



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Larbi Tébessi- Tébessa
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Mémoire de master

Domaine: Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière: Géologie

Option: Hydrogéologie

Thème :

Etude géophysique par sismique réfraction du barrage de Tagharist,
Wilaya de Khenchela.

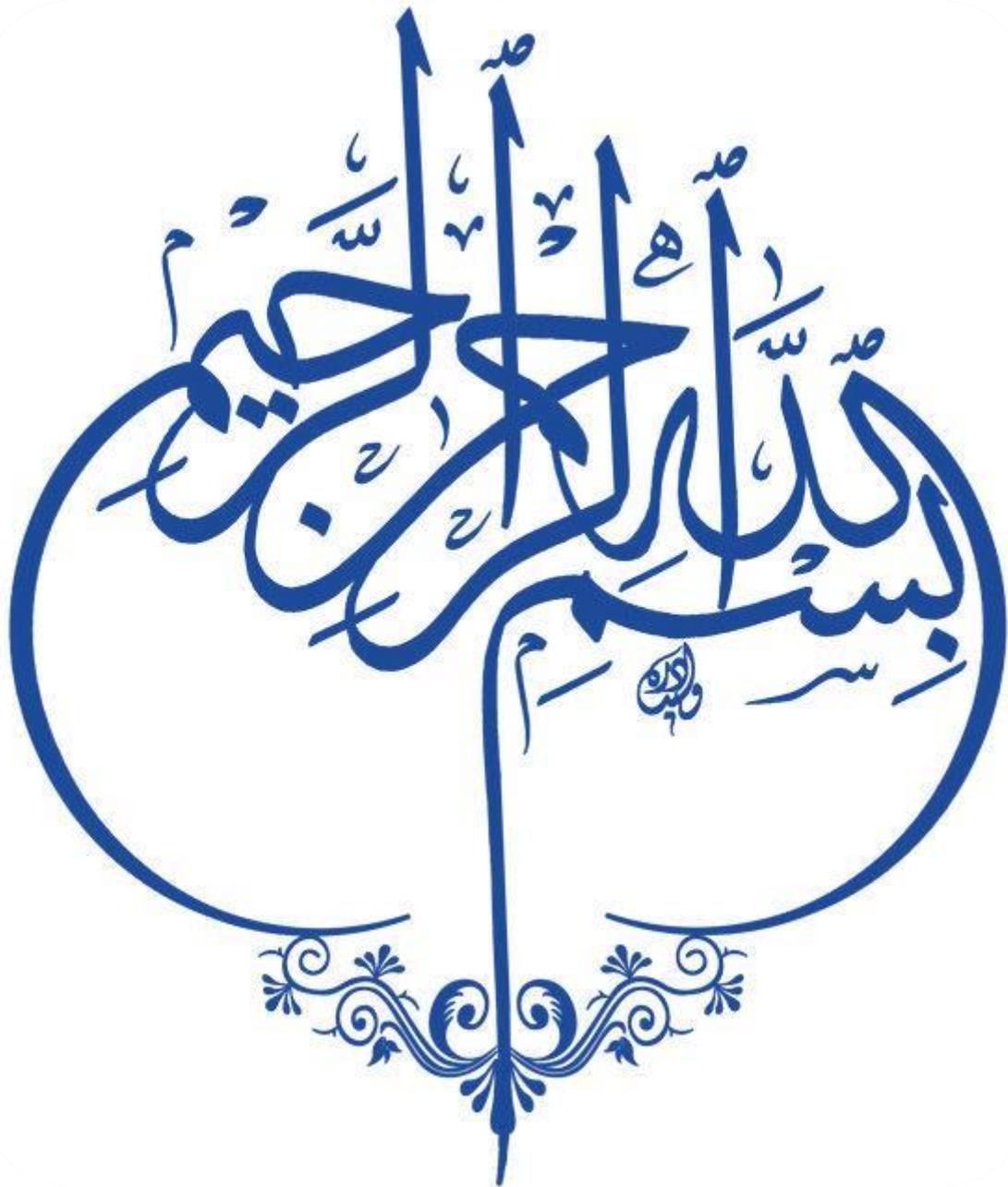
Présenté par :

- *Yasser Achi.*

| | | | |
|------------------|------------|-------------|------------|
| layachi Gouaidia | Professeur | ULT Tébessa | Président |
| Djamel Boubaya | MCA | ULT Tébessa | Rapporteur |
| Ommare Guefaifia | MCA | ULT Tébessa | Examineur |

Date de soutenance : 17/06/2021

Année universitaire : 2020/2021



Remerciements :

Tout d'abord, nous remercions Allah qui nous a dotés une grande volonté et qui nous a aidés et nous a donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce travail.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif d'un certain nombre de personnes que nous tenons à remercier

A notre cher encadreur, Mr BOUBAYA Djamel pour l'attention qu'il nous a accordé et pour nous avoir orientés dans le bon sens quant à l'élaboration de ce projet.

À nos chers parents pour tous les sacrifices consentis à notre égard et leur énorme soutien.

À toutes nos familles et nos proches amis (es),

Aux membres de jury pour l'intérêt qu'il a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir.

Yasser



Dédicace :

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs.....pour leurs encouragements constants et leur soutien moral,

A mon cher jumeau (Hajj Ayoub)pour son soutien et ses encouragements,

A mes chers amis (Achi Hicham, Rami Hemaidia, Saber Kamini, Rabie Rihani, Sami et Saber Lahmari), ainsi qu'à Rafiq Derby et mon frère « Lakehal Faissal » pour leur soutien continu dans mon cheminement académique...

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos soi-disant désirs, et une évocation de votre soutien indéfectible,

Merci d'être toujours à mes côtés



Résumé :

Résumé :

Ce projet de fin d'étude s'inscrit dans le cadre d'une étude géologique et géophysique du site destiné à la réalisation du Barrage de Tagharist situé dans la localité de Yabous, Wilaya de Khenchela. L'étude de reconnaissance géophysique par sismique réfraction a été réalisée pendant l'étude d'avant-projet détaillé (APD). Elle a permis de mettre en évidence deux couches. La première couche de faible vitesse (400 m/s) corrèle avec les dépôts altérés. La deuxième couche (1500 – 2000 m/s) est celle du substratum marneux. Une deuxième étude géophysique par polarisation spontanée (PS) a été réalisée après la mise en service du barrage pour mettre en évidence d'éventuelles fuites. Les valeurs de la PS sont en générale positive, indiquant un écoulement normal. La valeur négative de la PS correspond à des objets métalliques enterrés (piézomètre).

Mots clés : Yabous, Barrage de Tagharist, sismique réfraction, polarisation spontanée(PS).

Abstract:

This project is part of a geological and geophysical study of the site intended for the realization of the Tagharist Dam located in the locality of Yabous, state of Khenchela. The seismic refraction study was carried out during the detailed design study (APD). It made it possible to highlight two layers. The first low velocity layer (400 m / s) correlates with weathered deposits. The second layer (1500 - 2000 m / s) is that of the marly substratum. A second geophysical study by spontaneous polarization (PS) was carried out after the commissioning of the dam to highlight any leaks. PS values are generally positive, indicating normal flow. The negative value of the PS corresponds to buried metallic objects (piezometers).

Key words: Yabous, Tagharist dam, seismic refraction, spontaneous polarization (PS).

ملخص:

هذه المذكرة تقدم دراسة للخصائص الجيولوجية والجيوفيزيائية للموقع المخصص لسد تغاريسيت المتموقع في بلدية يابوس ولاية خنشلة. يمر بحوض هذا السد التجويف الإقليمي لجبل شلية، مما يشكل تحدي وخطر على استقراره وكذا إمكانية حدوث تصدعات أو تسربات للمياه.

إن الدراسة الجيولوجية مكنت من تحديد خصائص التكوينات الصخرية من العصر الطباشيري و الميوسيني المحيطة بهذا الحوض.

كما أجريت دراسة الاستطلاع الجيوفيزيائي عن طريق الانكسار الزلزالي بالتزامن مع دراسة التصميم التفصيلي، حيث كشفت عن طبقتين، ترتبط الطبقة الأولى منخفضة السرعة (400 م / ث) بالرواسب التي تعرضت للعوامل الجوية. الطبقة الثانية (1500-2000 م / ث) هي طبقة المارل السفلية.

وكذا تم إجراء دراسة جيوفيزيائية ثانية للاستقطاب التلقائي (ب أس) بعد تشغيل السد لإبراز أي تسربات , وتكون قيم (ب أس) موجبة بشكل عام , مما يشير إلى التدفق الطبيعي , والقيمة السلبية لبلاط (ب أس) مع جسم معدني متدخل (أجهزة قياس الضغط) .

الكلمات المفتاحية: يابوس , سد تغاريسيت, دراسة الانكسار الزلزالي , الاستقطاب التلقائي , (ب أس) الثباتية.



Sommaires:

Table des matières:

Remerciements :

Dédicace :

Résumé :

Abstract:

ملخص :

Sommaires:

Introduction générale:

Premier chapitre :

Cadre géographique

| | |
|--|----|
| 1.Situation géographique : | 01 |
| 2. Climat : | 02 |
| 2.1 Analyse du climat : | 02 |
| 2.2 Aspect geomorphologique : | 04 |
| 3. Sismologie du site : | 06 |
| 3.1 Séismicité : | 06 |
| 3.2 Paramètres d'Etudes Sismiques : | 06 |
| 3.2.1 Base : | 06 |
| 3.2.1.1 Sélection d'une accélération d'étude SBE : | 07 |
| 3.2.1.2 Sélection d'une accélération d'étude SMD : | 09 |
| 4. Recommandations : | 10 |

Le deuxième chapitre :

CadreGéologie

| | |
|--|----|
| 1. Géologie du site : | 11 |
| 1.1Geologie de la localite de yabous : | 11 |
| 1.2 Les formations superficielles : | 11 |
| 1.3 Le Tortonien : | 14 |
| 1.4 Le Campanien : | 16 |
| 1.5 Le Santonien : | 16 |
| 1.6 Le Coniacien : | 16 |
| 1.7 Le Turonien : | 17 |
| 1.8 Le Turonien basal : | 18 |
| 1.9 Le Cénomaniensupérieur : | 18 |

Table des matières:

| | |
|---|-----------|
| 2. Tectonique : | 18 |
| 2.1 Les structures plissées : | 19 |
| 2.2 Les structures cassantes : | 20 |
| 3. Géologie régionale : | 23 |
| 3.1 Introduction : | 23 |
| 3.2 Description litho — stratigraphique. | 24 |
| 3.2.1 Trias : | 24 |
| 3.2.2 Jurassique : | 24 |
| 3.2.3 Crétacé : | 24 |
| 3.2.4 Valanginien: | 25 |
| 3.2.5 Quaternaire..... | 28 |
| 3.3 Conclusion : | 30 |
| 4. Hydrogéologie : | 31 |
| 4.1 La pluviométrie : | 32 |
| 4.1.1 Données disponibles : | 32 |
| 4.1.2 L'analyse de corrélation et de l'évolution temporelle : | 33 |
| 4.1.3 La pluviométrie moyenne annuelle : | 35 |
| 4.1.4 La pluviométrie maximale journalière : | 37 |
| Le troisième chapitre: | stabilité |
| 1. Introduction : | 40 |
| 2. Analyse de stabilité du barrage lors de l'APD | 40 |
| 2.1 Concept retenu pour le barrage : | 40 |
| 2.2 Paramètres de résistance : | 41 |
| 2.3 Paramètres sismiques : | 42 |
| 2.4 Sections et cas analysés : | 43 |
| 2.5 Critères de stabilité : | 44 |
| 2.6 Résultats : | 45 |
| 3. Validation des résultats de l'APD : | 48 |
| 4. Pistes de solutions : | 50 |
| 5. Conclusions : | 53 |

Table des matières:

| | |
|--|--|
| Le quatrième Chapitre: | <i>Cadre Géophysique par sismique Réfraction</i> |
| 1. Introduction : | 54 |
| 2. Méthodologie d'acquisition : | 55 |
| 3. Traitement des enregistrements : | 57 |
| 4. Résultats obtenus : | 58 |
| 5. Modélisation de couches horizontales en sismique réfraction : | 60 |
| 6. Interprétation géologique des coupes sismiques : | 63 |
| 7. Conclusion : | 63 |
| 8. Application de la polarisation spontanée (PS) au barrage de Tagharist : | 65 |
| 8.1 Les applications de la méthode PS : | 65 |
| 8.2 Applications en géosciences : | 66 |
| 8.3 Applications sur les ouvrages hydrauliques : | 66 |
| 9. Méthodologie de réalisation présentation des données(PS) : | 67 |
| <i>Conclusion général :</i> | 71 |
| Références : | |
| Annexes: | |

LISTE DES FIGURE :

| | |
|--|----|
| Figure 1: situation géographique du barrage de Tagharist | 01 |
| Figure 2: température moyenne mensuelle de la ville de Batna..... | 02 |
| Figure 3: les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Khenchela | 03 |
| Figure 4: répartition de l'évaporation moyenne mensuelle yabous..... | 04 |
| Figure 5: délimitation du bassin versant de Tagharist à partir du modèle numérique de terrain SRTM avec le réseau hydrographique et les ordres des oueds..... | 05 |
| Figure 6: terrasse alluviale récente de l'oued Tagharist .gravelo-sableuse | 12 |
| Figure 7: colluvions argileuses (C), au lieu-dit Diar el Gaid | 13 |
| Figure 8: colluvion grossières a galets et blocs (CG) au droit de la 3 émie variante de digue | 14 |
| Figure 9: de barres gréseuses Gr et d'argiles A du Tortonien .en aval de la 1 émie variante de digu.. | 15 |
| Figure 10: Alternance de marnes et marno-calcaires du Turonien | 17 |
| Figure 11: Plan de faille (P) de direction N180° et d'inclinaison 40°E, dans les calcaires turoniens, à Diar El Gaid, rive gauche | 20 |
| Figure 12: Zone de faille verticale (F) favorisant le passage de l'oued Tagharist, en aval des sites de retenue | 21 |
| Figure 13: Failles normales et décrochement dans les grès Tortoniens (rive droite de l'oued Tagharist) | 22 |
| Figure 14: Colonne stratigraphique synthétique de l'Atlas saharien orientale. | 29 |
| Figure 15: carte isohyète annuelles moyennes la localisation des stations pluviométrique utilisée l'analyse de la pluviométrie et la région d'influence de le station de yabous par le polygone de thiessen (en bleu) | 34 |
| Figure 16: Localisation des profils sismiques dans la projection UTM zone 32 / Nord Sahara | 55 |
| Figure 17: Vue sur le flanc gauche de l'Oued où on observe les blocs de grès | 56 |
| Figure 18: Géométrie du dispositif du tir pour une base sismique | 57 |
| Figure 19: Exemple de pointage des premières arrivées sur un tir inverse de la ligne 1 | 64 |
| Figure 20: Exemple d'une dromochronique obtenue sur la ligne sismique 1 | 65 |
| Figure 21: dromochronique ou hodochrone d'une bi-couche (2 couches), d'après Magnin et Bertrand, 2005..... | 61 |
| Figure 22: modélisation de 2 couches horizontales | 62 |
| Figure 23: modélisation de 3 couches horizontales | 63 |
| Figure 24: la polarisation spontanée à la distance de barrage Tagharist. | 67 |
| Figure 25: Position du profil PS..... | 68 |
| Figure 26: Outils utilisés pendant l'opération. | 68 |

LISTE DES FIGURE :

Figure 27:a). Géométrie 2D d'une digue en sable avec un noyau argileux.....70

LISTE DES TABLEAUX :

| | |
|---|----|
| Tableau 1: tremblements de terre | 6 |
| Tableau 2: travaux de réalisation de la digue (terrassements)..... | 32 |
| Tableau 3: statistique de base précipitation annuelles (en mm) de la station pluviométrique..... | 36 |
| Tableau 4: analyse fréquentielle de la précipitation annuelle de la station de yabous..... | 37 |
| Tableau 5: statistique de base précipitation journalières maximales (en mm) de la station pluviométrique De yabous. | 38 |
| Tableau 6: analyse fréquentielle de la précipitation de journalières maximales la station de yabous. | 39 |
| Tableau 7: Paramètres géotechniques des matériaux- APD | 41 |
| Tableau 8: Valeurs des coefficients sismiques. | 42 |
| Tableau 9: Coefficients de sécurité minimaux requis | 44 |
| Tableau 10: Côté aval- Coefficients de sécurité pour les différentes conditions analysées. | 45 |
| Tableau 11: Côté amont- Coefficients de sécurité pour les différentes conditions analysées. | 46 |
| Tableau 12: Coefficients de sécurité de la section D dans la zone de glissement. | 47 |
| Tableau 13: Coefficients de sécurité de la section E dans la zone de glissement..... | 47 |
| Tableau 14: coefficients de sécurité pour le cas de fin de construction. | 50 |
| Tableau 15: Paramètres géotechniques non drainés des sols de fondation retenus pour les analyses de stabilité. | 52 |
| Tableau 16: Paramètres géotechniques effectifs des sols de fondation retenus pour les analyses de stabilité. | 53 |
| Tableau 17: Masse d'échantillon à soumettre à l'essai en fonction de la dimension des éléments. .. | 59 |



Introduction

Général :

Introduction général :

Le site du projet de barrage Tagharist est localisé dans la Wilaya de Khenchela sur le versant nord du mont Chélia et directement à la source du village de Yabous. L'ouvrage, qui comprend un barrage d'une hauteur d'environ 40 mètres, est prévu dans la vallée de Tagharist, qui a une superficie de 77 kilomètres carrés.

Les deux grands ensembles morphologiques correspondant au massif du Chélia dans lequel nous intégrons la cuvette du barrage, et la plaine de Yabous-Touffana, plus en aval du projet, correspondent à deux grands domaines géologiques distincts, qui sont :

L'Atlas saharien des Aurès caractérisé par de grands plis d'échelle pluri-kilométrique, orientés NE-SO, à matériel essentiellement crétacé, le bassin néogène de Timgad, à matériel miocène, de structure plissée d'échelle plus modeste (kilométrique).

Dans la série monoclinale miocène — crétacée, la prédominance des termes marno-calcaires, assez indurés, ponctués par des bancs gréseux et calcaires, d'une part, et la direction des couches, perpendiculaire aux deux versants, d'autre part, expliquent en grande partie, la bonne stabilité de la cuvette vis-à-vis des glissements de terrain. Les formations superficielles qui sont souvent sensibles aux mouvements gravitaires, sont peu épaisses, à l'exception de la partie aval de la cuvette.

Deux investigations géophysiques par sismique réfraction pendant l'APD et un relevé par polarisation spontanée (PS) après la mise en service du barrage sont présentées. L'étude par sismique réfraction a permis de mettre en évidence deux couches : une couche sismique moins rapide qui correspond aux alluvions et à la partie supérieure altérée de la coupe. La deuxième couche rapide qui correspond aux marnes saines.

L'étude géophysique par polarisation spontanée a été réalisée après la mise en service du barrage. Elle a permis de montrer que l'écoulement est normal. L'anomalie négative observée sur le côté aval correspond vraisemblablement à des objets métalliques enterrés.

La thèse est organisée en 4 chapitres. Le premier chapitre est consacré au cadre géographique de la région de Yabous, le deuxième chapitre traite de la géologie locale du site, la tectonique et de l'hydrogéologie. Le troisième chapitre traite la stabilité du site. Le quatrième chapitre est consacré à la méthode de sismique réfraction. Il est présenté dans ce chapitre la méthodologie d'acquisition, le traitement, la modélisation directe des données sismiques ainsi que les résultats et les discussions. Dans ce même chapitre, a été traité le

Introduction général :

principe et les résultats de la technique de polarisation spontanée (PS), destinée à la surveillance et à la détection de probables fuites.



Chapitre 1 :

« Cadre géographique »

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le barrage de Tagharist est situé à environ 63 Km à l'Ouest du chef-lieu de la Wilaya de Khenchela. Il est localisé au piedmont nord du Djebel Chélia et en amont immédiat, à environ 2 km au sud du village de Yabous.

La localité de Yabous est limitée comme suit :

- Au Nord : commune d'Ouled Fadel (wilaya de Batna).
- Au Sud : communes de Bouhmama et Inoughissene.
- A l'EST : communes de Taouzianet et Chelia.
- A l'Ouest : communes de Foug El Toub et Ichemoul (wilaya de Batna).

Le barrage de Tagharist peut être repéré selon les coordonnées géographiques UTM suivantes : X = 286 303 m, Y = 3 918 672 m.

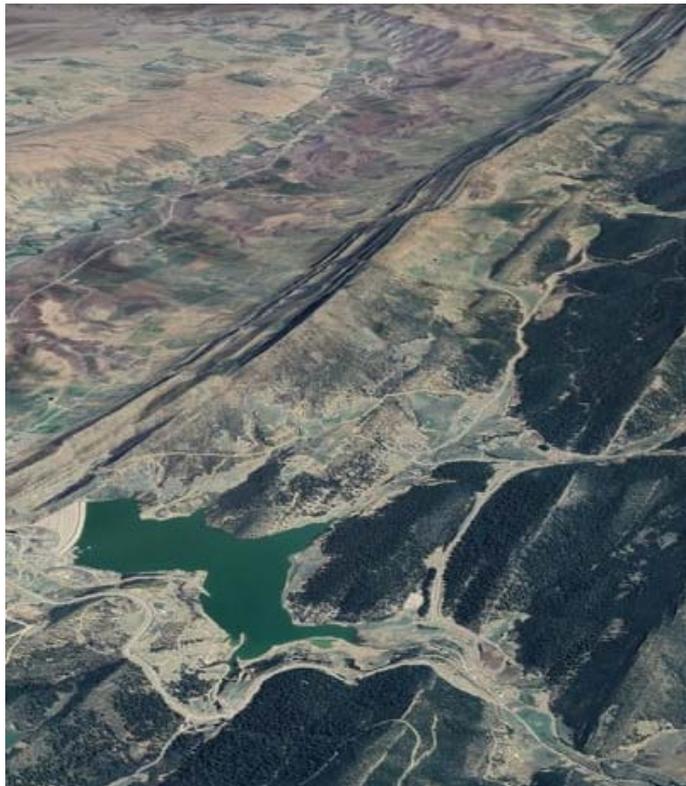


Figure 1: situation géographique du barrage de Tagharist (Google, Earth).

2. CLIMAT :

Les cinq (05) facteurs climatologiques pris en considération au niveau du barrage et traités dans cette section sont:

La température.

Les précipitations.

L'humidité relative.

L'évaporation S.

Le vent.

Les cinq facteurs suscités sont mesurés en la ville de Batna, la plus proche grande ville du site du barrage et dont l'altitude est de 1052 m, comparable au site de Tagharist. (ANBT, 2005, p9).

2.1 ANALYSE DU CLIMAT :

a .Température :

La température moyenne mensuelle est de 14,80°C, La température moyenne du mois de janvier varie le plus souvent entre 3°C et 10°C, alors qu'en juillet elle est située entre 20°C et 32,5°C. La température moyenne mensuelle calculée sur une base de 10 ans est illustrée sur la Figure 2 (ANBT, 2005, p9):

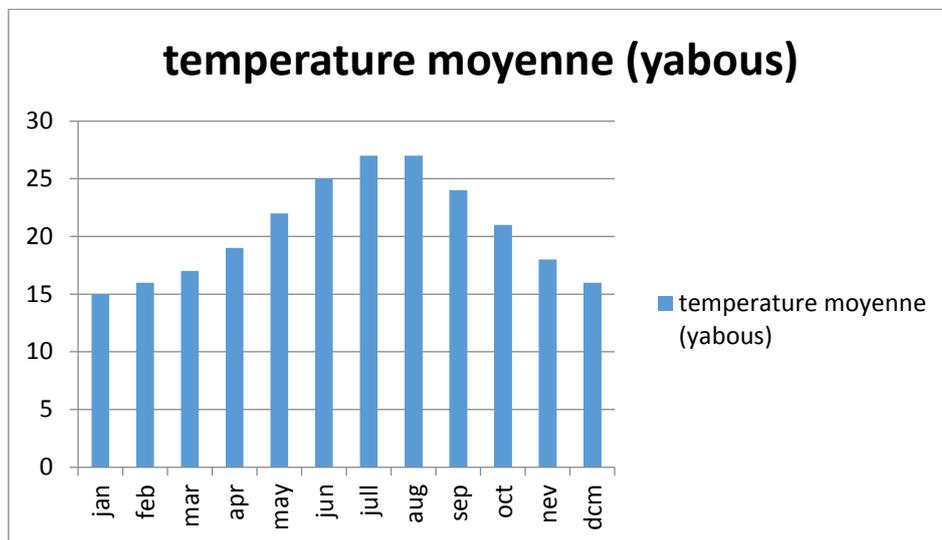


Figure 2: température moyenne mensuelle de la ville de Batna (ANBT ,2005-2014).

b .Précipitations :

Yabous se situe entre 350 et 400 mm est égal, selon les données de précipitations de l'ANRH (province de Khenchela). La station de Yabous montre que la région est caractérisée par deux cycles pluvieux, le premier s'étendant de septembre à novembre, et le second s'étendant de mars à mai (maximum de plus de 50 mm). (ANBT 2005).

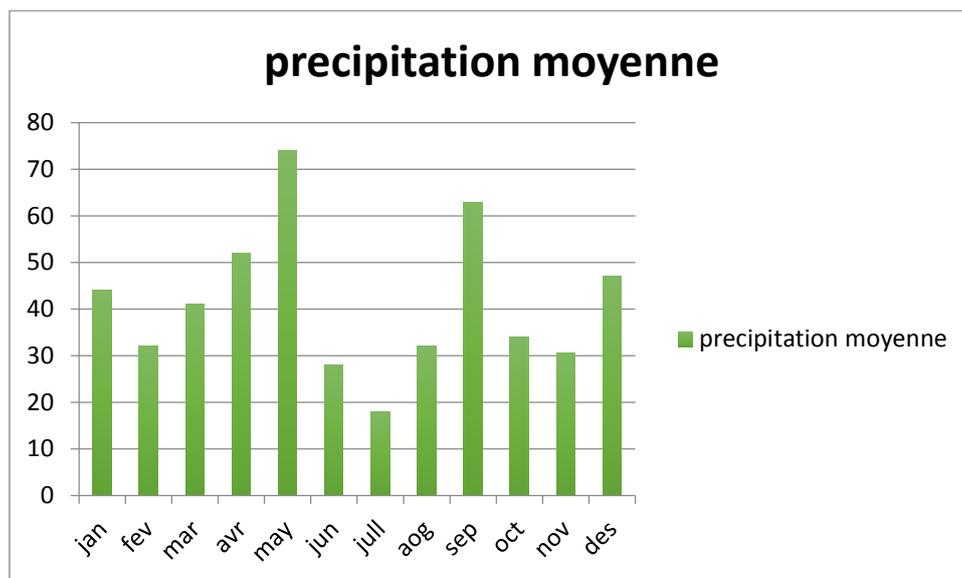


Figure 3: les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Khenchela (ANBT, 2004-2014).

c .Humidité relative :

L'humidité relative mensuelle moyenne varie entre 70 à 80% et de 48 à 65%, respectivement pour les périodes allant du mois de novembre au mois de février et du mois de mars au mois d'octobre. (ANBT, 2005, p10).

d .Évaporation :

L'évaporation mensuelle varie de 105 à 240 mm entre avril et septembre. Sa répartition mensuelle montre une croissance régulière d'avril à juillet. La période d'octobre à mars totalise 26 % de la moyenne annuelle. L'évaporation moyette annuelle varie entre 1300 et 1400 mm. La répartition de l'évaporation mensuelle moyenne est illustrée par la Figure 4 :

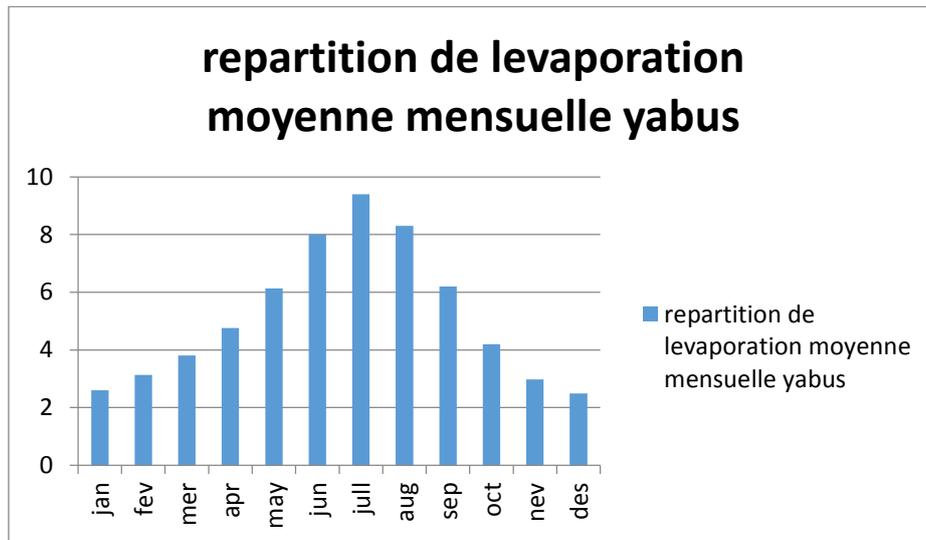


Figure 4:répartition de l'évaporation moyenne mensuelle yabus (ANBT, 2005).

e .Vent :

Les vents dominants dans cette région sont chargés d'humidité, soufflant dans une direction ouest-nord-ouest entre octobre et mai et E-SE entre juin et septembre. En ce qui concerne la taille de la crête, le vent maximum sera considéré dans la direction la plus importante, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe du barrage. (ANBT, 2005, p10).

2.2 ASPECT GEOMORPHOLOGIQUE :

Le bassin versant de l'oued Tagharist constitue une zone de transition orographique entre le massif élevé du Chélia au sud (2 326 m), à relief escarpé, et le bassin de Touffana Au nord, à relief plus adouci, de type collinaire (900 à 1 200 m). Cette morphologie prévaut sur plus de 100 km dans la direction Est- Ouest, entre Batna et Khenchela, où le réseau Hydrographique débouche dans le bassin néogène de Timgad, par des gorges très entaillées franchissant les formations atlasiques anciennes (FourmToub, FournTagharist, Foum El Gueiss).

A l'échelle de la cuvette du barrage, l'oued Tagharist présente un écoulement sensiblement Sud-Nord. Il traverse des structures géologiques assez orthogonales à sa direction d'écoulement et débouche dans la plaine de Yabus, en franchissant une série de barres gréseuses qui soulignent la limite entre la plaine et le domaine montagneux .Dans ce contexte morpho-structural, la vallée est étroite et la prédominance des alluvions grossières

dans le lit mineur, témoigne d'un écoulement torrentiel de ce cours d'eau. Le réseau hydrographique qui lui est associé est représenté essentiellement par deux thalwegs en rive droite, au niveau des lieux-dits: Touchent et Aghlane, et un thalweg en rive gauche, au niveau de Diar el Gaid. Ces thalwegs, orientés NE- So, sont, contrairement au cours d'eau principal, conformes à la direction des couches et creusés dans les formations les plus faciles à l'érosion (marnes et pélites crétacées).

La vallée de l'oued Tagharist et ses affluents sont délimités par des reliefs suffisamment boisés, de pentes moyennes de 20 à 40°, à l'exception de quelques barres rocheuses qui forment des arêtes bien visibles sur le terrain. La dénivelée entre la vallée et les sommets de la cuvette ne dépasse pas 150 m et le raccordement topographique se fait progressivement par une accumulation de colluvions à dominante argileuse.

La végétation est de type maquis, parsemée de quelques bois de chênes. Une petite agriculture vivrière est développée sur les terrasses alluviales étroites de l'oued Tagharist et ses glacis latéraux (ANBT, Mars, 2006, p2).

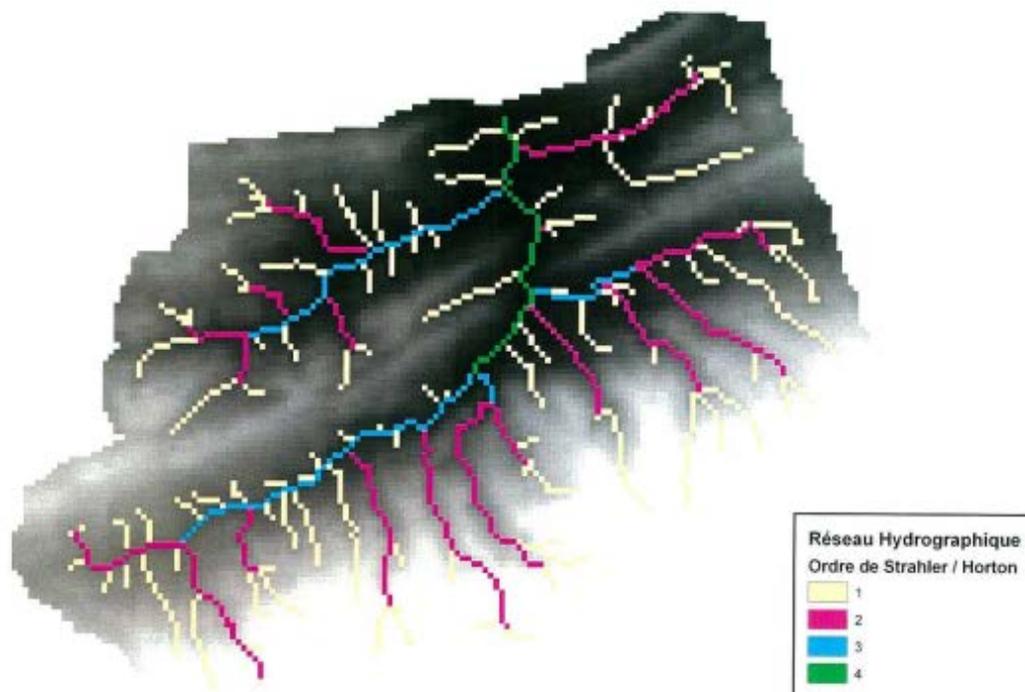


Figure 5:délimitation du bassin versant de Tagharist à partir du modèle numérique de terrain SRTM avec le réseau hydrographique et les ordres des oueds (ANBT, mai, 2005,4p).

3. Sismologie du site :

3.1 Séismicité :

Des études sismiques effectuées pour le Nord de l'Algérie, basées sur des données historiques et Instrumentées pour la période 1357-1996, ont Indiqué qu'il y avait une séismicité active associée avec l'Atlas Tellien et avec l'Atlas Saharien, mais la sismicité était modérée à basse. Une carte de la séismicité du Nord-est de l'Algérie .La carte indique les épicentres des tremblements de terre historiques et enregistrés au moyen d'instruments. Ces épicentres ont tendance à se concentrer dans les zones des Failles principales excepté Aux alentours de Batna, où des tremblements de terre ont eu lieu dans le passé mais où, à ce jour, des failles n'ont pas été relevées.

Les données sur les tremblements de terre importants qui se sont produits dans le passé à l'intérieur d'un rayon de 150 km autour du site du barrage de Tagharist sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous (ANBT, Mars, 2009, p13) :

| Tremblement de terre | Date | Intensité en surface. Ms | Distance approximative du site du barrage.km |
|----------------------|------------------|--------------------------|--|
| Biskra. Aurès | 16 novembre 1869 | 6.2 | 100 |
| Batna | 16 mars 1924 | 6.0 | 45 |
| Guelma | 10 février 1937 | 5.2 | 140 |
| Constantine | 27 octobre 1985 | 6.0 | 110 |

Tableau 1:tremblements de terre
(ANBT, 2009,14p).

3.2 Paramètres d'Etudes Sismiques :

3.2.1 Base :

La pratique courante pour l'analyse sismique des barrages, basée sur les indications données dans le Bulletin CIGB No 72, est d'établir la sécurité du barrage pour deux tremblements de terre d'étude représentatifs qui sont les suivants :

SBE - Le Séisme de Base d'Exploitation (OBE en anglais)

SMD - Le Séisme Maximal de Dimensionnement (MCE en anglais)

SBE, ou « Séisme de Base d'Exploitations est le tremblement de terre qui aura probablement lieu au plus une fois pendant la durée de vie attendue de la structure (pas moins de 100 ans). Typiquement, le SBE est choisi comme ayant une période de retour de non moins de 1 tous les 200 ans et l'accélération de pointe du sol (peak ground décelération = PGA) associée avec un SBE est déterminée en utilisant une Evaluation Probabiliste de Risque Sismique (Probabiliste Séismic Hasard Assistent PHSA). Au Cours, d'un SBE le barrage et ses ouvrages annexes devraient rester fonctionnels mais pourraient avoir besoin d'être réparés.

SMD, ou (Séisme Maximal de Dimensionnement est) le tremblèment de terre quel produira le niveau le plus sévère de mouvement du sol pour lequel la sécurité du barrage contre une rupture catastrophique dols être assurée. Une Evaluation Déterministe du Risque Sismique (Déterministe Sismique Hasard Assistent DSHA) est normalement appliquée pour obtenir une accélération de ponté du sol associée avec un SMD.

3.2.1.1 Sélection d'une accélération d'étude SBE :

Les documents suivants ont été consultés dans le but d'une évaluation probabiliste d'un SBE à Tagharist:

a. Evaluation Probabiliste du Risque Sismique :

Benouar et al ont entrepris des évaluations de risque sismique et ont établi des cartes de risque sismique pour les pays du Maghreb. L'évaluation du risque sismique a été basée sur le catalogue de données des tremblements de terre préparé pour la région et une Evaluation Probabiliste de Risque Sismique. Le modèle d'atténuation qui a été applique pour produire des PGA était celui recommandé par Ambraseys (1995) pour l'Europe, le Moyen Orient et l'Afrique du Nord, donné par les formules ci-dessous (Benouar, D. et al. 1998):

Accélération horizontale : $\text{Log}_{10}(Y_h) = -1,43 + 0,245M_s - 0,7861 \log_{10}(R) - 0,0010R$

Accélération verticale : $\text{Log}_{10}(Y_v) = -1,72 + 0,243M_s - 0,750 \log_{10}(R) - 0,00174R$

Où : Y_h et Y_v sont le PGA horizontal et vertical, en pourcent de g (PGA = Peak Grounds Accélération : Accélération de pointe au sol).

$R = (d^2 + h^2)^{1/2}$, où

D est la distance de l'épicentre en km.

H est la profondeur de l'épicentre en km.

Ms est l'intensité de l'onde de surface.

En se basant sur ce qui précède, les accélérations de pointe horizontales et verticales ont été calculées et représentées sur des cartes de risque sismique pour une probabilité de dépassement de 10 pour cent (c'est-à-dire une probabilité de 90 pour cent que le paramètre spécifique ne sera pas dépassé) pour une durée de vie de 100 ans. La probabilité de dépassement est liée à une période de retour de 949 années. Les cartes de risque qui ont été produites. On peut voir que, pour le site du barrage Tagharist, les accélérations PGA suivantes peuvent être déduites :

- PGA horizontal - entre 0-100 glas, mais plus proche de la limite de 100 glas (0-0,1g)
- PGA vertical - entre 0-100 glas (0-0,1g)

Il doit être noté que les PGA ci-dessus ont été obtenus en se basant sur une période de retour de 949 années, ce qui est beaucoup plus important que les périodes de retour typiques pour un SBE.

b. Code sismique Algérien :

Une carte des zones sismiques et les accélérations associées présentées dans le code sismique Algérien ont été développées en se basant sur une période de retour typique pour les bâtiments, qui a une probabilité de réalisation de 10% en 50 ans (période de retour de 475 années).

En se basant sur la carte des zones sismiques extraite du code sismique Algérien, le site du barrage Tagharist est situé dans la zone sismique 1 avec une accélération sismique d'étude (A) de 0,12 associée avec des structures de classe 1 (C'est-à-dire barrages etc.). Le code recommande d'appliquer deux facteurs:

- un facteur de réduction, B, (qui varie de 0,2 - 0,67 selon le type de structure).
- un facteur d'amplification dynamique, D, (qui dépend du type de sol et de la période d'oscillation de la structure et peut varier entre 0,56 et 2,0).

Suite à quoi, nous avons sélectionné pour Tagharist une accélération de pointe horizontale du sol, pour un tremblement de terre SBE de 0,08g, qui a typiquement une période de retour de plus de 200 ans.

3.2.1.2 Sélection d'une accélération d'étude SMD :

Une approche déterministe a été appliquée pour obtenir des accélérations de pointe du sol quel peuvent être générées par un SMD. Un SMD est le tremblement de terre qui produira le niveau le plus sévère de mouvement du sol en-dessous duquel la sécurité du barrage contre une rupture catastrophique devrait être assurée. L'approche déterministe, qui affecte une probabilité de 1 (c'est-à-dire 100%) pour un tremblement de terre particulier ayant lieu pendant la durée de vie d'étude du barrage, a été utilisée pour estimer le SMD.

Comme mentionné ci-dessous, la région où le barrage est situé a subi quelques tremblements de terre significatifs au cours des derniers siècles, le plus important étant celui de Biskra. Ce dernier a affecté la région des Aurès et a eu lieu en 1869 avec une intensité $M_s = 6,2$ et avec un épicentre à une distance de quelque 100 km du site du barrage. Le tremblement de terre de Batna, est aussi significatif, qu'il a eu lieu en 1924 avec une intensité $M_s = 6,0$ et un épicentre à une distance de quelque 45 km du site du barrage. Il est supposé que les tremblements de terre avaient une profondeur du foyer de 10 km.

Le coefficient d'atténuation développé par Ambrases (1995) pour l'Europe, le Moyen Orient et l'Afrique du Nord (voir ci-dessous) a été appliqué pour les tremblements de terre de Biskra et de Batna. Il a été assumé que le SMD pouvait avoir lieu plus près du site et pouvait avoir une intensité d'un demi degré de plus que les tremblements de terre enregistrés (intensité maximale observée), comme recommandé par Boomer, 1995.

En appliquant la relation d'atténuation suivante:

$$\text{Accélération horizontale } \log(Y_h) = -1,43 + 0,245M_s - 0,7861 \log^{10}(R) - 0,0010R$$

Où : Y_h est le PGA horizontal, en pourcentage de g

$$R = (d^2 + 5^2)^{1/2}$$

D est la distance de l'épicentre en km (modifiée à 85 km pour le tremblement de terre de Biskra et à 20 km pour celui de Batna)

M_s est l'intensité de l'onde de surface

Les accélérations de pointe suivantes ont été obtenues pour le site du barrage :

- Tremblement de terre de Biskra : accélération horizontale maximum = 0,05g
- Tremblement de terre de Batna : accélération horizontale maximum = 0,15g

Le SMD « tremblement de terre sans rupture » sélectionné a un PGA avec une accélération horizontale de 0,15g, représentant la valeur la plus haute dérivée de l'évaluation du risque par l'approche déterministe.

4. Recommandations :

En se basant sur les données géologique, tectonique et sismique analysées dans cette étude, il peut être conclu que la zone où le barrage est situé a une activité sismique modérée à basse, associée avec les bordures de la région des Hauts Plateaux moins actifs.

L'accélération horizontale de pointe du sol recommandée pour un SBE (**ou Séisme de Base d'Exploitation**) est **0,08g**, lequel a typiquement une période de retour de plus de 200 ans.

L'accélération horizontale de pointe du sol recommandée pour un SMD (ou Séisme Maximal de Dimensionnement) est 0,15g basé sur une approche déterministe et une hypothèse qu'un tremblement de terre ayant une intensité de 6,5 peut avoir à lieu 20 km au Nord du site (ANBT, Mars, 2009, p18).

Il doit être noté que, comme ce coefficient sismique représente un coefficient moyen de déplacement, il aura besoin d'être amplifié lors de l'utilisation dans des analyses de stabilité en appliquant des coefficients d'amplification adéquats.



Chapitre 2 :

« *Cadre Géologie* »

1. Géologie du site :

1.1 GÉOLOGIE DE LA LOCALITE DE YABOUS :

La série stratigraphique du site du barrage et de sa cuvette est rendue relativement aisée à identifier, par suite d'une structure d'ensemble monoclinale assez redressée et d'une végétation clairsemée. Cette série est représentée par des formations superficielles récentes, quaternaires, et des formations plus anciennes d'âge miocène supérieur et crétacé (ANBT, Mars, 2009, p3).

-La géologie locale de notre zone d'étude peut être résumée en deux types de formations essentielles :

1.2 Les formations superficielles :

a Les alluvions actuelles du lit mineur :

Elles sont représentées par des blocs roulés de 10 à 20 cm de diamètre, des galets et graviers et du sable grossier en faible proportion. Ces alluvions sont de nature calcaire prédominante et gréseuse. Au droit des variantes de digue, leur épaisseur est de 3 à 4 m. Elles conservent la même épaisseur plus en amont, au lieu-dit Diar El Gaid, d'après les coupes de puits réalisés lors de l'étude de faisabilité.

b Les terrasses alluviales récentes :

Elles sont limoneuses en surface et deviennent plus grossières à partir de 0,5 m de profondeur. Leur épaisseur moyenne (d'après les coupes des puits PE3 à PEB, de l'étude de faisabilité) est de l'ordre de 2 à 3 m. Elles sont très étroites, parfois inexistantes, et ne dépassent pas la largeur de 100 m de part et d'autre de l'oued Tagharist.



Figure 6: terrasse alluviale récente de l'oued Tagharist .gravelo-sableuse (ANBT, 2005,35p).

c Les terrasses alluviales anciennes :

A l'affleurement, la présence de terrasses alluviales anciennes n'est témoignée que par un lambeau accroché en rive gauche de l'oued Tagharist à une altitude de 5 m environ au-dessus de la côte du lit mineur (Zkakat). Cette terrasse de 2 à 3 m d'épaisseur, est formée par des alluvions grossières (galets et blocs calcaires et gréseux) dans une matrice limoneuse En faible proportion. L'examen des coupes des puits réalisés, lors de l'étude de faisabilité, dans la recherche des zones d'emprunt, révèle l'existence de ces terrasses anciennes.

En effet, sous les colluvions argileuses de Diar el Gaid, les puits P2, P3, P8 et PE1 de la zone d'emprunt 1, ont traversé des alluvions grossières de 2 à 3 m d'épaisseur, à des altitudes Suffisamment élevées pour ne pas les confondre avec les terrasses alluviales récentes qui elles, jalonnent l'oued Tagharist.

d Les colluvions :

Elles sont distribuées sur les surfaces de faible déclivité (5 à 15% de pente) et jalonnent les berges du réseau hydrographique principal (l'oued Tagharist et ses affluents). Malgré leur hétérogénéité et leur variation d'épaisseur, on peut distinguer des colluvions fines, argilo - limoneuses, et des colluvions grossières à blocs et galets enrobés dans une matrice argileuse.

- Les colluvions fines, de couleur brune, sont localisées pour l'essentiel :

- en aval du barrage, à l'entrée sud du village de Yabous.
- dans la cuvette, au lieu-dit Diar El Gaid C'est dans ces colluvions qu'ont été définies les 4 zones d'emprunt de matériaux fins, lors de l'étude de faisabilité. Les nombreux puits creusés (30) dans ces colluvions révèlent une épaisseur moyenne de 3 à 6 m d'argile renfermant souvent une proportion non négligeable de galets et graviers.



Figure 7: colluvions argileuses (C), au lieu-dit Diar el Gaid (ANBT, 2005,35p).

e Les colluvions grossières :

Elles sont particulièrement développées à proximité des 3 variantes de digue de part et d'autre de l'oued Tagharist (Bouhazra), et à l'extrémité sud de la retenue (Cantina, Ras el Hanchir, Aghlane).

A proximité des variantes de digue, le versant rive gauche, de faible déclivité, est tapissé par des colluvions argileuses à gros blocs gréseux (1 à 10 m). Les sondages anciens et récents (coupes géologiques BB', CC' et DD') montrent que cette formation, d'épaisseur variable, peut atteindre 8 à 10 m. Les bios proviennent de l'érosion des barres tortoniennes situées plus en amont des colluvions tandis que la matrice argileuse provient de l'altération locale des marnes du Campanien. Le versant rive droite est assez distinct de son opposé. Il montre une bande d'argile plastique à galets, de 5 à 10 m d'épaisseur, entraînée dans un Mouvement de fluage (coupe géologique CC') et un épais manteau de colluvion à galets et blocs de taille décimétrique à demi-métrique (coupe géologique CC', lieu-dit Bouhazra).

A l'extrémité sud de la retenue, une vaste zone d'épandage s'est développée au pied du massif du Chélia. Cette morphologie a favorisé une accumulation de débris rocheux, Anguleux, à dominante calcaire, enrobés dans une matrice plus fine. L'épaisseur de ces colluvions reste indéterminée, elle peut cependant atteindre une dizaine de mètres dans leur partie centrale.



Figure 8: colluvion grossières a galets et blocs (CG) au droit de la 3 ème variante de digue (ANBT.2005.36p).

f Les formations anciennes :

A partir de la première barre rocheuse qui domine au sud, le village de Yabous et en remontant le débouché (Foum) de l'oued Tagharist vers l'intérieur de la cuvette, une succession de reliefs découpés par quelques arêtes rocheuses vives, montrent une série stratigraphique représentée par le Miocène supérieur (Tritonien) et le Crétacé supérieur (Cénomaniens à Sénoniens). La similitude des faciès du Crétacé supérieur ne permet pas de délimiter précisément ses différents sous - étages sur le terrain, tels qu'établis sur la carte géologique au 1/50 000 de Touffana . Les limites que nous avons adoptées pour le lever géologique de la cuvette, au 1/5 000, sont basées essentiellement sur les grandes variations lithologiques, ponctuées par des barres calcaires aisément cartographiables.

1.3 Le Tortonien :

Il est représenté par une alternance de banes gréseux massifs dont on peut dénombrer 5 barres, et d'argiles grises, qui forment le premier relief au sud de Yabous. Les barres

Gréseuses, qui peuvent atteindre 10 m d'épaisseur vers le sommet de la série, sont blanchâtres, grossiers et localement conglomératiques (dragées de quartz pilulaire). Les argiles sont souvent silteuses et renferment elles-mêmes des bancs gréseux d'échelle n'étrique. Elles forment des combes recouvertes par des éboulis. Le passage des argiles aux grès est souligné par une transition d'argiles sableuses verdâtres puis de bancs décimétriques gréseux.

Au-dessus de la première barre gréseuse de la série, est intercalé un banc de calcaire métrique dur, organogène (débris d'huîtres) que l'on observe bien au cimetière de Bouhazra, Ce banc calcaire, concordant dans la série de base argilo - gréseuse, correspond au faciès carbonaté fossilifère du Langhien-Serravalien (terme m1 de S. Guellal, 1973).

La série turonienne atteint 400 m d'épaisseur. Sa base est située en aval immédiat des 3 variantes de digue du barrage. Elle est discordante sur les formations crétacées. La lacune stratigraphique de tout le Paléogène jusqu'au Miocène inférieur s'observe sur toute la bordure nord-orientale des Aurès.

Plus en aval du site, dans la plaine de Yabous, se développent des argiles rouges du Tritonien supérieur, occupant de grandes étendues.



Figure 9: de barres gréseuses Gr et d'argiles A du Tortonien .en aval de la 1 émie variante de digu
(ANBT, 2005,36p).

1.4 Le Campanien :

Il est représenté par une série épaisse de marnes grises, assez homogènes. La stratification est soulignée par des bancs fins marno - calcaires, de couleur plus claire, Elles sont très pauvres en macro - fossiles, contrairement aux séries mateuses plus anciennes. Ces marnes sont assez ravinées en surface par suite de leur décompression et altération. Elles forment par ailleurs l'horizon de fondation des 3 variantes de digues, dans la mesure où

Elles sont épaisses. Les nombreux sondages qui ont été réalisés dans cette formation montrent qu'elles deviennent de plus en plus denses en profondeur, de couleur plus sombre, et admettent quelques rares passées franchement calcaires. L'observation des carottes de sondages récents montre que ces marnes sont finement diaclases et fracturées par endroits.

Les fractures d'ouverture demi - centimétrique sont souvent recristallisées en calcite blanche. Elles sont par contre très sensibles à la décompression et se débitent alors, quelle que soit leur consistance, en fragments centimétriques anguleux. L'épaisseur de cette formation est de 500m environ.

1.5 Le Santonien :

Les marnes campaniennes passent progressivement à des marnes plus claires, à cassure terreuse et fossilifères. Celles-ci renferment des bancs marno-calcaires noduleux, d'épaisseur décimétrique, fossilifères. Elles sont ravinées et recouvertes par une mince pellicule d'éboulis (nodules marno-calcaires) en surface. La végétation arborée qui recouvre cette formation la protège efficacement contre l'érosion. Son épaisseur est de 150 à 200 m.

La limite stratigraphique présumée entre le Santonien et le Coniacien correspond à un banc de calcaire dolomitique, fossilifère de 2 m, bien visible de part et d'autre de l'oued Tagharist, au lieu-dit Diar el Gaid.

1.6 Le Coniacien :

Au-dessous du banc calcaire - dolomitique que nous avons attribué au Santonien, se développe une sédimentation à dominante marno - calcaire et pélitique, en bancs centimétriques à décimétriques, très fossilifères (huitres). Le sommet de la formation renferme des niveaux calcaires noduleux, comparables à ceux du Santonien, tandis que sa

Base est caractérisée par la présence de bancs fins et durs de couleur sombre. Cette formation est largement visible au fond du thalweg qui remonte, en rive droite de l'oued Tagharist, vers le village de Touchent. Dans son ensemble, elle est plus robuste que la formation précédente et donc plus résistante à l'érosion. Son épaisseur est de 300 à 350 m.

1.7 Le Turonien :

On a distingué sur le plan lithologique et cartographique deux formations turoniennes et on a adopté comme limite supérieure les trois bancs calcaires métriques à minces joints marneux, qui affleurent sur toute la largeur de l'oued Tagharist, à Diar El Gaid, en formant des seuils naturels de déversement des eaux de crues (figure 11). Ces bancs calcaires, qui appartiennent à la formation supérieure, sont de couleur blanchâtre, fins, et renferment des débris de fossiles. Puis, succède une alternance de marnes grises épaisses renfermant des bancs calcaires demi-métriques qui apparaissent bien en rive droite de l'oued Tagharist, entre les combes marneuses. Son épaisseur est de 500 à 600 m.

La formation inférieure est assez comparable à la supérieure mais plus carbonatée. Elle débute par une série de 4 bancs calcaires massifs de 10m d'épaisseur qui forment une arête topographique bien visible sur les deux versants de l'oued Tagharist, à la hauteur de Zkakat Elle se poursuit à Tibelardjine par une alternance de marnes verdâtres fossilifères (Huîtres) renfermant, en plus grand nombre, des bancs calcaires à patine jaunâtre. Son épaisseur est de 400 à 500 m.

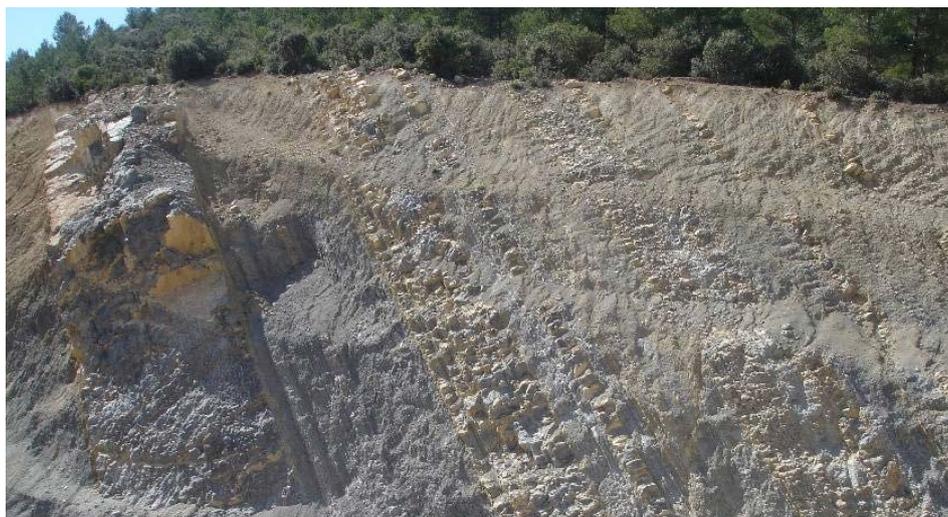


Figure 10: Alternance de marnes et marno-calcaires du Turonien

1.8 Le Turonien basal :

La formation turonienne se poursuit vers la base, par une alternance de bancs calcaires d'épaisseur métrique et de marnes élitiques verdâtres. Les bancs calcaires, fortement redressés et bien dégagés en rive droite de l'oued Tagharist, sont fins, de couleur grise à la cassure et à patine ocre, ils renferment des débris de fossiles. Les marnes sont à cassure terreuse et renferment de grosses huitres. Cette formation d'âge probable turonien inférieur, a une épaisseur de 300 à 400 m.

1.9 Le Cénomanién supérieur :

Il est représenté par des marnes grises à verdâtres, épaisses, renfermant des bancs marno-calcaires d'épaisseur demi-métrique et des lumachelles Huitres. Le sommet de cette formation est très fossilifère avec une nette prédominance de petites huitres. Cette formation occupe la partie amont de la cuvette du barrage et est recouverte en grande partie par les colluvions grossières des bas piedmonts du Chélia (Cantina, Ras el Hanchir). Son épaisseur est supérieure à 600 m. Elle repose sur une série de consistances plus rocheuses, de même âge, qui affleure vers l'extrémité sud-ouest de la cuvette (Cantina). Il s'agit de bancs calcaires durs et massifs, d'épaisseur pluri métrique, alternant avec des passées plus tendres, marneuses. Cette série qui affleure largement plus au sud de la cuvette, forme les premiers contreforts du massif du Chélia (ANBT, Mars, 2009, p10).

2. Tectonique :

Les montagnes de l'Atlas représentent un nouvel ensemble plissé contemporain des Alpes d'Europe. Depuis le début de la période Cénozoïque, l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien ont tous deux été plissés et faillés par compression dans la direction NNO-SSE, produisant des structures tectoniques correspondant et des failles inverses de direction E-O à NE-SO. Cette compression NNO est le résultat du mouvement du déplacement du Plateau Africain vers le Nord, vers le plateau Eurasien, à une vitesse diversement estimée de 3 à 6 mm/année et jusqu'à 7,6 mm/année.

Cette même déformation compressive s'est poursuivie pendant le Quaternaire et a affecté les dépôts quaternaires jeunes.

La plupart des activités tectoniques et sismiques ont été associées avec l'Atlas Tellien. La zone à l'intérieur du Haut Plateau apparaît être moins active sismiquement. La zone de l'Atlas Saharien a produit dans le passé quelques activités sismiques éparpillées.

La tectonique globale est observée à l'échelle du site du barrage de Tagharist et ses proches environs. La carte géologique de Touffana, au 1/50 000me, montre une structure en pli du Jebel Chélia, de direction atlasique (NE-SO). Cette structure d'échelle plurikilométrique, concerne aussi bien les terrains crétacés, les plus anciens, que le Miocène moyen (Serravalien à Tortonien). Les accidents majeurs, d'âge néogène (post-Tortonien), sont orientés N-S à NO-SE.

2.1 Les structures plissées :

La carte géologique de la cuvette du barrage et la coupe géologique synthétique AA' montrent une structure monoclinale de l'ensemble de la série stratigraphique néogène - crétacée, suivant une direction N40 à N60°E, avec un pendage des couches de 50 à 85° vers le NO. Cette structure correspond au flanc nord de l'anticlinal du Chélia et l'augmentation progressive de la valeur du pendage vers l'amont de la cuvette (base de la série stratigraphique) ébauche le style de plis coffrés que l'on observe, plus au sud, dans le djebel Keltoum. La particularité de cette structure est la très faible discordance angulaire (très peu apparente) entre les terrains Serravalien - tortoniens et crétacés, malgré la lacune stratigraphique de tout le Paléogène. On n'a pas observé de structure plicatile plus ancienne (ante - miocène) dans la série crétacée, à l'exception d'accidents anciens qu'on analysera plus loin.

Dans la plaine de Yabous, en aval du barrage, la structure monoclinale est noyée sous des terrains plus récents (argiles rouges du Tortonien supérieur, glaciis quaternaire et encroûtements), jusqu' au relief collinaire qui délimite la plaine vers le nord et où réapparaissent les ares et argiles tortoniens. Ces derniers montrent (route qui mène de Touffana à Yabous) un pli droit, anticlinal d'échelle kilométrique. La plaine de Yabous correspond ainsi à un synclinal à grand rayon de courbure de sa zone axiale.

2.2 Les structures cassantes :

D'après l'âge des terrains affectés par la tectonique cassante et la cinématique observée, on peut distinguer 2 générations de failles sur le site du barrage : les failles anté- miocènes et les failles plus récentes, moi-pliocènes.

a) Les failles ante - miocènes sont observées en deux endroits sur la rive droite de l'oued Tagharist, et à proximité de la route longeant ce cours d'eau.

La première est observée à Diar el Gaid, dans la barre calcarone-dolomitique formant la base du Santonine: Cette faille de direction $N60^{\circ}E$ et de pendage $30^{\circ}NO$, parallèle à la stratification, montre des stries de pitch 90° et un soulèvement du compartiment NO. La seconde est observée à zkakat, au niveau des 4 bancs de calcaire massif de la formation inférieure du Turonien .Elle est de direction $N180^{\circ}$ et de pendage $40^{\circ}E$. Les marqueurs de la déformation (pitch à 90° , redans et recristallisation syn-tectonique) montrent. Le soulèvement du compartiment Est Ces failles est retrouvé, d'après leur valeur de pendage, dans les carottes des sondages récents, au niveau de la formation marneuse campanienne. Il s'agit, dans les 2 cas, de failles inverses générées par une compression E-O à NO-SE. La direction de contrainte NO-SE est bien connue dans le domaine atlasique.

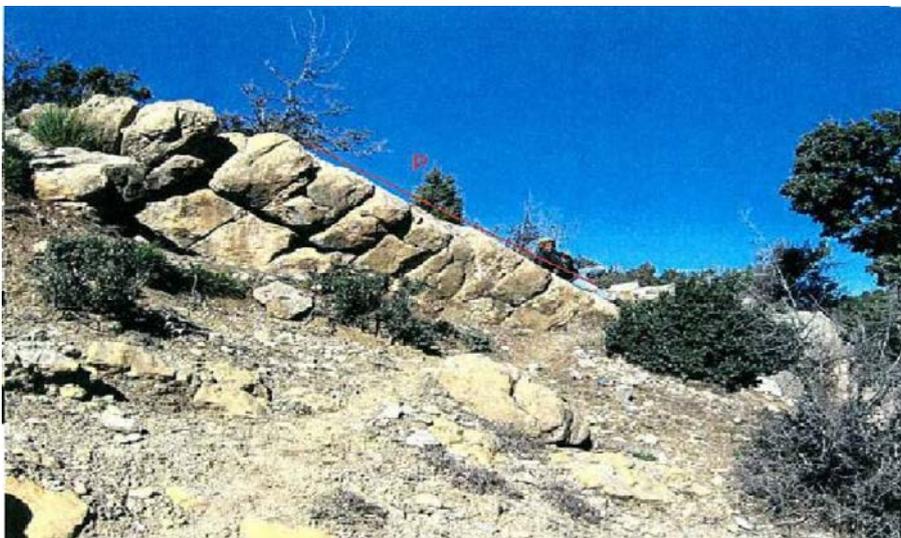


Figure 11: Plan de faille (P) de direction $N180^{\circ}$ et d'inclinaison $40^{\circ}E$, dans les calcaires turoniens, à Diar El Gaid, rive gauche (ANBT, Mars, 2006).

b) Les failles mio - pliocènes (et probablement quaternaires), sont les plus répandues, aussi bien dans le site du barrage qu'à plus grande échelle dans la région.

Elles sont de direction N160°E & N180° et sont bien visibles dans les barres gréseuses tortoniennes. Elles sont très redressées souvent verticales, peu recristallisées, et leur composante principale est en décrochement dextre et senestre. Les déplacements générés

Sont de l'ordre de quelques mètres, d'après le décalage des bancs observé dans la série stratigraphique de la cuvette. Le rôle joué par ces failles mio-pliocènes est cependant remarquable sur le plan hydrologique. Ce sont elles qui ont permis à l'oued Tagharist de franchir, suivant leur propre direction (N 160°), les fréquentes barres calcaires et gréseuses assez orthogonales au cours d'eau. En aval immédiat des trois variantes de digue, la section rétrécie de l'oued Tagharist, au contact de la première barre gréseuse, est délimitée par ces plans de failles à pente raide, dégagés par l'érosion. Le reste du réseau hydrographique de la cuvette est par contre, plus en relation avec la lithologie : lits creusés dans les formations les plus tendres (marnes).

De plus des failles identifiées sur le site du barrage, une faille curvilinéaire majeure est située quelque 8 km au Sud de l'emplacement du barrage. Quant aux failles du site, elles ne sont perceptibles que sur des distances limitées ; elles sont d'âge ante-miocène ou miopliocène comme décrit ci-dessus (ANBT, Mars, 2009, p13).



Figure 12: Zone de faille verticale (F) favorisant le passage de l'oued Tagharist, en aval des sites de retenue (ANBT, Mars, 2006).

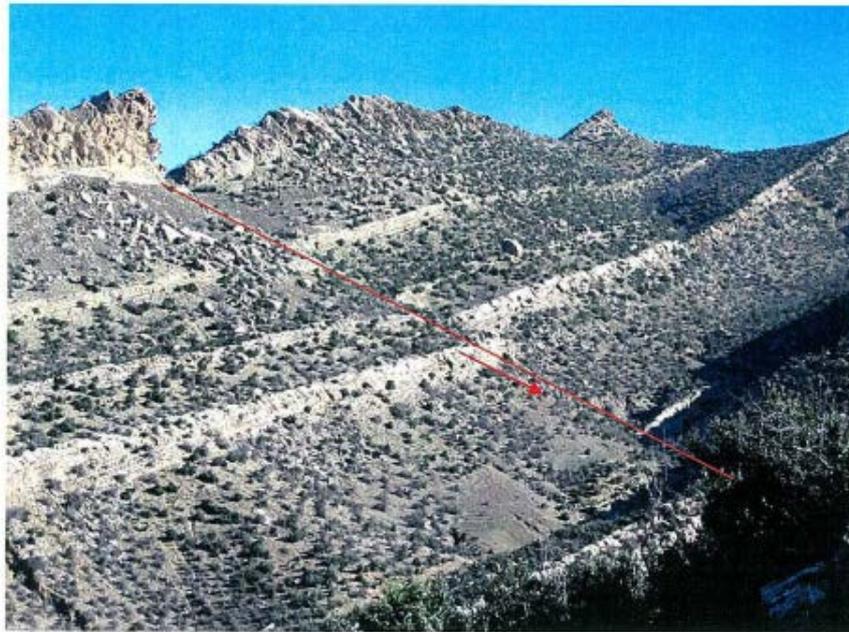


Figure 13: Failles normales et décrochement dans les grès Tortoniens (rive droite de l'oued Tagharist) (ANBT, Mars, 2006).

3. Géologie régionale :

3.1 INTRODUCTION :

La structure géologique du Nord de l'Algérie comprend les trois structures géomorphologiques suivantes :

L'Atlas Tellien

Le Haut Plateau entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien

L'Atlas Saharien

L'Atlas Tellien consiste en une succession de chaînes de montagne et de vallées parallèles au littoral avec des plateformes juxtaposées (bassins alluvionnaires) et un relief topographique haut avec un niveau maximal d'environ 2 000 m.

Le Haut Plateau entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien est une région de plaines élevées (à environ 1 000 m) ayant une topographie relativement plate.

L'Atlas Saharien est une chaîne de montagnes très plissées.

La zone autour du site du bassin est située entre l'extrémité Sud du Bassin Constantinois (Etendue Sud du Haut Plateau) et l'Etendue Nord de l'Atlas Saharien.

Donc, comme mentionné ci-dessus, le barrage est situé près de la frontière des deux structures géologiques principales suivantes, nommément :

L'Atlas saharien des Aurès, au Sud, représenté par les formations rocheuses des périodes Jurassique - Crétacée. Il est caractérisé par de grands plis d'échelle plu-kilométrique, orientés NE-SO, à matériel essentiellement crétacé.

Le bassin néogène de Timgad, qui forme la partie Sud du bassin Inter- montagneux de Constantine. Il est constitué de matériel miocène (dépôts Néogènes et Quaternaires), et de structure plissée d'échelle plus modeste (kilométrique).

Une carte géologique détaillée de la région des Aurès (au 1/200 000"), plus près du site, est présentée.

Ces deux ensembles sont affectés par une tectonique plicatile récente (mi-pliocène) à l'origine des plis NE-SO et par des failles subméridiennes à composante essentiellement décrochant. Le réseau hydrographique descendant de cette partie orientale des Aurès est étroitement contrôlé par ces accidents, tel que celui de l'oued Tagharist que nous verrons plus en détail dans ce qui suit.

3.2 Description litho — stratigraphique.

3.2.1 Trias :

Le Trias affleure en masses chaotiques dans divers types de formations

Sont fiables : cargneules jaunâtres, dolomies noirâtres, marnes bariolées gypseuses,

Grès, gypses fibreux emballés dans des argilites vertes, livides, parfois lie-de-vin. Les

Formations triasiques ont une plasticité due à la présence d'évaporites, elles constituent les

Noyaux des "structures diasporiques" (Busson, 1974). Plusieurs "extrusions triasiques" de

Dimensions importantes, morcelant la couverture crétacée, affleurent dans le paysage des

Aurès : El Outaya, Menaâ, Narah, Maafa, Médina, Khenchela, Tazougert.

3.2.2 Jurassique :

Les formations jurassiques sont encore limitées à l'ouest et au nord-ouest du massif

Auris. En plus de l'affleurement au nord-ouest de Syriana, une cascade, une thalassémie,

Ain El-Kasr, Tafuda est situé au nord-ouest de Batna, et il est lié à un accident

Tectonique NE - SW. Les formations jurassiques sont caractérisées par

Développement du faciès carbonaté. Il se compose principalement de :

Dolomite et calcaire dolomitique alternent dans les quels roches pierreuses et Argile calcaire de schiste avec des intersections de marnes jaunes et rouges qui peuvent être en place 400 après. (Dinar, H. 2016).

3.2.3 Crétacé :

Berriasien :

Il est formé en alternant les surfaces décimales en couches de calcaire métrique et marneux

Dolomite grise. Ce sont les faciès huméraux néritiques Les coutures superposées sont rainurées et fissurées. Cette intimidation faite par Le valentinien suppose l'existence de phases d'émission épisodiques à court terme.

3.2.4 Valanginien :

Il représente une transition de l'ancien à d'autres aspects des facettes du carbonate nitrique. Ce changement dans la nature rocheuse appelle une différence dans la moyenne Dépôts, où l'on voit l'arrivée des décharges périodiques de matériaux silico-clastiques Dans les carbonates. C'est dans ces faces que les sédiments de Marley pénètrent dans les eaux peu profondes Décimétrique à métrique du calcaire et du grès quartzeux poli avec plus ou plus de structures Moins plat, il peut atteindre 150 à 200 mètres d'épaisseur .

Hauterivien :

Il est caractérisé par les formations de calcaire et de dolomite, en particulier dans Régions du nord des monts Auris. Sur le côté opposé de Blue Mountain, Valangeni est Représenté par un halo régulier composé de grès et de calcaire Pisolithique avec des algues vertes. L'épaisseur de cette étape est variable, elle varie entre 400 Et 1000 mètres.

Barimien :

Le grès quartzeux est principalement connu pour la prédominance des niveaux métriques Les couches croisées évidentes deviennent parfois aplaties à presque plates. Ces niveaux Les corniches se forment clairement dans le paysage. Cependant, calcaire, dolomite Et les marnes sont très fréquentes. Le permien a une grande épaisseur qui peut être Atteindre 900 m

Aptien :

Dans ces faces, la dominance de la nature carbonatée rocheuse est évidente. Le

Il s'agit souvent de calcaire avec orbituline et contient de la dolomite et du calcaire dolomitique. Beaucoup de détritiques y sont inclus. Marl Green - grès jaunâtre et quartz. L'épaisseur moyenne des formations Aptiennes oscille entre 300 et 450 mètres.

Albien :

Le passage vers les formations albanaises annonce un changement marqué. Le type de sédimentation par rapport aux sédiments basiques. La base laitière est faite de la marne Panachée aux niveaux décimaux de grès grossier. Ces grès sont présents certains endroits d'origine continentale ou lacustre.

Panachée aux niveaux décimaux de grès grossier. Ces grès sont présents certains endroits d'origine continentale ou lacustre (Lafayette, 1939; Noureddine et Matzouz, 2000).

Au sommet du terrain, la sédimentation devient sensiblement carbonisée comme les calcaires des récifs coralliens. Il a été développé à grande échelle. Les poissons laitiers sont entre 400 et 500 mètres.

Cénomani :

Un halo se forme pratiquement dans les sédiments du Crétacé inférieur. Toutes les structures inversées des Auris.

Le Cénomani est fortement représenté à sa base. Par contre, à travers les formations Marley et les argiles, le calcaire marneux prédomine au sommet.

A ce stade, il y a une absence totale de boues, son épaisseur peut atteindre 1000 mètres.

Turonien :

Au centre d'Aurès, le Turonien est constitué de marnes croisées. Un calcaire marne fossile centimétrique et décimétrique est rare avec les échinodermes et rare céphalopodes, qui peuvent atteindre plus de 800 mètres d'épaisseur.

D'autre part, ses environs il est représenté par un calcaire rudiste, dont l'épaisseur varie de 100 à 300 mètres.

Sinonien :

Le sénonien consiste en un groupe de visages néritiques formés dans une ombre de faiblesse Une tranche d'eau, et elle est omniprésente dans toutes les structures synchrones du massif des Aurès.

Il est Elle se caractérise par la présence de dépôts de boue calcaire. Les grès sont remplacés Progressivement vers le haut de la chaîne en intercalant marnes et marno calcaires dans les bancs décimaux dans lesquels les dolomitiques et phosphate. Les formations de cannelle peuvent atteindre 2500 à 3000 mètres.

Paléogène :

Les formations paléogènes sont bien développées au niveau des Aurès.

. Il s'étend vers Nemamcha au sud-est et les monts Tébessa à l'est.

Principalement situé Dans les régions synchrones correspondant aux vallées contemporaines et en flexion Le désert du Sahara (Dupordieu, 1956). Paléogène est fait de calcaire, le calcaire de la marne Chapitre deux Cadre géologique régional 26 Marl contient parfois du gypse et ou des phosphates. Il est important de noter L'émergence de sable, de touffes et de brèches dans la partie supérieure du terrain.

En termes stratifiés, il est divisé en deux parties principales :

- Une chaîne nautique à la base, riche en animaux, de l'époque de l'Éocène inférieur -

Le milieu de l'Eocène.

Une chaîne continentale au-dessus, de l'Eocène supérieur - Oligocène.

(Villa et al. 1996).

Néogène :

Dans la région centrale du Massif de l'Aurès se trouvent les gisements néogènes

Il se compose principalement des conglomérats du Miocène, et l'a remplacé au sud par

Formations marines (calcaire, calcaire, marnes de gypse). au cours de cette période

Les dépôts sont caractérisés par des changements fréquents dans différentes directions. Présence Des agglomérations dues à l'émission lut tique observée dans les limites de la partie nord Auris de l'Est.

Ces conglomérats associés sont recouverts de couches marno-calcaires À travers des sédiments continentaux qui reflètent une «phase caractéristique» d'une phase intense Le pliage incite à une révolution du relief (Laffitte, 1939).

Dans les régions synclinales, arrangement spécial pour accord La myosine et la confiserie s'agglutinent avec les couches de base et supérieure, Cela peut s'expliquer par la fin de la période de sédimentation marine. Dans les régions opposées, le Néogène est en contraste marqué avec les formations Au-dessus. Il peut atteindre 300 mètres d'épaisseur.

3.2.5 Quaternaire :

Les formations quaternaires s'étendent sur de grandes superficies, elles sont d'origine continentale. Ce sont des formations largement répandues à la périphérie des Aurès bordant Les massifs montagneux. Elles sont constituées d'éboulis à blocs, d'éboulements et de glaciaires polygéniques. (Dinar, H. 2016).

Dans les zones basses se développent de larges et épaisses nappes alluviales, des sebkhas, des terrasses et des sols hydro-morphes. Par endroits se trouvent des croûtes calcaires d'âge villafranchien, entaillées et probablement karstifiées ainsi que des tufs carbonatés liés à des sources hydrothermales.

| | | Lithologie | Epaisseur (m) | Description lithologique | |
|------------------------------------|-------------|------------|---------------|---|---|
| CENOZOIQUE | Quaternaire | | ⑥ 10-30 | Dépôts clastiques d'origine continentale. | |
| | Néogène | Miocène | ⑤ | 10-150 | Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites. |
| | | Éocène | | 200 | Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur. |
| MESOZOIQUE CRETACE SUPERIEUR | INFÉRIEUR | Maest | | 250-300 | Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure. |
| | | Campanien | | 500-600 | Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure. |
| | | Con-Sant | | 500-600 | Marnes argileuses grises et grises bleuâtres. |
| | | Turo | | ④ 180-250 | Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée. |
| | | Cénomane | | ③ 900-1000 | Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.. |
| | | Vracon | | ② 500-600 | Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites. |
| | | Albien | | 480-600 | Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux. |
| | | Clans | | 100-200 | Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires. |
| | | Aptien | | ① 300-600 | -Faciès clastique; marnes argileuse avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. -Faciès carbonaté; calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interclastes. |
| | | Barrémien | | < 250 | Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloula). |
| | | Jurassique | | ? | |
| | | Trias | | < 700 | Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique. |

Figure 14: Colonne stratigraphique synthétique de l'Atlas saharien orientale (Sami, 2004).

3.3 Conclusion :

La structure du massif de L'Aurès résulte de l'action conjuguée de plusieurs phases tectoniques de style et d'extension variables. Une première phase a probablement affecté le Massif pendant le sénonien inférieur et moyen. A la même époque certaines cassures locales ont favorisé la mise en place des premiers "époinçements triasiques".

La cétogénèse majeure se situe durant l'Eocène moyen. Les plis s'orientent suivant des directions comprises entre N40°E et N60°E ; par contre les accidents montrent des directions variées. Les accidents NW ou EW ont joué en décrochements dextres, alors que ceux NE ou NS ont joué en décrochements senestres. L'étude de la fracturation montre que les accidents liés au plissement principal ont été déformés postérieurement et que des fractures tardives sont associées à diverses manifestations tectoniques majeures ; en particulier les décrochements.

D'autre part, la tectonique Aure sienne est caractérisée par la superposition d'une couverture mésozoïque assez épaisse sur un socle paléozoïque par l'intermédiaire du Trias. Cette couverture " moule " les différents " panneaux " du socle, elle est soumise à la fois aux répliques des jeux du socle et influencée par la mobilité du Trias. Cette mobilité se fait soit horizontalement (disharmonie due à un matériel argilo gypseux) entraînant la couverture, soit verticalement.

Les décrochements longitudinaux ont participé au développement de certaines structures rectilignes aux proportions inhabituelles. Ce genre de décrochements ne peut pas se faire dans une couverture épaisse de 4100 mètres sans l'influence du socle. Les directions N45°E résulteraient de l'exagération.

4. Hydrogéologie :

Outre les terrasses alluviales étroites et peu épaisses de l'oued Tagharist, qui renferment des eaux souterraines assez localisées, les formations susceptibles d'être aquifères correspondent aux colluvions quaternaires, aux grès tortonien et probablement aux horizons décomprimés et altérés des terrains crétacés. Dans la cuvette, la prédominance des Termes marneux alternant avec des bancs calcaires non quartidés, de même que la structure monoclinale d'ensemble, forment des conditions défavorables à l'accumulation des eaux Souterraines.

Au niveau du site des trois variantes de digue, les sondages équipés en piézomètres donnent les résultats suivants :

Les valeurs prises en compte dans l'interprétation piézométrique correspondent aux mesures effectuées le 18/01/2005 (bien après la fin des forages) afin d'éviter toute influence des eaux utilisées lors des forages et des essais de perméabilité. Les profils piézométriques reportés sur les coupes géologiques (BB', CC' et DD') passant par les 3 axes des variantes de digue, permettent les commentaires suivants : Les eaux sont contenues dans les alluvions de l'oued Tagharist, les colluvions argileuses à blocs et galets et les argiles jaunâtres recouvrant les marnes campaniennes. La profondeur des eaux varie en moyenne entre 4 et 8 m. Elle peut être plus profonde, comme au niveau du sondage S03A où elle se situe à 13,45 m, au toit des marnes grises, et dans les sondages S06A et S08A, où elle se situe à 14-15 m, à la base des colluvions. Ces eaux souterraines sont drainées, comme il est attendu, par l'oued Tagharist, et ne forment pas d'aquifère épais, au-dessus du substratum marneux imperméable. Ces données piézométriques qu'il faudrait préciser par d'autres campagnes de mesures (en période des hautes eaux notamment : mai et juin 2005), laissent penser que les venues d'eau seront aisément maîtrisables, lors des travaux de réalisation de la digue (terrassements) (ANBT, Mars, 2006, p20).

| N forage | Cote du forage(m) | Profondeur du niveau statique (m) | Dates de mesures | Observations |
|---------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------|
| S01A | 1255.02 | 7.60 | 17/01/2004 | Mesure en fin de forage |
| S02A | 1230.34 | 3.20 | 01/10/2004 | Mesure en fin de forage |
| S03A | 1242.74 | 13.45 | 18/01/2005 | |
| S04A | 1258.37 | 14.60 | 18/01/2005 | |
| S05A | 1244.78 | 14.80 | 18/01/2005 | |
| S06A | 1252.04 | 1.30 | 18/01/2005 | |
| S07A | 1257.78 | 12.40 | 18/01/2005 | |
| S08A | 1231.81 | 0.40 | 27/10/2004 | Mesure en fin de forage |
| S09A | 1247.91 | 8.10 | 18/01/2005 | |
| S010A | 1272.57 | 4.00 | 18/01/2005 | |
| S011A | 1280.13 | 3.40 | 28/11/2004 | Mesure en fin de forage |
| S012A | 1269.57 | 4.10 | 18/01/2005 | |
| S1 sondage ancien | | 1.83 | Mai1997 | Mesure en fin de forage |
| S2 (sondage ancien) | | 4.10 | Mai1997 | Mesure en fin de forage |
| S3 (sondage ancien) | | 0.74 | Mai1997 | Sondage en fond d'oued |

Tableau 2: travaux de réalisation de la digue (terrassements). (ANBT, 2006, mars, 20P)

4.1 La pluviométrie :

4.1.1 Données disponibles :

Les données de base pluviométriques disponibles dans la région d'étude ont été sélectionnées à partir du réseau d'observation de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Le réseau pluviométrique de l'ANRH aux environs du bassin versant de

Tagharist comporte plusieurs stations, Seul le poste de Yabous (code 070604) est localisé à l'intérieur du bassin versant. En plus, le polygone de Thiaisien illustré sur la même figure (en bleu) montre que la région d'influence de la station de yabous couvre la quasi-totalité du bassin versant. Les stations Medina (061503), Bou Hamama (code 061803) et la station 070406 sont aussi analysées.

La dernière station est la plus proche du poste de Yabous. La Figure 8 montre aussi les courbes isohyètes des cartes ANRH (issue en 1992) sur le bassin versant de Tagharist. Celui-ci est quasiment sous influence de l'isohyète 450 mm seulement, suggérant une moyenne à long tem de la même valeur. Cependant il est à noter que les cartes ANRH sont basées sur des données qui couvrent les périodes 1922-1960 et 1969-1989. Pour la région de Tagharist cette période est de 1969 à 1989, vu que les stations pluviométriques commencent en 1969.

Remarquons que les stations présentent toutes des années lacunaires, et que leurs périodes de fonctionnement sont différentes. Ce qui complique le choix trouver une série représentative pour une période longue.

4.1.2 L'analyse de corrélation et de l'évolution temporelle :

La critique de l'information pluviométrique est effectuée sur deux indices : la corrélation des valeurs de précipitations annuelles des séries d'observations et l'analyse de l'évolution temporelle des séries pluviométriques.

Les résultats de la corrélation des valeurs annuelles des séries d'observations ont donné des coefficients qui ne sont pas élevés, néanmoins statistiquement significatifs. Les deux stations les plus proches (Yabous et 070406) sont assez similaires telles que le montre, à l'exception des années 1980 et 1987. La corrélation entre les deux stations est de 0,75 après élimination des années 1980 et 1987 où la station de Yabous enregistre des précipitations élevées. L'analyse d'homogénéité des deux stations est analysée par la courbe de double cumul entre les deux stations illustrée. Bien que des cassures soient présentes tel que pour l'année 1983, l'effet de ces cassures est mineur comme le montre le coefficient de détermination ($R=0.9939$) de l'équation linéaire de la relation de double cumul. En plus, la Différence entre les coefficients des différentes équations de régression ajustées à des sections de la relation de

double cumul n'est pas statistiquement différente au niveau de 5%. D'autre part, la station 070406 n'est pas station référence pour justifier ajuster la station de Yabous.

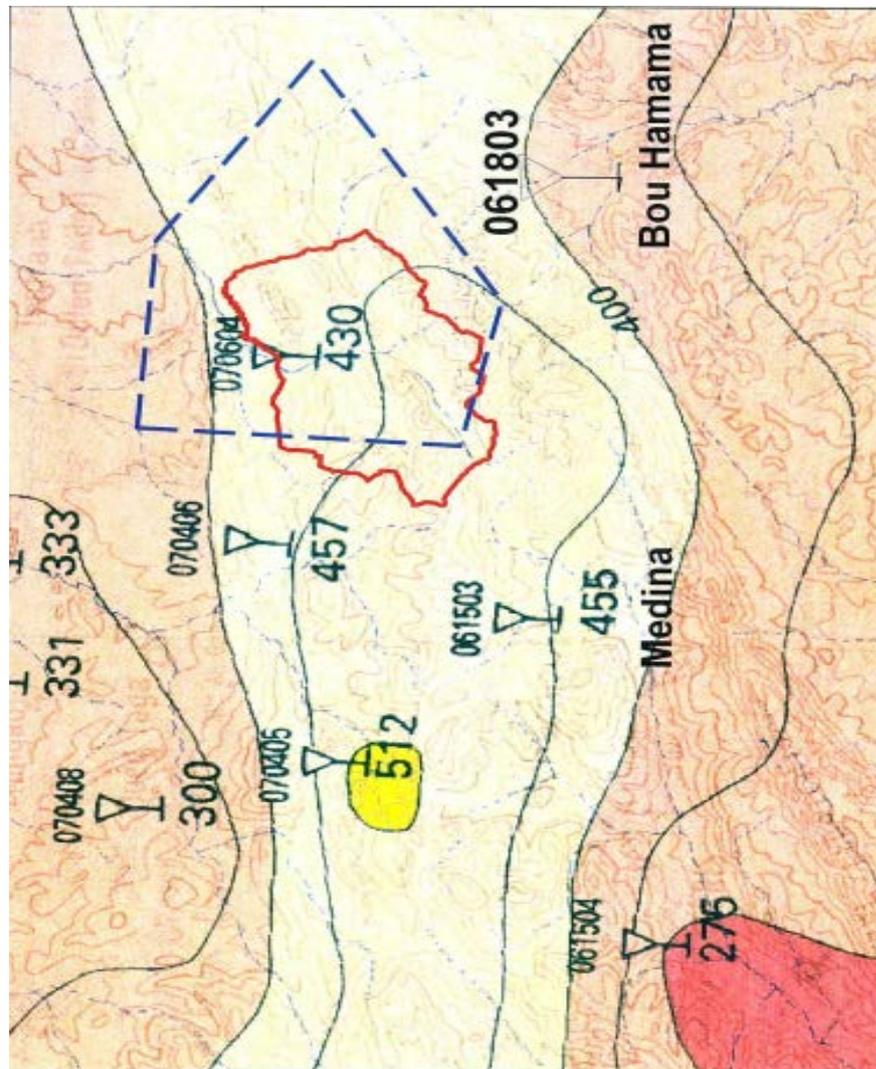


Figure 15: carte isohyète annuelles moyennes la localisation des stations pluviométrique utilisée l'analyse de la pluviométrie et la région d'influence de le station de yabous par le polygone de thiessen (en bleu) (ANBT, 2005, p12).

Une bonne similitude existe aussi entre la station de Médina (code 061503) et celle de Yabous. Cette analyse suggère que les valeurs de Yabous sont en général en accord avec le train régional de la précipitation dans la région. La station de Yabous est donc considérée représentative du bassin versant de Tagharist, vu qu'elle est la seule à l'intérieur du bassin versant. La comparaison entre les différentes stations pluviométriques a permis donc la vérification de l'information de la station Yabous.

D'autre part, l'évolution temporelle de la série des précipitations annuelles de la série de Yabous est étudiée. Des tests statistiques paramétriques (tels que la régression linéaire entre les précipitations annuelles et le temps) et non paramétriques (tels que le ρ (Rho) de Spearman et le test de Mann-Kendall) qui ciblent la détection du changement temporel sont utilisés. Tous les tests supposent l'absence de structure d'auto-corrélation dans chaque série. C'est pourquoi cette hypothèse a été vérifiée par le calcul du coefficient d'auto-corrélation qui s'est avéré non significatif au niveau de 5%. La vérification de l'hypothèse principale faite, les tests de la détection du changement temporel sont effectués et les résultats de tous ces tests confirment la tendance à la baisse de la précipitation annuelle avec le temps. Ceci est largement dû à la période de sécheresse des années 80 qui s'étendent aux débuts des années 90.

4.1.3 La pluviométrie moyenne annuelle :

La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin versant de Tagharist a été estimée à partir de la station Yabous. Les caractéristiques de base de la série de précipitations annuelles sont illustrées dans le Tableau 3.

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Nombre d'observations | 34 |
| Minimum | 139 |
| Maximum | 644 |
| moyenne | 371 |
| Ecart type | 123 |
| Médiane | 358 |
| Coefficient de variation (cv) | 0.33 |
| Coefficient de d'asymétrie (cs) | 0.359 |
| Coefficient de d'aplatissement (ck) | 2.59 |

Tableau 3: statistique de base précipitation annuelles (en mm) de la station pluviométrique (ANBT, 2005, p15).

Les cartes ANRH, comme déjà mentionné, suggèrent une moyenne de 450 mm. Donc, 18% plus élevé que la moyenne observée dans le Tableau 1. Déjà au stade de l'étude de faisabilité, les précipitations de Yabous étaient majorées sur la base d'une différence de 10%. Néanmoins, dans la présente étude hydrologique une tendance à la baisse a été observée dans la série de Yabous. C'est pourquoi cette dernière sera utilisée telle qu'elle - par mesure de sécurité- sans la majoration.

Une analyse fréquentielle est effectuée sur les précipitations annuelles de Yabous. Les lois Normales, Log Normales, Gumel, Pearson, sont ajustées et testées, L'estimation de la validité de la bonne distribution est faite en utilisant les critères de Kolmogorov- Smirnov et le test de x pour un intervalle de confiance de 95 %. La sélection du meilleur ajustement est basée sur une analyse Baye sienne. La loi Normale produit le meilleur ajustement, vu que la série ajustée est une série de type moyen. Les résultats de l'ajustement statistique sont montrés dans le Tableau 4.

| Disponibilité | Probabilité d'occurrence | Précipitations annuelles (mm) |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1/200 | 0.005 | 55 |
| 1/100 | 0.01 | 86 |
| 1/50 | 0.02 | 19 |
| 1/20 | 0.05 | 169 |
| 1/10 | 0.1 | 214 |
| 1/5 | 0.2 | 268 |
| 1/3.3 | 0.3 | 307 |
| 1/2 (moyenne) | 0.5 | 371 |

Tableau 4: analyse fréquentielle de la précipitation annuelle de la station de yabous (ANBT, 2005, p16).

4.1.4 La pluviométrie maximale journalière :

Les pluies maximales journalières (PJ max) de fréquences rares (ou périodes de retour) causent des crues exceptionnelles contre lesquelles il faut prémunir les ouvrages. Pour leur évaluation, nous avons recours aux séries d'observations des PJ max de la station Yabous illustrées en Annexe. Les caractéristiques de base de la série de précipitations journalières maximales sont illustrées dans le Tableau 5.

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Nombre d'observations | 34 |
| Minimum | 15.2 |
| Maximum | 115 |
| Moyenne | 45.5 |
| Ecart type | 23.2 |
| Médiane | 40.2 |
| Coefficient de variation (cv) | 0.509 |
| Coefficient de d'asymétrie (cs) | 1.72 |
| Coefficient de d'aplatissement (ck) | 5.25 |

Tableau 5: statistique de base précipitation journalières maximales (en mm) de la station pluviométrique De yabous (ANBT, 2005, p17).

Une analyse fréquentielle est effectuée sur les précipitations maximales journalières de Yabous. Les lois Normale, Log Normale, Gumel, Pearson, sont ajustées et testées. L'estimation de la validité de la bonne distribution est faite en utilisant les critères de Kolmogorov - Smirnov et le test de χ^2 pour un intervalle de confiance de 95 %. La sélection du meilleur ajustement est basée sur une analyse Bayésienne. La loi Log Normale produit le meilleur ajustement. Les résultats de l'ajustement statistique sont montrés dans le Tableau 6 et par la Figure. (ANBT, Mai, 2005).

| Période de retour | Probabilité d'occurrence | Précipitations annuelles (mm) |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 10000 | 0.0001 | 219 |
| 100 | 0.001 | 165 |
| 500 | 0.002 | 150 |
| 200 | 0.005 | 131 |
| 100 | 0.01 | 117 |
| 50 | 0.02 | 103 |
| 20 | 0.05 | 86 |
| 10 | 0.1 | 73 |
| 5 | 0.2 | 60 |
| 3.3 | 0.3 | 50 |
| 2 | 0.5 | 41 |

Tableau 6: analyse fréquentielle de la précipitation de journalières maximales la station de yabous (ANBT, 2005).



Chapitre 3 :

« La stabilité »

1. Introduction :

Le barrage de Tagharist situé dans la commune de Yabous (Wilaya de Khenchela) est destiné à la régularisation des apports d'eau de l'oued Tagharist pour permettre l'irrigation des plaines adjacentes et pour assurer l'approvisionnement en eau potable des localités avoisinantes.

Le site de l'aménagement se trouve au pied amont du Djebel Chélia. L'aménagement comprend un ouvrage de retenue en remblai d'une quarantaine de mètres de hauteur, un tunnel de dérivation, une tour de prise et un évacuateur de crue en tulipe.

L'étude d'APD du barrage a été élaborée par le Bureau d'études Dar Al-Handasah en 2006. Dans son rapport intitulé « Note de calculs- Stabilité du barrage et stabilisation du glissement de la rive droite, Novembre 2006¹ », Dar Al-Handasah présente les résultats de l'analyse de la stabilité du barrage pour différents modes d'opération ainsi que la stabilisation du glissement de terrain situé en rive droite en amont de l'axe du barrage. La coupe type du barrage a été élaborée à la lumière des résultats obtenus. Dans la première section de ce rapport est présenté un résumé des analyses effectuées par Dar Al-Handasah dans le cadre de l'étude d'APD. Par la suite, il est présenté une validation des hypothèses et des résultats. Le but de cette validation est de confirmer si le concept retenu à l'APD est réalisable et s'il représente la solution optimale tant au point de vue technique, économique que sécuritaire. De plus, cette validation doit permettre de faire ressortir les éléments ou paramètres nécessitant une optimisation et/ou des études supplémentaires (l'APD, ANBT Avril, 2013).

2. Analyse de stabilité du barrage lors de l'APD

2.1 Concept retenu pour le barrage :

La coupe type du barrage consiste en un noyau central symétrique constitué de matériaux argileux. Un drain cheminé est prévu à l'aval du noyau. La recharge aval est constituée intégralement de colluvions argileuses. Elle est drainée dans la section de l'oued Tagharist par 45 trous de drainage de 25 cm de diamètre et 25 mètres de profondeur. Quant à la recharge amont, elle est constituée de colluvions argileuses à son niveau inférieur et au Niveau du noyau formant un prisme triangulaire. Tout ceci est surmonté par des matériaux

Drainants en alluvions sélectionnées. Le parement amont est protégé contre les vagues par la mise en place d'un ripé-rap. Une digue en enrochement au pied aval du barrage est envisagée pour limiter l'étendu du barrage et protéger son pied aval des vagues générées par le bassin de dissipation. Finalement, la zone de glissement amont en rive droite est drainée par 15 tranchées drainantes de 3 à 5 mètres de profondeur et espacées aux 5 mètres.

2.2 Paramètres de résistance :

Le tableau 7 présente les paramètres de résistance des matériaux constituant les sols de fondation du barrage ainsi que ceux des matériaux de remblai considérés par l'étude d'APD pour les analyses de stabilité du barrage. Ces propriétés ont été obtenues par l'interprétation des essais de laboratoires sur les matériaux dans l'étude de l'Avant-projet Détaillé (APD) présentée dans le rapport géotechnique.

| Matériaux | Densité apparent (kN/m ³) | Cohésion effective .c (kPa) | Angle de frottement effectif | Cohésion non Drainée .Cu (kPa) |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Colluvions naturels | 20 | 5 | 12 | 50 |
| Remblais colluvions | 20 | 10 | 26 | 100 |
| Remblais alluvions | 20 | 5 | 33 | 100 |
| Remblai argile | 20 | 10 | 24 | 80 |
| Sable | 22 | 0 | 38 | - |
| Marne altérée | 22 | 10 | 15 | 50-100 |
| Marne compacte | 22.5 | 15 | 22 | 150-250 |
| Grès | 20 | 50 | 35 | 300 |

Tableau 7 : Paramètres géotechniques des matériaux- APD (ANBT,2013,P2).

Le rapport géotechnique présent la méthodologie suivie pour la détermination des paramètres de résistance au cisaillement de la fondation dans ce Rapport, il est recommandé d'adopter un comportement non drainé pour les colluvions et les marnes lors des analyses à court terme. Concernant les marnes (altérée et compacte), les essais de cisaillement direct montrent une cohésion apparente moyenne (Cu) de l'ordre de 150 k Pa

alors que, d'après les essais en compression simple, la résistance moyenne est de l'ordre de 435 k Pa. Compte tenu de ces résultats, les auteurs recommandent pour les analyses à court terme une cohésion non drainée de l'ordre de 150-250 k Pa pour les marnes compactes et 50-100 k Pa pour les marnes altérées. Quant aux colluvions, une cohésion non drainée de 50 k Pa est préconisée. Par ailleurs, les u très bas d'où leur décision de les négliger. Pour les analyses à long terme, les valeurs de cohésion effective ont plutôt été estimées sur la base de l'expérience des auteurs (5 k Pa pour les colluvions, 10 k Pa pour les marnes et 15 k Pa pour les marnes compactes). Concernant les angles de frottement effectif, les valeurs recommandées sont proches des valeurs résiduelles. (L'APD, ANBT Avril, 2013).

2.3 Paramètres sismiques :

La stabilité sismique a été également étudiée en considérant une méthode pseudo-statique. L'action d'un tremblement de terre a été ainsi simulée en appliquant une charge horizontale additionnelle exprimée par un coefficient sismique (k). Le coefficient sismique horizontal (k_H) considéré est égal à la moitié de l'accélération horizontale au sol.

Deux séismes de référence sont considérés dans cette étude :

- Le Séisme de Base d'Exploitation (SBE) déterminé par une approche probabiliste est basé sur une période de retour de 1:200 ans.
- Le Séisme Maximal de Dimensionnement (SMD), établi à partir d'une approche déterministe est basé sur un tremblement de terre d'une magnitude de 6,5 situé à 20 km au nord du site.

Les valeurs des accélérations horizontales au sol et des coefficients considérés sont présentées au tableau 2. La sismicité du site est considérée basse à modérée.

| Type de séisme | Accélération horizontale De base | Coefficient sismique Horizontal (k_H) |
|----------------|-------------------------------------|--|
| Séisme SBE | 0.08g | 0.04g |
| Séisme SMD | 0.15g | 0.075g |

Tableau 8 : Valeurs des coefficients sismiques (ANBT, 2013,3P)

2.4 Sections et cas analysés :

L'analyse de stabilité a été effectuée en amont et en aval du barrage et dans la zone de glissement.

Du côté aval, les deux sections suivantes ont été étudiées :

- la hauteur du barrage est la plus grande (47 m). La fondation du barrage est constituée de 2 stratum : marne altérée et marne compacte. Cette section correspond à la coupe géologique 2-2 du plan A0407-G-M5-DM.
- la hauteur du barrage est de 31 m. La fondation du barrage est constituée de 3 stratum : colluvions, marne altérée et marne compacte. Cette section correspond à la coupe géologique.

Du côté amont, les trois sections suivantes ont été analysées :

- pour la section A en rive droite, la hauteur du barrage est de 31 m. Sous la fondation du barrage se trouve une importante couche de colluvions (15 m) et immédiatement à l'amont on retrouve une importante zone de glissement de type fluage
- pour la section B en rive gauche, la hauteur du barrage est aussi égale à 31 m. Par contre, la fondation est constituée d'une couche de colluvions moins épaisse (9 m) qui surmonte une couche de marne altérée et marne compacte
- la section C, quant à elle, correspond à la coupe géologique 2-2.

Finalement, dans la zone de glissement, deux sections ont été sélectionnées :

- au niveau de la section D, la hauteur du barrage est égale à 16 m et l'épaisseur de la couche de colluvions 15 m

- pour la section E, la zone de glissement est située sur la rive droite entre le batardeau amont et le parement amont du barrage. Le talus est constitué de trois couches : colluvions (15 m d'épaisseur), marne altérée et marne compacte. Pour cette section, deux valeurs d'angle de frottement ont été considérés pour les colluvions (12 et 15°). En plus, trois cas ont été étudiés : (1) nappe phréatique à 1 m sous le niveau du sol (2) nappe phréatique à 3 m sous le niveau du sol (3) phase d'exploitation.

-

Les analyses de stabilité ont été effectuées à l'aide du logiciel « SLOPE ». Les cas étudiés correspondent à la fin de construction, en phase d'exploitation, en cas de crue et en conditions sismiques. La cote de retenue normale (RN) est fixée à 1216,5 m. En cas de crue, la cote des Plus Hautes Eaux Exceptionnelles (PHEE) est établie au niveau 1220,26 m.

2.5 Critères de stabilité :

Les coefficients de sécurité minimaux requis sont présentés au tableau 9. En plus, un coefficient de sécurité supérieur ou égal à 1,5 en fin de construction est requis pour la section « A » qualifiée comme « zone à risque élevée » à cause de la présence d'une épaisse couche de colluvions et d'une zone de glissement.

| Conditions | Stabilité | | Coefficient de sécurité minimal requis |
|------------|-----------|-----------------------------------|--|
| Statique | Aval | Fin de construction | 1.3 |
| | | Phase d'exploitation | 1.5 |
| | | Cas extrême d'exploitation - Crue | 1.0 |
| | Amont | Fin de construction | 1.3 |
| | | Phase d'exploitation | 1.5 |
| | | Vidange rapide | 1.3 |
| | | Cas extrême d'exploitation - Crue | 1.0 |
| | Sismique | Aval | Phase d'exploitation |
| Amont | | Phase d'exploitation | 1.0 |

Tableau 9 : Coefficients de sécurité minimaux requis (ANBT, 2013, P4).

2.6 Résultats :

La stabilité du parement aval du barrage (tableau 10) est contrôlée par la section où la hauteur du barrage est la plus grande (47 m). Cette stabilité est assurée avec des pentes de 4H : 1V et l'introduction de deux bermes de 5 m de largeur aux niveaux 1190 et 1205 m. En phase de fin de construction, le coefficient de sécurité minimal est atteint uniquement en considérant des conditions drainées. Pour remédier au manque de stabilité du barrage en conditions non drainées, les auteurs recommandent la construction de drains verticaux dans la région du fond de la vallée pour assurer l'atteinte de conditions drainées et éliminer les surpressions interstitielles dans les colluvions argileuses et les marnes. Au sujet des autres modes d'opération (phase d'exploitation, crue et séisme), la stabilité de l'ouvrage est assurée.

| Conditions | Coefficients de sécurité minimaux | | | | Coefficients de sécurité minimaux requis |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|--|
| | H = 47 m | | H = 31 m | | |
| | Conditions drainées | Conditions non drainées | Conditions drainées | Conditions non drainées | |
| Fin de construction (2,7H : 1V) | 1.23 | - | - | - | 1.3 |
| Fin de construction (4H : 1V) | 1.67 | 1.15-1.22 | 1.73 | 1.6 | 1.3 |
| Phase d'exploitation | 1.60 | - | 1.63 | - | 1.5 |
| Cas extrême- Crue | 1.55 | - | 1.63 | - | 1.5 |
| Séisme SBE | 1.43 | - | 1.46 | - | 1.0 |
| Séisme SMD | 1.26 | - | 1.27 | - | 1.0 |

Tableau 10: Côté aval- Coefficients de sécurité pour les différentes conditions analysées (ANBT, 2013, P4).

Concernant la stabilité du parement amont (tableau 11), la stabilité de la section B est validée. Par contre, pour les autres sections A et C, la stabilité du barrage est plus précaire en phase fin de construction nécessitant l'aménagement de bermes de 25 m de largeur aux niveaux respectifs 1205 et 1192 m. Néanmoins, la stabilité de l'ouvrage est vérifiée pour les autres modes d'opération.

| Conditions | Coefficients de sécurité minimaux | | | Coefficients de sécurité minimaux requis |
|---|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| | Section A rive droite | Section B rive gauche | Section C axe central | |
| Fin de construction (4H : 1V) | 1.5 | 1.57 | 1.95 | 1,3 (1,5) |
| Phase d'exploitation | - | 1.92 | 2.32 | 1.5 |
| Vidange rapide (nappe libre à l'interface colluvions-alluvions sélectionnées) | 1.37 | 1.42 | 1.78 | 1.3 |
| Cas extrême- Crue | 2.12 | 1.97 | 2.45 | 1.5 |
| Séisme SBE | 1.41 | 1.36 | 1.68 | 1.0 |
| Séisme SMD | 1.03 | 1.02 | 1.32 | 1.0 |

Tableau 11: Côté amont- Coefficients de sécurité pour les différentes conditions analysées (ANBT, 2013, P5).

Finalement, la stabilité de la section D dans la zone de glissement est assurée avec des coefficients de sécurité acceptables pour les différentes conditions analysées (tableau 12). Pour la zone de glissement située entre le batardeau et le parement amont du barrage (section E), les coefficients de sécurité sont inférieurs au minimum requis en fin de construction (tableau 13). Dans ces conditions, les auteurs recommandent le rabattement de la nappe phréatique par la construction de tranchées de drainage.

| Conditions | Coefficients de sécurité minimaux | Coefficients de sécurité minimaux requis |
|----------------------|-----------------------------------|--|
| Fin de construction | 1.4 | 1.3 |
| Phase d'exploitation | 1.71 | 1.5 |
| Séisme SBE | 1.29 | 1.0 |
| Séisme SMD | 1.02 | 1.0 |

Tableau 12: Coefficients de sécurité de la section D dans la zone de glissement (ANBT, 2013, P5).

| Conditions | Coefficients de sécurité | |
|---|---|---|
| | $c' = 10 \text{ kPa}, \phi' = 12^\circ$ | $c' = 10 \text{ kPa}, \phi' = 15^\circ$ |
| Fin de construction, Nappe phréatique à 1 m de profondeur | 0.96 | 1.09 |
| Fin de construction, Nappe phréatique à 3 m de profondeur | 1.10 | 1.24 |
| Phase d'exploitation | 1.74 | 1.98 |

Tableau 13: Coefficients de sécurité de la section E dans la zone de glissement (ANBT, 2013, P5).

3. Validation des résultats de l'APD :

Les auteurs de l'APD ont réalisé à partir de la première section analysée (parement aval, H=47 m) que la stabilité de l'ouvrage en fin de construction est celle qui contrôle la conception du barrage. Dans un premier temps, la stabilité a été effectuée en contrainte totale. Considérant que le coefficient de sécurité obtenu ne rencontrait pas le minimum requis (1,3), les auteurs ont décidé d'effectuer les analyses en contraintes effectives en recommandant la construction de drains verticaux au fond de la vallée. Ils sont d'avis que cette solution est capable d'assurer des conditions drainées. Par conséquent, et pour le reste des sections analysées, les analyses de stabilité en conditions non drainées n'ont pas été réalisées. Même pour la section A, où les auteurs mentionnent que, pour la phase de fin de Construction, des analyses en conditions non drainées ont été effectuées, alors qu'en réalité, ce sont plutôt des paramètres effectifs qui ont été attribués aux matériaux.

Il est important de souligner que la mise en place de drains verticaux, tel que prévu dans l'APD, n'aura pas de répercussions sur les conditions de stabilité à court terme (conditions non drainées). La construction des remblais se fait à des taux qui excèdent la vitesse de dissipation des pressions interstitielles des sols de la fondation (vitesse d'évacuation de l'eau des pores d'un sol argileux). Dans ce cas, la résolution des problèmes de stabilité est conduite selon la méthode 'en contraintes totales' durant laquelle le drainage est empêché et repose sur l'utilisation de la résistance au cisaillement non drainé du sol. La construction de drains verticaux permet d'accélérer l'évacuation des pressions interstitielles en excès. Toutefois, le relâchement de ces pressions ne se fait pas instantanément et peut s'étendre sur une longue période (voire des années). Or, la période la plus critique pour la stabilité du barrage se situe immédiatement après l'application de la charge (à la fin de la construction) alors que les pressions interstitielles induites sont les plus élevées (Holtz et Kovacs, 2001). D'autre part, selon le plan A0407-G-M5-DM-15, les drains devraient être construits avec un maillage triangulaire de 10 m ce qui est nettement inférieur à l'espacement recommandé par FHWA (1986) (entre 1 et 3 m). Ainsi, la mise en place de ces drains est, à notre avis, inefficace.

La stabilité du barrage pendant la construction peut être compromise lorsque (Josseaume, 1968) :

- pour un sol de fondation comportant une couche argileuse, son temps de consolidation sous le poids de l'ouvrage est très supérieur à son temps de construction. On se trouve donc dans les conditions d'un chargement non drainé et la résistance au cisaillement mobilisée est sa cohésion non drainée, C_u .
- des pressions interstitielles excessives se développent dans le corps du barrage constitué de sols fins argileux ayant une perméabilité telle qu'ils ne se drainent que très lentement.

L'analyse de stabilité du barrage à un moment donné de la construction ou une fois la construction terminée peut être calculée suivant deux approches (Full et al, 2005) :

- l'utilisation de paramètres non drainée C_u et ϕ_u (études en contraintes totales).
- l'utilisation des paramètres effectifs c et ϕ' (étude en contraintes effectives) et l'imposition de surpressions interstitielles qui se développent dans les matériaux argileux pendant la construction.

Même s'il est plus facile de procéder suivant l'utilisation de paramètres non drainés pour les analyses de stabilité en fin de construction à cause de la difficulté de prédire avec précision l'augmentation des pressions interstitielles pendant la construction, les deux approches doivent être vérifiées.

Les analyses de stabilité présentées dans l'APD ont été effectuées en intégrant des paramètres de sol effectifs et en imposant des conditions de pressions interstitielles identiques à celles observées pendant les campagnes d'investigation (position de la nappe phréatique). Cette approche ne tient pas compte de l'augmentation des pressions interstitielles tout au long de la construction dans les colluvions et les marnes altérées et risque fort de se traduire par des instabilités qui peuvent mettre en péril le barrage.

Pour fin de validation, les analyses de stabilité ont été reprises à l'aide du logiciel SLOPE/W (Géo Studio 2007, version 7.13) développé par Géo-Scope International Ltd., Calgary, Canada. La méthode de Morgenstern et Price a été utilisée. Pour fin de comparaison avec les résultats de l'APD, uniquement des surfaces de rupture circulaires ont été considérées quoiqu'on soit d'avis que le glissement de coin doit être envisagé. La profondeur minimale de ces surfaces a été fixée à 1 m. Les analyses en contraintes effectives ont été réalisées en introduisant des coefficients de pressions interstitielles, ru , de 0,5 pour les remblais argileux et de 0,3 pour les matériaux argileux de fondation.

Le tableau 14 présente une comparaison entre les analyses de stabilité présentées lors de l'APD et celles que nous avons effectuées en utilisant les mêmes paramètres de résistance mécanique. Les détails des analyses sont présentés en annexe.

| Parement | Section | Coefficient de sécurité APD4 | | Coefficient de sécurité (2013) | |
|----------|----------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | | Étude en contrainte effective | Étude en contrainte totale | Étude en contrainte effective | Étude en contrainte totale |
| Aval | H = 47 m | 1.55 | 1.15 | 1.27 | 0.97 |
| | H = 31 m | 1.73 | 1.60 | 1.24 | 1.44 |
| Amont | A | 1.49 | - | 1.23 | 1.09 |
| | A (sans berme) | - | 1.30 | 0.86 | 0.83 |
| | B | 1.57 | - | 1.08 | 1.10 |
| | C | 1.95 | - | 1.26 | 1.21 |

Tableau 14: coefficients de sécurité pour le cas de fin de construction (ANBT.2013.P7).

4. Pistes de solutions :

Pour le cas de fin de construction, les analyses de stabilité du barrage, basées sur les paramètres de résistance proposés dans l'APD ont montré des coefficients de sécurité qui ne respectent pas le minimum requis. Afin d'assurer la stabilité du barrage, les solutions

possibles sont entre autres, l'adoucissement des pentes amont et aval du barrage et/ou l'excavation des colluvions argileuses et marnes altérées.

L'adoucissement des pentes du barrage permettrait d'assurer la stabilité de l'ouvrage en respectant le coefficient de sécurité minimal requis. Toutefois, l'inconvénient de cette solution est l'augmentation des volumes de matériaux, le déplacement du batardeau amont et les interférences avec les ouvrages annexes existants ou en construction notamment, l'évacuateur de crue, la tour de prise, sa galerie d'accès et le bassin de dissipation.

Des analyses de stabilité ont été effectuées à titre indicatif, en faisant varier les pentes des parements amont et aval. Les sections qui ont montré les coefficients de sécurité en fin de construction les plus faibles ont été sélectionnées. Il s'agit de la section « H= 47 m » du côté aval et la section « A » du côté amont. Les résultats ont indiqué qu'une pente du parement aval égale à 6,5H : 1V est nécessaire pour atteindre un coefficient de sécurité proche de 1,3. Par contre, pour la section A, comme le coefficient de sécurité minimal doit être égal à 1,5 à cause de la présence d'un important dépôt colluvion aires et d'une zone de glissement, la pente amont requise est d'autant plus douce (8,4H : 1V).

Il est évident que ces pentes compromettent l'économie du projet. Ces pentes douces sont essentiellement dues aux faibles valeurs des paramètres de résistance retenus à l'APD. Ces paramètres sont jugés conservateurs et découlent principalement de l'expérience des auteurs. De plus, l'analyse en contraintes totales a été écartée sous prétexte de l'implantation d'un système de drainage sous le prisme aval du barrage ce qui a justifié l'absence d'une étude approfondie des paramètres non drainés des sols.

Une autre alternative consisterait à excaver les sols de fondation (dépôts colluvion aires, marnes altérées) et les remplacer par des matériaux ayant des propriétés mécaniques plus élevées. Une bonne partie des matériaux colluvion aires excavés pourrait être réutilisée car on peut les densifier plus qu'à leur état naturel. La mise en place de ces matériaux devrait répondre aux mêmes exigences que celle des remblais colluvion aires du barrage. Les analyses de stabilité ont montré que les coefficients de sécurité obtenus sont jugés acceptables pour la phase de fin de construction.

D'autre part, une compilation des données des campagnes d'investigation réalisées lors de l'étude de faisabilité et des deux phases de l'APD sur les sols de fondation (colluvions, marne altérée et marne compacte) a été effectuée dans le cadre des présentes études d'exécution.

Pour les colluvions, cette compilation comprend également les essais jugés pertinents effectués dans les zones d'emprunt. Pour les marnes, les essais pressiométriques, les essais de cisaillement rectiligne et les essais en compression simple saturé ont été exploités. Le quartile inférieur a été retenu pour chaque paramètre et les valeurs obtenues sont présentées au tableau 5. L'ensemble de ces données est présenté en annexe. Cette étude a donc confirmé que les paramètres de résistance non drainée pour les sols de fondation recommandés par l'APD sont très conservateurs.

| Matériaux | Densité apparente (kN/m ³) | Angle de frottement ϕ_{apparent} , (°) | | Cohésion non drainée, c_u (kPa) | |
|---------------------|---|---|-----|-----------------------------------|---------|
| | | Quartile inférieur | APD | Quartile inférieur | APD |
| Colluvions naturels | 20 | 3.6 | 0 | 65 | 50 |
| Marne altérée | 22 | 0 | 0 | 120 | 50-100 |
| Marne compacte | 22.5 | 0 | 0 | 420 | 150-250 |

Tableau 15: Paramètres géotechniques non drainés des sols de fondation retenus pour les analyses de stabilité (ANBT, 2013, P8).

Par la suite, les analyses de stabilité ont été refaites en utilisant ces nouveaux paramètres de sols. Pour la section A, le coefficient de sécurité est de l'ordre de 1,59 (>1,50). , Pour la section où la hauteur du barrage est la plus importante (H = 47 m), le coefficient de sécurité de 1,30 est rencontré si la largeur de la crête de la digue en enrochement au pied aval du barrage est augmentée de 6,50 m. De plus, les analyses de stabilité en contraintes effectives ont été refaites pour la phase de fin de construction en attribuant les valeurs minimales des paramètres de résistance obtenus lors des essais de cisaillement direct (Consolidé Drainé, CD) (tableau 16), tout en conservant les mêmes coefficients de pressions interstitielles(u). Les coefficients de sécurité ainsi obtenus ont été acceptables.

| Matériaux | Angle de frottement effectif, | | Cohésion effective, C' (kPa) | |
|---------------------|-------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| | Valeur minimale (CD) | APD | Valeur minimale (CD) | APD |
| Colluvions naturels | 26.2 | 12 | 13 | 5 |
| Marne altérée | 22.5 | 15 | 54 | 10 |
| Marne compacte | 22.5 | 22 | 54 | 15 |

Tableau 16: Paramètres géotechniques effectifs des sols de fondation retenus pour les analyses de stabilité (ANBT, 2013, P49).

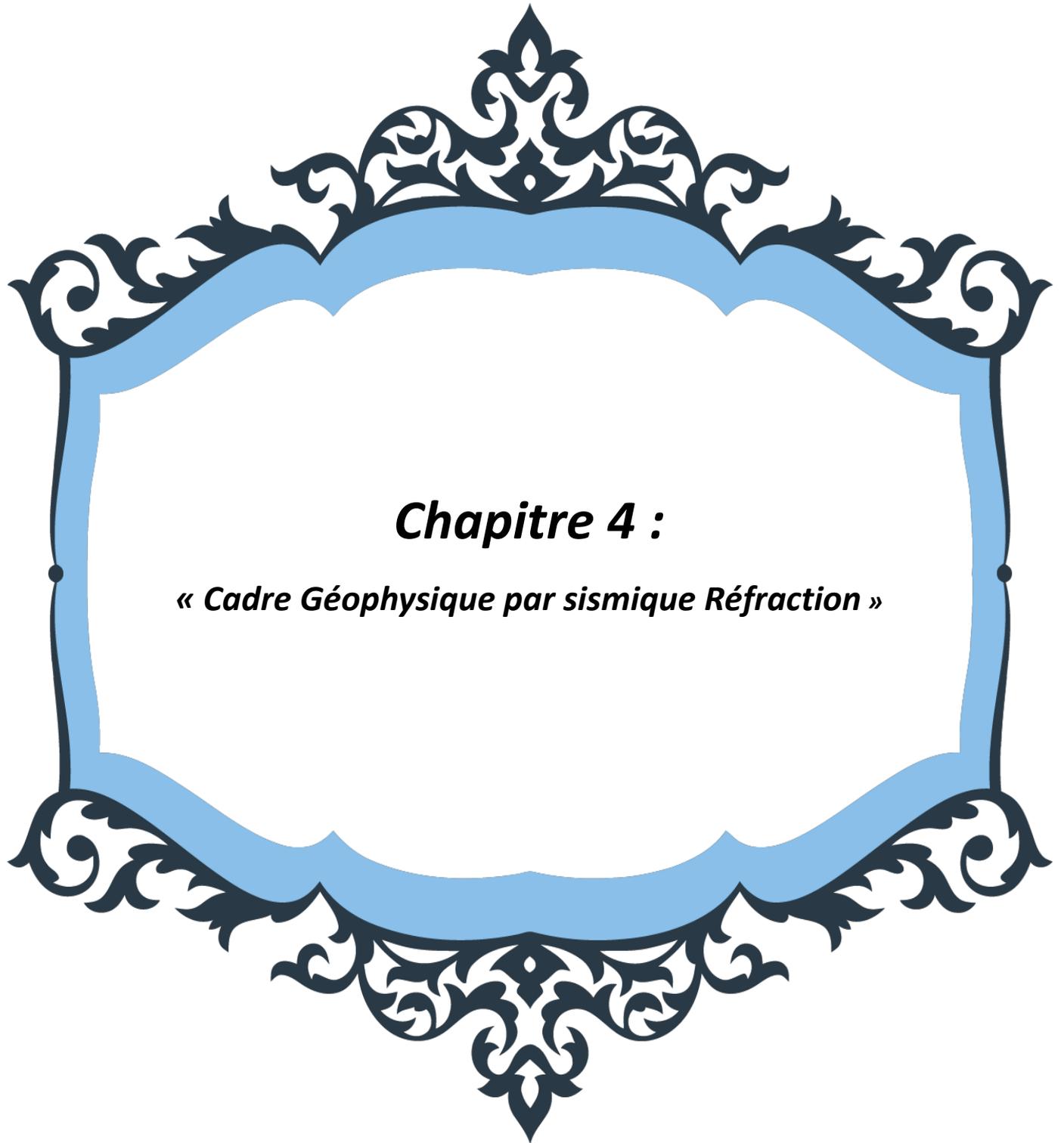
Cependant, une validation des paramètres géotechniques des colluvions argileuses et des marnes altérées de la fondation du barrage retenus pour ces analyses de stabilité doit être faite. À la lumière de ces constatations, il devient donc primordial d'entreprendre de nouveaux essais tels que des essais triaxiaux et des essais en compression simple.

5. Conclusions :

Cette note technique démontre que la stabilité du barrage en fin de construction est précaire si les analyses sont faites en considérant les paramètres des sols de fondation fixés à l'APD. Les paramètres de cisaillement (C_u , C') des colluvions naturelles, des marnes altérées et des marnes compactes, pour les fondations retenues à l'APD sont à notre avis, très conservateurs. Ces propriétés mécaniques ont été retenues sur la base de l'expérience de l'auteur du fait du peu de résultats d'essais disponibles.

Comme il a été indiqué dans la lettre du 12 février 2013 (Réf. : P353113 EX-00441 COR), une campagne d'investigation complémentaire par forage carottés, essais in situ et essais de laboratoire est requise pour valider et/ou compléter les résultats de l'APD, notamment en ce qui concerne la fondation du barrage et la zone de glissement située en amont – rive droite. La localisation des forages et des profils pression métriques sont indiqués au tableau 1 de cette lettre.

Des paramètres géo mécaniques plus fiables et réalistes pourraient alors être adoptés dans les études d'exécution. Nous sommes persuadés que ces paramètres permettront de Maintenir une conception acceptable pour le barrage de Tagharist, et favoriser l'économie du projet. (L'APD, ANBT Avril, 2013).



Chapitre 4 :

« Cadre Géophysique par sismique Réfraction »

1. Introduction :

A la demande de COSIDER, GEOMICA a réalisé une étude géophysique par prospection sismique réfraction sur quatre(04) lignes traversant le site du futur barrage.

Dans le présent rapport sont exposés les résultats de l'étude géophysique réalisée sur le lieudit Tagharist au sud du village Yabous dans la wilaya de Khenchela le long d'un tracé où est projetée la construction d'un barrage. Le terrain de ce site a fait l'objet d'une investigation par la sismique réfraction, le long de quatre profils (Fig.16). Le volume total réalisé est de 1600 ml, soit 24 profils de 66 m de longueur. Chaque profil de 66 m de longueur a été réalisé avec deux bases sismiques de 33 m de longueur chacune.

Les travaux d'acquisition sur terrain ont eu lieu respectivement :

- le 15, 16 et 17 juin 2010
- le 30 et 1^{er} juillet 2010
- le 28, 29 et 30 juillet 2010

Objectif de l'étude :

Le principal objectif de la présente étude géophysique consiste à déterminer la profondeur du substratum marneux qui est définie comme étant le niveau où la roche est relativement saine et possède des qualités susceptibles de supporter des structures.

Etant donné que la couverture en surface est composée de roches non consolidées caractérisées par une vitesse des ondes de compression inférieure à celle du substratum sous-jacent plus ferme, la sismique réfraction présente donc un moyen parfaitement adaptée pour cartographier la profondeur du toit du substratum.

Sur le plan géologique, d'après le log du sondage F04-10, situé au milieu de la portion réalisée de la ligne sismique L3, deux formations principales peuvent être distinguées :

- Une couverture, composée de terre végétale et de marnes argileuses
- Un substratum marneux

On peut observer aussi en surface sous forme d'éboulis de gros blocs de rochers gréseux.

2. Méthodologie d'acquisition :

Chacun des 4 profils réalisés est constitué d'un dispositif récepteur composé de 12 géophones, disposés en ligne. La distance inter-géophones était choisie égale à 3 mètres. L'acquisition s'est déroulée en employant des géophones verticaux à 10 Hz. Le schéma d'acquisition consistait en 7 points de tir : deux tirs en bout, deux tirs intermédiaires, un tir central et deux tirs avec offset de 10 mètres (fig. 18). Ainsi, la longueur totale de chacun des dispositifs récepteurs était de 33 mètres.

Le choix de tirs rapprochés (7 par base sismique dans notre cas) est dicté par la forte dénivelée du terrain. Les tirs rapprochés permettent par conjugaison des tirs amont et aval une bonne détermination des vitesses et des profondeurs des terrains sous jacents.

Les tirs à l'intérieur du dispositif servent à obtenir les premières arrivées venant de la couche superficielle. Les tirs éloignés ou à offset sont utilisés pour enregistrer le temps d'arrivée direct et inverse venant du réfracteur principal ou substratum.

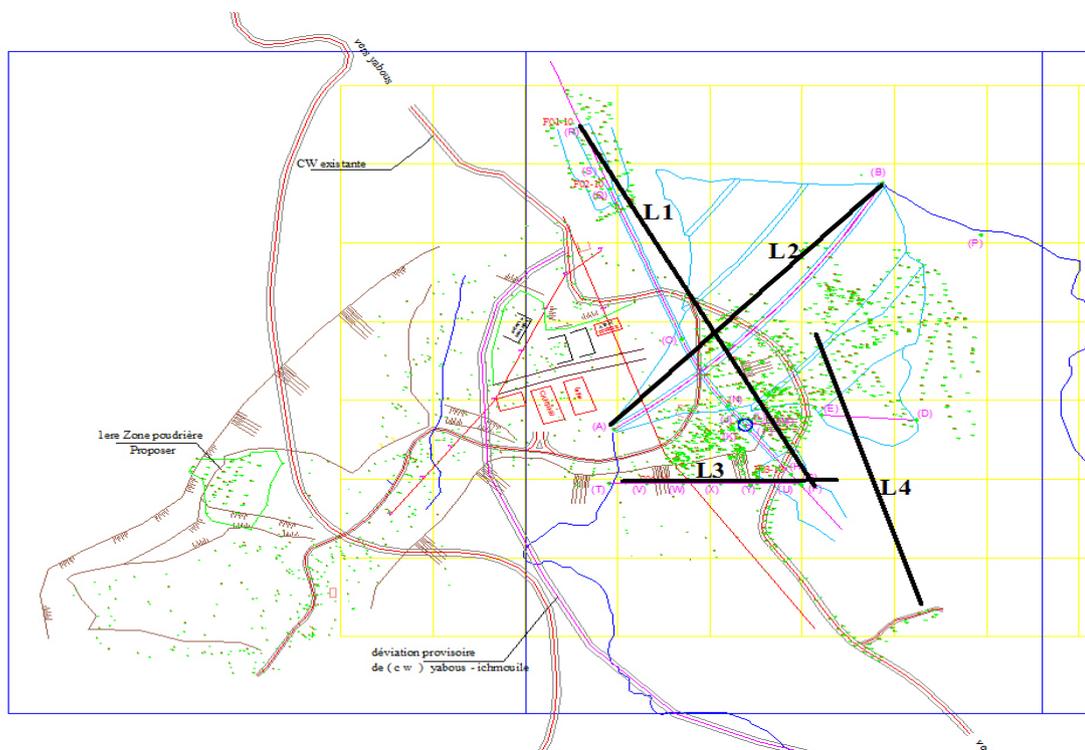


Figure 16: Localisation des profils sismiques dans la projection UTM zone 32 / Nord Sahara (Rapport, technique, Aout 2010).

Le bruit parasite dû à la circulation automobile, nous a obligés de prendre certaines précautions au moment des tirs (attente de passage de véhicules et sommation « starting » des tirs).

La durée d'enregistrement est de 250 millisecondes et le pas d'échantillonnage est de 256 microsecondes. Les mesures sont faites par un sismographe de marque PASI à 12 canaux, modèle 12S12L. Cet équipement se caractérise par une haute dynamique d'enregistrement (12 bit). La source sismique est générée à l'aide d'une masse laquelle constitue une source d'énergie de bonne fréquence et facile à mettre en œuvre.



Figure 17: Vue sur le flanc gauche de l'Oued où on observe les blocs de grès
(*Rapport technique, Aout 2010*).

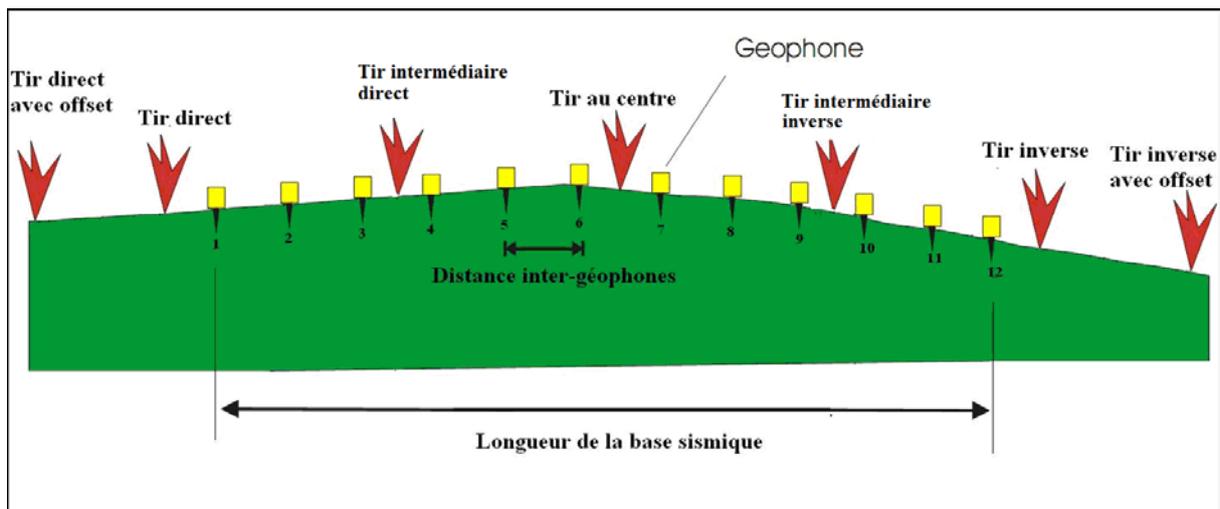


Figure 18: Géométrie du dispositif du tir pour une base sismique
(Rapport technique, Aout 2010).

3. Traitement des enregistrements :

Le premier traitement sur terrain a consisté à contrôler la qualité des enregistrements. Il comprend la visualisation des séismogrammes et le repérage des Premières arrivées. Certains tirs en déport indiquaient un signal quelques fois très faible à cause de l'insuffisance de l'énergie générée par la source sismique (marteau). Pour y remédier à ces désagréments, on a joué sur l'augmentation du niveau de sensibilité des Géophones par un choix optimum du degré de l'amplification du signal, ainsi que sur la sommation des mesures qui consiste à faire une accumulation de plusieurs acquisitions simultanées.

Les données sont ensuite transférées sur PC pour un traitement avancé en vue d'essayer d'améliorer la qualité des enregistrements. L'étape suivante consiste en un pointage des premières arrivées sur les films enregistrés pour l'assemblage de la dromochronique (Travel Time Curve). Celle-ci correspond à l'arrivée des ondes à chaque géophone en fonction du temps. Les distances (en mètres) sont reportées en abscisse et les temps (en milliseconde) sont reportés en ordonnée. Les points de ce graphique sont agencés en segments quasi linéaires, dont les pentes sont les inverses des vitesses de propagation des ondes dans les différentes couches. L'interprétation consiste à calculer, à partir de ces données, la profondeur des différentes interfaces à l'aplomb de chacun des géophones et les

vitesse de propagation des ondes de compression dans chacune des couches mises en évidence et ainsi proposer une coupe du terrain étudié.

4. Résultats obtenus :

L'objectif de toute campagne de sismique réfraction est de préparer une coupe de la répartition des vitesses sismiques en fonction de la profondeur. Sur cette coupe, sont spécifiées les épaisseurs des différentes couches et leurs vitesses correspondantes. L'interprétation des profils sismiques a été réalisée par la méthode conventionnelle des interceptes qui est assez simple et plutôt fiable. Sous chaque position du géophone une profondeur de l'horizon réfracteur est déterminée pour pouvoir cartographier avec détail le relief séparant les deux niveaux sismiques le long de chaque profil.

Les calculs réalisés ont permis d'identifier deux horizons sismiques bien distincts :

- Le premier horizon, caractérisé par une vitesse lente, correspond aux roches meubles et non consolidées qui constitue la couverture formée de terre végétale et de marnes argileuses
- Le second horizon est lié au substratum marneux et gréseux plus ferme, caractérisé par des vitesses relativement plus rapides.

Sur les annexes des coupes sismiques jointes à ce rapport, la couleur jaune représente la couverture et la couleur verte est celle du substratum ou bedrock.

| Tagharist | Vitesse (m/s) | | Epaisseur (max) 1 ^{ère} couche | Position sur le profil |
|-----------|-------------------------------------|--|--|--|
| | 1 ^{ère} couche | 2 ^{ème} couche | en mètre | en mètre |
| Ligne 1 | 233 à 325 255 à 338 173 à 382 | 1700 à 2760 1300 à 1500 900 à 1700 | 4 3.5 2 | 0 à 200 m 200 à 400 m 400 à la fin |
| Ligne 2 | 300 à 500 260 à 345 320 à 365 | 1300 à 1450 950 à 1200 1400 à 1600 | 3 2 3 | 0 à 200 m 200 à 350 m 350 à la fin |
| Ligne 3 | 362 à 405 225 à 400 | 1500 à 1700 1500 à 1560 | 4 4 | 0 à 100 100 à la fin |
| Profil 4 | 300 à 320 173 à 400 300 à 380 | 1600 à 1700 900 à 1330 1500 à 1700 | 3 3 2.5 | 0 à 150 m 150 à 250 m 250 à la fin |

Tableau 17: Ordre des vitesses des ondes de compression (*Rapport technique*, Aout 2010).

Ligne sismique L1 (annexe. 1) :

La ligne 1 d'une longueur totale de 530 m a une direction NW-SE. Le long de ce profil, l'épaisseur de la couverture varie entre un minimum de 2 m et un maximum de 4 m.

L'épaisseur maximale est enregistrée au début et au milieu du profil entre les stations 250-400. La couche de couverture indique une vitesse de propagation des ondes de l'ordre de (260 à 400 m/s), tandis que le substratum se caractérise par une vitesse qui varie entre 1300

m/s et 2760 m/s. la vitesse maximale du substratum est enregistrée au début du profil et se corrèle avec les grès sains.

Ligne sismique 2 (annexe.2) :

La ligne sismique 2 à une longueur totale de 470 m. La coupe sismique de ce profil indique que l'épaisseur de la couverture varie entre un minimum de 1 m et un maximum de 3 m. La vitesse des ondes de compression de la couverture varie entre 260 et 500 m/s. La vitesse du substratum varie entre 950 et 1600 m/s. La faible vitesse du substratum est enregistrée au milieu du profil.

Ligne sismique 3 (annexe. 3) :

Le profil 3 d'une longueur de 230 m est le moins long des quatre. L'épaisseur de la couverture est plus importante sur le début du profil entre les stations 0 et 30. Une augmentation de l'épaisseur de la couverture est aussi visible entre les stations 150 et 175. Ailleurs, la couverture admet une épaisseur moyenne de l'ordre de 1 m. La vitesse de la couche de surface indique une valeur moyenne de 350 m/s et le substratum admet une vitesse moyenne de 1550 m/s.

Ligne sismique 4 (annexe. 4) :

La ligne 4 a une longueur de 360 m. L'épaisseur moyenne de la couverture est de l'ordre de 3 m. La vitesse de la couche de surface indique une valeur moyenne de 350 m/s et le substratum admet une vitesse moyenne de 1500 m/s.

5. Modélisation de couches horizontales en sismique réflexion :

Cette partie de modélisation directe montre les réponses sismiques pour 2 et 3 couches horizontales.

Dans ce qui suit est donné le temps d'arrivée de la première onde réfractée en fonction de la distance X entre le point d'émission et le récepteur dans le cas d'un bicouche composé d'une première couche lente de vitesse V_1 et d'épaisseur finie (e), reposant sur une couche d'épaisseur infinie de vitesse $V_2 > V_1$ (Magnin et Bertrand, 2005). Le graphique ci-dessous « temps-distance » est appelé hodochrone ou dromochronique (fig., 21.)

Sur le graphique « temps-distance », les droites de pente $1/V_1$ et $1/V_2$ se croisent en un point appelé point de brisure (X_c). Pour les réceptions à gauche de ce point de brisure, le temps du

Trajet direct est inférieur au temps du trajet réfracté et inversement pour les réceptions situées à droite du point de brisure. (Magnin, O et Bertrand, y.2005. Guide Sismique réfraction

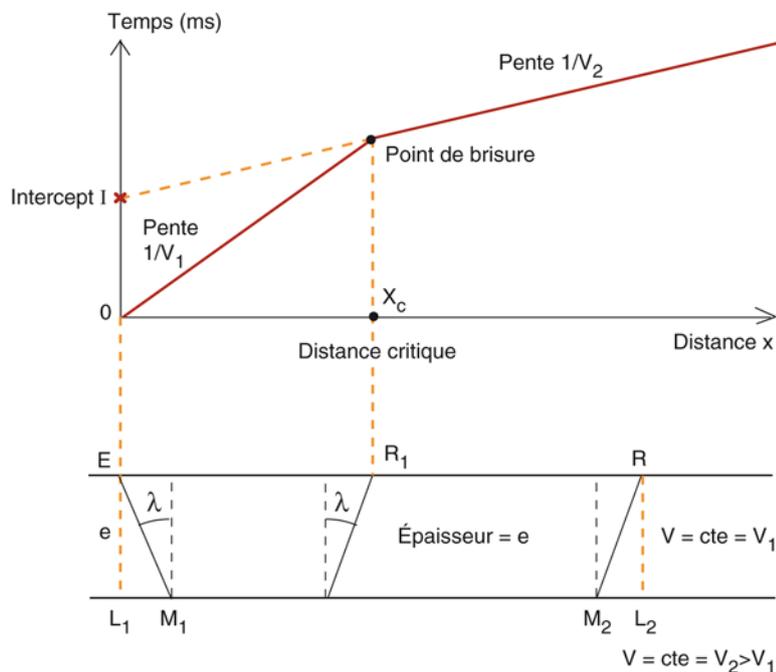


Figure 21: dromochronique ou hodochrone d'une bi-couche (2 couches), d'après Magnin et Bertrand, 2005.

Pour une réfraction totale, la loi de Snell donne (Magnin, O et Bertrand, y.2005. Guide Sismique réfraction.):

$$\sin\lambda = \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

L'équation de l'onde directe est donnée par :

$$t = \frac{1}{V_1} \quad (2)$$

L'équation de l'onde la réfractée première est donnée par :

$$t = \frac{x}{v_2} + \frac{2e}{v_1} \cos\lambda \quad (3)$$

Cette expression est l'équation d'une droite de pente $1/v_2$ et d'ordonnée à l'origine, ou intercepté :

$$I = \frac{2e}{v_1} \cos\lambda \quad (4)$$

Le point de brisure est donné par :

$$X_c = 2e \sqrt{\frac{v_1 + v_2}{v_2 - v_1}} \quad (5)$$

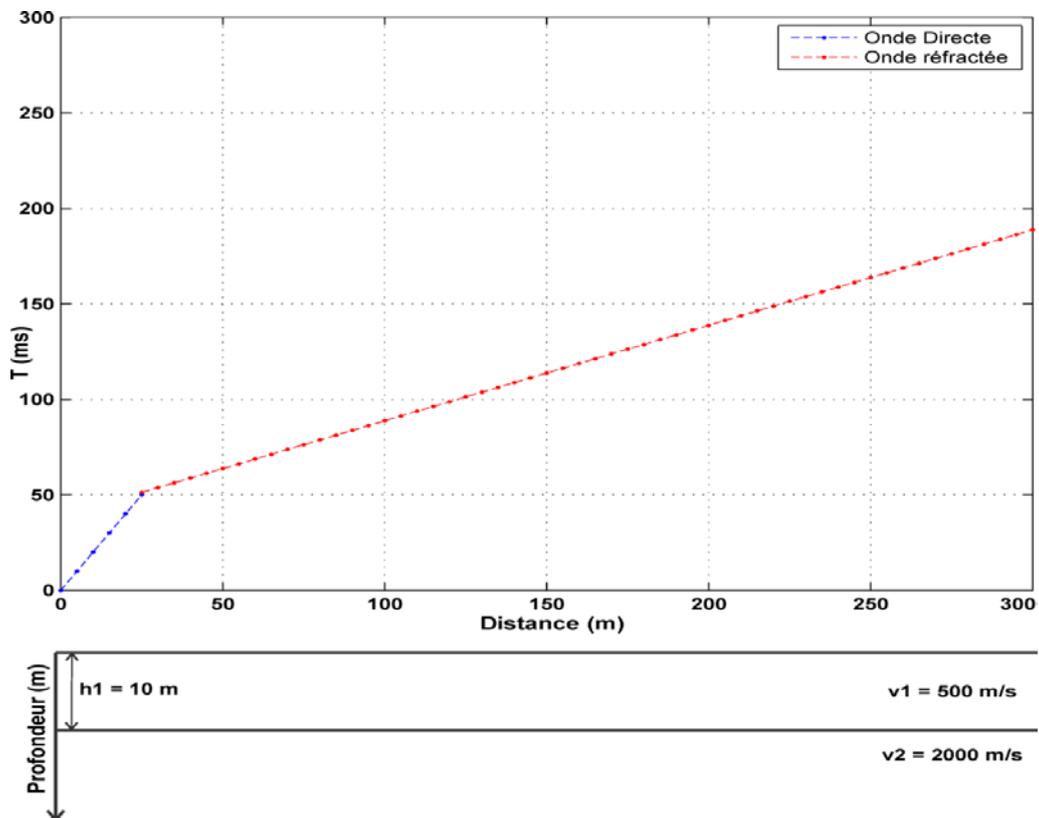


Figure 22: modélisation de 2 couches horizontales

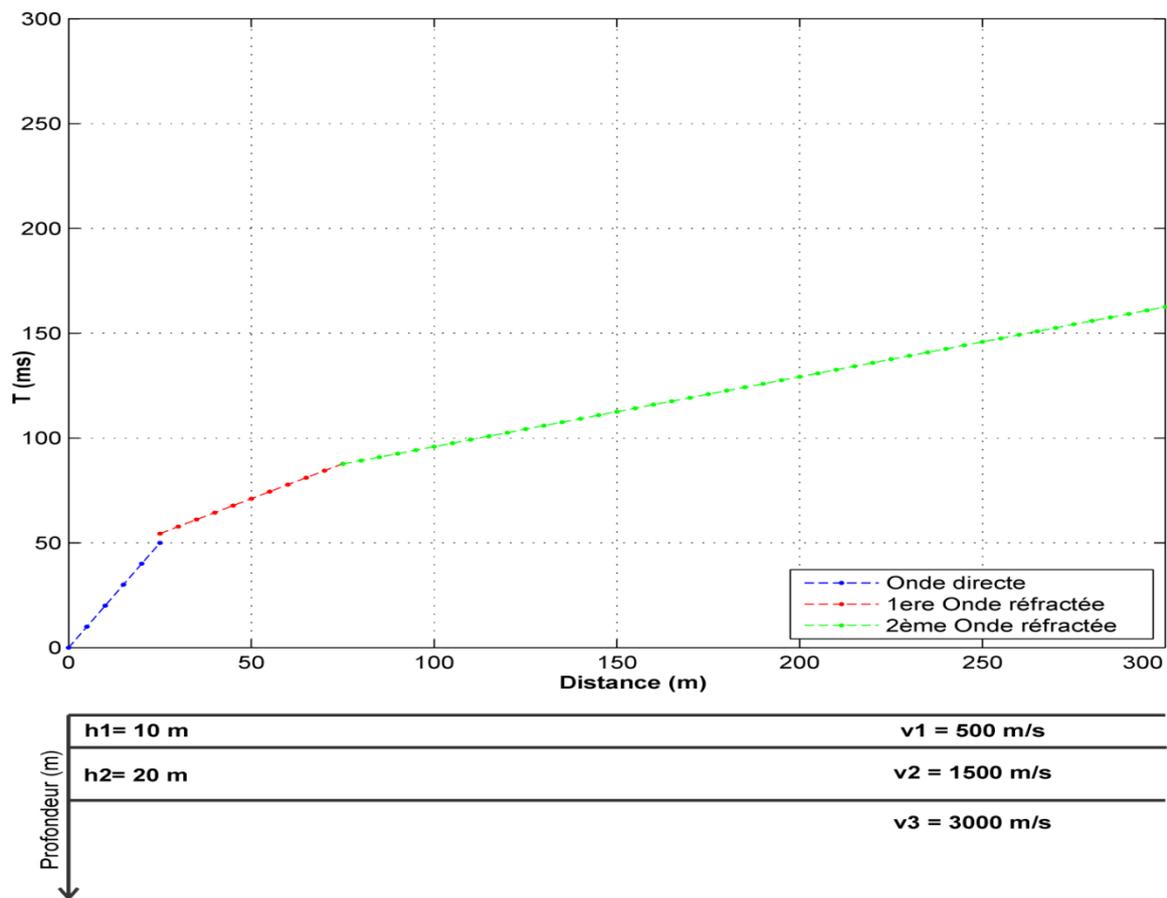


Figure 23: modélisation de 3 couches horizontales

6. Interprétation géologique des coupes sismiques :

La couche mince de faible vitesse (200 à 400 m/s) visible sur les quatre profils est interprétée comme étant une couche altérée représentant les marnes et les marnes argileuses qui affleurent(ou qui sont proches de la surface). Le réfracteur principal avec une vitesse moyenne de 1500 m/s représente le bedrock ou le substratum composé essentiellement de marnes saines ou de grès sains.

7. Conclusion :

L'investigation géophysique entreprise au niveau du site étudié par la méthode de sismique réfraction a permis de matérialiser la limite entre la couche de surface composée de terre végétale et de marnes argileuses et celle du substratum marneux.

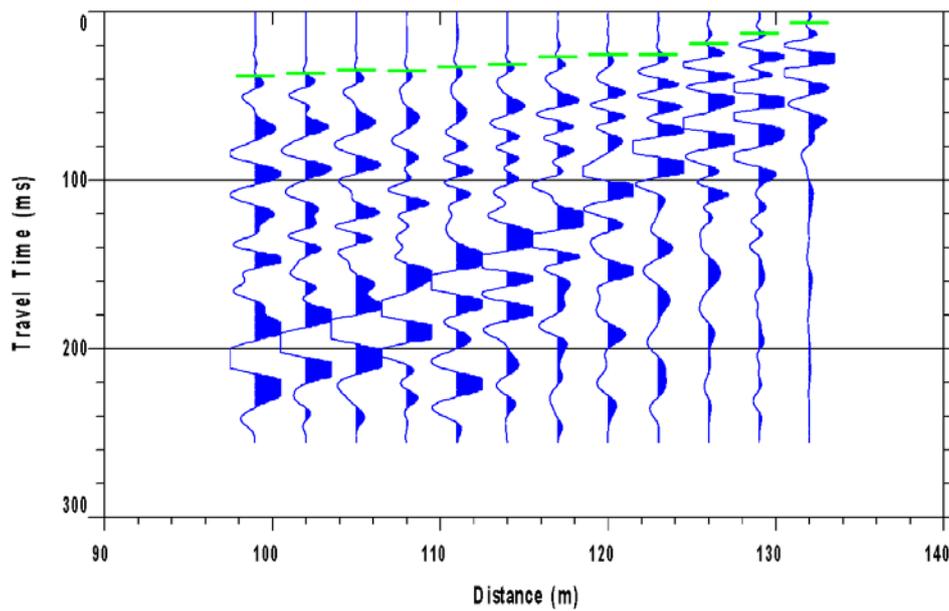


Figure 19: Exemple de pointage des premières arrivées sur un tir inverse de la ligne 1
(*Rapport technique, Aout 2010*).

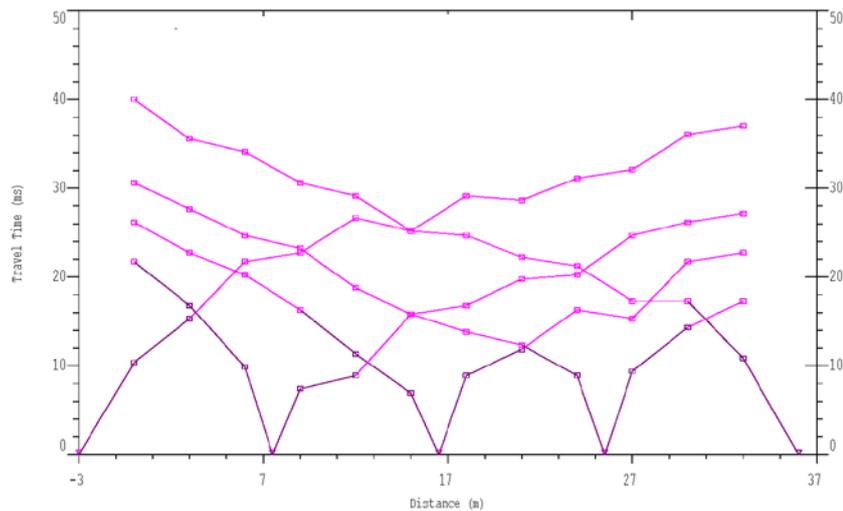


Figure 20: Exemple d'une dromochronique obtenue sur la ligne sismique 1
(Rapport technique, Aout 2010).

8. Application de la polarisation spontanée (PS) au barrage de Tagharist :

8.1 Les applications de la méthode PS :

a. Rétrospective :

La méthode PS a été utilisée pour la première fois par Robert Fox en 1830 pour détecter le cuivre du sous-sol de Cornwall en Angleterre. C'est la plus ancienne méthode géophysique et aussi la plus simple dans sa mise en œuvre. Cependant, la difficulté d'interprétation des mesures, en relation avec la méconnaissance des mécanismes à l'origine des signaux de PS, a freiné son développement. Aujourd'hui, ces mécanismes ont été mis en lumière. L'un de ces mécanismes correspond à la production d'un courant électrique sous l'effet d'un gradient de pression hydrique : on parle de phénomène Électrocinétique. Ce mécanisme fait partie des mécanismes dits "de couplages" (ici entre un gradient de pression hydrique et un courant électrique). (BOLEVE, A. 2009).

8.2 Applications en géosciences :

De nos jours, la méthode PS a trouvé plusieurs champs d'applications dans les domaines de l'exploration minière, de la géothermie et plus récemment dans les problèmes d'environnement et d'hydrogéologie. La sensibilité de cette méthode aux écoulements souterrains, a conduit à la réalisation de plusieurs travaux, comme le suivi d'essai de pompage.

(Bogoslovsky and Ogilvy, 1973...), la détection et le suivi de panache de contamination (Perry et al. 1996 ; Vichabian et al.); la reconstitution du niveau piézométrique à l'échelle d'un bassin versant (Linde et al. 2007b), la délimitation spatiale d'un paléo chenal (Revil et al. 2005), la localisation de cavité de subsurface (Jardani et al. 2006c) pour n'en citer que quelques-uns.

8.3 Applications sur les ouvrages hydrauliques :

La méthode PS s'est donc tournée tout naturellement vers la problématique des zones de fuites dans les ouvrages hydrauliques que constituent les digues et les barrages Cette problématique est un enjeu majeur aujourd'hui, de par les risques de ruptures des ouvrages et les conséquences sur la sécurité de la population ainsi qu'aux niveaux économique et environnemental.

L'outil géophysique "potentiel spontané" semble être un outil tout à fait pertinent et même incontournable dans les investigations d'ouvrages hydrauliques, de par le développement important de la méthode au cours de ces 20 dernières années. Des travaux récents ont montré l'efficacité et l'utilité de cette méthode pour le diagnostic d'ouvrages hydrauliques. La méthode PS a déjà permis de localiser avec succès des zones d'écoulement préférentiel dans les digues. Contrôle des déchets Barrages avec méthodes géophysiques »Concernant l'application concrète sur des ouvrages hydrauliques, Rozycki et al (2006) ont développé des solutions analytiques pour le calcul du potentiel spontané, associé à la polarisation de zones de fractures au sein d'un barrage. Ils décrivent une méthodologie pour déterminer les éléments individuels d'un ensemble de fractures distinctes. Cependant, ces travaux ne permettent pas d'estimer un débit de fuite, vu la simplicité des géométries de fractures utilisées, ainsi que la non-utilisation de l'information de résistivité électrique, incontournable dans la méthode PS comme nous le verrons plus long.). (BOLEVE, A. 2009).

9. Méthodologie de réalisation présentation des données(PS) :

Réalisée sur le barrage Tagharist le profil (PS) à la distance A été réalisé par la méthode de potentiel (une électrode fixe et l'autre mobile), l'électrode mobile a été connectée à une bobine électrique.

Deux électrodes des impolarisables contenus dans un récipient de céramique poreux (l'électrode eu cuivre et ployée dans une solution de Cu So4).

Pour éviter la polarisation la mesure de la PS a été réalisée au moyen d'un voltmètre au avec une impédance d'entrée égal à 10 mΩ.

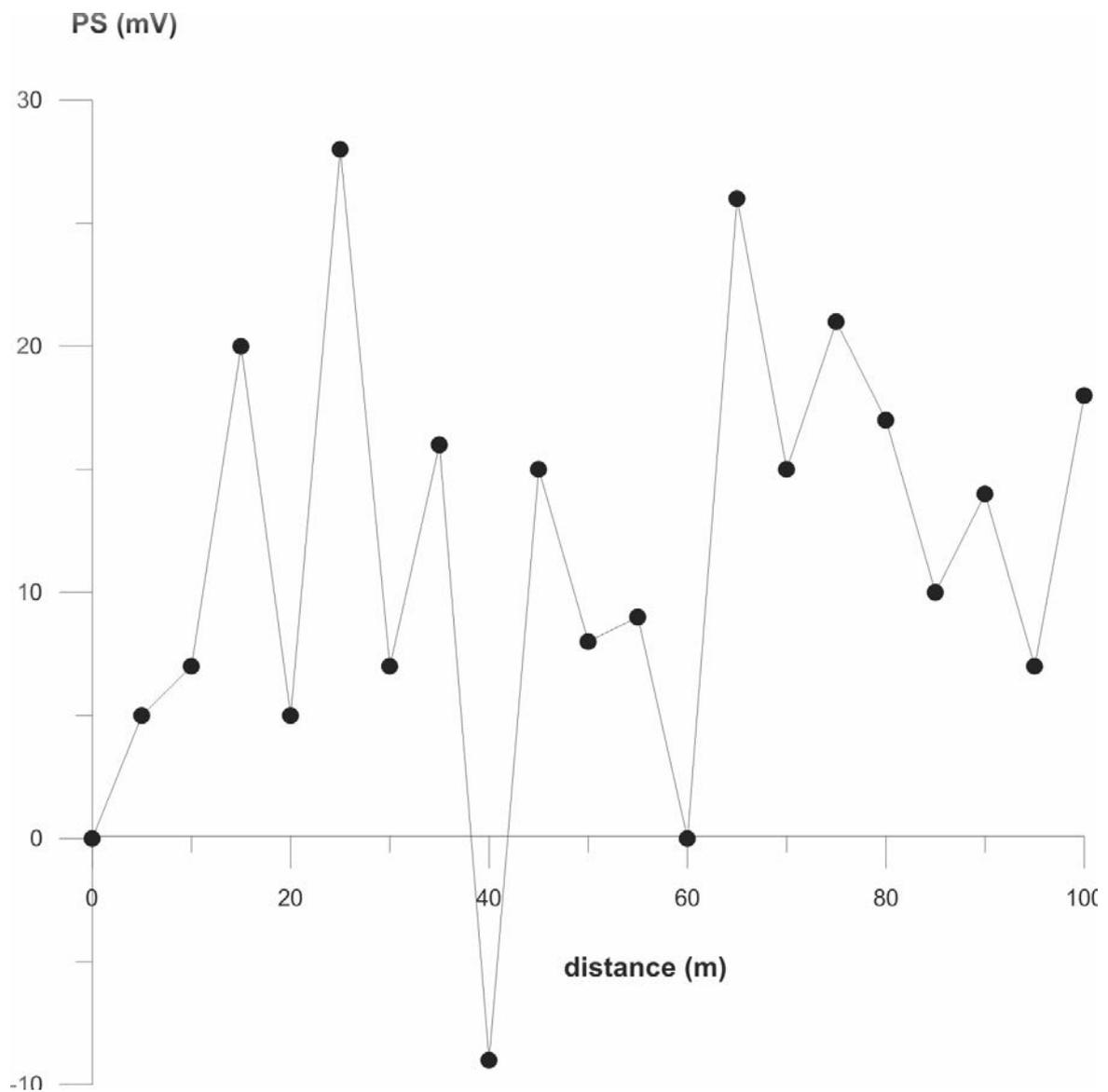


Figure 24: la polarisation spontanée à la distance de barrage Tagharist.



Figure 25: Position du profil PS (Google, er the).



Figure 26: Outils utilisés pendant l'opération.

Résultats :

Les données de la PS sont présente sur la figure 24 cette figure nous montre pour les valeurs de la PS sont en général positive à l'existence des stations 40 et 60 ou des valeurs négatives et nulles sont observée, il s'agit probablement de l'effet d'objet on terrés (piézomètre.ete...).

Les valeurs positives indiquent probablement un écoulement normal (amont-aval).

En le comparant avec la figure de modélisation, sur cet endroit le PS devrait être positive ce que est normal dans notre cas.

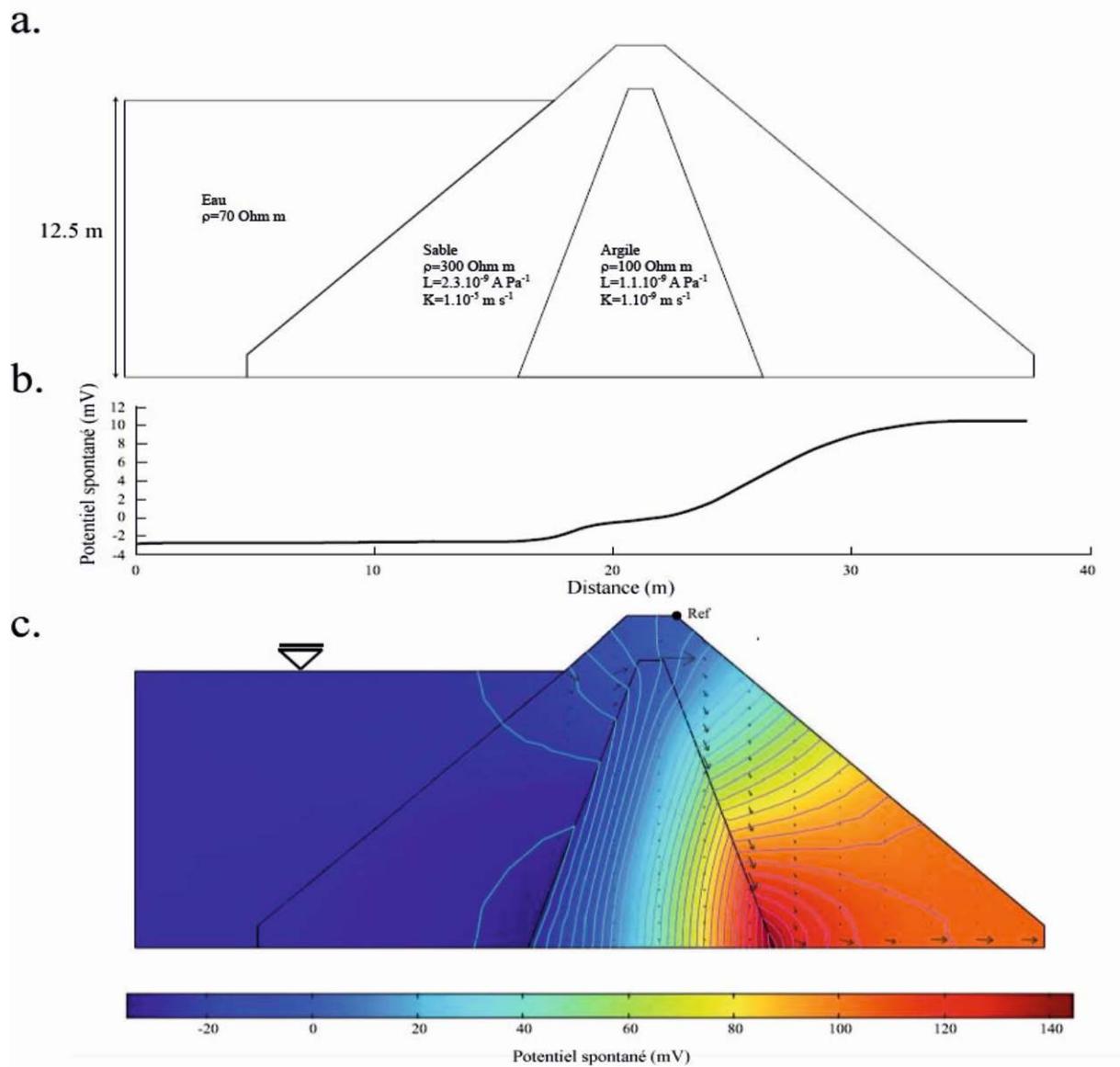


Figure 27: a). Géométrie 2D d'une digue en sable avec un noyau argileux.
 b). Profils de (PS) simulé en surface de la digue
 c). Potentiel électrique équipotentiels de (PS). Les flèches représentent la direction d'écoulement de l'eau.

(BOLEVE, A, 2009.).



Conclusion

Général :

Conclusion général :

Les résultats de l'investigation géologique montrent que le projet du barrage de Tagharist présente suffisamment d'avantages pour sa réalisation.

Les terrains formant l'assiette de la cuvette sont représentés par des marnes, marno-calcaires et bancs calcaires homogènes, de faible perméabilité. Ils lui assurent ainsi, une bonne étanchéité.

Les matériaux de construction pour le noyau et les recharges paraissent disponibles en quantité suffisante, à l'intérieur de la cuvette. Les investigations par puits et essais géotechniques confirmeront les aspects qualité et quantité. Un gisement d'argile rouge miocène existe par ailleurs, en aval et à proximité du site, dans le cas où les matériaux de la cuvette s'avèreraient insuffisants.

Les matériaux pour granulats et enrochement paraissent moins évidents à exploiter à l'intérieur de la cuvette, dans la mesure où les gisements se présentent en bancs intercalés dans des marnes. Le taux de découverte (stériles) sera important. Il s'agit dans ce cas de dresser un inventaire des carrières existantes dans la région, ou de rechercher des sites de carrières constitués de roches plus massives, à l'extérieur de la cuvette, et de comparer les coûts d'exploitation.

L'étude sismique de la région de Yabous montre qu'elle est caractérisée par une sismicité modérée à basse, associée aux bordures des hauts plateaux moins actifs.

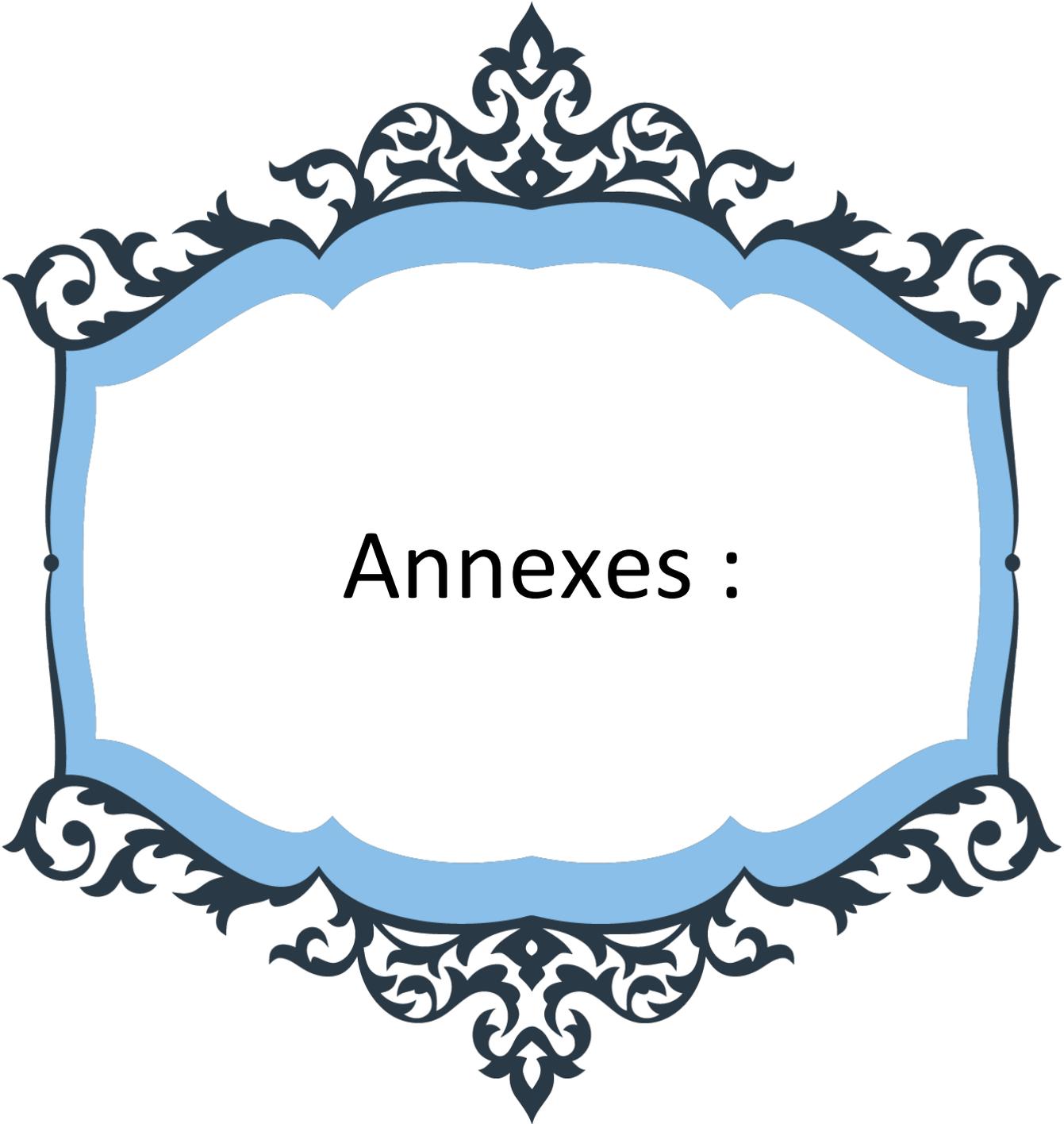
La sismique réfraction a permis de mettre en évidence deux couches : une couche sismique moins rapide qui correspond aux alluvions et à la partie supérieure altérée de la coupe. La deuxième couche rapide qui correspond aux marnes saines.

L'étude géophysique par polarisation spontanée a été réalisée après la mise en service du barrage. Elle a permis de montrer que l'écoulement est normal. L'anomalie négative observée sur le côté aval correspond vraisemblablement à des objets métalliques enterrés.



Références
bibliographiques:

- ANBT, 2005.** Rapport d'Etude Hydrologique. Etude d'avant - projet détaillé du barrage de Tagharist (willaya de Khenchela). Dar Al-Handasah.
- ANBT, 2005.** Rapport d'Etude de traitement du bassin versant. Etude d'avant - projet détaillé du barrage de Tagharist (W. Khenchela). Dar Al-Handasah.
- ANBT, 2009.** Rapport de géologie du barrage et de la cuvette. Etude d'avant - projet détaillé du barrage de Tagharist (willaya de Khenchela). Dar Al-Handasah.
- ANBT, 2009.** Rapport d'étude Géologique, Géotechnique et de Sismicité. Etude d'avant-projet détaillé du harcèlement de Tagharist (willaya de Khenchela). Dar Al – Handasah.
- ANBT , Avril ,2013.** Études d'exécution, assistance technique et surveillance des travaux de réalisation du barrage de Tagharist dans la Wilaya de Khenchela.
- Benouar, D. et al. 1998.** Mapping seismic hazard in the Maghreb countries: Algeria, Morocco and Tunisia, 11th European conference on earthquake engineering.
- BOLEVE, A. 2009.** Localisation et quantification des zones de fuites dans les digues et les barrages par la méthode du potentiel spontanée, Université de Savoie.
- Dinar, H. 2016.** Caractérisation géologique et géotechnique de la cuvette du barrage de Tagharist, Yabous, Wilaya de Khenchela. Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'hidi.
- Magnin, O et Bertrand, y.2005.** Guide Sismique réfraction. Les cahiers de l'AGAP n° 2. Laboratoire centrale des ponts et chaussées.
- Rapport technique, 2010.** Etude géophysique par la méthode de sismique réfraction du barrage de Tagharist dans la Wilaya de Khenchela



Annexes :



Vue d'ensemble de la digue du barrage de Tagharist.



Vue d'ensemble de la cuvette du barrage de Tagharist.

Barrage Tagharist
Analyse de stabilité - Section A rive droite (Annexe A Figure 20 APD)
 Condition: Fin de construction
 Paramètres non drainés des sols de l'APD
 Methode d'analyse: Morgenstern-Price

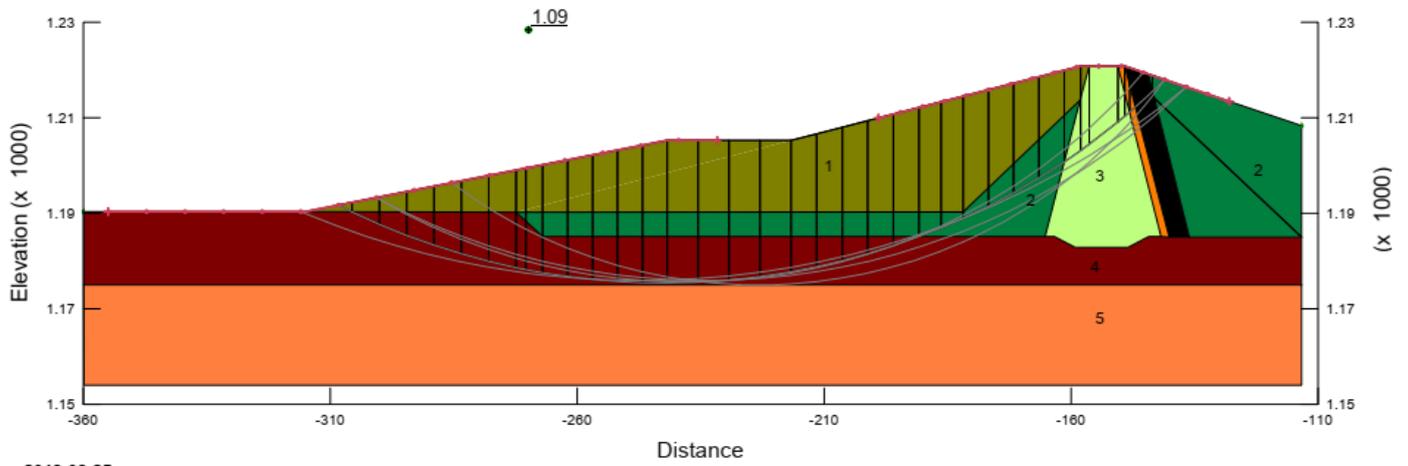
Matériau 1: Remblai alluvions
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion non drainée (kPa): 100

Matériau 2: Remblai colluvions
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion non drainée (kPa): 100

Matériau 3: Remblai argile
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion non drainée (kPa): 80

Matériau 4: Colluvions naturelles
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion non drainée (kPa): 50

Matériau 5: Marne compacte 2
 Poids volumique (kN/m³): 22.5
 Cohésion non drainée (kPa): 250



2013-03-25

Analyse stabilité.

Barrage Tagharist
Analyse de stabilité - H= 31 m (Annexe A Figure 7 APD)
Condition : Fin de construction
Paramètres effectifs des sols de l'APD
Pressions interstitielles: Coefficient de pressions interstitielles
Methode d'analyse:Morgenstern-Price

Matériau 1:Remblai alluvions
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion effective (kPa):5
 Angle de frottement :33

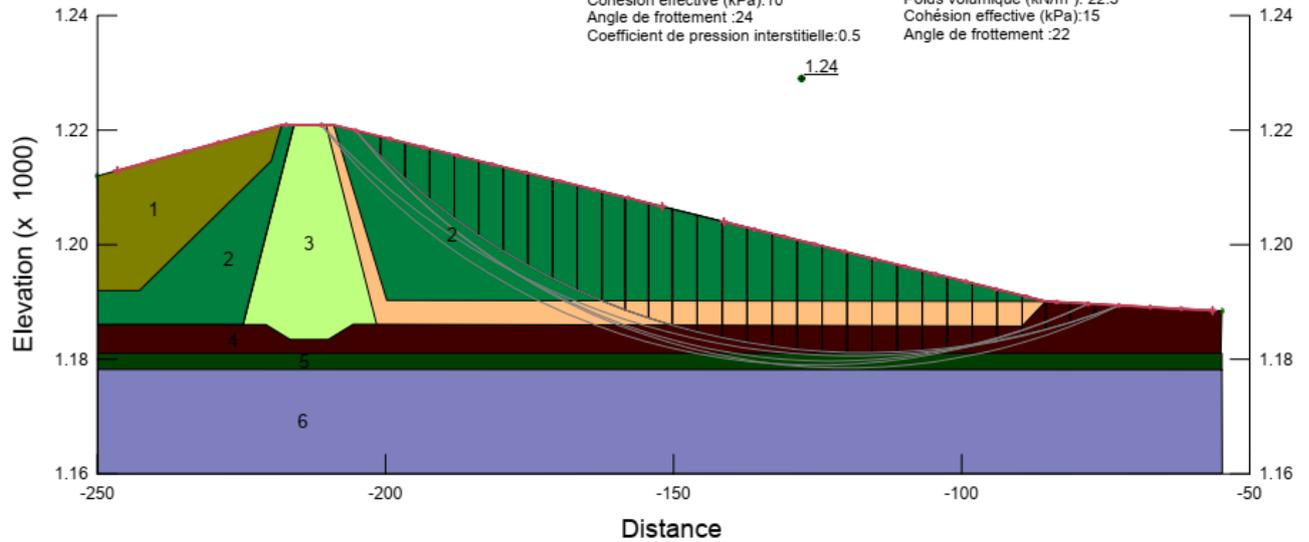
Matériau 2:Remblai colluvions
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion effective (kPa):10
 Angle de frottement :26
 Coefficient de pression interstitielle:0.5

Matériau 3:Remblai argile
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion effective (kPa):10
 Angle de frottement :24
 Coefficient de pression interstitielle:0.5

Matériau 4:Colluvions naturelles
 Poids volumique (kN/m³): 20
 Cohésion effective (kPa):5
 Angle de frottement :12
 Coefficient de pression interstitielle:0.3

Matériau 5:Marne Altéré
 Poids volumique (kN/m³): 22
 Cohésion effective (kPa):10
 Angle de frottement :15
 Coefficient de pression interstitielle:0.3

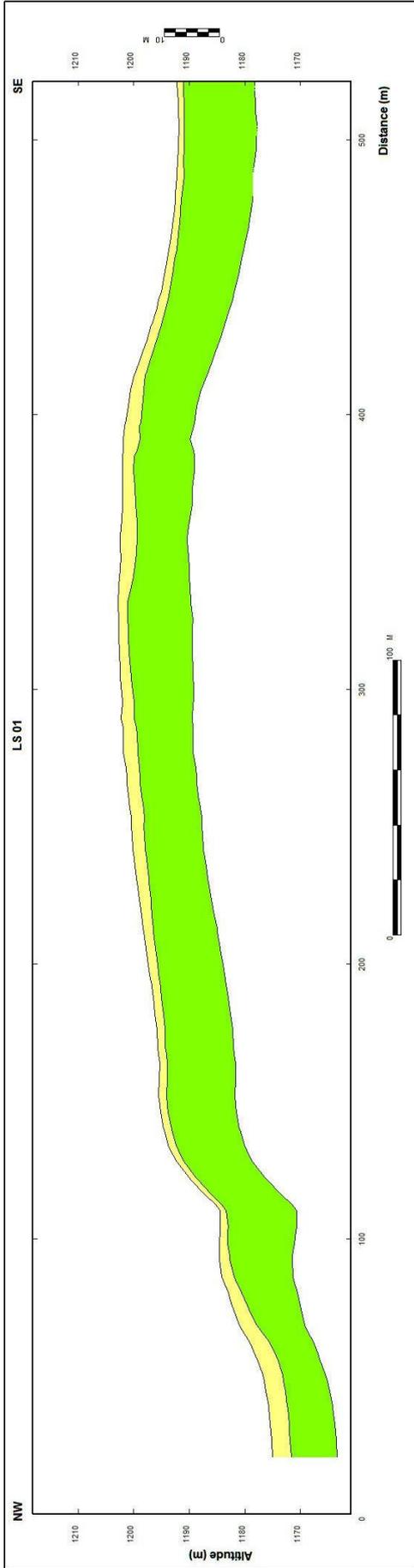
Matériau 6:Marne compacte
 Poids volumique (kN/m³): 22.5
 Cohésion effective (kPa):15
 Angle de frottement :22



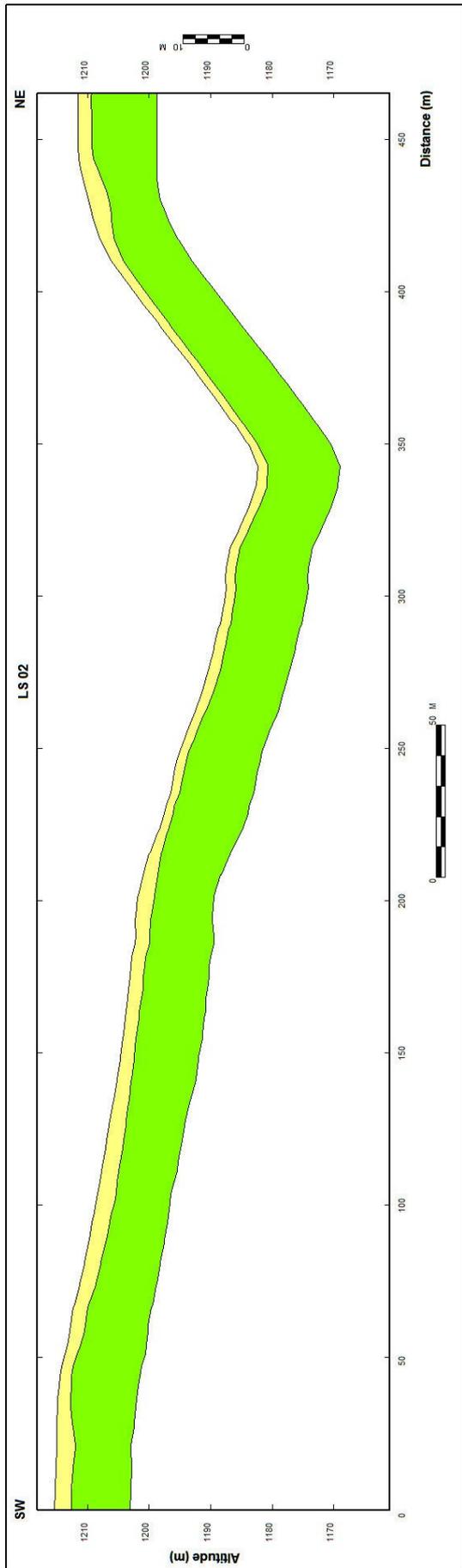
2013-04-04

Analyse stabilité.

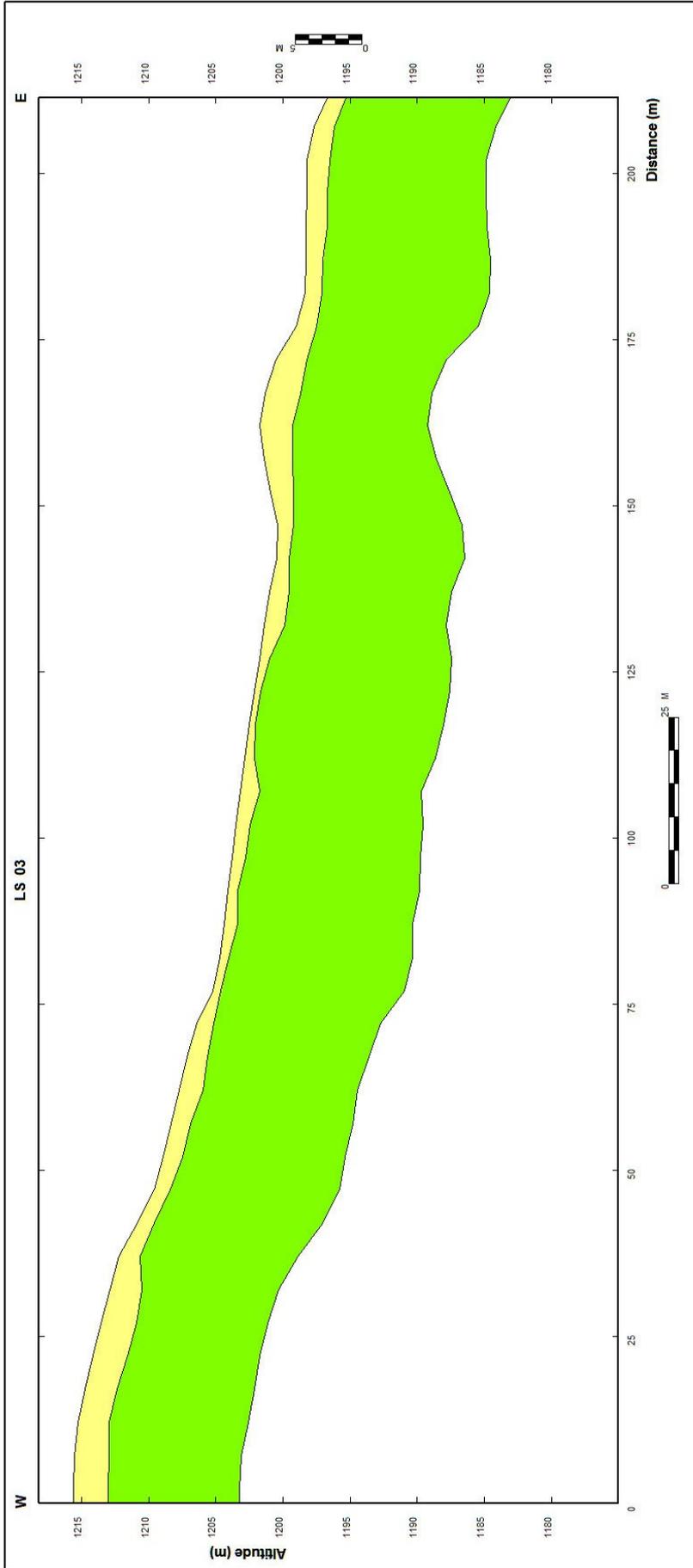
Les coupes de sismique réfraction :



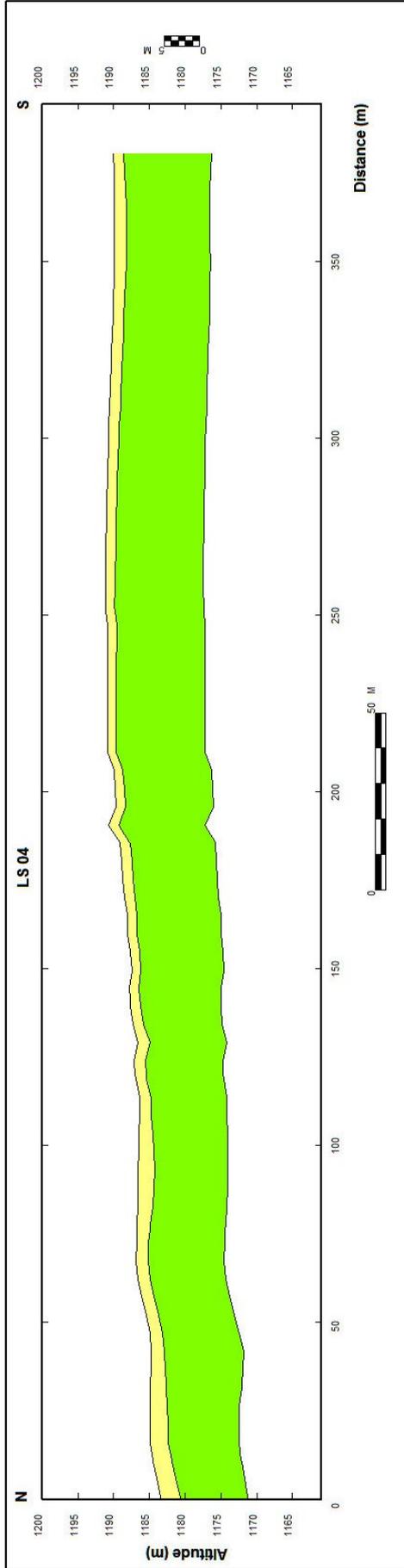
LIGNE SISMIQUE N°1



LIGNE SISMIQUE N°2



LIGNE SISMIQUE N°3



LIGNE SISMIQUE N°4

