 1996/1997 | 18.2 | 2007/2008 | 18.2 | 2018/2019 | 18.4 |
| 1997/1998 | 18.3 | 2008/2009 | 18.5 | 2019/2020 | 20.1 |
| 1998/1999 | 18.1 | 2009/2010 | 18.6 | 2020/2021 | 19.2 |
| 1999/2000 | 19.0 | 2010/2011 | 18.3 | | |

## I.9.3 L'humidité :

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeurs réelles observées par la tension de la vapeur saturante à la même température. Elle nous permet de donner une idée sur l'état de l'atmosphère s'il est plus ou moins proche de la condensation.

Tableau 8 : Humidité relative moyenne mensuelle en % de la station de T.O, période (1989/1990-2020/2021) (source ONM T.O).

| Mois | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | JT | Aout | annuelle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Humidité moyenne mensuelle en % | 63.1 | 70.1 | 76.5 | 80.2 | 80.3 | 77.4 | 74.9 | 72.7 | 69.8 | 60.6 | 54.4 | 54.2 | 64.47 |

## I.9.4 Les vents :

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Il est déterminé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence.

Tableau 9 : Répartitions mensuelles des vitesses du vent.

| | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | juillet | Aout | moy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T.O | 1.6 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 2.2 | 2.2 | 2.0 | 1.6 |

Les vents dans la région sont de direction préférentielle Ouest à Nord-Ouest avec une vitesse moyenne enregistrée de 1.6 m/s.

## I.9.5 Les jours de siroco :

Le sirocco a une fréquence maximale pendant l'été, spécialement en juillet et août. Il se manifeste comme une chaleur forte qui produit la sécheresse de la végétation.

## I.9.6 Indice d'aridité :

$$A = \frac{P}{(10 + T)}$$

Avec : A : indice d'aridité annuelle. P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

Selon DE.MARTONNE

- Si A < 5 : le climat est hyperaride. Si 5<A<10 : le climat est très sec.
- Si 10< A<20 : le climat est sec. Si 20<A<30 : le climat est tempéré, Subhumide.
- Si A>30 : le climat est humide (l'écoulement est abondant).

Ce tableau représente le résultat du calcul de l'Indice d'aridité de la station de Tizi Ouzou avec les paramètres utilisés.

| Station | P (mm) | T (°C) | A (mm/°C) |
|---|---|---|---|
| ANRH | 772.4 | 18.6 | 27.08 |

Selon la classification DE.MARTONNE notre région d'étude est caractérisée par un climat tempéré, Subhumide d'après le résultat de l'Indice d'aridités (A).

## I.9.7 Estimation de l'Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est un phénomène important du cycle hydrologique, qui dépend du climat et de ses variations. Elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation directe par retour dans l'atmosphère, à partir des réservoirs de surface (barrage, lac, mer, etc.), souterrain (nappes, aquifères) et la transpiration des plantes. On distingue deux types :

- l'évapotranspiration potentielle (ETP). l'évapotranspiration réelle (ETR).

### I.9.7.I Estimation de l'Evapotranspiration Potentielle ETPc (mm) :

**Formule de Thornthwaite :**

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

$$ETP = 16.(10\frac{T}{I})^{a}.K$$

Avec : ETPc : Evapotranspiration Potentielle mensuelle corrigée en mm.

- T : Température moyenne mensuelle en °C.
- K : Coefficient d'ajustement mensuel.
- I : Indice thermique annuel : somme des indices mensuels calculés à partir de températures moyennes mensuelles selon la formule :

$$I = \sum_{1}^{12} i \qquad i = (\frac{T}{5})^{1.514} \qquad a = \frac{1.6}{100}I + 0.5$$

Tableau 10 : l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite.

| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Annuel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P moy (mm) | 36.0 | 64.4 | 112.8 | 118.7 | 121.0 | 85.2 | 80.0 | 78.6 | 55.6 | 11.2 | 2.9 | 5.9 | 772.4 |
| T moy (°C) | 24.5 | 20.3 | 14.9 | 11.7 | 10.5 | 11.2 | 13.6 | 15.9 | 20.0 | 24.4 | 28.0 | 28.3 | 18.6 |
| i | 11.07 | 8.33 | 5.21 | 3.61 | 3.06 | 3.37 | 4.56 | 5.76 | 8.16 | 11.04 | 13.61 | 13.79 | 91.57 |
| K | 1.1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 1 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | - |
| ETPc (mm) | 133.6 | 61.9 | 26.6 | 12.6 | 10.2 | 15.5 | 36.8 | 73.3 | 139.6 | 212.1 | 283.6 | 246.2 | 1252 |

### I.9.7.2 Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Thornthwaite:

Le calcul de l'ETR par Méthode de Thornthwaite:

Pour le calcul de l'ETR, Thornthwaite a considéré deux cas possibles :

Si P > I'ETP ETP = ETR

Dans ce cas, on parle d'excédent de précipitations qui sera emmagasiné dans le sous-sol participant ainsi à l'augmentation des réserves en eau souterraines jusqu'à ce que ces dernières soient maximales, le surplus constitue l'excédent qui va être disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

Si P<l'ETR dans ce cas l'ETR dépend de toutes les pluies mensuelles et le déficit et comblé par les réserves du sol (RFU) jusqu'à l'épuisement, (ETR = P+RFU).

Si la réserve facilement utilisable (RFU) contient l'eau nécessaire pour satisfaire le déficit, l'ETR est égale à l'ETP (1$^{er}$ cas), dans le cas contraire la (RFU) est vide, l'ETR est liée aux précipitations mensuelles et le déficit constitue le déficit agricole (da) qui représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent de sécheresse.

Tableau 11:Bilan hydrologique (1989/1990-2020/2021) en fonction de l'ETP de Thornthwaite.

| | sep | oct | nov | dec | jan | fév | mars | Avril | mai | Juin | juillet | aout | annuel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P moy (mm) | 36.0 | 64.4 | 112.8 | 118.7 | 121.0 | 85.2 | 80.0 | 78.6 | 55.6 | 11.2 | 2.9 | 5.9 | 772.4 |
| ETP corrigé (mm) | 133.6 | 61.9 | 26.6 | 12.6 | 10.2 | 15.5 | 36.8 | 73.3 | 139.6 | 212.1 | 283.6 | 246.2 | 1252.0 |
| RFU | 0 | 2.5 | 88.7 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 16.1 | 0 | 0 | 0 | - |
| ETR (mm) | 36.0 | 61.9 | 26.6 | 12.6 | 10.2 | 15.5 | 36.8 | 73.3 | 139.6 | 27.3 | 2.9 | 5.9 | 448.6 |
| Excédent (mm) | 0 | 0 | 0 | 94.8 | 110.8 | 69.7 | 43.2 | 5.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 323.8 |

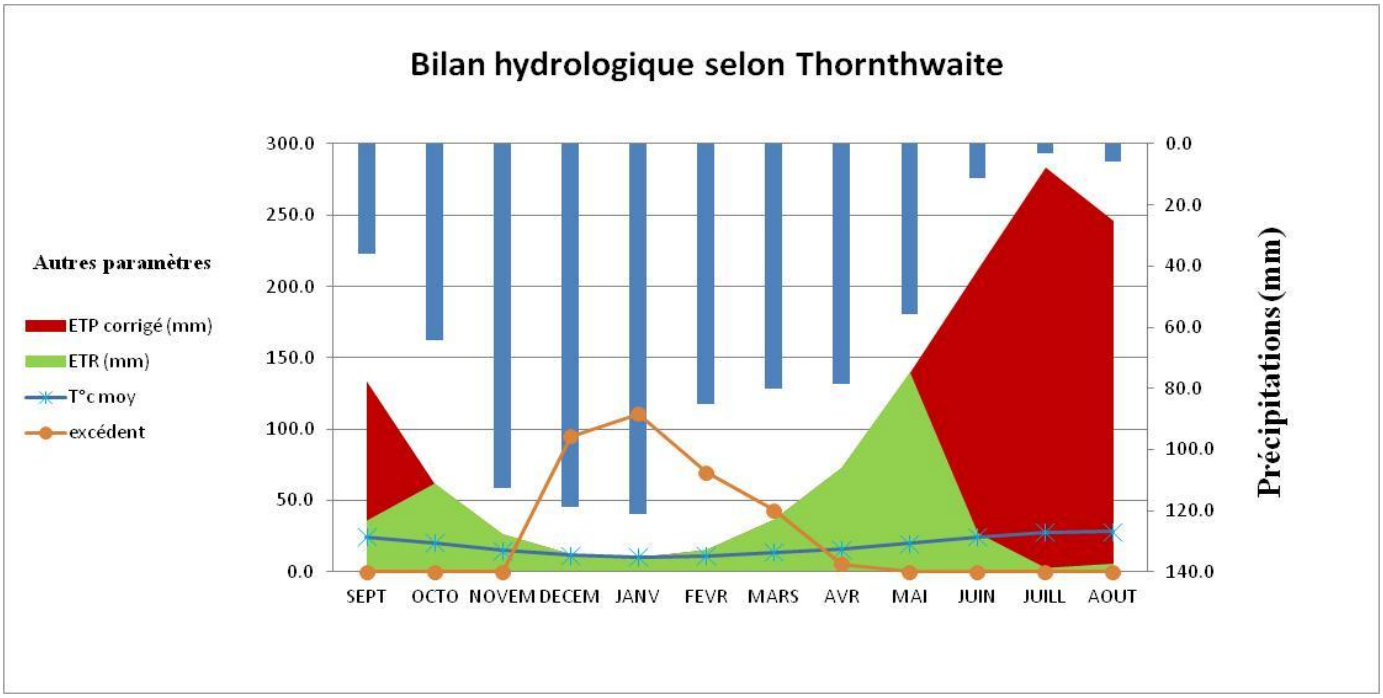



Figure 14: Graphique illustrant le bilan hydrologique selon Thornthwaite (station de Tizi-Ouzou).

### I.9.7.3 Conclusion :

Du bilan tiré du tableau et du graphique ci-dessus (tableau11), nous pouvons conclure que :

- Les précipitations moyennes annuelles sont de 772.4 mm.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de 448.6 mm.
- Un excédent de 323.8 mm des précipitations annuelles concentrés sur décembre, janvier, février, mars à avril disponible pour alimenter les écoulements et l'infiltration.
- Apports annuels = l'excédent (mm) x Surface bassin versant ($Km^2$)
  Les apports annuels sont de : 151026796 $m^3$ = 151 Millions $m^3$.

## Caractéristiques générales du projet de barrage de Souk N'Tleta

Le barrage de Souk N'TLETA, dont le volume régularisé annuel est de **98 $Hm^3$**, est destiné à renforcer l'alimentation en eau potable et industrielle du couloir **Tizi Ouzou, Boumerdes**.

Les caractéristiques générales du projet de barrage de Souk N'Tleta (Caractéristiques hydrologiques, dimensionnelles du barrage principal, digue de col, évacuateur de crue, dérivation provisoire, galerie de vidange et de la tour de prise), et volume des travaux :

**Caractéristiques hydrologiques :**

- Superficie du bassin versant : 466.4 $Km^2$
- Périmètre du bassin versant : 138 Km
- Apport moyen annuel : 150 $Hm^3$ Volume régularisé : 98 $Hm^3$
- Capacité de la retenue : 89,5 $Hm^3$ Volume utile : 77,5 $Hm^3$

**Composition et description de l'aménagement :**

**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

**Ouvrages annexes**

**Évacuateur de crue :**
- Type : Latéral, - Débit max évacué : 1480 $m^3/s$

**Dérivation Provisoire** :
- Type : Deux galeries polycentriques
- Longueur de la galerie : 365 m chacune - Diamètre : 08 m

**Ouvrage de prise** :
- Type : Inclinée
- Nombre de prises : 02
- Niveau de prise d'eau inferieur : 82,99 m
- Niveau de prise d'eau supérieur : 104,99 m

**Vidange de fond** :
- Type : Galerie - Débit max : 130 $m^3/s$

**Volume des travaux :**
- Excavation : 1.507.000 $m^3$
- Remblais : 1.500.000 $m^3$
- Bétons : 104.000 $m^3$
- Forages et injection : 50.000 ml

# Chapitre II

## Reconnaissance géologique et hydrogéologique du site du barrage de Souk N'Tleta (Wilaya de Tizi-Ouzou)

# Introduction :

La nature géologique du site du barrage joue un rôle très important puisqu'elle conditionne les propriétés des appuis et de la fondation, l'étanchéité de la cuvette et de l'emprise de la digue et la stabilité des versants. La qualité des matériaux d'emprunt pour la digue représentent également un des paramètres essentiels pour la réalisation d'un tel projet. Les conditions du sol du site du barrage, après reconnaissances géologiques et géotechniques, ont conduit à retenir la proposition de la solution en remblais pour le barrage de Souk N'Tleta.

Les matériaux entrant dans la composition de ce barrage sont comme suit :

(1) pour le noyau : les argiles ;

(2) pour les filtres et les drains : les alluvions d'oued ;

(3) pour les recharges aval des digues : les grès.

(4) enrochement des digues : les calcaires.

Du point de vue topographie, le site du barrage correspond à une gorge creusée par l'Oued Bougdoura.

Enfin, Vu l'hétérogénéité des matériaux constituant les couches de fondation et les différents accidents et discontinuités géologiques affectant le site du barrage, il était convenu de procéder à un traitement du milieu par l'excavation des alluvions dans l'axe de la digue, et l'injection du ciment afin d'augmenter la capacité portante de la fondation et d'étancher toutes les voies d'eau pouvant entraîner des répercussions négatives sur la stabilité de l'ouvrage.

# II.1 Forages de Reconnaissance géologique par sondages carottés :

Afin d'identifier la lithologie des matériaux et d'évaluer l'épaisseur moyenne des couches, des sondages de reconnaissances ont été réalisés dans la rive droite, le fond de vallée et en rive gauche.

Les forages ont été exécutés avec prélèvement continu des carottes en utilisant le Rotary et un fluide de forage pour assurer la bonne évacuation des sédiments et le refroidissement des outils de forage.

On a utilisé plusieurs paramètres afin d'identifier les niveaux perméables et imperméables dont : fissuration, perméabilité et RQD.

**Fissuration :**

Nombre de cassures de la carotte, y compris les diaclases.

Abréviations : TC : carotte très cassée. DB : débris de perforation. Nombre : nombre de fissures.

**RQD : (Rock Quality Désignation)** = $\frac{longeur\ tot.\ pièces < 10cm}{longeur\ tot.\ tranche}$

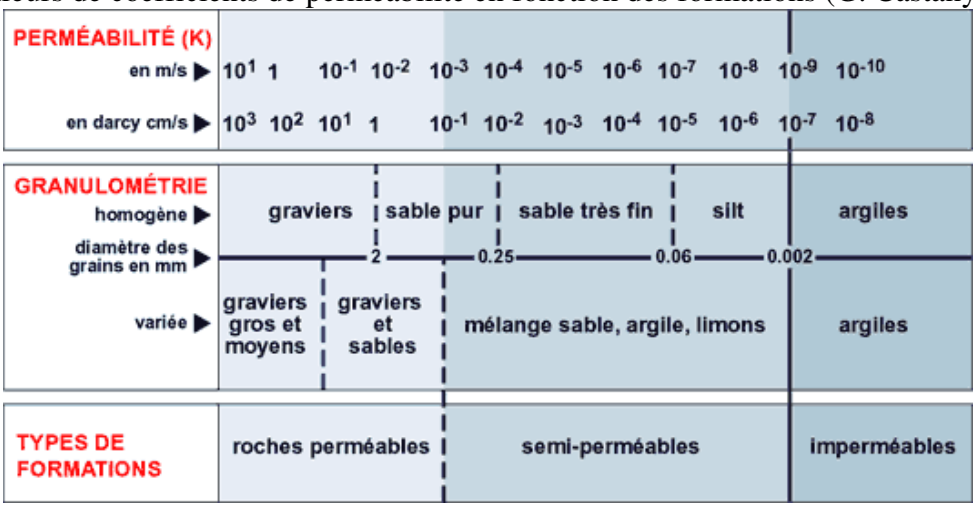
RQD = 0-25% mauvais. =25-50% médiocre. =50-75% moyen.

=75-90% bon. =90-100% excellent.

## II.1.1 Forages de reconnaissances (rive droite ; fond de vallée et rive gauche) :

Plusieurs forages ont été réalisés sur les différentes zones en rive droite ; fond de vallée et rive gauche. Pour chaque zone, on a pris quelques exemples de forages carottés résumés sous forme de tableau.

Tableau 12 : Valeurs de coefficients de perméabilité en fonction des formations (G. Castany « eau propre »)




### II.1.1.1 Forages de reconnaissances en Rive droite :

4 forages ont été réalisés sur cette rive, on a pris pour exemples 2 forages carottés (F106 et F116). (Source APD)

**Forage F106 :**

Date de début : 16/02/1988.

Date de fin : 07/03/1988.

Profondeur : 100 m.

Inclinaison : Verticale.

Coordonnées : X=375 915 ; Y=610 441,5 ; Z= 153,88 m.

Les formations traversées sont : Sable, gravier limoneux, Grès beige Conglomérats, gris clair, grès avec gravier et le substratum constitué de Schistes noirs graphiteux

**Interprétation des résultats des perméabilités obtenues :**

**De 20 à 47 m :** de profondeur, la perméabilité moyenne est de $2x10^{-7}$ m/s au niveau des grès ocreux tachetés qui sont semi-perméables et nécessitant une imperméabilisation.

**De 47 à 86 m :** de profondeur, la perméabilité moyenne est de $4.5x10^{-7}$ m/s au niveau des grès gris, mi dur à tendre, fracturés sont semi-perméables.

**De 95 à 100 m :** de profondeur, la perméabilité est de $2x10^{-8}$ m/s au niveau des schistes graphiteux, chloriteux qui sont peu perméables. Les résultats de perméabilités sont interprétés d'après le tableau ci-dessous :

**Forage S116 :** Date de début : 24/04/1988. Date de fin : 30/04/1988.

Profondeur : 69,70 m. Inclinaison : Verticale.

Coordonnées : X=375 694 ; Y=610 445,5 ; Z= 206,86 m.

**Interprétation du tableau :**

Ce forage de profondeur de 69.7 m constitué totalement de grès, similaire à ceux du forage précédent le F106, n'a pas atteint le socle imperméable, donc en corrélation avec F106 la perméabilité moyenne est de : $2x10^{-5}$ m/s, et nécessite une imperméabilisation.

**II.1.1.2 Forages de reconnaissances en Fond de vallée :**

16 forages ont été réalisés sur cette zone sur l'axe de la digue, dont 4 en amont et 5 en aval et 7 au droit de la digue. On a pris pour exemple 3 forages carottés (N°107 en amont, 104 sur l'axe, 101 en aval). (Source APD)

**Fond de vallée, Partie amont :**

**Forage P107 :** Date d'exécution : 04-12-1987, 30-12-1987.

Coordonnées : X=610 215,62, Y=376 113,60, Z=62,81 m.

Inclinaison : vertical.

Les formations traversées sont : Sable, gravier limoneux, Grès beige Conglomérats, gris clair, grès avec gravier et le substratum constitué de Schistes noirs graphiteux.

**Interprétation des résultats des perméabilités :**

De 0 à 14 m de profondeur, la perméabilité moyenne est de k =$1x10^{-3}$ m/s pour le sable gravier limoneux, ce niveau est perméable.

De 14 à 18 m de profondeur, la perméabilité est de k=$5x10^{-4}$ m/s pour les grès beiges, gris, ocreux, ce niveau est semi-perméable.

De 18 à 21 m de profondeur, la perméabilité est de k =$2x10^{-4}$ m/s pour les sables grossiers galets, ce niveau est semi-perméable.

De 21 à 67 m de profondeur, la perméabilité moyenne est de k= $8x10^{-4}$ m/s pour les grès gris mi dur à dur organogène.

De 67 à 75 m de profondeur, la perméabilité est de k =1x10$^{-4}$ m/s pour les conglomérats gris clair grès avec gravier.

De 75 à 78 m de profondeur, la perméabilité est de k =3x10$^{-5}$ m/s pour les schistes noir graphiteux, ce niveau est semi-perméable.

**Fond de vallée, Partie centrale :**

**Forage S104 :** Date de début : 30/11/1987. Date de fin : 14/12/1987.

Profondeur : 60 m. Inclinaison : Verticale.

Coordonnées : X=610 210,45 ; Y=375 956,17 ; Z= 63,46 m.

**Interprétation des résultats obtenus :**

Les formations traversées sont : Sable, gravier limoneux, Grès beige Conglomérats, gris clair, grès avec gravier et le substratum constitué de Schistes veinés en verdâtres, graphiteux, chloritiques.

De 0 à 18 m de profondeur, la perméabilité moyenne est de 6x10$^{-7}$ m/s au niveau des sables, graviers à galets, ce niveau est semi-perméable.

De 26.5 à 60 m de profondeur, la perméabilité moyenne est de 2x10$^{-7}$ m/s au niveau des schistes noirs qui sont semi-perméables.

**Fond de vallée, Partie aval :**

**Forage S101 :** Date de début : 14/11/1987. Date de fin : 02/12/1987.

Profondeur : 50 m. Inclinaison : Verticale.

Coordonnées : X= ; Y= ; Z= 63,9.

Les formations traversées sont : Sable, gravier limoneux, Grès beige Conglomérats, gris clair, grès avec gravier et le substratum constitué de Schistes veinés en verdâtres, graphiteux, chloritiques.

**Interprétation des résultats obtenus :**

De 0 à 17 m de profondeur, la perméabilité moyenne est de 1 x10$^{-6}$ m/s au niveau des sables limoneux, graviers.

De 24 à 50 m de profondeur, la perméabilité est de 1x10$^{-7}$ m/s au niveau des schistes.

**II.1.1.3 Forages de reconnaissances en Rive gauche :**

Plusieurs forages ont été réalisés sur cette rive, classés par zone, on a pris 5 forages carottés pour exemple dont (P-04, P01, P15, P20 et P30).

Les Forages sont destructifs au-delà de la côte 125,00 NGA car le niveau d'eau maximum du barrage est à la côte 125,00 NGA.

**Forage P-04 :**

Le forage P-04 a été exécuté au niveau de la piste d'accès à la digue de col.

Le forage a été réalisé en destructif jusqu'à la côte 125,00 (21,5 mL) puis continué en carottage jusqu'à l'atteinte du substratum étanche (La marne grise saine).

**Description lithologique :**

- **De 00 à 21,5 m :** Forage destructif / zone de remplissage supérieure à la côte 125,00 NGA
- **De 21,5 à 27 m :** Conglomérats à ciment sableux très friables, constitués de fragments de roches divers (Schistes, grès, quartzites …), avec une intercalation d'une couche marneuse de 1,5 m entre 22,5 et 24 m de profondeur.
- **De 27 à 31,5 m :** Marne grise compacte, étanche et ne présente aucun signe d'altération ou d'oxydation.

**Forage P01 :**

Le forage P01 a été exécuté au niveau de la piste d'accès à la digue de col.
Le forage a été réalisé en destructif jusqu'à la côte 125,00 (23 mL) puis continué en carottage jusqu'à l'atteinte du substratum étanche (La marne saine).

**Description lithologique :**

- **De 23 à 46,5 m :** Conglomérat très fracturé à ciment sableux très friables, constitués de fragments de roches divers (Schistes, quartzites …), avec une intercalation d'argile verdâtre conglomératique entre 34,5 et 43,1 m de profondeur.

- **De 46,5 à 50,5 m :** Marne grise parfois brunâtre compacte, étanche et très peu altérée.

**Interprétation des essais d'eau :**

Les essais d'eau ont été exécutés systématiquement tous les 5 mètres à partir de la côte 125,00 NGA, où les résultats ont permis de voir le comportement et la réaction du sol suite à une montée en pression suivie d'une décharge.

L'unité lugeon, 1UL = $1x10^{-7}$ m/s.

D'après les carottes extraites le sol est essentiellement conglomératique, et selon les résultats des essais d'eau, le terrain se dilate suite à des montées en pression et se contracte en déchargeant.

**De 23 à 33 m :** de profondeur, l'essai montre une dilatation avec une valeur lugeon moyenne de 3 UL, la perméabilité moyenne est de $3x10^{-7}$ m/s.

**À partir de 33 m :** de profondeur le sol devient plus étanche, l'unité lugeon moyenne enregistrée au niveau de cet horizon est de 0,3 UL soit la perméabilité moyenne est de $3x10^{-8}$ m/s.

**Forage P15 :**

Le forage P15 a été exécuté au niveau de la piste d'accès à la digue de col. Le forage a été réalisé en destructif jusqu'à la côte 125.00 (25 m) puis continué en carottage jusqu'à l'atteinte du substratum étanche (la marne).

**Description lithologique :**

- **De 25 à 34 m :** Conglomérats très faiblement cimentés (un mélange très différencié de roches divers : galet, grès, schiste et gneiss).
- **De 34 à 36.5 m :** Marne argileuse de couleur brune compacte et pâteuse.
- **De 36.5 à 46 m :** Conglomérats argileux de couleur grise compacte et consolidée par endroits. La taille des éléments est millimétrique donne parfois l'apparence de grès à grains grossiers.

 **De 46 à 76.5 m :** Conglomérats à cimentation sableuse généralement friable, avec parfois des passages compacts, durs et très consolidés (de 46 à 47 m, de 49 à 50.5 m et de 54.5 à 55.5 m). On note également des passages marneux de couleur verdâtre et une trace d'oxydation à 60 m de profondeur.

 **De 76.5 à 77.5 m :** marne conglomératique verdâtre, compacte et consolidée, renfermant des débris de roches de tailles millimétriques à centimétriques.

 **De 77.5 à 82 m :** conglomérats très fragmentés à ciment sableux très friable, constitués de fragments de roches divers, des alluvions d'oued, schistes, grès et un banc calcaire de 50 cm.

 **De 82 à 88.5 m :** Marne brune compacte consolidée et très imperméable, mais qui renferme des fragments de roches de taille centimétriques.

 **De 88.5 à 90.5 m :** Marne brune saine compacte et très étanche, elle ne referme aucune inclusion conglomératique.

**Interprétation des résultats :**

D'après les carottes extraites, le sol est essentiellement conglomératique, mais selon les résultats des essais d'eau, on constate que le sol réagit différemment.

**De 25 à 30 m :** de profondeur, l'essai montre un écoulement turbulent où la valeur lugeon la moins élevée se produisant à la pression la plus élevée, qui est de 2,5 UL, la perméabilité moyenne est de $2.5x10^{-7}$ m/s.

**De 30 à 45 m :** le terrain se dilate suite à une montée en pression et se contracte au moment de la décharge, l'unité lugeon moyenne enregistrée au niveau de cet horizon est de 3,3 UL, la perméabilité moyenne est de $3.3x10^{-7}$ m/s.

**De 45 à 50 m :** le sol est sensible à la pression élevée, l'essai monte une augmentation des valeurs lugeon proportionnellement à la montée en pression où un léger claquage était visible au 3e palier de pression et où la valeur lugeon obtenue est de 4,1 UL, la perméabilité moyenne est de $4.1x10^{-7}$ m/s.

**De 50 à 60 m :** le sol montre un comportement dilatant par rapport à la montée en pression, mais à des valeurs lugeon moins importantes d'une moyenne de 1,6 UL, la perméabilité moyenne est de $1.6x10^{-7}$ m/s.

**De 60 à 70 m et de 75 à 80 m :** le terrain est stable et montre un écoulement laminaire où les valeurs des unités lugeon sont égaux ou presque que ce soit en chargeant ou en déchargeant, pour une valeur lugeon moyenne de 0,3 UL, la perméabilité moyenne est de $3x10^{-8}$ m/s.

**De 80 à 90 m :** le sol est étanche, une très légère dilatation observée où les valeurs lugeon tendent vers le 0 UL, la perméabilité est proche de 0 m/s.

D'après les valeurs lugeon obtenues, nous avons constaté deux grands horizons :

- un horizon à perméabilité assez importante supérieure à 1 UL, la perméabilité est de $1x10^{-7}$ m/s de 25 à 60 m de profondeur.
- un horizon étanche où les valeurs lugeon sont inférieures à 1 UL, la perméabilité est inférieure à $1x10^{-7}$ m/s.

**Forage P20 :**

**Description lithologique :**

 **De 00 à 20 m :** Remblai, forage réalisé en destructif jusqu'à la côte 125,00 NGA.

 **De 20 à 59 m :** Conglomérats très fragmentés à ciment siliceux très friable avec parfois des passages compacts et très consolidés. Ce sont des conglomérats riches en silice notamment des blocs de quartzite très dure, ralentissant l'avancement du forage et usant les outils de perforation.

 **De 59 à 88,5 m :** Conglomérats à éléments de tailles millimétriques et centimétriques liés par un ciment argileux de couleur verdâtre à grisâtre, notamment des intercalations centimétriques de grès gris compact et très consolidé à fracturations obliques montrant parfois des taches d'oxydations.

 **De 88,5 à 90 m :** Schistes de couleur grise riche en quartz compact et très consolidé présentant une fracturation oblique à subhorizontale.

**Interprétation des résultats :**

Les essais d'eau ont montré que le sol est imperméable avec des valeurs lugeons très faibles (< 1UL) soit une perméabilité inférieure à $1x10^{-7}$ m/s, sauf pour deux tranches d'essais qui étaient de l'ordre de 1,1 et 3,9UL. Les valeurs lugeons les plus élevées ont étaient enregistrées au niveau des tranches supérieures dans les conglomérats à ciment siliceux friable.

**Forage P30 :**

Le forage P30 exécuté au niveau de la piste d'accès à la digue de col à la cote 125 (15 m) puis continué en carottage jusqu'au substratum étanche (la marne saine).

- **De 15 à 36 m :** conglomérats à ciment siliceux très friable renfermant des débris de roches divers de tailles différentes. Ces conglomérats sont essentiellement constitués de fragments de schistes de gneiss de banc centimétriques de grès compact et des débris de roches divers. Certains gneiss entre 23 et 30 m de profondeur sont sur-micacé avec une forte concentration de micas noirs, et d'autres présentent parfois des plissements témoins d'une tectonique active.
- **De 36 à 60 m :** Argile brunâtre compacte, renfermant des débris millimétriques de roches divers de formes arrondies. Elle présente une faible perméabilité et une nature gonflante au contact de l'eau.
- **De 60 à 66 m :** Conglomérats compacts et très consolidés avec des passages fragmentés**.** La cimentation constituée d'une matrice siliceuse très consolidée. On peut observer la fracturation dans ces conglomérats qui présente une direction oblique et un remplissage calcique.
- **De 66 à 70 m :** Marne grise, compacte et très consolidée. Elle ne montre aucune trace d'altération ni d'oxydation, et qui présente de ce fait le substratum étanche. C'est une marne à cassure conchoïdale caractéristique qui est généralement oblique d'un pendage variant de 20 à 45° par rapport à l'axe horizontal.

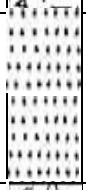
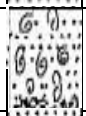
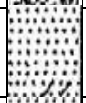
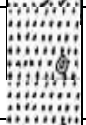
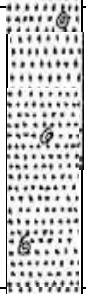
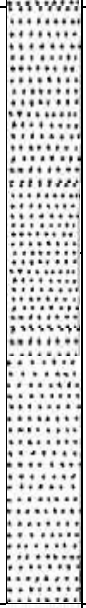
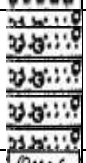
**Interprétation des résultats obtenus :**

**De 15 à 35 m :** de profondeur, de très fortes absorptions ont été enregistrées dans les conglomérats supérieurs, des unités lugeon entre 8 et 13 UL, la perméabilité moyenne est de $1.05x10^{-6}$ m/s. C'est un sol hétérogène à cimentation très friable et très sensible au contact de l'eau.

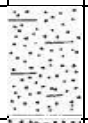
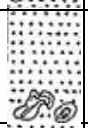
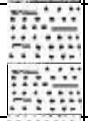
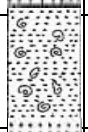
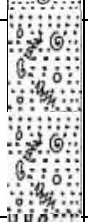
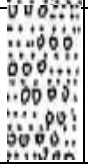
**De 35 à 55 m :** de profondeur, les essais ont été exécutés dans des argiles à comportement élastique, qui se dilate avec la montée en pression et se rétracte à la décharge. L'absorption est assez importante (supérieur à 4 UL), la perméabilité est supérieure à $4x10^{-7}$ m/s.

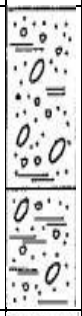
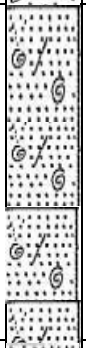
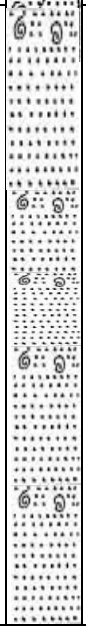
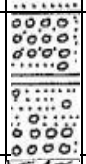
**De 55 à 66 m :** de profondeur, les essais ont été réalisés au niveau des conglomérats inférieurs plus compacts et plus consolidés que les conglomérats supérieurs et le toit de la couche marneuse qui présente une faible perméabilité (inférieure à 1 UL), la perméabilité est inférieure à $1x10^{-7}$ m/s.

**De 66 à 70 m :** l'essai d'eau a été réalisé uniquement au niveau de la marne de base, cette marne de comportement étanche avec une valeur lugeon nulle même à une pression de 10 bars. La marne est saine.

| **Forage F106 Rive Droite** Profondeur (m) | Log | Description Géologique | Perméabilité | | Fissuration (nombre de fissures) | RQD (%) | Remarques essais, nappes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Profondeur (m) | Perméabilité (m/s) | | | |
| 0.00-3.00 | | Limon argileux, sableux peu organique | | | | | Couverture alluviale |
| 3.00-9.00 |  | Grès moy – fin, beige à rougeâtre complètement altéré | | | DB | 0 | Mollasse du Miocène Inf. Burdigalien Facies Gréseux |
| 9.00-20.00 |  | Grès beige, organogène, vacuolaire | | | 16 | 53 | |
| 20.00-24.00 |  | Grès ocreux, tacheté | 20.00-24.00 | K= $4x10^{-7}$ | TC | 0 | |
| 24.00-27.00 |  | Grès gris, dur veiné | 24.00-25.00<br>25.00-27.00 | | | | |
| | | | | K= $3x10^{-7}$ | 13 | 74 | |
| 27.00-47.00 |  | Grès ocreux, organogène, tacheté | 27.00.30.00<br>30.00-35.00<br>35.00-40.00<br>40.00-47.00 | K= $1x10^{-7}$ | 8 | 94 | |
| | | | | K= $7x10^{-9}$ | 5 | 100 | |
| | | | | | 5 | 100 | |
| 47.00 |  | Grès gris, mi dur à tendre, fracture | 47.00-50.00<br>50.00-55.00<br>55.00-60.00<br>60.00-63.50 | K= $2x10^{-8}$ | 8 | 76 | |
| | | | | Très perméable | 10 | 97 | |
| 63.50 | | | | K= $2x10^{-6}$ | 10 | 76 | |
| | | | 63.50-65.00<br>65.00-70.00 | K= $2x10^{-7}$ | 13 | 53 | Série de Conglomérat de base |
| | | | | K= $1x10^{-8}$ | 5 | 36 | |
| | | | | K= $1x10^{-8}$ | 2 | 100 | |
| | | | 70.00-86.00 | | 8 | 97 | |
| 86.00 | | | | | 5 | 0 | |
| 86.00-87.00 | | Pelite a siltite | 86.00-87.00 | imperméable | | | |
| 87.00-88.00 | | Conglomérat | | | | | |
| 88.00-91.00 |  | Grès gris, conglomératique | 88.00-90.00<br>90.00-91.00 | K= $4x10^{-7}$ | TC | 0 | |
| 91.00-95.00 | | Conglomérat | 91.00-95.00 | | | | |
| 95.00-100.00 | | Schiste | | K= $2x10^{-8}$ | TC | 0 | Socle |

**Forage S116 ; Rive droite**

| Profondeur | Log | Description Géologique | Résistance à la compression sur cube(MPA) | Remarques essais, Nappes |
|---|---|---|---|---|
| 0.00-2.00 |  | Grès très altéré à sables | | Couverture alluviale |
| 2.00-5.00 | | Grès beige | 1 | Mollasse du Miocène Inf.<br>Burdigalien<br>Facies gréseux |
| 5.00-8.00 |  | Grès rougeâtre à beige | De 1 à 3 | |
| 8.00-9.50 | | Grès ocreux | De 1 à 7 | |
| 9.50-18.00 | | Grès beige a grisâtre fissures scellées et minéralisées | 1 | |
| 18.00-24.00 |  | Grès organogènes, tendres et silteux | De 1 à 9 | |
| 24.00-38.50 | | Grès ocreux | De 1 à 4 | |
| 38.50-39.00 | | Siltite | De 1 à 3 | |
| 39.00-52.00 |  | Grès gris Ocreux, organogène | De 1 à 6 | |
| 52.00-68.00 |  | Grès gris et rougeâtre, fissures scellées et minéralisées | De 1 à 7.5 | Série de conglomérats de base |
| 68.00-69.70 |  | Conglomérats à Grès, fissures scellées | 6 | |

| **Fond de vallée Partie amont Forage P107** Profondeur (m) | Log | Descriptions Géologiques | Perméabilités | | Fissuration (nombre de fissures) | RQD | Remarques essais, nappes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Profondeur (m) | Perméabilité (m/s) | | | |
| 0.00-14.00 |  | Sable, gravier limoneux | 3.00-3,60<br>6.00-7.00<br>9.00-10.00<br>12.00-12,70 | $K=2x10^{-5}$<br>$K=2x10^{-3}$<br>$K=2x10^{-3}$<br>$K=9x10^{-6}$ | | | Alluvions récentes de l'oued Bou gdoura |
| 14.00-18.00 | | Grès beige, gris, ocreux | 14.00-15.00 | $K=5x10^{-4}$ | 5 | 74 | |
| 18.00-21.00 | | Sable grossier galets | 20.00-21.00 | $K=2x10^{-4}$ | | | |
| 21.00-28.00 |  | Grès gris dur fracturé | 23.00-26.00 | $K=3x10^{-3}$ | 9 | 70 | Mollasse du Miocène inf. Burdigalien |
| | | | 26.00-28.00 | $K=1x10^{-4}$ | 3 | 98 | Facies gréseux |
| 28.00-67.00 |  | Grès gris mi dur a dur, organogène | 28.00-40.00 | $K=3x10^{-5}$ | 3 | 100 | Série de conglomérats de base |
| | | | 40.00-67.00 | $K=3.5x10^{-5}$ | 3 | 96 | |
| | | | | | 7 | 82 | |
| | | | | | 9 | 75 | |
| | | | | | 5 | 87 | |
| | | | | | 11 | 68 | |
| | | | | | 5 | 98 | |
| | | | | | 16 | 61 | |
| 67.00-75.00 |  | Conglomérats, gris clair, grès avec gravier | 67.00-70.00<br>70.00-75.00 | $K=1x10^{-4}$ | 4 | 12 | |
| 75.00-78.00 | | Schiste noir graphiteux | | $K=3x10^{-5}$ | 13 | 30 | |

**Fond de vallée, Partie centrale :**

**Forage S104 :**

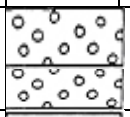
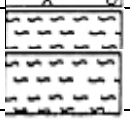
| Profondeur (m) | Log | Description Géologique | Perméabilité | | Fissuration | RQD (%) | Remarque essais, Nappes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Profondeur (m) | Perméabilité (m/s) | | | |
| 0.00-11.50 | | Sable Gravier gris avec beaucoup de galets, polygéniques. | 3.00-9.50 | Perméable | | | Alluvions récentes de L'oued Bougdoura |
| 11.50-12.00 | | Galets isolés | 11.80-12.30 | | | | |
| 12.00-18.00 | | Sable Gravier limoneux, gris à beige, galets abondants | 14.90-15.40 | | | | |
| 18.00-25.00 | | Grès gris, dur, fracturé | | | 12 | 47 | Mollasse du Miocène Inf. Burdigalien Facies Gréseux |
| 25.00-26.00 | | Sable gravier, éléments ronds | | | | | |
| 26.00-26.50 | | Morceaux conglomérats schistes | | | | | |
| 26.50-60.00 | | Schistes noirs, veinés en verdâtres, graphiteux, chlorotiques | 35.00-60.00 | K= $2x10^{-7}$ | 0 | 20 | Socle Métamorphique |
| | | | | | TC | 8 | |
| | | | | | TC | 12 | |
| | | | | | TC | 22 | |

**Fond de vallée, Partie aval :**

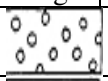
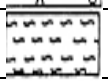
**Forage S101 :**

| Profondeur (m) | Log | Description Géologique | Perméabilité | | Fissuration | RQD(%) | Remarque essais, Nappes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Profondeur (m) | Perméabilité (m/s) | | | |
| 0.00-17.00 | | Sables limoneux, graviers. | 3.00-3.50 | $K=1x10^{-5}$ | | | Alluvions récentes De L'oued Bou Gdoura |
| | | | 13.60-16.5 | $K=1x10^{-6}$ | | | |
| 17.00-18.00 | | Grés blocs | | | 7 | 0 | |
| 18.00-20.00 | | Sables graviers | | | | | |
| 20.00-24.00 | | Schiste noirs graphiteux, chloritiques | | | 18 | 34 | Socle Métamorphique |
| 24.00-26.00 | | Schistes veinés, plissés | 25.00-26.00 | $K=3x10^{-6}$ | 0 | 100 | |
| 26.00-35.00 | | Schiste graphiteux, chloritiques, laminés, veinés. | 26.00-30.00 | | | | |
| | | | 30.00-35.00 | $K=2x10^{-6}$ | 0 | 79 | |
| 35.00-42.00 | | Schistes ondulés | 35.00-40.00 | $K=1x10^{-6}$ | 0 | 66 | |
| | | | 40.00-42.00 | $K=2x10^{-7}$ | 0 | 60 | |
| 42.00-50.00 | | Schiste graphiteux, chloritiques, laminés | 42.00-45.00 | | | | |
| | | | 45.00-50.00 | $K=1x10^{-7}$ | 0 | 37 | |

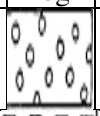
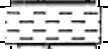
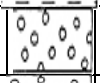
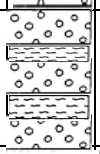
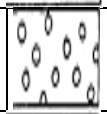
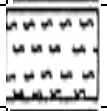
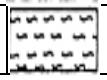
**Forage P-04 ; Rive gauche :**

| Profondeur (m) | Log | Description | Récupération % | RQD % |
|---|---|---|---|---|
| 21.5-27 m |  | Conglomérat à ciment siliceux très friable avec intercalation d'une couche marneuse de couleur grise | 50 | 20 |
| 27-31.5 m |  | Marne grise saine compacte et ne montre aucune trace d'oxydation ou d'altération | 75 | 60 |

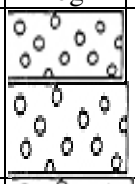
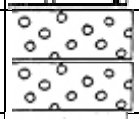
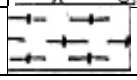
**Forage P01 ; Rive gauche :**

| Profondeur (m) | log | Description | Récupération % | RQD % |
|---|---|---|---|---|
| 23-34.5 m |  | Conglomérat très fracturé à ciment siliceux très friable | 75 | 20 |
| 34.5-46.5 m |  | Marne grise et brunâtre très imperméable et très peu altérée | 90 | 90 |

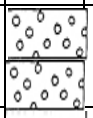
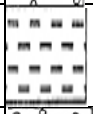
**Forage P15 ; Rive gauche :**

| Profondeur | log | description | Récupération % | RQD % |
|---|---|---|---|---|
| 25-34 m |  | Conglomérats sableux : mélange de grès, schistes, gneiss et autres roches divers | 35 | 12 |
| 34-36.5 m |  | Argile brunâtre compacte | 60 | 25 |
| 36.5-46 m |  | Conglomérat à matrice argileuse de couleur grise | 75 | 30 |
| 46-76.5 m |  | Conglomérat sableux avec parfois des intercalations de couches centimétriques de marne verdâtre et grisâtre | 60 | 20 |
| 76.5-77.5 m | | Argile verdâtre renfermant des débris de roches millimétrique | 90 | 90 |
| 77.5-82 m |  | Conglomérat sableux : mélange de roches, des grès, des schistes et des calcaires | 50 | 13 |
| 82-88.5 m |  | Marne conglomératique de couleur brune et marne compacte et étanche, renfermant des débris de roche | 90 | 80 |
| 88.5-90.5 m |  | Marne de couleur brune compacte, étanche et dénuée de toute inclusion | 100 | 90 |

**Forage P20 ; Rive gauche :**

| Profondeur (m) | log | Description | Récupération% | RQD% |
|---|---|---|---|---|
| 20-59 m |  | Conglomérats à ciment siliceux friable avec des intercalations de grès grisâtre à grains fin très compact et très consolidé et des passages de quartzite très dur | 40 | 20 |
| 59-88.5 m |  | Conglomérats à matrice argileuse plastique de couleur verdâtre à grisâtre | 99 | 80 |
| 88.5-90 m |  | Schistes sombre de couleur grisâtre | 60 | 20 |

**Forage P30 ; Rive gauche :**

| Profondeur (m) | log | Description | Récupération% | RQD% |
|---|---|---|---|---|
| 15-36 m |  | Conglomérat très fragmenté (mélange de débris de schistes de gneiss et de roches divers...) | 50 | 10 |
| 36-60 m |  | Argile brunâtre compacte renfermant des débris millimétriques de roches divers | 90 | 75 |
| 60-66 m | | Conglomérat compact et très consolidé | 30 | 15 |
| 66-70 m | | Marne grise compacte et très consolidée (substratum étanche) | 95 | 75 |

.

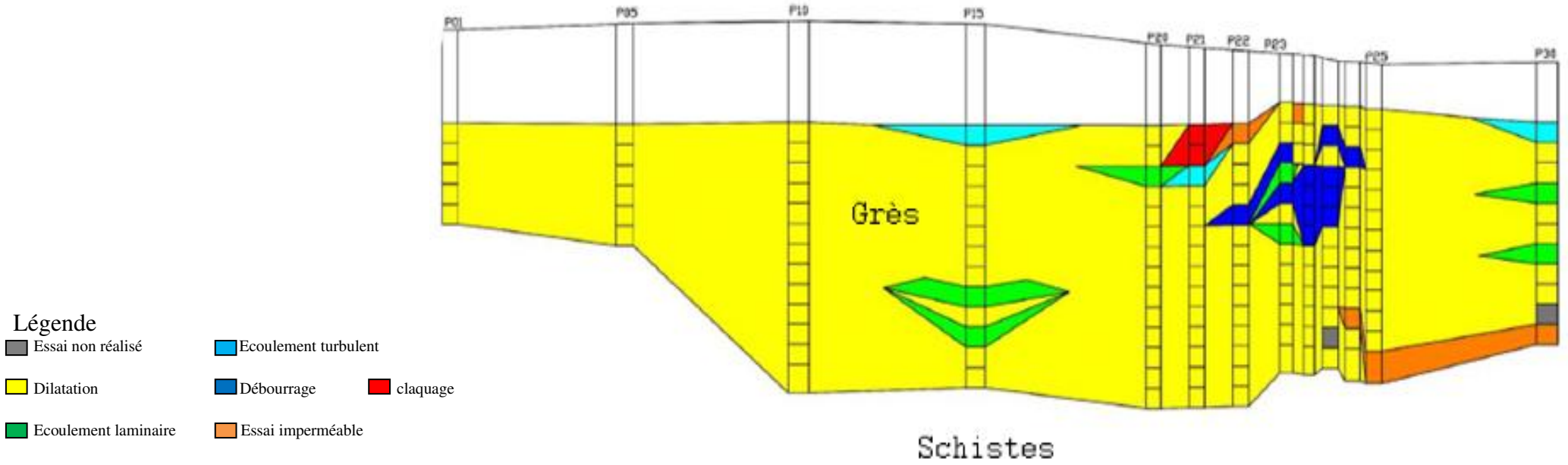



Figure 15 : forages réalisés avec essais d'eau Réaction mécanique du sol (voile d'étanchéité rive gauche).

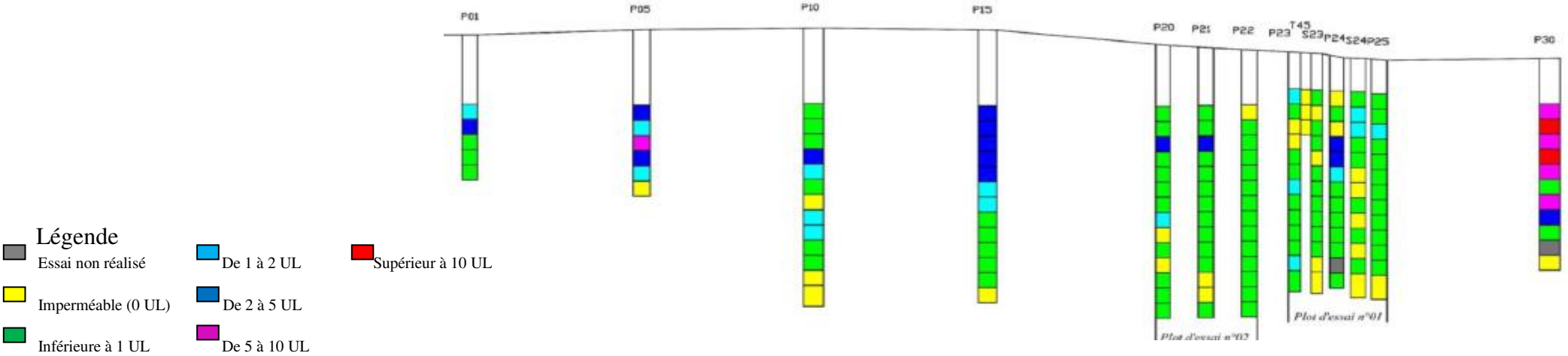



Figure 16 : Perméabilités des tranches de forages réalisés avec essais d'eau (voile d'étanchéité rive gauche).

**Interprétation des figures :**
Présence d'écoulement turbulent en surface dû aux fortes vitesses d'écoulement.
Présence d'écoulement laminaire en profondeur en forme de lentille due aux faibles vitesses d'écoulement.
Les profondeurs des forages sont différentes, car le substratum schisteux est à différentes profondeurs.

**Écoulement turbulent :** Mode d'écoulement d'un fluide fait de tourbillons qui se contrarient mutuellement.

**Dilatation :** C'est l'expansion du volume du sol pendant l'injection.

**Débourrage :** Déblaiement naturel d'un conduit, notamment sous l'effet d'un accroissement momentané de charge hydraulique, (notre cas pression d'injection).

**Claquage :** À partir d'une certaine pression d'injection, une rupture se produit et se propage dans le sol selon une surface sensiblement plane correspondant à la direction de moindre résistance.

**Écoulement laminaire :** Mode d'écoulement d'un fluide où l'ensemble du fluide s'écoule plus ou moins dans la même direction.

**Essai imperméable :** Le sol est imperméable et les valeurs des essais Lugeon sont égales à 0.

**Conclusion de la rive gauche :**

A l'issu des résultats obtenus lors de l'exécution de la phase de reconnaissance au niveau de la piste d'accès à la digue de col dans la rive gauche, et à l'aide des forages carottés et les essais d'eau réalisés il a été constaté ce qui suit :

- La lithologie de la zone montre une prédominance conglomératique à éléments arrondis de tailles centimétrique lié par un ciment sableux très friable, recoupée par des passages argileux généralement de couleur verdâtre et parfois brunâtre renfermant des inclusions caillouteuses de tailles millimétriques, et basée sur un substratum marneux imperméable.

Le contact anormal est marqué par la présence de couches décimétriques ou des passages centimétriques de quartzite très dur.

- La fracturation est généralement oblique d'un pendage variant entre 40 et 45° par rapport à la verticale et parfois sub-vertical, avec un remplissage généralement quartzique et parfois calcique.

- En pourcentage moyen des résultats d'essais d'eau réalisés sur la totalité de la zone, 52 % des essais ont donné des valeurs lugeon inférieures à 1UL soit une perméabilité moyenne de $1x10^{-7}$ m/s et 22 % des essais ont montré des horizons imperméables.

## Conclusion générale :

Le comportement hydrogéologique des formations se trouvant au site du barrage Souk N'Tleta a été approché à l'aide de sondages carottés de reconnaissance et les descriptions géologiques en nature et fracturations, d'essais de perméabilité LUGEON et de RQD.

Pour les alluvions de l`oued Bougdoura, selon l'étude de l'ANBT, k varie entre $1x10^{-3}$ à $6x10^{-7}$ m/s, du fait de l'hétérogénéité des formations, confirmée également par les courbes granulométriques, où la fraction limo-argileuse est comprise entre 8 et 23%.

En ce qui concerne les grès, des versants du site de la digue, pour les grès en surface, les coefficients de perméabilité k varient entre $5x10^{-4}$ à $2x10^{-7}$ m/s. Pour les grès en profondeur $8x10^{-4}$ à $4.5x10^{-7}$ m/s.

Les schistes sont imperméables par porosité, toutefois, elles sont fracturées. Les essais d'eau ont donné des valeurs de k comprises entre $1x10^{-5}$ et $5x10^{-8}$ m/s.

# Chapitre III

## Imperméabilisation par coulis d'injection du site du barrage de Souk N'Tleta (Wilaya de Tizi-Ouzou)

## Imperméabilisation par Paroi moulée et coulis d'injection du site du barrage de Souk N'Tleta

Les alluvions du site sont meubles et perméable donc la solution est l'imperméabilisation par paroi moulée, les grès sont durs et fracturé, la solution est l'imperméabilisation par coulis d'injection.

# III.1 Imperméabilisation des alluvions du lit de l'Oued en amont du barrage :

Les alluvions sont des terrains meubles, donc on ne peut pas faire des injections, la solution est la paroi moulée qui est un barrage souterrain qui bloque la circulation infero-flux des eaux.

## III.1.1Paroi moulée :

La réalisation des travaux d'excavation au niveau du noyau du barrage, pour l'exécution de la galerie d'injection et la mise en place du noyau, nécessite la mise à sec de la fondation du barrage siège des écoulements souterrains dans les alluvions de l'oued Bougdoura.

Pour ce faire, un batardeau amont est indispensable avec une coupure étanche qui arrive jusqu'au substratum rocheux de la fondation est indispensable.

En fond de vallée au droit du site de la digue principale, une campagne de reconnaissance a montré une perméabilité (de l'ordre de $10^{-3}$ m/sec) des matériaux alluvionnaires. La réalisation d'un écran d'étanchéité par injection de béton dans les alluvions à partir de sondages d'injection n'aura aucun effet pour arrêter les venues d'eau de l'inféro-flux de l'oued Bougdoura.

Photographie 9 : Photo des caisses du sondage carotté P12 de 18m dans les alluvions jusqu'au substratum schisteux dans l'axe du barrage.

Face à ces conditions la réalisation d'une paroi moulée avec un béton plastique étanche dans une tranchée qui traverse les alluvions de l'oued de rive en rive est indispensable. Elle sera encastrée dans les alluvions et ancrée dans le substratum schisteux dur. Elle sera enchâssée dans la base du noyau du batardeau amont.

| | |
|---|---|
| **Entreprise** | Sarl GEOMAG Sondage Axe oued P12 aout 2016 |
| **Projet** | Construction du Barrage de Souk Tleta (W. TIZI OUZOU) |
| **Objet** | Reconnaissances géologiques et géotechniques complémentaires |

| Passe | Lithologie | % Récup. |
|---|---|---|
| 0.00-1.15m | Grave et cailloux de nature essentiellement calcaire, à niveau limoneux à la base. | 100 |
| 1.15-2.05m | | 100 |
| 2.05-3.00m | | 100 |
| 3.00-4.00m | Limon sableux, peu graveleux, à quelques cailloux. | 81 |
| 4.00-5.00m | | 70 |
| 5.00-6.00m | Cailloux et grave fine à moyenne, à fraction sableuse très mal récupérée. | 80 |
| 6.00-7.00m | Sable fin à moyen, graveleux (grave généralement fine), peu limoneux, à niveaux centimétriques limoneux, à quelques cailloux. | 80 |
| 7.00-8.00m | | 83 |
| 8.00-9.00m | | 78 |
| 9.00-10.00m | | 68 |
| 10.00-11.00m | Sable moyen, graveleux (grave fine à moyenne), à quelques cailloux. | 60 |
| 11.00-12.00m | | 60 |
| 12.00-13.00m | | 60 |
| 13.00-13.90m | | 65 |
| 13.90-15.00m | Fragments rocheux de nature essentiellement calcaire à parfois schisteuse **(jusqu'à 15.80m)** | 100 |
| 15.00-17.50m | **(De 15.80m) :** Schiste gris, peu à très peu altéré, à roche tendre à très tendre, à calcite recristallisée au niveau des fractures et joints. | 65 |
| 17.50-18.50m | | 100 |

Figure 17 : Description lithologique du sondage au droit du site de la paroi moulée.

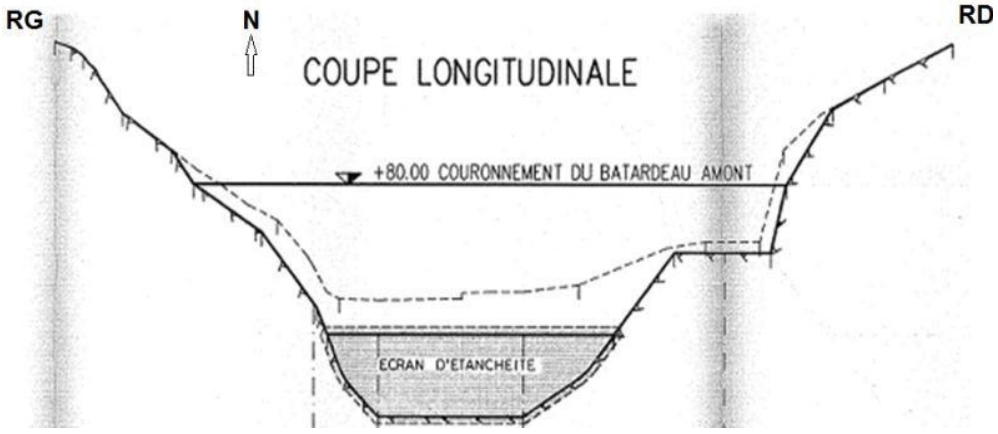



Figure 18 : Coupe en travers du site de la digue montrant la paroi moulée étanche barrant le profil de l'oued.

### III.1.1.1Les Caractéristiques de la paroi moulée sont :

- Nature : béton plastique constitué de ciment portland, bentonite, agrégats et eau.
- Épaisseur : 60 cm,
- Longueur : 54.8 m
- Profondeur maximale : 19.5 m au milieu de l'oued,
- Surface réalisée : 789 m²,
- Quantité de béton plastique : 806 $m^3$.
-

### III.1.1.2 Procédés de réalisation de la paroi moulée :

Pour la réalisation de la paroi moulée on commence par la réalisation des murs guides au niveau l'axe de la Paroi-Moulée. Puis excavation par tranchée (panneau de 60cm de largeur)

jusqu'à arriver au substratum schisteux où elle sera ancrée de 50 cm minimum, selon la consistance du terrain.

En cours de l'excavation, le panneau est toujours rempli de boue de bentonite épaisse pour soutenir les parois d'excavation et éviter les éboulements.

Avant le bétonnage la teneur en sable de la boue d'excavation doit être inférieure à 4%.

Le coulis de bentonite pour béton plastique est soumis périodiquement à des essais pour vérifier ses caractéristiques de densité (1.05) et de viscosité (32 s).

Une fois l'excavation achevée, on procède à l'opération de bétonnage qui sera faite sans interruption à partir du fond du panneau jusqu'à atteindre le niveau des murettes guide en utilisant destubes plongeurs (photographies suivantes).

Photographie 10 : Vue d'engins de bétonnage de la Paroi-Moulée, avec tubes plongeurs et de pompage.

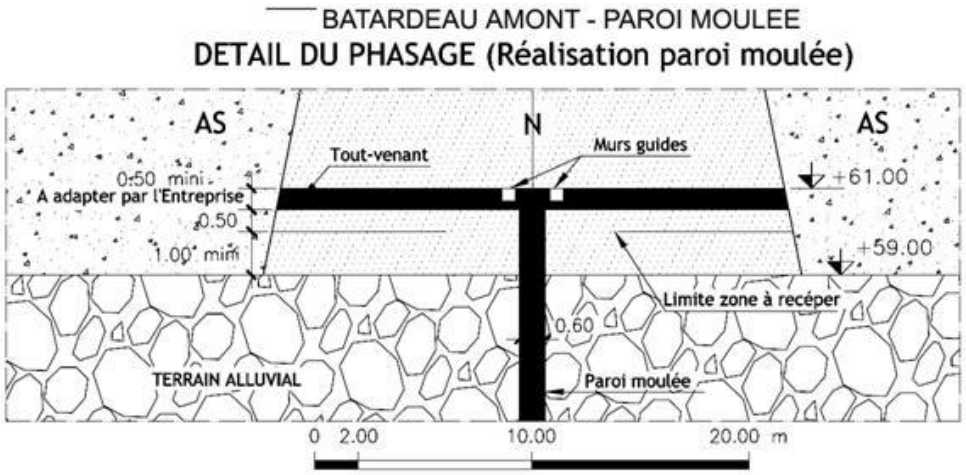



Figure 19 : Coupe transversale de la paroi moulée sur l'axe de l'oued Bougdoura

Photographie 11 : Vue du batardeau amont en enrochement et mise en place du noyau argileux de la digue sur laparoi moulée par compactage au rouleau «pied de mouton».

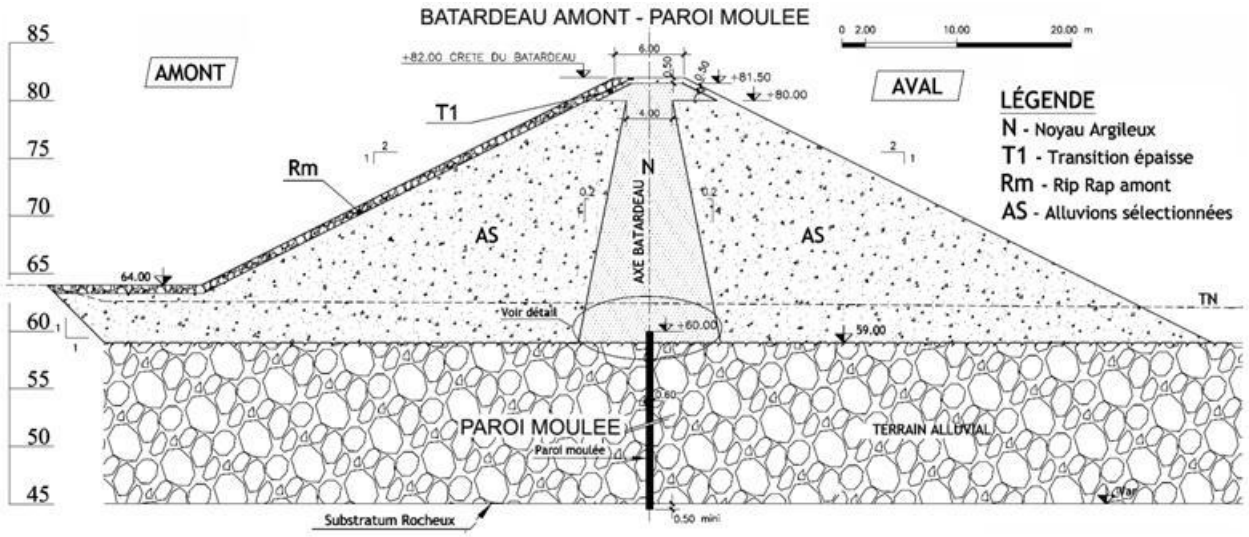



Figure 20 : La coupe type du batardeau amont

Photographie 12 : vue depuis la rive droite du batardeau amont.

# III.2 Imperméabilisation des contreforts par coulis d'injection :

D'après les essais d'eau réalisés dans la phase de la reconnaissance géologique par sondage carotté, on a pu obtenir les perméabilités des formations du site et d'après les résultats de ce dernier concluants qu'une imperméabilisation est nécessaire par forages d'injection de coulis (mortier obtenu par mélange d'eau, ciment, bentonite et adjuvant. Assez fluide pour couler dans les fissures afin de les fermer et rendre le milieu étanche).

## III.2.1 Forages d'injection du coulis :

Les forages d'injection ont pour but essentiel d'intercepter les fissures existantes dans la fondation et de recouper toutes les discontinuités, tant dans les réseaux d'imperméabilisation que dans la consolidation, et de façon à pouvoir colmater toutes les voies d'eau avec du coulis.

Dans le cas du barrage Souk N'Tleta, et compte tenu des caractéristiques du terrain à traiter, il était nécessaire d'adopter une disposition en rangées simples avec un espacement de 12 m pour les forages dits "primaires". Les forages secondaires sont espacés de 6 m. Les espacements entre les forages tertiaires sont de 3 m et les quaternaires sont espacés de 1.5 m et, parfois des quinquénaires espacés de 0.75 m, selon les résultats obtenus dans les forages de contrôle.

Compte tenu du pendage des couches et du système de fracturation dans le site du barrage ; l'inclinaison des forages doit être perpendiculaire aux couches.

## III.2.2 Procédure d'injection du coulis :

L'injection est un processus qui consiste à introduire, sous pression, un liquide susceptible de durcir dans le temps, dans un forage réalisé dans le milieu à traiter jusqu'à ce qu'un critère dit 'de saturation' soit atteint (Caveny and Weigand, 1985). Ce critère peut être l'étendue de la zone atteinte par le coulis, une pression maximale (pression de refus) ou un volume minimum d'absorption. Que ce soit pour une consolidation, une stabilisation ou une imperméabilisation du milieu, les techniques d'injection adoptées

dans ces milieux ont pratiquement le même principe (Cambefort, 1964 ; Lambardi, 1987 et 1990 et Lambardi and Deere, 1993). Il s'agit d'isoler une portion de forage à l'aide d'un obturateur simple ou d'un obturateur double et injecter du coulis sous pression. Les caractéristiques du milieu (profondeur, résistance, etc.) vont conditionner le choix de la procédure et la largeur de la tranche (passe) d'injection. La procédure d'injection détaillée, aussi bien pour la consolidation que pour le voile profond, est définie en fonction des caractéristiques du milieu à traiter, du matériel utilisé et de la méthode d'injection adoptée (Bayet, 1995). Selon les quantités absorbées et l'existence ou pas des résurgences, il a été procédé à une ou deux injections (la deuxième se fait généralement 24 h après la première) ; sauf dans des cas très particuliers où on a dérogé pour faire une troisième et même plus (dans les zones à forte absorption).

Photographie 13 : Obturateur simple.

Pour la réalisation des injections, une centrale de fabrication de coulis automatique de marque O.CUOGHI TW500, équipée d'un malaxeur d'une capacité de 1 $m^3$, un agitateur de 2 $m^3$. Cette centrale est alimentée en ciment par un silo de 50Tdisposé à proximité immédiate à l'aide d'une vis à moteur, et en bentonite par agitateur de 3$m^3$ à l'aide d'une pompe.

Le coulis préparé se fait transférer à l'aide d'une mini central marque TECNIWELL modèle TWMG57 vers une presse d'injection marque TECNIWELL modèle TWG7 équipé d'un agitateur de 400 L disposé à proximité du forage.

Photographie 14 : Centrale de fabrication de coulis automatique de marque O.CUOGHI TW500.

Photographie 15 : Mini central marque TECNIWELL modèle TWMG57.

Photographie 16 : Appareil d'injection de coulis avec essais d'eaux.

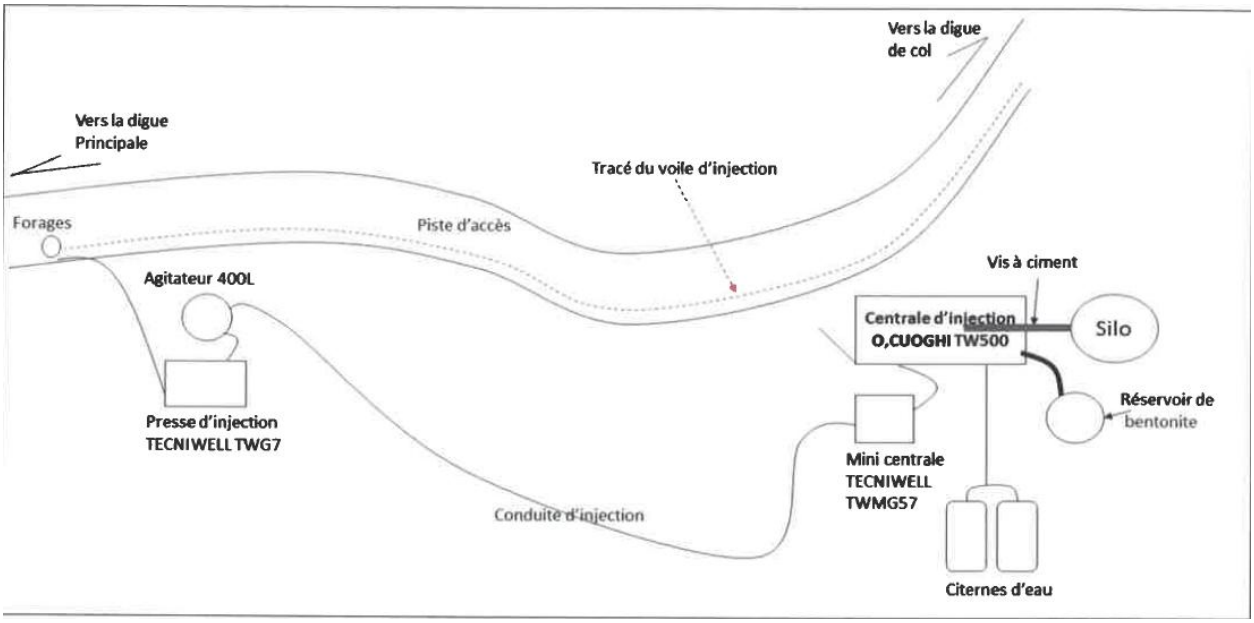



Schéma 1 : Schéma illustratif des machines utilisées pour l'injection et leurs positionnements.

## III.2.3 Coulis d'injection utilisés pour l'imperméabilisation :

Pour le traitement de la fondation du barrage Souk N'TLETA, il a été possible d'utiliser 5 types de coulis selon la qualité hydrogéologique des terrains à traiter, dont les compositions et les caractéristiques mécaniques et physiques sont données dans les Tableaux 1 et 2.

E/C : $\frac{eau}{ciment}$ Eau / Ciment

Les coulis les plus utilisés sont le CI37(E/C=0.8), et CI54(E/C=0.8)

Tableau 13 : Composition (formulation) des coulis d'injections utilisés dans le projet.

| coulis | Composition en (kg) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Eau (L) | Ciment (Kg) | Bentonite (Kg) | Adjuvant |
| CI37 (E/C=0.8) | 80 | 100 | 2 | 0 |
| CI37(E/C=0.5) | 50 | 100 | 0 | 0 |
| CI54(E/C=0.8) | 80 | 100 | 3 | 2 |
| CI36(E/C=0.65) | 65 | 100 | 0 | 0 |
| CI36A(E/C=0.6) | 60 | 100 | 0 | 0 |

Tableau 14 : Paramètres rhéologiques (in-situ).

| coulis | Caractéristiques physiques et mécaniques | | |
|---|---|---|---|
| | Viscosité(s) | Densité ($g/cm^3$) | Décantation à 03 h (%) |
| CI37 (E/C=0.8) | 35 | 1.68 | <5% |
| CI37(E/C=0.5) | 44 | 1.74 | - |
| CI54(E/C=0.8) | <35 | 1.6 | <5% |
| CI36(E/C=0.65) | 34-35 | 1.68 | <4-5% |
| CI36A(E/C=0.6) | 38-40 | 1.75 | <4-5% |

**Méthode de calcul de la viscosité :**

Une méthode consiste à calculer le temps d'écoulement d'un liquide à une certaine température dans un petit récipient. L'instrument qui sert à mesurer la viscosité des fluides est un viscosimètre. La viscosité d'un liquide peut être mesurée de plusieurs façons par des dispositifs appelés viscosimètres.

## III.2.4 Forages d'injection (rive droite ; fond de vallée et rive gauche) :

La variation, latérale et en profondeur, des caractéristiques géologiques et géotechniques du rocher de fondation du barrage a conduit à subdiviser le noyau en trois zones principales, à savoir : la rive droite, le lit d'Oued, la rive gauche.

### III.2.4.1 Injection en rive droite :

Plusieurs forages ont été exécutés sur cette rive, on a pris l'exemple d'un plot test.

Le plot test (est un ensemble de forages dans une zone précise dans le but d'analyser l'imperméabilisation à petite échelle). Il est situé entre les forages FP75 (130,70 NGA) et FP77 (140,43 NGA).

Les forages primaires FP75 et FP76 ont fait l'objet de carottage avec essais d'eau type Lugeon tous les 5 mètres à partir de la cote 125,00 NGA.

Les essais d'eau ont été réalisé systématiquement au niveau des forages primaires et ont tous été exécutés avec une inclinaison de 15º par rapport à la verticale et une direction vers l'amont.

La plupart des forages ont été réalisés à la cote 140,43 NGA (profondeur 60 mL).

- **Moyen d'injection :**

Pour la réalisation des injections, une centrale de fabrication de coulis automatique de marque TECNIWELL TWM30 a été utilisée, équipée d'un malaxeur d'une capacité de 2 m³, et un agitateur de 4 m³. Cette centrale est alimentée en ciment par un silo de 50T disposé à proximité immédiate à l'aide d'une vis automatique, et en bentonite par un agitateur de 3 m³ à l'aide d'une pompe.

Le coulis préparé se fait transférer directement à une presse d'injection marque TECNIWELL modèle TWG7 disposé à proximité du forage.

- **Coulis d'injection :**

Deux types de coulis ont été utilisés pour la rive droite : CI37 (E/C=0,8) ; CI37(E/C=0.50).

- **Méthode d'injection :**

L'injection a été réalisée suivant la méthode GIN, avec intervention parfois de la méthode classique. Les paramètres d'injection (Pression maximale, volume maximal et valeur GIN maximum) sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Paramètres GIN.

| profondeur | Pmax en Bar | Vmax l/m | GIN=P*V (Bar*l/m) |
|---|---|---|---|
| **Du terrain naturel à la côte 125.00 NGA** | **Remplissage** | **-** | **-** |
| **Sous la côte 125.00 NGA** | **30** | **500** | **1500** |

- **Contrôle de la qualité du coulis d'injection :**

C'est une étape importante pour contrôler la qualité du coulis d'injection, cette dernière est faite au laboratoire, le tableau ci-dessous résume les différents paramètres analysés.

Tableau 16 : Récapitulatif des essais sur coulis d'injection au niveau du plot d'essai N°01(rive droite).

| Matricule du forage | Date d'injection | Viscosité(s) | Densité (g/cm$^3$) | Décantation(%) |
|---|---|---|---|---|
| FP75 | 25/03/2019 | 38 | 1.60 | >5% |
| FP76 | 03/04/2019 | 37 | 1.62 | >5% |
| FP77 | 14/10/2019 | 33 | 1.61 | >5% |
| FS75 | 10/04/2019 | 36 | 1.60 | >5% |
| FS76 | 02/11/2019 | 35 | 1.62 | >5% |
| FT149 | 02/12/2019 | 37 | 1.67 | >5% |
| FT150 | 19/11/2019 | 36 | 1.61 | >5% |
| FT151 | 06/11/2019 | 40 | 1.62 | >5% |
| FT152 | 05/11/2019 | 36 | 1.65 | >5% |
| FQ297 | 04/12/2019 | 33 | 1.61 | >5% |
| FQ298 | 05/12/2019 | 34 | 1.63 | >5% |
| FQ299 | 21/11/2019 | 34 | 1.62 | >5% |
| FQ300 | 26/11/2019 | 33 | 1.61 | >5% |
| FQ301 | 18/11/2019 | 35 | 1.64 | >5% |
| FQ302 | 16/11/2019 | 37 | 1.59 | >5% |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FQ303 | 13/11/2019 | 37 | 1.67 | >5% |
| FQ304 | 11/11/2019 | 34 | 1.62 | >5% |
| FC03 | 22/12/2019 | 35 | 1.61 | >5% |
| **Moyenne** | **-** | **35.6** | **1.62** | **>5%** |

- **Forage de contrôle FC03 :**

Forage de contrôle est un forage effectué à la fin de la procédure d'injection pour vérifier l'imperméabilisation du milieu, si la zone est imperméable le processus d'injection est terminé sinon des forages quinquénaires espacés de 0.75 m seront ajoutés.

Au terme des quatre phases de traitement, du plot d'essai, un forage de contrôle (FC03) a été déterminé, d'une direction 35° par rapport à l'axe du barrage et une inclinaison de 22° par rapport à la verticale dirigé vers l'amont dans le but de traverser les tranches à forte absorption.

**Données forage :**

Objet : travaux de forage et injection du voile profond.

Zone : rive droite.

Forage : FC03 : Date de début : 15/12/2019. Date de fin : 22/12/2019.

Profondeur : 55 m. Outils de forage : carottier double à couronnes diamantées. Fluide de forage : l'eau.

**Description lithologique :**

| Profondeur (m) | Description | % Récup | RQD % |
|---|---|---|---|
| 0.00-3.00 | Grès jaunâtre | 100 | 95 |
| 3.00-4.50 | Grès rougeâtre | 100 | 95 |
| 4.50-11.50 | Grès rougeâtre très altéré | 99.5 | 95 |
| 11.5-23.00 | Alternance de grès rougeâtres et des grès jaunâtres | 100 | 97 |
| 23.00-36.00 | Grès jaunâtre | 100 | 90 |
| 36.00-55.00 | Grès gris et grisâtre à grains fins et très fins | 100 | 95 |

**De 00 à 36 m :** grès jaunâtres à rougeâtre compact et très consolidé, a grains fins et très fins montrant parfois des niveaux altèrent (de 4.5 m à 11.5 m de profondeur) et des niveaux très oxydés (de 11.5 à 16.5 m de profondeur). Deux familles de fractures ont été observées, sub-verticales d'un pendage de 85 à 90 % par rapport à l'horizontale.

Les fractures et les cassures montrent un remplissage calcique avec parfois la mise en place de coulis de ciment des injections antérieurs.

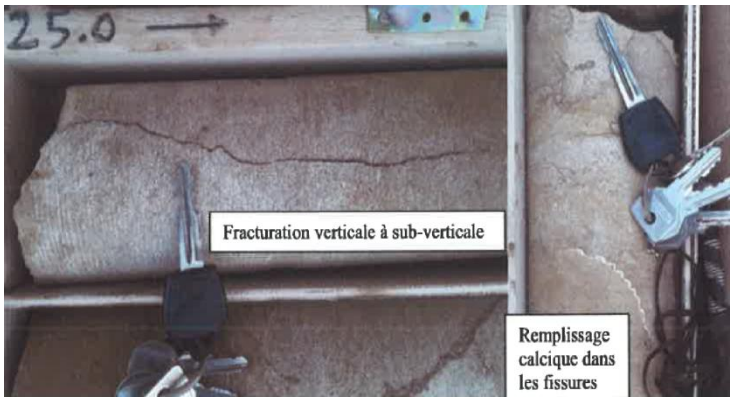



Figure 21 : Fissuration et remplissage des grès.

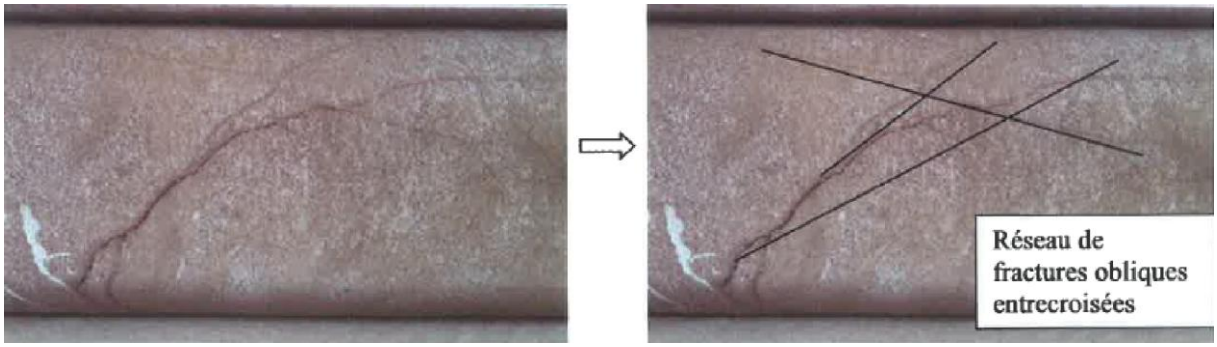



Figure 22 : Exemple de fractures sur les carottes.

Coulis de ciment d'injection remplissant des fissures verticales et sub-verticales millimétriques dans les grès jaunes.

**De 36 à 55 m :** grès de couleur grise et grisâtre à grains fins et très fins, compact et très consolidé. Il montre aussi une fracturation oblique à sub-verticales à remplissage calcique. Une présence de restes bio-organiques est observée dans les derniers mètres du forage.

Figure 23 : fracturation dans les grès gris.

- **Résumé des résultats d'injections au niveau du plot d'essai n°01 en rive droite :**

Tableau 17 : Résumé des forages d'injections au niveau du plot d'essai n°01 (rive droite).

| Voile d'étanchéité Rive droite | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plot test n°01 | | | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.80 | | Coulis CI37 | | |
| N°Forage | Profondeur total (m) | Essais d'eau réalisés | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisé (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) | |
| FP75 | 50 | 10 | 931.7 | 824.42 | 16.49 | - | 16.5 | |
| FP76 | 60 | 9 | 10011.9 | 8859.09 | 177.18 | - | 147.7 | |
| FP77 | 60 | 10 | 5438.1 | 4811.93 | 96.24 | - | 80.2 | |
| FS75 | 60 | 9 | 4571.3 | 4044.94 | 80.90 | - | 67.4 | |
| FS76 | 60 | 0 | 1938.2 | 1715.03 | 34.30 | - | 28.6 | |
| FT149 | 57 | 0 | 4202.9 | 3718.96 | 74.38 | - | 65.2 | |
| FT150 | 60 | 0 | 1987.8 | 1758.92 | 35.18 | - | 29.3 | |
| FT151 | 60 | 0 | 832.4 | 736.55 | 14.73 | - | 12.3 | |
| FT152 | 60 | 0 | 3183 | 2816.50 | 56.33 | - | 46.9 | |
| FQ297 | 57 | 0 | 1940.8 | 1717.33 | 34.35 | - | 30.1 | |
| FQ298 | 60 | 0 | 1789.1 | 1583.10 | 31.66 | - | 26.4 | |
| FQ299 | 60 | 0 | 9840.1 | 8707.07 | 174.14 | - | 145.1 | |
| FQ300 | 60 | 0 | 10081.4 | 8920.58 | 178.41 | - | 148.7 | |
| FQ301 | 60 | 0 | 1011.7 | 895.21 | 17.90 | - | 14.9 | |
| FQ302 | 60 | 0 | 1283.9 | 1136.07 | 22.72 | - | 18.9 | |
| FQ303 | 60 | 0 | 1557.1 | 1377.81 | 27.56 | - | 23.0 | |
| FQ304 | 60 | 0 | 1833.4 | 1622.29 | 32.45 | - | 27.0 | |
| FC03 | 55 | 0 | 1578.9 | 1397.10 | 27.94 | - | 25.4 | carottage |
| Total | 1059 | 38 | 64013.7 | 56642.89 | 1132.86 | - | - | |

- **Résumé des résultats en rive droite :**

Total mètre linéaire foré : 1059 m. Total mètre carotté : 165 m.

Total volume de coulis injecté : 62.44 m³. Quantité de ciment utilisée : 55.25 T.

Les moyennes en unités lugeon sont de l'ordre de :

- Forages primaires : >20 UL. Forages secondaires : 20 UL.

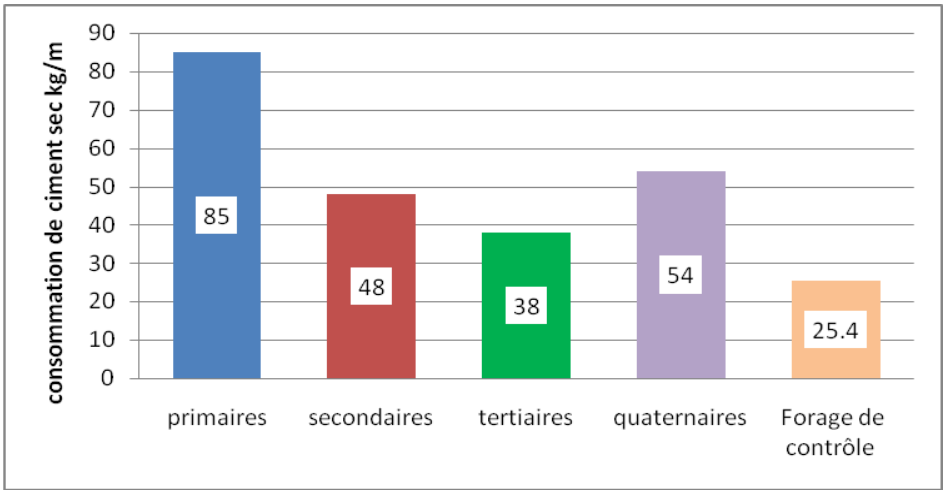



Figure 24 : Répartition des absorptions du coulis au niveau du plot d'essai n°01.

Tableau 18 : Quantité des travaux et d'absorption/plot test n°01 rive droite.

| | M | Quantité de ciment sec (tonne) | Absorption moyenne de ciment sec Kg/ml | Moyens résultats essais lugeon |
|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 170 | 14.5 | 85 | >20 |
| Forages secondaires | 120 | 5.8 | 48 | 20 |
| Forages tertiaires | 240 | 9 | 38 | - |
| Forages quaternaires | 480 | 26 | 54 | - |
| Forage de contrôle | 55 | 1.4 | 25.4 | - |

### III.2.4.2 Injection en Fond de vallée :

- **Injection de consolidation :**

La consolidation est destinée à augmenter la résistance mécanique du sol. Cette consolidation peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres coulis tels que les ciments.

La zone traitée peut être subdivisée en trois parties distinctes (partie amont, aval et centrale), selon plusieurs critères, notamment la profondeur des forages, la nature du sol et la fracturation de la zone.

La partie amont dans les schistes est constituée de 108 forages d'une profondeur de 6.5 m dont 52 forages primaires, 41 secondaires. Un plot d'essai a été encadré dans cette partie, avec un maillage constitué par 9 forages primaires, 4 forages secondaires, 12 forages tertiaires et de 3 forages quaternaires, a la fin des travaux dans cette partie 4 forages de contrôle d'une profondeur de 8 m ont fait l'objet d'un carottage dont 3 forages avec essais d'eau (FCV01-FCV02-FCV03-FCV04).

La partie centrale est constituée d'une ligne axiale de 8 forages primaires, cernée par de lignes secondaires de part et d'autre au nombre total de 18, les forages dans la partie centrale ont une profondeur de 12 m.

La partie aval dans la formation grès-schistes est constituée de 99 forages de 10.5 m de profondeur, dont 60 forages primaires et 39 forages secondaires.

- **Méthode d'injection :**

L'injection a été réalisée suivant la méthode GIN pour les forages injectés entre le 04/07/2019 et le 19/08/2019 avec un coulis d'injection dont la formule est CI36 (E/C=0.65), la méthode d'injection fut changée à partir du 19/08/2019 nous sommes passé à la méthode classique dont la formule est CI36 A (E/C=0.60).

- **Coulis d'injection :**

Deux types de coulis ont été utilisés pour les travaux d'injection : CI36 (E/C=0.65), CI36 A (E/C=0.60).

Les paramètres d'injection (pression maximale, volume maximal et valeur GIN) sont montés sur les tableaux suivants :

Tableau 19 : Paramètres GIN.

| | Pression en Bar | Volume l/m | GIN=P*V |
|---|---|---|---|
| Tranches supérieures | 6 | 500 | 1500 |
| Tranches inférieures | 12 | 500 | 1500 |

Tableau 20 : Paramètres classiques.

| | Pression en Bar | Volume l/m |
|---|---|---|
| Tranches supérieures | 3 | 250 |
| Tranches inférieures | 6 | 250 |

**Représentation des Résultats des injections :**

**Partie amont :**

Le plot d'essai : constitué de 28 forages, la disposition et les résultats des injections sont démontrés dans le schéma et le tableau ci-après,

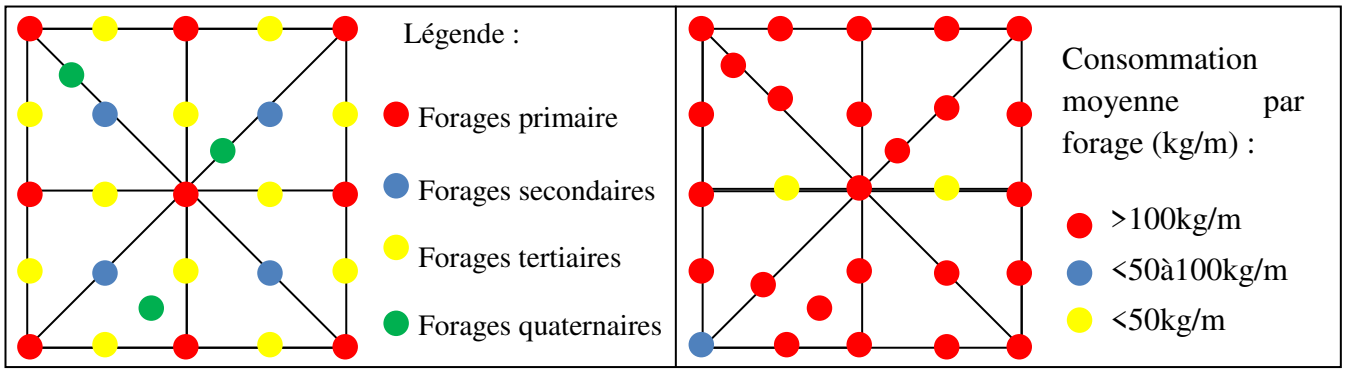



Schéma 2 : disposition et consommation moyenne par forage.

Tableau 21 : Absorption au niveau du plot d'essai dans les schistes partie amont.

| Travaux de consolidation fond de vallée partie amont | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Inf à 50 kg/m | Plot d'essai | | | | | |
| 50 à 100 kg/m | N°forage | Profondeur (m) | | Total volume en L | Total ciment en kg | Kg de ciment sec/m |
| 100 à 200 kg/m | | De 3.50 m à 6.50 m | De 0.50 m à 3.50 m | | | |
| | P01 | 93.2 | 386.3 | 479.5 | 493.02 | 82.17 |
| Sup à 200 kg/m | P02 | 611.8 | 1513 | 2124.8 | 2184.70 | 364.12 |
| | P03 | 889.4 | 1511.4 | 2400.8 | 2468.48 | 411.41 |
| | P06 | 1299.6 | 1500.9 | 2800.5 | 2879.45 | 479.91 |
| | P07 | 71.4 | 1506.9 | 1578.3 | 1622.80 | 270.47 |
| | P08 | 69.9 | 1511.2 | 1581.1 | 1625.67 | 270.95 |
| | P13 | 134.2 | 1625.9 | 1760.1 | 1809.72 | 301.62 |
| | P14 | 1506.1 | 1502 | 3008.1 | 3092.91 | 515.49 |
| | P15 | 595.7 | 1530.5 | 2126.2 | 2186.14 | 364.36 |
| | S02 | 855.8 | 750.3 | 1606.1 | 1651.38 | 275.23 |
| | S03 | 963.6 | 597.3 | 1560.9 | 1604.91 | 267.49 |
| | S08 | 539.5 | 1504.4 | 2043.9 | 2101.52 | 350.25 |
| | S09 | 1501.4 | 734.3 | 2235.7 | 2298.73 | 383.12 |
| | T01 | 708.2 | 1016.5 | 1724.7 | 1773.32 | 295.55 |
| | T02 | 824.3 | 1500.4 | 2324.7 | 2390.24 | 398.37 |
| | T05 | 82.1 | 1510.2 | 1592.3 | 1637.19 | 272.87 |
| | T06 | 581.3 | 1212.7 | 1794 | 1844.58 | 307.43 |
| | T07 | 269.6 | 636.9 | 906.5 | 932.06 | 155.34 |
| | T11 | 133.4 | 8.6 | 142 | 146.00 | 24.33 |
| | T12 | 66.1 | 5.2 | 71.3 | 72.31 | 12.22 |
| | T16 | 378.5 | 1500.6 | 1879.1 | 1932.08 | 322.01 |
| | T17 | 99.2 | 1224.2 | 1323.4 | 1360.71 | 226.79 |
| | T18 | 480.9 | 1124.7 | 1605.6 | 1650.87 | 275.15 |
| | T23 | 670.5 | 1383.5 | 2054 | 2111.91 | 351.99 |
| | T24 | 1293.4 | 245.6 | 1539 | 1582.39 | 263.73 |
| | Q01 | 905.3 | 110.7 | 1016 | 1044.64 | 174.11 |
| | Q02 | 235.4 | 1550.1 | 1785.5 | 1835.84 | 305.97 |
| | Q03 | 210 | 2310.3 | 2520.3 | 2591.35 | 431.89 |
| Total | - | - | - | 47584.40 | 48925.92 | - |
| | | | | | Moyenne | 291.23 |

Les injections se font de bas en remontant par passes.

Après le plot d'essai, les travaux ont été poursuivis dans la zone amont par la réalisation de 80 forages, dont 43 primaires et 37 secondaires.

4 forages de contrôle ont fait l'objet de carottage dont 3 avec essai d'eau. Les forages (FCV1, FCV2, FCV3, FCV4) ont été exécutés respectivement en tête des forages (S03, S08, S20 et P107).

**Partie aval :**

Constituée de 99 forages dont 60 primaires et 39 secondaires.

**Partie centrale :**

Constituée de 27 forages dont 09 primaires et 18 secondaires.

Tableau 22 : Résumé des résultats d'injection au fond de vallée.

| | Total mètre linéaire foré (m) | Total mètre linéaire injecté (m) | Total volume de coulis injecté ($m^3$) | Quantité de ciment utilisée (T) | Consommation moyenne de ciment sec (Kg /m) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Amont** | 648 | 629 | 200.7 | 206.6 | 318.8 |
| **Centrale** | 312 | 156 | 19.2 | 19.7 | 122 |
| **Aval** | 1039.5 | 990 | 82.7 | 89.2 | 90.1 |
| **Total** | 1999.5 | 1775 | 302.6 | 315.5 | 175.3 |

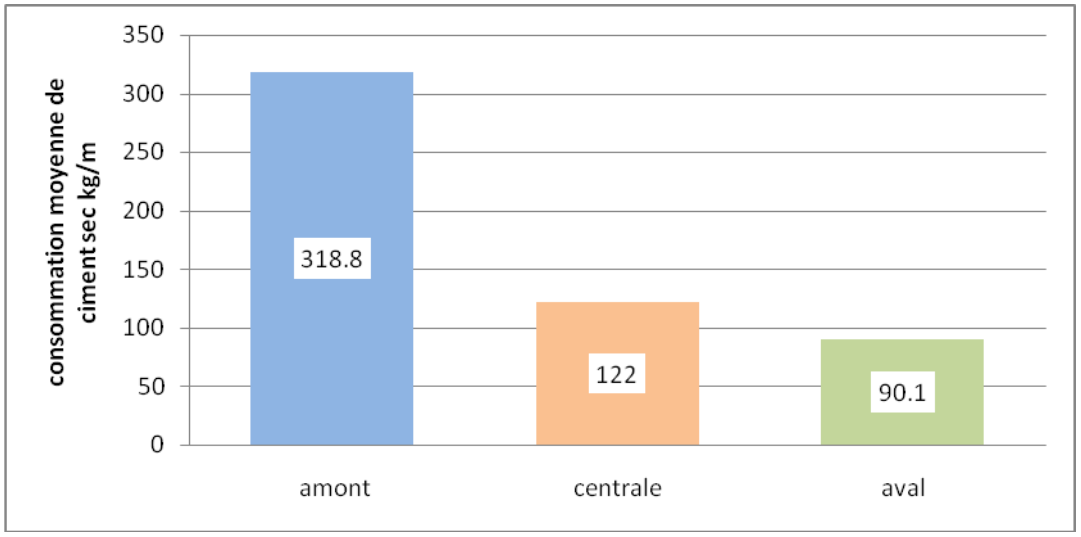



Figure 25 : Histogramme de consommation de ciment par partie en fond de vallée.

**Conclusion des injections en fond de vallée :**

On remarque une forte consommation de ciment dans les différentes formations, car c'est une zone de faiblesse, surtout à l'amont du barrage où plusieurs failles importantes ont été repérées.

### III.2.4.3 Rive gauche :

Cette rive est divisée en six zones schématisées sur le plan et réparties comme suit :

Zone 01 : du P-5 à P01. Zone 02 : du P01 à P05.

Zone 03 : du P05 à P10. Zone 04 : du P10 à P15.

Zone 05 : du P15 à P20. Zone 06 : du P25 à P30.

Plus le plot d'essai N°01 (du P20 à P23) et le plot d'essai N°02 (du P23 à P25) ont fait l'objet d'un rapport.

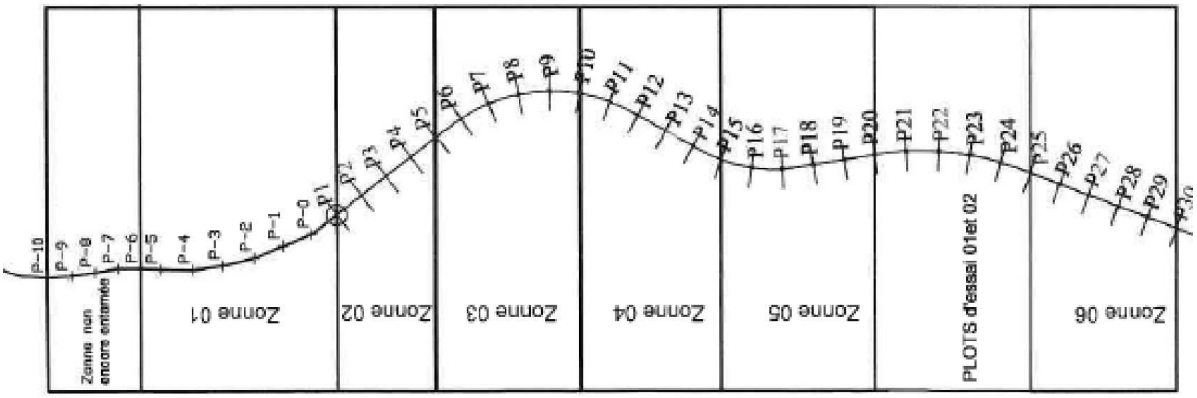



Figure 26 : Situation des zones et plots d'essais sur la route de col.

- **Moyen d'injection :**

Pour la réalisation des injections, une centrale de fabrication de coulis automatique de marque O.CUOGHI TW500 a été utilisée, équipée d'un malaxeur d'une capacité de 1 m³, et un agitateur de 2 m³. Cette centrale est alimentée en ciment par un silo de 50T disposé à proximité immédiate à l'aide d'une vis à moteur, et en bentonite par un agitateur de 3 m³ à l'aide d'une pompe.

Le coulis préparé se fait transférer d'une minicentrale marque TECNIWELL modèle TWMG75 vers une presse d'injection marque TECNIWELL modèle TWG7 équipé d'un agitateur de 400 L disposé à proximité du forage.

- **Coulis d'injection :**

Un seul type de coulis a été utilisé pour les travaux d'injection : CI54(E/C=0.80).

- **Méthode d'injection :**

L'injection a été réalisée suivant la méthode GIN, les paramètres d'injection (pression maximale, volume maximal et valeur GIN maximale) sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Paramètres GIN.

| profondeur | Pmax en Bar | Vmax l/m | GIN=P*V Bar*l/m |
|---|---|---|---|
| Du terrain naturel à la côte 125.00 NGA | remplissage | - | - |
| Sous la côte 125.00 NGA | 30 | 500 | 2250 |

## Travaux et résultats d'injections :

**●Zone N°01 (entre P-05 et P01) :**

Cette zone s'étend sur une longueur de 72 m, constituée de sept forages primaires, six forages secondaires et douze forages tertiaires. Leurs profondeurs varient entre 31 et 50 m et qui ont été entrepris le 05/07/2020 et achevés le 09/08/2020.

Tableau 24 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°01 rive gauche.

| Voile d'étanchéité Rive gauche | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°01 | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.50 | | Coulis CI54 |
| N°Forage | Profondeur totale (m) | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisée (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) |
| P-05 | 31.5 | 6180.3 | 5653.3 | 169.6 | 113.1 | 179.47 |
| P-04 | 31.5 | 372.9 | 323.7 | 9.7 | 6.5 | 10.28 |
| P-03 | 37 | 4576.2 | 3972.1 | 119.2 | 79.4 | 107.35 |
| P-02 | 41.4 | 4770 | 4425.6 | 124.2 | 82.8 | 106.90 |
| P-01 | 46.2 | 2891.3 | 2509.6 | 75.3 | 50.2 | 54.32 |
| P00 | 49.6 | 839.9 | 729 | 21.9 | 14.6 | 14.70 |
| P01 | 50.5 | 252.4 | 1868.3 | 56 | 37.4 | 37.00 |
| S-05 | 31.7 | 630.4 | 547.2 | 16.4 | 10.9 | 17.26 |
| S-04 | 34.9 | 1769.6 | 1536 | 46.1 | 30.7 | 44.01 |
| S-03 | 39.2 | 3631.5 | 3152.1 | 94.6 | 63 | 80.41 |
| S-02 | 43.8 | 3530.9 | 3064.8 | 91.9 | 61.3 | 69.97 |
| S-01 | 47.4 | 3507 | 3044.1 | 91.3 | 60.9 | 64.22 |
| S00 | 47.6 | 2780.9 | 2413.8 | 72.4 | 48.3 | 50.71 |
| T-11 | 31.6 | 728.8 | 632.6 | 19 | 12.7 | 20.02 |
| T-10 | 31.8 | 543.1 | 471.4 | 14.1 | 9.4 | 14.82 |
| T-09 | 36.9 | 818.9 | 710.8 | 21.3 | 14.2 | 19.26 |
| T-08 | 38.4 | 1240.9 | 1098.4 | 32.3 | 21.5 | 28.60 |
| T-07 | 38.1 | 3765.6 | 3268.5 | 98.1 | 65.4 | 85.79 |
| T-06 | 39.3 | 4135.4 | 3589.5 | 107.7 | 71.8 | 91.34 |
| T-05 | 42.6 | 1461.2 | 1268.3 | 38 | 25.4 | 29.77 |
| T-04 | 45 | 3287.6 | 2853.6 | 85.6 | 57.1 | 63.41 |
| T-03 | 47.3 | 911.9 | 791.5 | 23.7 | 15.8 | 16.73 |
| T-02 | 48.5 | 5081.7 | 4410.9 | 132.3 | 88.2 | 90.95 |
| T-01 | 48.6 | 2843.1 | 2467.8 | 74 | 49.4 | 50.78 |
| T00 | 48.5 | 2251.3 | 1954.1 | 58.6 | 39.1 | 40.29 |
| TOTAL | - | 62802.8 | 56757 | 1693.3 | 1129.1 | - |

**Interprétation des résultats :**

**Forages primaires :**

Les forages P00 et P-04 remplissent le critère de fermeture avec une moyenne de consommation en ciment sec inférieure à 25 kg/m.

**Forages secondaires :**

Très forte absorption, sur 22 passes injectés, 7 tranches seulement ont enregistrés au niveau des tranches inférieures des forages.

**Forages tertiaires :**

Très forte absorption, le forage T-10 et T-03 montrent des consommations inférieures à 50 kg/passe et répondent au deuxième critère de fermeture.

Tableau 25 : Résumé des travaux dans la zone 01.

| série | M injecté | Volume (l) | Ciment (kg) | Bentonite (kg) | Adjuvant (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 135.1 | 21070.4 | 18280.9 | 548.4 | 365.6 | 135.3 |
| Forages secondaires | 115 | 15085.8 | 13088.6 | 392.7 | 261.8 | 113.8 |
| Forages tertiaires | 226 | 25471 | 22098.9 | 663 | 442 | 97.8 |
| Total | 476.1 | 62627.2 | 53468.3 | 1604 | 1069.4 | |
| | | 61.6 m³ | 53.5 T | 16.9 T | 1.07 T | |

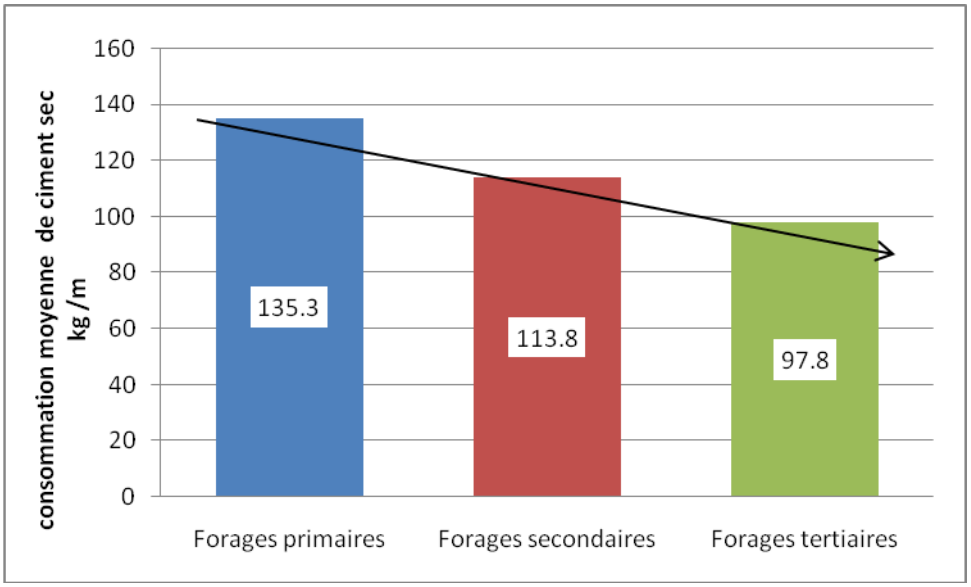



Figure 27 : Consommation de ciment par forages zone N°01 rive gauche.

Le diagramme des consommations montre une légère amélioration du sol, une consommation régressive a été constatée depuis la phase primaire à la phase tertiaire. Mais qui reste insuffisante et qui ne remplisse pas les critères de fermetures.

**CONCLUSION :**

Selon les résultats obtenus lors de la troisième phase de traitement, il est nécessaire d'exécuter une série quaternaire recoupant les intervalles à fortes absorptions.

Une forte absorption enregistrée lors de l'injection de la tranche inférieure de 26 à 31 m de profondeur du forage P-05, ceci explique que le substratum imperméable n'a pas encore été atteint. De ce fait, nous suggérons un prolongement du voile vers la digue de col par un forage primaire P-10 en carottage, afin de déterminer avec exactitude la profondeur de l'horizon marneux imperméable.

- **Zone N°02 (entre p01 et p05) :**

La zone s'étend sur une longueur de 48 m, cernée par les deux forages carottés P01 et P05, elle est constituée de cinq forages primaires, quatre forages secondaires et huit forages tertiaires de profondeurs variantes entre 50 et 55 m, entrepris le 20/01/2020 et achevé le 15/06/2020.

Tableau 26 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°02 rive gauche.

| Voile d'étanchéité Rive gauche | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°02 | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.50 | | Coulis CI54 |
| N°Forage | Profondeur totale (m) | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisée (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) |
| P01 | 50.5 | 2152.4 | 1868.3 | 56 | 37.4 | 37.00 |
| P02 | 53.7 | 1953.4 | 1695.5 | 50.9 | 33.9 | 31.57 |
| P03 | 54.2 | 2859 | 2481.6 | 74.4 | 49.6 | 45.79 |
| P04 | 55 | 1295 | 1124.1 | 33.7 | 22.5 | 20.44 |
| P05 | 55 | 1746.8 | 1516.2 | 45.5 | 30.3 | 27.57 |
| S01 | 53.6 | 1918.7 | 1665.4 | 50 | 33.3 | 31.07 |
| S02 | 54 | 1826.9 | 1585.7 | 47.6 | 31.7 | 29.36 |
| S03 | 54.6 | 1436.2 | 1246.6 | 37.4 | 24.9 | 22.83 |
| S04 | 55.1 | 1999.9 | 1735.9 | 52.1 | 34.7 | 31.50 |
| T01 | 53.6 | 931.8 | 808.8 | 24.3 | 16.2 | 15.09 |
| T02 | 53.6 | 886.2 | 769.2 | 23.1 | 15.4 | 14.35 |
| T03 | 53.8 | 760.7 | 660.3 | 19.8 | 13.2 | 12.27 |
| T04 | 54.1 | 718.2 | 623.4 | 18.7 | 12.5 | 11.52 |
| T05 | 54.4 | 831.6 | 721.8 | 21.7 | 14.4 | 13.27 |
| T06 | 54.7 | 2500.2 | 2170.2 | 65.1 | 43.4 | 39.67 |
| T07 | 55 | 1574.8 | 1366.9 | 41 | 27.3 | 24.85 |
| T08 | 55.1 | 2047.9 | 1777.6 | 53.3 | 35.6 | 32.26 |
| TOTAL | - | 27439.7 | 23817.5 | 714.6 | 476.3 | - |

**Interprétation des résultats :**

**Forages primaires :**

La consommation moyenne des forages secondaires est entre 30 et 80 kg de ciment sec/m. La consommation la plus élevée a été enregistrée au niveau des passes inférieurs du

forage P03. Sur 30 passes injectés 19 tranches répondent au critère de fermeture de 50 kg de ciment/passe.

Les forages montrent une consommation inférieure à 50 kg de ciment par passe dans les tranches inférieures à l'exception du forage P03 qui montre une faible absorption dans les tranches supérieures.

**Forages secondaires :**

Les forages secondaires montrent une consommation supérieure à 25 kg de ciment sec/m a l'exception de 5 passes sur 24, la consommation est inférieure à 50 kg de ciment par passe.

**Forages tertiaires :**

T01 à T05 répondent aux deux critères de fermeture préconisés dans la note technique (voir 25 kg/m et 50 kg/m)

Une forte absorption a été enregistrée au niveau de la tranche supérieure du forage T06, la tranche inférieure du forage T07 et deux passes au niveau du forage T08.

Tableau 27 : Résumé des travaux dans la zone 02.

| série | M injecté | Volume (l) | Ciment (kg) | Bentonite (kg) | Adjuvant (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 147.5 | 9032.8 | 7836.9 | 235.1 | 156.7 | 53.1 |
| Forages secondaires | 120 | 6451.2 | 5597.1 | 167.9 | 111.9 | 46.6 |
| Forages tertiaires | 240 | 8349 | 7243.7 | 217.3 | 144.9 | 40.7 |
| Total | 507.5 | 23833 | 20677.7 | 620.3 | 413.6 | |
| | | 23.8 m³ | 20.7 T | 0.62 T | 0.41 T | |

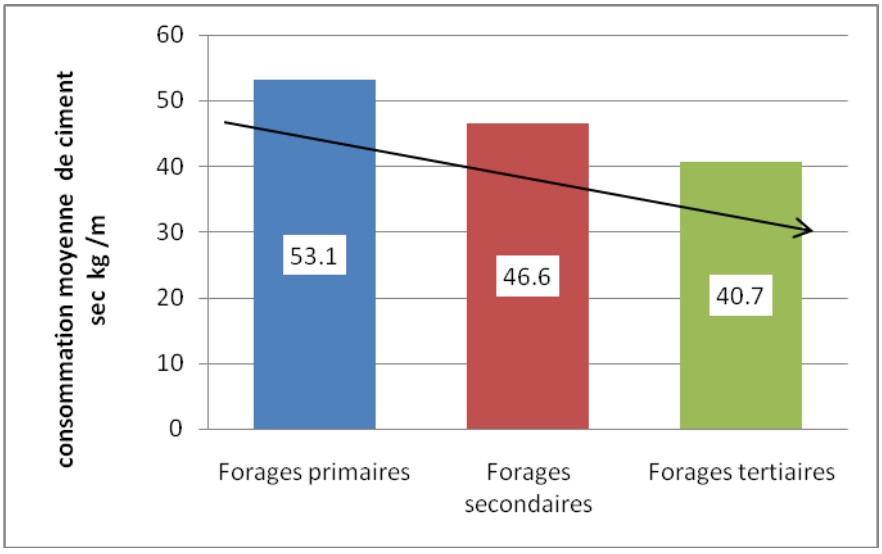



Figure 28 : Consommation de ciment par forages zone N°02 rive gauche.

Le diagramme des consommations montre une nette amélioration du sol, une consommation régressive a été constatée depuis la phase primaire à la phase tertiaire, mais qui reste insuffisante et qui ne remplisse pas les critères de fermetures.

**CONCLUSION :**

L'absorption moyenne enregistrée dans les forages tertiaires est de l'ordre de 30.2 kg de ciment sec/m linéaire qui reste supérieure à celle préconisée qui est de 25 kg/m.

Selon les deux critères de fermeture, nous suggérons la réalisation de forages quaternaires entre les forages T06 et P05.

- **Zone N°03 (entre P05 et P10) :**

La zone s'étend du forage P05 au forage P10 sur une longueur de 60 m, les deux forages bordant cette zone (P05-P10) ont fait l'objet de carottage avec essais d'eau permettant de dessiner le tracé du toit du substratum imperméable et de déterminer les profondeurs à atteindre pour chaque forage des trois séries qui varient entre 55 et 96 m. Cette partie est constituée de six forages primaires, cinq forages secondaires et dix forages tertiaires, entrepris le 10/01/2020 et achevés le 15/05/2020.

Tableau 28 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°03 rive gauche.

| Voile d'étanchéité Rive gauche | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°03 | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.50 | | Coulis CI54 |
| N°Forage | Profondeur totale (m) | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisée (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) |
| P05 | 55 | 1746.8 | 1516.2 | 45.5 | 30.3 | 27.57 |
| P06 | 65.5 | 4670.3 | 4053.8 | 121.6 | 81.1 | 61.89 |
| P07 | 78.9 | 2959.7 | 2569 | 77.1 | 51.4 | 32.56 |
| P08 | 85.8 | 1655.3 | 1436.8 | 43.1 | 28.7 | 16.75 |
| P09 | 90.9 | 1739.5 | 1509.9 | 45.3 | 30.2 | 16.61 |
| P10 | 92 | 2612.9 | 2268 | 68 | 45.4 | 24.65 |
| S05 | 60.4 | 1912.3 | 1660.3 | 49.8 | 33.2 | 27.49 |
| S06 | 70.7 | 3402 | 2952.9 | 88.6 | 59.1 | 41.77 |
| S07 | 80.8 | 6123.9 | 5315.5 | 159.5 | 106.3 | 65.79 |
| S08 | 85.7 | 3255.2 | 2825.5 | 84.8 | 56.5 | 32.97 |
| S09 | 95.7 | 4498.6 | 3904.8 | 117.1 | 78.1 | 40.80 |
| T09 | 55.3 | 6410.6 | 5564.4 | 166.9 | 111.3 | 100.62 |
| T10 | 60.1 | 4272 | 3708.1 | 111.2 | 74.2 | 61.70 |
| T11 | 65.7 | 3167.4 | 2749.3 | 82.5 | 55 | 41.85 |
| T12 | 70.8 | 2431.3 | 2110.4 | 63.3 | 42.2 | 29.81 |
| T13 | 75.8 | 5895.4 | 5117.2 | 153.5 | 102.3 | 67.51 |
| T14 | 80.8 | 5554.7 | 4821.4 | 144.6 | 96.4 | 59.67 |
| T15 | 85.8 | 7850.4 | 6814.1 | 204.4 | 136.3 | 79.42 |
| T16 | 90.8 | 2986.8 | 2592.5 | 77.8 | 51.9 | 28.55 |
| T17 | 90.8 | 4032.3 | 3500 | 105 | 70 | 38.55 |
| T18 | 95.7 | 1586.2 | 1376.8 | 41.3 | 27.5 | 14.39 |
| TOTAL | - | 78763.6 | 68366.9 | 2050.9 | 1367.4 | - |

**Interprétation des résultats :**

**Forages primaires :**

Les forages P08 et P09 répondent au critère d'arrêt à 25 kg de ciment sec/m. La plus grande consommation a été enregistrée au niveau du P06. À l'exception de quelques passes, le reste inférieur à 50 kg/passe.

**Forages secondaires :**

Une forte consommation a été enregistrée au niveau des forages secondaires qui varie de 42 à 92 kg de ciment sec/m. Sur un ensemble de 53 passes injectés, 16 passes ne répondent pas au critère de fermeture.

**Forages tertiaires :**

T18 répond au critère de fermeture, sur un ensemble de 103 passes injectés, 42 tranches ne répondent pas au critère de fermeture.

Tableau 29 : Résumé des travaux dans la zone 03.

| série | M injecté | Volume (l) | Ciment (kg) | Bentonite (kg) | Adjuvant (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 314.5 | 14057.7 | 12196.6 | 365.9 | 243.9 | 38.8 |
| Forages secondaires | 270 | 17782 | 15427.8 | 462.8 | 308.6 | 57.1 |
| Forages tertiaires | 515 | 41348.4 | 35874.2 | 1076.2 | 717.5 | 69.7 |
| Total | 1099 | 73188.1 | 63498.7 | 1905 | 1270 | |
| | | $73.2m^3$ | 63.5T | 1.91T | 1.27T | |

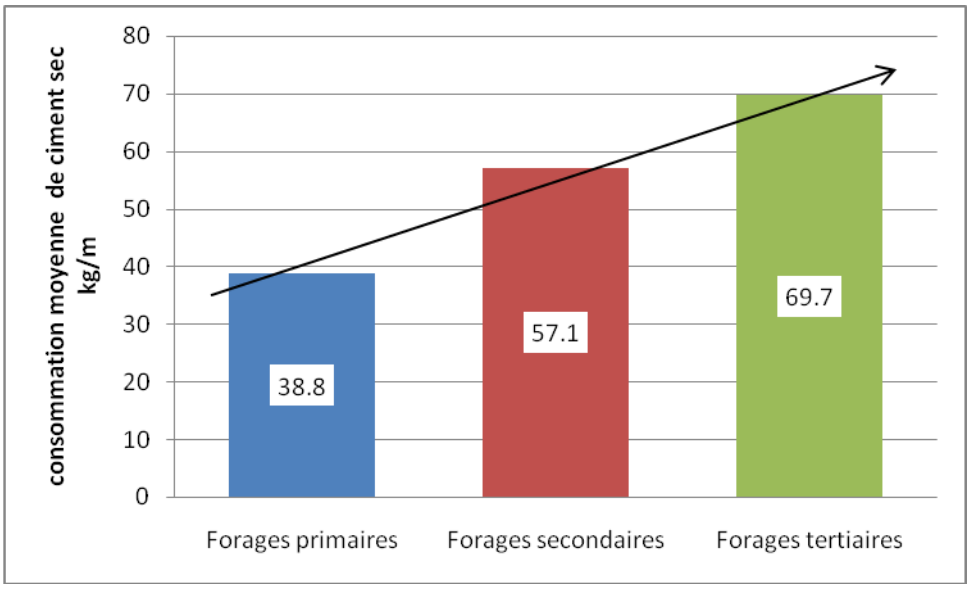



Figure 29 : Consommation de ciment par forages de zone N°03 rive gauche.

Au terme des résultats obtenus lors des travaux de forage et injection dans la zone comprise entre P05 et P10, nous avons constaté une montée en consommation depuis la phase primaire à la phase tertiaire. La consommation moyenne de tous les forages dans cette zone est supérieure aux critères préconisés soit 25 kg de ciment par mètre linéaire.

**CONCLUSION :**

La lecture des consommations enregistrées nous renseigne sur l'état de cette zone, qui reste fortement perméable et qui nécessite un traitement supplémentaire par des forages quaternaires.

- **Zone N°04 (entre P10 et P15) :**

La zone traitée s'étend sur une longueur de 60 m, limitée de part et d'autre par les deux forages P10 et P15 qui ont fait l'objet de carottage avec essais d'eau, afin de déterminer les profondeurs du substratum étanche dans lequel le voile sera ancré. La zone est constituée de six forages primaires, cinq secondaires et dix forages tertiaires, de profondeurs qui varient de 92 à 96 m, entrepris le 14/05/2020 et achevé le 16/06/2020. Les résultats obtenus sont montrés dans ce qui suit :

Tableau 30 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°04 rive gauche.

| Voile d'étanchéité Rive gauche | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°04 | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.50 | | Coulis CI54 |
| N°Forage | Profondeur totale (m) | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisée (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) |
| P10 | 92 | 2612.9 | 2268 | 68 | 45.4 | 24.65 |
| P11 | 95.4 | 1602.1 | 1390.6 | 41.7 | 27.8 | 14.58 |
| P12 | 95.4 | 4427.8 | 3843.3 | 115.3 | 76.9 | 40.29 |
| P13 | 95.6 | 4203.5 | 3648.6 | 109.5 | 73 | 38.17 |
| P14 | 95.4 | 4239.7 | 3680 | 110.4 | 73.6 | 38.57 |
| P15 | 90.5 | 4965 | 4309.6 | 129.3 | 86.2 | 47.62 |
| S10 | 95.6 | 3127.9 | 2716.6 | 81.5 | 54.3 | 28.42 |
| S11 | 95.4 | 3070.9 | 2665.5 | 80 | 53.3 | 27.94 |
| S12 | 95.5 | 2811.6 | 2440.4 | 73.2 | 48.8 | 25.55 |
| S13 | 95.6 | 2214 | 1921.7 | 57.7 | 38.4 | 20.10 |
| S14 | 95.3 | 2131.5 | 1850.1 | 55.5 | 37 | 19.41 |
| T19 | 95.7 | 3230.2 | 2803.8 | 84.1 | 56.1 | 29.30 |
| T20 | 95.5 | 1869.3 | 1622.5 | 48.7 | 32.5 | 16.99 |
| T21 | 95.4 | 1896.1 | 1645.8 | 49.4 | 32.9 | 17.25 |
| T22 | 95.4 | 1926.8 | 1672.4 | 50.2 | 33.4 | 17.53 |
| T23 | 95.4 | 2880.4 | 2500.2 | 75 | 50 | 26.21 |
| T24 | 95.5 | 1985.8 | 1723.7 | 51.7 | 34.5 | 18.05 |
| T25 | 95.4 | 2346.9 | 2037.1 | 61.1 | 40.7 | 21.35 |
| T26 | 95.4 | 1884.2 | 1635.5 | 49.1 | 32.7 | 17.14 |
| T27 | 95.4 | 2123.1 | 1842.8 | 55.3 | 36.9 | 19.32 |
| T28 | 95.6 | 3297.5 | 2862.2 | 85.9 | 57.2 | 29.94 |
| TOTAL | - | 58847.2 | 51080.4 | 1532.6 | 1021.6 | - |

**Interprétation des résultats :**

**Forages primaires :**

Seul le forage P11 qui répond au critère de confinement.

Les passes inférieures montrent une faible consommation en ciment sec à l'exception du forage P15.

Les fortes absorptions ont été enregistrées entre les côtes 125 et 80 NGA.

**Forages secondaires :**

Les forages S13 et S14 répondent au critère de fermeture.

Les forages secondaires S10, S11 et S12 montrent une consommation de 30 à 37 kg/m.

**Forages tertiaires :**

Les forages tertiaires montrent une faible consommation, elle varie de 19 à 39 kg de ciment/m.

60% des forages répondent au critère de fermeture de 25 kg de ciment par mètre linéaire.

95% des passes injectées montrent une consommation de ciment sec inférieure à 50 kg.

Tableau 31 : Résumé des travaux dans la zone 04.

| série | M injecté | Volume (l) | Ciment (kg) | Bentonite (kg) | Adjuvant (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 412 | 20741.7 | 17995.7 | 539.9 | 359.9 | 43.7 |
| Forages secondaires | 350 | 12079.3 | 10480.1 | 314.4 | 209.6 | 29.9 |
| Forages tertiaires | 700 | 21421.1 | 18585.1 | 557.6 | 371.7 | 26.6 |
| Total | 1462 | 54242.1 | 47060.9 | 1411.8 | 941.2 | |
| | | 54.2 m³ | 47.1 T | 1.41 T | 0.94 T | |

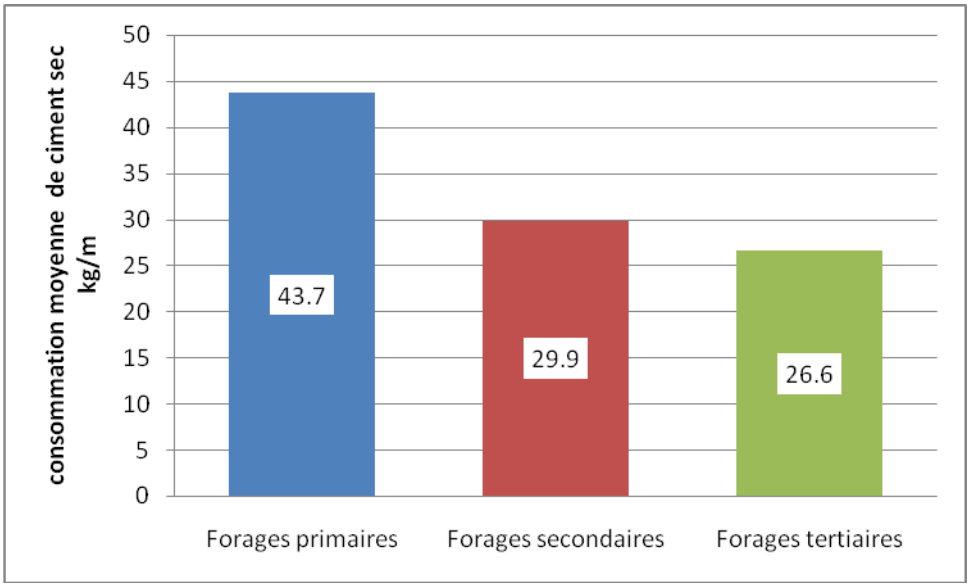



Figure 30 : Consommation de ciment par forage zone N°04 rive gauche.

Le diagramme montre une décroissance des consommations de ciment de la phase primaire (43.7 kg/m) à la phase tertiaire (26.6 kg/m).

**CONCLUSION :**

À l'issu des résultats obtenus lors des différentes phases de traitement, dont les consommations sont en grande partie inférieures à 25 kg/m. La consommation la plus élevée des forages tertiaires est de l'ordre de 38.8 kg par mètre linéaire.

La zone peut être considérée comme confinée.

Il est possible de rajouter des forages quaternaires adjacents aux passes à consommation supérieure à 50 kg pour parvenir à une fermeture plus serrée.

- **Zone N°05 (entre P15 et P20) :**

La zone située entre le forage P15 et le forage P20 du plot d'essai N°02. La partie traitée s'étend sur une longueur de 60 m, constituée d'une série de six forages primaires, une série de cinq forages secondaires et une série de dix forages tertiaires, avec des profondeurs variant de 90 m à 98 m.

Entrepris le 07/12/2019 et achevée le 18/07/2020.

Tableau 32 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°05 rive gauche.

| Voile d'étanchéité Rive gauche | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°05 | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.50 | | Coulis CI54 |
| N°Forage | Profondeur totale (m) | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisée (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) |
| P15 | 90.5 | 4965 | 4309.6 | 129.3 | 86.2 | 47.62 |
| P16 | 90 | 2024 | 1756.8 | 52.7 | 35.1 | 19.52 |
| P17 | 90 | 3219.2 | 2794.24 | 83.8 | 55.9 | 31.05 |
| P18 | 90 | 2995.8 | 2600.3 | 78 | 52 | 28.89 |
| P19 | 96 | 2560.4 | 2222.4 | 66.7 | 44.4 | 23.15 |
| P20 | 90 | 9138.1 | 7938.1 | 238 | 158.6 | 88.20 |
| S15 | 95 | 2166.7 | 1880.7 | 56.4 | 37.6 | 19.80 |
| S16 | 94 | 2253.5 | 1956 | 58.7 | 39.1 | 20.81 |
| S17 | 97.6 | 1808.9 | 1570.1 | 47.1 | 31.4 | 16.09 |
| S18 | 100.6 | 2490 | 2161.3 | 64.8 | 43.2 | 21.48 |
| S19 | 95.4 | 2700.9 | 2344.4 | 70.3 | 46.9 | 24.57 |
| T29 | 95.2 | 5058.1 | 4390.4 | 131.7 | 87.8 | 46.12 |
| T30 | 94.9 | 1965.3 | 1705.9 | 51.2 | 34.1 | 17.98 |
| T31 | 94.4 | 1762.1 | 1529.5 | 45.9 | 30.6 | 16.20 |
| T32 | 93.6 | 1831 | 1589.3 | 47.7 | 31.8 | 16.98 |
| T33 | 92.9 | 1794.1 | 1557.3 | 46.7 | 31.1 | 16.76 |
| T34 | 92.3 | 2255.1 | 1957.4 | 58.7 | 39.1 | 21.21 |
| T35 | 96.7 | 1887.5 | 1638.3 | 49.2 | 32.8 | 16.94 |
| T36 | 96.2 | 1941.2 | 1684.9 | 50.5 | 33.7 | 17.51 |
| T37 | 95.6 | 1921.9 | 1668.2 | 50 | 33.4 | 17.45 |
| T38 | 95.1 | 2019.3 | 1752.7 | 52.6 | 35.1 | 18.43 |
| TOTAL | - | 58758.1 | 51007.84 | 1530 | 1019.9 | - |

**Interprétation des résultats :**

**Forages primaires :**

Seul le forage P16 répond au critère de confinement.

Le forage P15 montre une faible absorption dans les tranches inférieures à partir de la côte 100 NGA.

**Forages secondaires :**

Une faible consommation (inférieur à 25 kg/m) à l'exception des forages S18 et S19 où la consommation moyenne dépasse de très peu le critère préconisé.

**Forages tertiaires :**

Toutes les tranches injectées répondent au critère de fermeture avec une faible consommation inférieure à 50 kg/passe à l'exception des passes supérieures du forage T29.

Tableau 33 : Résumé des travaux dans la zone 05.

| série | M injecté | Volume (l) | Ciment (kg) | Bentonite (kg) | Adjuvant (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 546 | 23414.1 | 20314.3 | 609.4 | 406.3 | 49.5 |
| Forages secondaires | 478.5 | 10449.9 | 9066.4 | 272.0 | 181.3 | 24.8 |
| Forages tertiaires | 946.9 | 20404.3 | 17703 | 531.1 | 354.1 | 24.6 |
| Total | 1971.4 | 54268.3 | 47083.7 | 1412.5 | 941.7 | |
| | | 54.3 m³ | 47.1 T | 1.41 T | 0.94 T | |

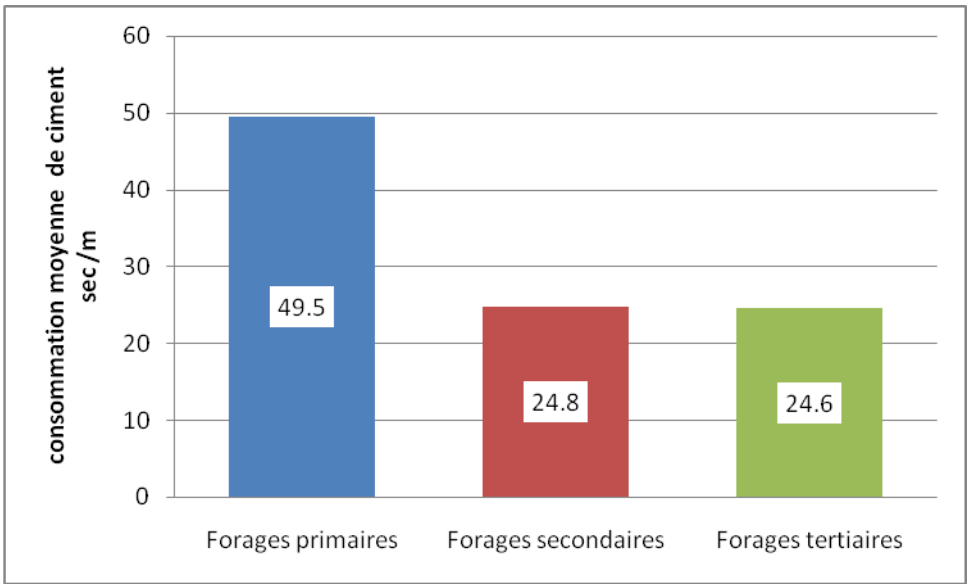



Figure 31 : Consommation de ciment par forages zone N°05 rive gauche.

Il a été constaté une nette amélioration dans les deux phases secondaire et tertiaire, suite à une diminution d'une quantité moyenne de 25 kg de ciment sec/m par rapport aux résultats obtenus dans la phase de traitement.

**CONCLUSION :**

À l'issu des résultats obtenus lors des différentes phases de traitement, dont les consommations sont inférieurs à 25 kg de ciment sec/m (forages secondaires et tertiaires), la zone est considérée comme confinée.

- **Zone N°06 (entre P25 et P30) :**

La zone est située entre le forage P25 du plot d'essai N°01 et le forage P30. La partie traitée s'étend sur une longueur de 60 m, constituée d'une série de six forages primaires, cinq secondaires et dix tertiaires, avec des profondeurs variant de 70 à 81 m.

Entrepris le 10/08/2020 et achevée le 05/09/2020.

Tableau 34 : Résumé des forages d'injections dans la zone N°06 rive gauche.

| Voile d'étanchéité Rive gauche | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°06 | | | | | | |
| Méthode d'injection | | GIN | | E/C=0.80 | | Coulis CI54 |
| N°Forage | Profondeur totale (m) | Volume injecté (L) | Ciment sec utilisé (Kg) | Bentonite utilisée (Kg) | Adjuvant utilisé (kg) | Moyenne en ciment sec (Kg/m) |
| P25 | 79 | 2790.3 | 2469 | 49.4 | 0 | 31.25 |
| P26 | 78 | 2382.3 | 2067.8 | 62 | 41.4 | 26.51 |
| P27 | 74.5 | 2510.9 | 2179.4 | 65.4 | 43.6 | 29.25 |
| P28 | 74.3 | 2980.4 | 2587 | 77.6 | 51.7 | 34.82 |
| P29 | 74.4 | 3149.4 | 2733.7 | 82 | 54.7 | 36.74 |
| P30 | 70 | 4484.5 | 3892.5 | 116.8 | 77.9 | 55.61 |
| S25 | 80.6 | 4782.2 | 4150.9 | 124.5 | 83 | 51.50 |
| S26 | 74.8 | 1634.5 | 1418.7 | 42.6 | 28.4 | 18.97 |
| S27 | 74.4 | 1556.3 | 1350.9 | 40.5 | 27 | 18.16 |
| S28 | 74.3 | 1651.5 | 1433.5 | 43 | 28.7 | 19.29 |
| S29 | 75.1 | 1456.2 | 1264 | 37.9 | 25.3 | 16.83 |
| T49 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| T50 | 80.3 | 1886.3 | 1637.3 | 49.1 | 32.7 | 20.39 |
| T51 | 79.9 | 2700.7 | 2344.2 | 70.3 | 46.9 | 29.34 |
| T52 | 74.6 | 1288.8 | 1118.7 | 33.6 | 22.4 | 15.00 |
| T53 | 74.4 | 1967.4 | 1707.7 | 51.2 | 34.2 | 22.95 |
| T54 | 74.3 | 3592.5 | 3118.3 | 93.5 | 62.4 | 41.97 |
| T55 | 74.3 | 4159.7 | 3610.6 | 108.3 | 72.2 | 48.59 |
| T56 | 74.4 | 2348.9 | 2038.8 | 61.2 | 40.8 | 27.40 |
| T57 | 74.7 | 3547 | 3078.8 | 92.4 | 61.6 | 41.22 |
| T58 | 75.4 | 4202.9 | 3648.1 | 109.4 | 73 | 48.38 |
| TOTAL | - | 55072.7 | 47849.9 | 1410.7 | 907.9 | - |

**Interprétation des résultats :**

**Forages primaires :**

Les forages montrent une consommation de 30 à 50 kg de ciment sec/m. Sur 72 tranches injectées, 21 passes ont montré une absorption moyenne supérieure à 50 kg.

**Forages secondaires :**

Ils montrent une faible consommation à l'exception du forage S25. Le forage S25 montre une forte absorption entre les côtes 105 et 90 NGA.

**Forages tertiaires :**

Les forages T50 et T52 répondent aux critères de fermetures prescrits. Le forage T49 n'a pas encore été réalisé vu sa situation dans la zone de contrainte des riverains.

Tableau 35 : Résumé des travaux dans la zone 06.

| série | M injecté | Volume (l) | Ciment (kg) | Bentonite (kg) | Adjuvant (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Forages primaires | 366 | 17332.1 | 15037.5 | 451.1 | 300.7 | 41.1 |
| Forages secondaires | 305 | 10285.7 | 8924 | 267.7 | 178.5 | 29.3 |
| Forages tertiaires | 555 | 7430.1 | 6446.6 | 193.4 | 128.9 | 11.6 |
| Total | 1226 | 35048.1 | 30408 | 912.2 | 608.2 | |
| | | 35 m³ | 30.4 T | 0.91 T | 0.61 T | |

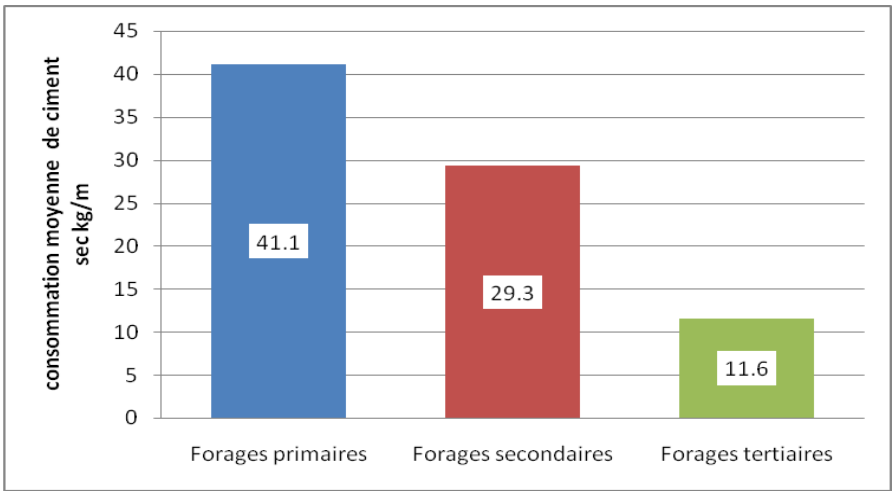



Figure 32 : Consommation de ciment par forages zone N°06 rive gauche.

Il a été constaté une nette amélioration dans les différentes phases de traitement, suite à une diminution d'une quantité moyenne de 40 kg de ciment sec/m, par rapport aux résultats obtenus dans la phase de traitement primaire à la phase de traitement tertiaire.

**CONCLUSION :**

À l'issu des résultats obtenus lors des différentes phases de traitement, dont les consommations sont inférieures à 25 kg de ciment sec/m (forages tertiaires), la zone est considérée comme confinée.

Tableau 36 : Résultats globaux des travaux réalisés au niveau de la piste d'accès à la digue de col.

| | M foré | M injecté | Volume injecté (l) | Quantité de ciment (kg) | Moyenne (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Zone N°01 | 1023.9 | 476.1 | 61627.2 | 53468.3 | 112.3 |
| Zone N°02 | 869.5 | 480 | 21893.8 | 18995.2 | 39.6 |
| Zone N°03 | 1578 | 1070.5 | 71700.7 | 62208.2 | 58.1 |
| Zone N°04 | 1904.1 | 1395 | 51966 | 45086.1 | 32.3 |
| Zone N°05 | 1880.9 | 1430 | 49442.1 | 42896.4 | 30 |
| Plot d'essai N°02 | 1437 | 1120 | 38493.2 | 30794.6 | 27.5 |
| Zone entre les deux plots | 345 | 282 | 7290 | 5832 | 20.7 |
| Plot d'essai N°01 | 1342 | 1147 | 33336.7 | 26669.4 | 23.3 |
| Zone N°06 | 1432.4 | 1158 | 32417.8 | 28303.8 | 24.4 |
| Total | 11812.8 | 8558.6 | 368.2 m³ | 314.3 T | - |

**Conclusion de la rive gauche :**

Les zones 01 et 03 compris respectivement entre les forages P-05/P01 et P05/P10, nécessitent des injections supplémentaires (serrage de la maille de traitement par des forages quaternaires), car le terrain n'est pas totalement étanche puisque cette partie est fissurée.

La zone 06 comprise entre les forages P25/P30 est considérée comme étant confinée (imperméable) au regard des consommations enregistrées et du critère de fermeture (consommation de ciment sec <25 kg/m), zone étanche.

Les zones 02,04 et 05 montrent des consommations moyennes légèrement supérieures au critère de fermeture préconisé dans la note technique citée précédemment, a nécessite un traitement supplémentaire au droit des passes à consommation de ciment sec supérieure à 50 kg/m. Cette zone est peu perméable.

## Conclusion générale :

La rive droite a nécessite des injections supplémentaires, car le terrain n'est pas totalement étanche, le critère de fermeture (consommation de ciment sec <25 kg/m), n'est pas atteint.

En fond de vallée, on remarque une forte consommation de ciment dans les différentes formations, car c'est une zone de faiblesse surtout l'amont du barrage où plusieurs failles importantes ont été repérées.

En rive gauche, une partie est étanche (zone 06) car elle respecte le critère de fermeture, l'autre partie (zones 1, 2, 3,4 et 5) nécessite des injections supplémentaires, car le terrain n'est pas totalement étanche.

# Conclusion générale

# CONCLUSION GENERALE

Le barrage de Souk N'Tleta, en cours de réalisation, est situé dans le bassin versant de l'oued Bougdoura en amont de Draa Ben Khedda, affluent en rive gauche du Sébaou dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Il a une capacité de 98 millions de $m^3$ d'eau et une hauteur de 95 m. Il est implanté sur un substratum de schistes et appuyé contre des contreforts gréseux.

Dans le cadre de ce travail, en collaboration avec l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT), Nous avons effectué un stage pratique de 3 mois. Durant ce stage, nous avons d'une part suivi les mesures de perméabilité (Lugeons et pressions ...) et d'injection de coulis sur les terrains, y-compris en galeries souterraines, d'autre part, nous avons suivie les essais au laboratoire. Ajouter à cela, nous avons étudié étudié le bassin versant et ses caractéristiques géologique, tectonique, fracturation et sismicité de la région d'étude et l'hydro-climatologiques.

L'analyse des forages de reconnaissances géologiques par sondages carottés ont permis de déterminer les différents paramètres hydrogéologiques dont : la nature rocheuse, la fracturation, RQD et les perméabilités du site (rive droite, l'axe du barrage et rive gauche). Les résultats concluent que les terrains gréseux sont semi perméables, le coefficient de perméabilité est de $K = 1\times10^{-7}$ m/s en général (74%) et 30% a donné des valeurs de $K = 1x\ 10^{-6}$ m/s. Le substratum schisteux est étanche en rive gauche et un peu fissuré $K=1\times10^{-7}$ m/s en rive droite et dans l'axe du site du barrage.

Les alluvions ont été totalement purgées jusqu'aux schistes au droit de l'axe de la digue. Ce dernier a été imperméabilisé par un voile en travers par une paroi moulée qui barre l'écoulement souterrain, surmontée par une digue batardeau qui contribue à dériver l'écoulement de l'oued à travers une galerie de dérivation en rive gauche.

Des forages d'injections de coulis de ciment à pression dans les terrains gréseux et les ensembles géologiques fissurés sont réalisés pour étanchéifier le site du barrage. Les contrôles (Perméabilité, volumes de coulis et longueurs d'injection ...) d'imperméabilisation ont guidé la densité des sondages d'injection allant à des espacements de 5 à 2,5 m. Ces injections ont été réalisées tant en surface que dans des galeries en rives et sous l'axe du barrage et ceci de la côte 125.00 NGA jusque dans le substratum.

Il ressort de ce travail que la connaissance approfondie de la géologie du site d'un barrage, permet de définir les caractéristiques hydrogéologiques des appuis et de trouver les techniques et conditions pour garantir l'étanchéité des abords de ce type d'ouvrage hydraulique et ainsi assurer sa sécurité et celle des agglomérations et installations en aval.

# Bibliographie

# Références bibliographiques


| | |
|---|---|
| M. Durand Delga 1969 | Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131. |
| D.Raymond 1976 | Evolution Sédimentaire du Nord-Ouest de la Grande Kabylie (Algérie) au cours de cycle Alpin ; thèse Université Paris 6 |
| Lombardi Engineering, 1991 | Etude géotechnique des matériaux de construction : Avant-Projet Détaillé du barrage de Souk N'Tleta (Rapport interne). |
| Bayet, 1995 : | Facteurs influençant la perméabilité précoce des endoprothèses coronaires. |
| Cambefort, 1964 : | Injection des sols. |
| Caveny and Weigand, 1985 : | Use cement microscopy to quickly check product quality. |
| Lombardi and Deere, 1993 : | Grouting design and control using the GIN Principle. |
| Lombardi, 1987 et 1990 : | Injection des massifs rocheux La perméabilite et l'injectabilité des massifs rocheux fissurés. |
| Ziani et Arkoub 1994 : | le Livret des Ressources minérales de la wilaya de Tizi- Ouzou. |
| Agence Nationale des Barrage et Transferts (ANBT) : | (Marche) Etude d'exécution et suivi destravaux de réalisation du barrage de Souk N'Tleta dans la wilaya de Tizi-Ouzou. |
| Office National de la météorologie (ONM) : | Données climatiques de Tzi-Ouzou |
| HALICHE Tiziri : | Etude des géomatériaux de carrière pour digues de barrage Qualité et mise en place Cas du barrage de Souk N'Tleta (Tizi-Ouzou). |

# Annexes

# **Annexe 01** : (photos prise durant le stage)

Photo 2 : Mesure de viscosité du coulis d'injection (in-situ)

Photo 1: Galerie d'injection

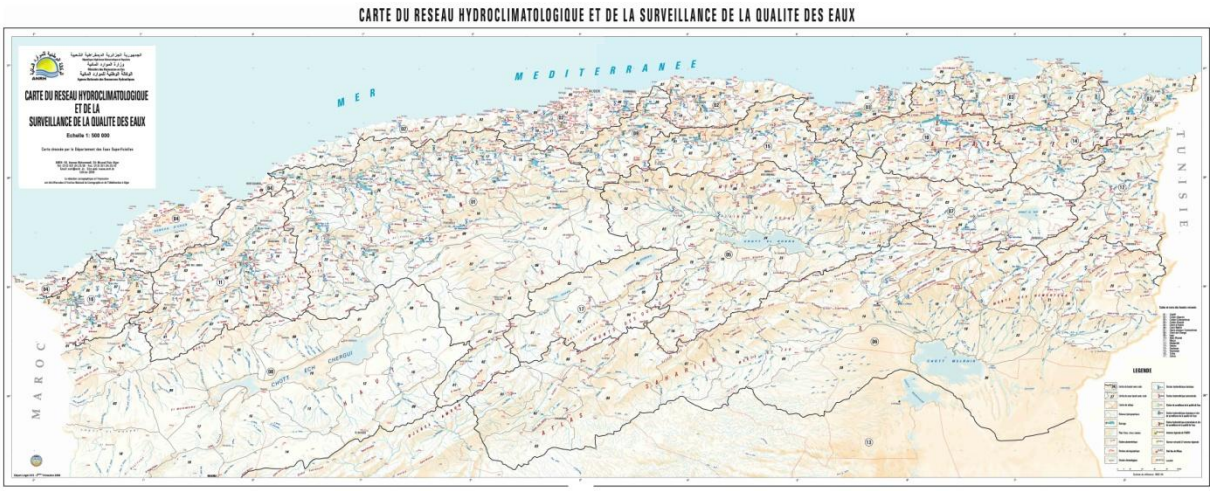
Photo 3 : les différentes formations présentes au fond de vallée partie amont du barrage Souk N'Tleta Tizi-Ouzou

Photo 4 : formation Gréseuse sur rive droite en amont du barrage de Souk N'Tleta Tizi-Ouzou.

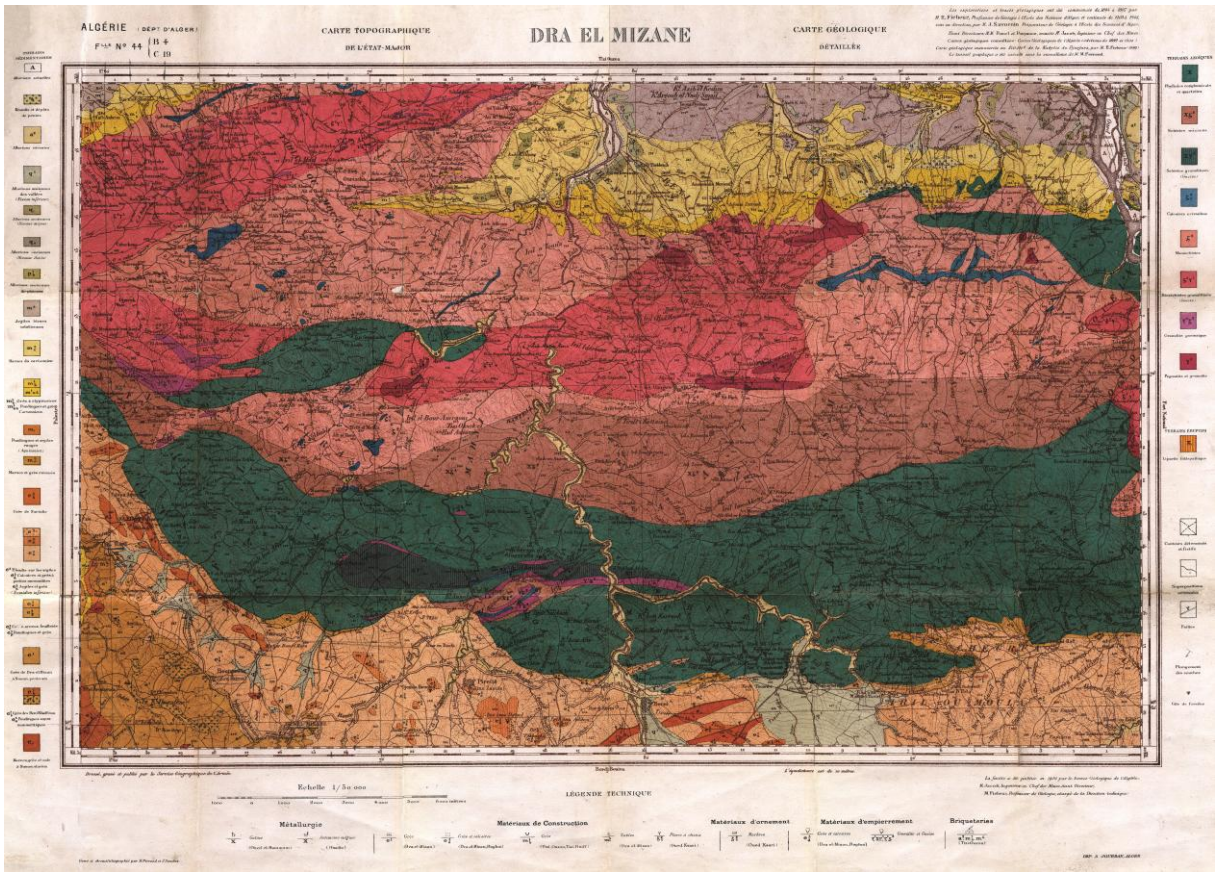
Photo 5 : formation schisteuse sur rive gauche du barrage de Souk N'Tleta Tizi-Ouzou.

Photo 6 : les différentes formations présentes au fond de vallée partie aval du barrage Souk N'Tleta Tizi-Ouzou

# **Annexe 2 :** Cartes




Carte 01 : Carte du réseau hydro-climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux (1/500000).




Carte 02 : Carte géologique DRA EL MIZANE (1/50000).

**Résumé :**

L'hydrogéologie est importante dans un projet de construction d'un barrage. Elle étudie la stabilité des sols, les infiltrations et les perméabilités des appuis et de la cuvette et leurs capacités de retenue.

Les conditions géologiques conditionnent la répartition des discontinuités comme les strates et la fracturation et des caractères hydrogéologiques représentés par les perméabilités et les chemins préférentiels des écoulements souterrains.
Pour déterminer le coefficient de perméabilité des roches de fondation, il a été exécuté plusieurs essais d'eau en pression (Lugeon) dans les différentes zones en rive droite, fond de vallée et rive gauche.
De fortes perméabilités, c'est-à-dire des chemins potentiels de fuite d'eau, localisés le long des bandes tectonisées, ainsi que le long des contacts stratigraphiques entre des formations différentes ont été reconnues.
Pour ce qui est des niveaux aquifères, dans la zone des appuis (formation gréseuse), la nappe souterraine est profonde selon le plongement des pendages vers le Nord. Des poches d'eau souterraine, confinées dans des matériaux moins perméables sont le siège d'eau d'épontes, relevée à différents niveaux dans les forages.
Ces caractéristiques sont prises en compte dans la réalisation des différents ouvrages du barrage de Souk N'Tleta Tizi-Ouzou. Dans la zone des appuis (formation gréseuse), des injections de coulis de béton sont réalisées sous forme de voile d'étanchéité pour leur imperméabilisation à partir des forages en surface et en galeries d'injection. Les alluvions, sont étanchéisées par une paroi moulée en souterrain barrant l'axe de la digue. D'autre part, le noyau argileux sera ancré dans les schistes imperméables après avoir excavé la totalité des alluvions à sa base.

**Mots clés :** Hydrogéologie, Barrage, Barrage de Souk N'Tleta Tizi-Ouzou, Perméabilité, Essai d'eau en pression, Imperméabilisation, Forage, Paroi moulée

**Abstract:**

Hydrogeology is important in a dam construction project; it studies the stability of soils and their retention capacities.

The geological conditions condition the distribution of the hydrogeological characteristics represented by the permeabilities and the preferential paths of the underground flows.

In order to determine the permeability coefficient of the foundation rocks, several water pressure tests (Lugeon) were carried out in the different zones (right bank, valley floor and left bank).

High permeabilities, and therefore potential water leakage paths, are located along the tectonic bands, as well as along the stratigraphic contacts between different formations.
As far as the water-bearing levels are concerned, in the area of the supports (sandstone formation), the groundwater table is deep according to the dip to the north.

Pockets of groundwater, confined in less permeable materials, are the seat of epontes water, found at different levels in the boreholes. In the area of the supports (sandstone formation), concrete injections are carried out for their imperviousness from the boreholes and injection galleries.

These characteristics are taken into account in the construction of the various structures dam of Souk N'Tleta Tizi-Ouzou. In the support area (sandstone formation) concrete grout injections are made in the form of a sealing veil for their impermeabilisation from surface drilling and injection galleries. The alluvium under the dam is sealed by a veil in the form of a moulded wall. On the other hand, the clay core will be anchored in the impermeable shale after having excavated all the alluvium at its base.

**Keywords:** Hydrogeology, Dam, Dam of Souk N'Tleta, Permeabilities, water pressure tests, impermeabilisation, drilling, moulded wall