

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE*

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER ACADEMIQUE**

Spécialité : Génie Civil

Option : Géotechnique et Environnement

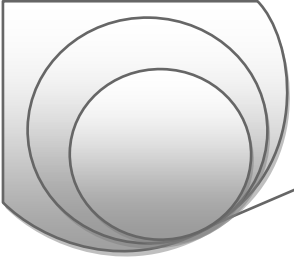
Thème :

**Etude du barrage de
Souk Tlata sur l'Oued
Bougdoura**

Présenté par : CHERCHEM Nacira

Dirigé par : GABI S.

Promotion : 2012/2013

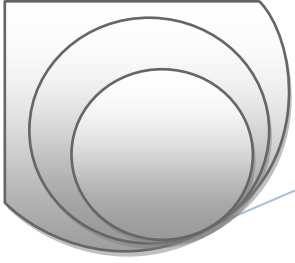


Remerciements

Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Mr GAUBI (mon promoteur) pour avoir contribué à l'élaboration de cette présente thèse.

Je remercie également tous mes professeurs.

Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.



Dédicace :

Je dédie ce travail :

*Avant tout à mes chers parents qui m'ont soutenue
durant toutes ces années de formation.*

A mon frère M'hand.

*A mes sœurs (Hassiba, Manel, Ania, Assia et
Nardjes).*

A la mémoire de ma grande Mère.

A ma grande Mère Fatma.

Mes Oncles et mes tantes

*Mes amies : Lynda, Yasmine, Rym, Nassira,
Nawal et Messaouda.*

Mes amis : Nordine, Sofiane, Rabah.

*A toute la promotion 2013 de géotechnique
et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma
formation.*

Nacira

Sommaire :

Introduction générale

Première partie :

Chapitre I : Etude topographique

Introduction :	1
I.1 Généralités sur les barrages.....	1
I.1.1 Définition.....	1
I.1. 2 But des barrages.....	1
I.1.3 Le choix du type de barrage.....	2
I.2 Situation géographique du site.....	5
I.3 Documentation topographique.....	6
Conclusion.....	7

Chapitre II : Etude géologique et géotechnique

Introduction.....	8
II.1.Etude géologique.....	8
II.1.1.Géologie de la région.....	8
II.1.2.Stratigraphie générale.....	8
II.1.3.Position et données géologiques.....	9
II.1.4. Tectonique.....	12
II.1.5. perméabilité, conditions hydrogéologiques.....	13
II.1. 6. Sismicité régionale et insitu.....	13
II.2. Etude géotechnique.....	15
II.2.1.Aspects géotechniques.....	15

II.2.1.1.Essais au laboratoire.....	15
II.2.1.2.Résultats des essais en laboratoire.....	16
II.2.2 Utilisation des matériaux pour les ouvrages.....	22
II.2.2.1 Les paramètres géotechniques à utiliser pour les calculs du barrage	22
II.2.3. Propositions pour l'utilisation des matériaux.....	25
Conclusion.....	28

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction	29
III.1.Le bassin versant	29
III.1.1.Caractéristiques générales du bassin versant.....	29
III.1.2.Caractéristiques morphologiques du bassin versant.....	29
III.1.2.1.Paramètres géométriques.....	29
III.1.2.2.Paramètres de forme.....	30
III.1.2.3 Paramètres du relief.....	32
III.1.2.4 Caractéristiques hydrographiques.....	36
III.02.Calcul de la précipitation moyenne sur le bassin versant	40
Conclusion.....	43

Chapitre IV : Dimensionnement du barrage

Introduction	44
IV .1. Dimensionnement de la digue.....	44
IV. 1.1. Hauteur du barrage	44
IV.1.2. Largeur en crête	48
IV.1.3. Longueur en crête	48

VI.1.4.Pente des talus	49
VI.2.Dimensionnement du noyau.....	49
VI.2.1. Largeur en crête du noyau	49
VI.2.2. Pentes du noyau	50
VI.3. Calcul de la longueur du drain.....	50
Conclusion.....	51

Deuxième partie :

Chapitre I : hydraulique souterraine

I.1.Notions de base d'hydraulique souterraine.....	52
I.1.1.Vitesse de l'eau dans le sol.....	54
-Equation de Darcy.....	55
-Domaine de validité de la loi d Darcy	56
I.2. Les écoulements souterrains.....	57
Introduction.....	57
I.2.1. Les systèmes aquifères	58
Définitions	58
I.2.2. Types de Nappes	59
I.2.2.1.Nappes libres	59
I.2.2.2. Nappes captives.....	60
I.2.2.3. Nappes semi captives.....	61
I.2.2.4. Aquifère à nappe suspendue	62
I.2.3. Milieu poreux et milieu fissuré.....	62

I.2.4. Les paramètres caractérisant l'écoulement souterrain.....	63
I.2.5.Relations Fluides-Solides dans les milieux poreux.....	67
I.2.5.1. Milieux saturés en eau.....	67
I.2.5.2.Milieux non saturés.....	69
Conclusion	69

Chapitre II : Etude des infiltrations

II.1. Etude des infiltrations dans un barrage.....	70
II.1.1.Procédé de calcul	70
II.1.2.Tracé de la ligne de saturation.....	70
-Principe de la méthode de kozeny	71
- Projection horizontale de la partie mouillée du parement amont.....	72
II.1. 3.Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue	73
II.2.étude des réseaux d'écoulements.....	74
II.2.1. Milieu isotrope.....	75
A. Détermination des réseaux d'écoulement.....	77
B. B. Exemples de conditions aux limites.....	77
Méthode d'analogie électrique.....	78
II.2.2.Milieu anisotrope.....	80
II.3.Utilisation des réseaux d'écoulement.....	80

Chapitre III : Modélisation de la digue

Introduction.....	81
III.1: Présentation du code Plaxis.....	81
III.2: Modèle défini par l'utilisateur.....	81
III.2.1: Comportement drainé.....	82
III.2.2: Comportement non drainé.....	82
III.3: Modèle de Mohr Coulomb.....	82
III.3.1: Le module d'Young.....	83
III.3.2: le coefficient de Poisson.....	83
III.3.3: L'angle de frottement.....	84
III.3.4: La cohésion.....	84
III.3.5: L'angle de dilatance.....	85
III.4: Les démarches de modélisation avec le code Plaxis.....	85
III.4.1: Géométrie.....	85
III.4.2: Définition des paramètres des matériaux.....	86
III.4.3: Maillage.....	87
III.4.4: Conditions aux limites.....	88
III.4.5: Les conditions initiales.....	89
III.4.6: Visualisation des Résultats.....	89
Les résultats.....	90
Conclusion.....	97

Conclusion générale

Liste des figures

• Première partie

Figure I.01 :barrage homogène	3
Figure I.02:Barrages à noyau.....	4
Figure I.03 :Barrage à masque amont.....	4
Figure I.04 : Situation de l'ouvrage.....	6
Figure II.01:Carte de zonage sismique du territoire algérien.....	15
Figure III.01: Rectangle équivalent.....	31
Figure III.02 :Courbe hypsométrique.....	34
Figure III.03: Réseau hydrographique du bassin versant.....	37
Figure III.04: Bassin versant de l'Oued Bou-gdoura	38
Figure VI.01: Paramètres de sécurité vis-à-vis des phénomènes naturels.....	46

• Deuxième partie

Figure I.01 :Ecoulement dans le sol.....	52
Figure I.02:Volume Elémentaire Représentatif.....	53
Figure I.03:Vitesse de l'eau dans le sol	54
Figure I.04 : Appareil de Darcy destiné à déterminer les paramètres de l'écoulement de l'eau à travers une colonne de sable.....	57
Figure I.05 :Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère.....	59
Figure I.06: nappe captive des sables tertiaires de Gironde.....	61
Figure I.07: source jaillissante en Artois.....	61
Figure I.08:variation de charge et volume d'eau libérée (adapté de G. CASTANY.....	64



Figure I.09:calcul du gradient hydraulique avec 2 piézomètres.....	65
Figure I.10:calcul du gradient hydraulique à partir d'une carte piézométrique.....	65
Figure I.11 :différents types d'eau au voisinage d'un grain dans un aquifère.....	68
Figure II.01 : Tracé de ligne de saturation et la parabole de KOSENY.....	71
Figure II.02:Trace des lignes de courant et des lignes équipotentiellles.....	75
Figure II.03 Lignes équipotentiellles et lignes de courants.....	76
Figure II.04 : Barrage en terre homogène sur fondation imperméable.....	78
Figure II.05 : Détermination de la pression interstitielle.....	80
Figure III.01: Fenêtre des Paramètres du modèle de Mohr Coulomb.....	83
Figure III.02: Courbe intrinsèque du modèle de Mohr Coulomb.....	84
Figure III.03: Fenêtre des paramètres avancés de MohrCoulomb.....	85
Figure III.04:La Géométrie de corps du barrage.....	86
Figure III.05:les différents matériaux.....	87
Figure III.06:Maillage.....	88
Figure III.07::Conditions aux limites	89
Figure.III.0 8:la pression interstitielle au niveau 25 m	91
Figure.III.0 9 :la pression interstitielle au niveau 50 m	92
Figure.III.10 :la pression interstitielle au niveau 85 m.....	92
Figure.III.11 : le potentiel hydraulique au niveau 50 m	93
Figure III. 12:le degré de saturation au niveau 50 m.....	94
Figure.III.13 : La coupe verticale de la partie amont du barrage.....	95
Figure.III .14 : la coupe verticale au niveau du noyau.....	96
Figure.III .15 : la coupe verticale au niveau de la partie avale.....	96



Liste des tableaux

- **Première partie**

Tableau III.01 : Répartition en % de la surface élémentaire.....	32
Tableau III.02 :Résultats de calcul.....	33
Tableau III.03: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief).....	35
Tableau III.04:des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant.....	40
Tableau III. 05 : Précipitations moyennes des stations pluviométriques.....	41
Tableau III.06: précipitation moyennes par la méthode de Thiessen.....	43
Tableau IV.01: Valeurs indicatives des pentes des talus (CEMAGREF).....	49
Tableau VI.02 : Pente du noyau.....	50



Introduction générale

Lorsqu'on parle de l'eau on pense à la vie et en aucun cas ne sera la vie sans l'existence de l'eau ; Ce qui est apparent que l'eau est inépuisable d'un point de vue que l'eau représente les 3/4 de notre planète, tandis que en réalité le taux de l'eau douce appropriée à l'homme est très faible et à une forte tendance à ce réduire en considérant la croissance démographique de la pollution. Ce problème qui interpelle plusieurs chercheurs dans le monde est posé avec intensité en ALGERIE.

Le développement de notre pays suppose la maîtrise des ressources en eau, parmi lesquelles les eaux de surface qui ont une importance vitale pour toute entreprise agricole ou industriel. Depuis la dernière décennie, l'édification des barrages a été une solution largement utilisée pour résoudre les délicats problèmes de mobilisation des ressources en eau.

Les Barrage et les retenues peuvent mettre à la disposition des bénéficiaires quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de m³ d'eau recueillis sur des bassins versants dont la superficie varie de quelques hectares à quelques km². Ils s'intègrent de façon naturelle dans le paysage et sont susceptibles de maintenir les populations rurales en leur assurant de réelles possibilités de développement dans un milieu pauvre, isolé et défavorisé ; Les lacs interviennent d'une façon considérable dans le développement agricole et ce par la création de périmètres irrigués. En effet, en plus de leur effet dans la recharge de la nappe, ils sont aptes de capter une quantité importante d'eau de ruissellement pouvant servir aux usagers agricoles.

Vu toutes ces considérations, il est important de dicter une méthodologie efficace pour la réalisation de ces ouvrages et notre étude fait l'objet d'une étude d'un barrage sur l'Oued BOUGDOURA dans la Willaya de TIZI OUZOU qui sera destiné à l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

Le contenu comprendra deux parties. Dans la première partie ; nous allons faire une analyse assez poussée des conditions géologiques et géotechniques afin de trouver un site favorable. Puis,

on traitera la précipitation moyenne sur le bassin versant et de calculer les dimensionnements du barrage.

On consacrera la deuxième partie pour une étude de l'hydraulique souterraine, le calcul des infiltrations et modélisation à l'aide d'un logiciel plaxis .

Introduction

Avant de commencer l'étude de l'avant projet qui permet en premier lieu de se prononcer sur l'aptitude topographique du site et de positionner au mieux le barrage il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrologiques du site.

Les données topographiques nécessaires concernent le bassin versant de la retenue, la vallée de la rivière à l'amont et l'aval du barrage, le site du barrage et celui de la retenue et les zones d'emprunts des matériaux de construction de la digue.

I.1 Généralités sur les barrages

I.1.1 Définition

Les barrages sont des ouvrages destinés à retenir et à stocker de l'eau pour la restituer à des utilisateurs divers.

Ce sont des ouvrages hydrauliques, souvent importants, très délicats du point de vue de leur conception, de leur réalisation et de leur exploitation et qui nécessitent un entretien très soutenu et soigné. Il existe de barrage en béton, en enrochement et enfin en terre.

Dans notre cas, on s'intéresse aux digues en terre.

Les barrages en terres sont essentiellement des barrages constitués par des matériaux divers de l'argile très fine aux éléments grossiers (enrochement). Le volume de ces matériaux est très élevés 10 fois le volume d'un barrage en béton.

I.1.2 But des barrages

Le but principal du barrage, est l'accumulation. Cette accumulation sert à compenser l'inégalité des apports de la rivière et à adopter l'utilisation et la consommation de l'eau aux besoins.

Un but secondaire est la protection contre les crues. Enumérons les divers buts d'utilisation d'un barrage que l'on peut associer dans le même ouvrage :

1. Alimentation en eau potable ;
2. Protection contre les crues ;
3. Production de l'électricité (usines hydroélectriques) ;
4. Amélioration de la navigation ;
5. Irrigation ;

6. Besoins industriels (refroidissement des machines, lavage.....)

7. Autres buts (dilution des eaux usées, amélioration de la nappe phréatique, protection contre le charriage et l'envasement).

I.1.3 Le choix du type de barrage

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

➤ **La topographie du site**

La topographie consiste en premier lieu à vérifier si l'axe choisi autorise le remplissage de la retenue en fonction des apports du bassin versant.

➤ **La morphologie de la vallée**

La morphologie de la vallée joue un rôle important dans le choix du site et de type de barrage à implanter. Bien entendu, l'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit précédé à l'amont par un élargissement de la vallée.

➤ **Les conditions géologiques et géotechniques**

La nature, la résistance, le pendage, la fracturation et la perméabilité des formations rencontrées dans le bassin versant, constituent un ensemble de facteurs permettant la détermination du site et du type de barrage à implanter.

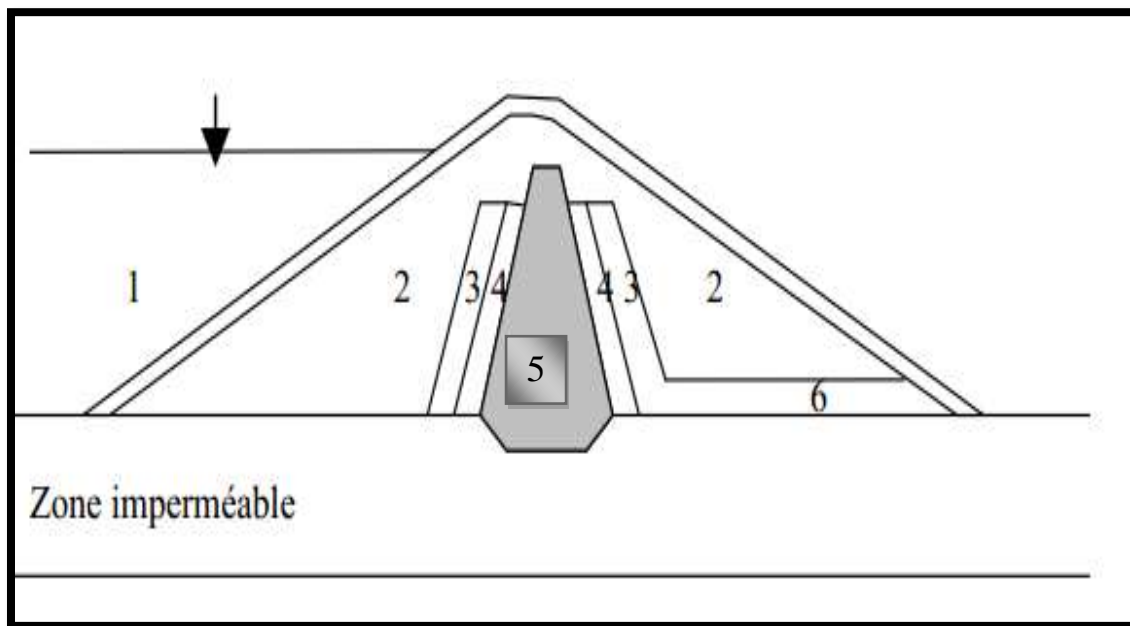
➤ **Les matériaux de construction**

La disponibilité des matériaux de construction sur le site ou à proximité joue un rôle important dans le choix du site ainsi que du type de barrage. Le site doit être choisi dans la mesure des autres exigences citées, le plus proche possible des zones d'emprunt.

En se basant sur ces exigences on peut déterminer la variante qui convient au site et le type de barrage à implanter.

Il existe trois schémas principaux de structure de barrage en terre :

- barrage homogène en argile.
- barrage zoné à noyau central.
- barrage à masque amont.



- | | | |
|----------------|--------------------|------------------|
| 1 : protection | 2 : corps de digue | 3 : transition |
| 5 : noyau | 6 : tapis drainant | 4 : filtre drain |

Fig : I.2 Barrages à noyau

Barrage à masque amont

C'est un barrage homogène avec un masque amont qui est une paroi étanche placée sur le talus amont du barrage tel que le béton bitumineux, géotextile ...

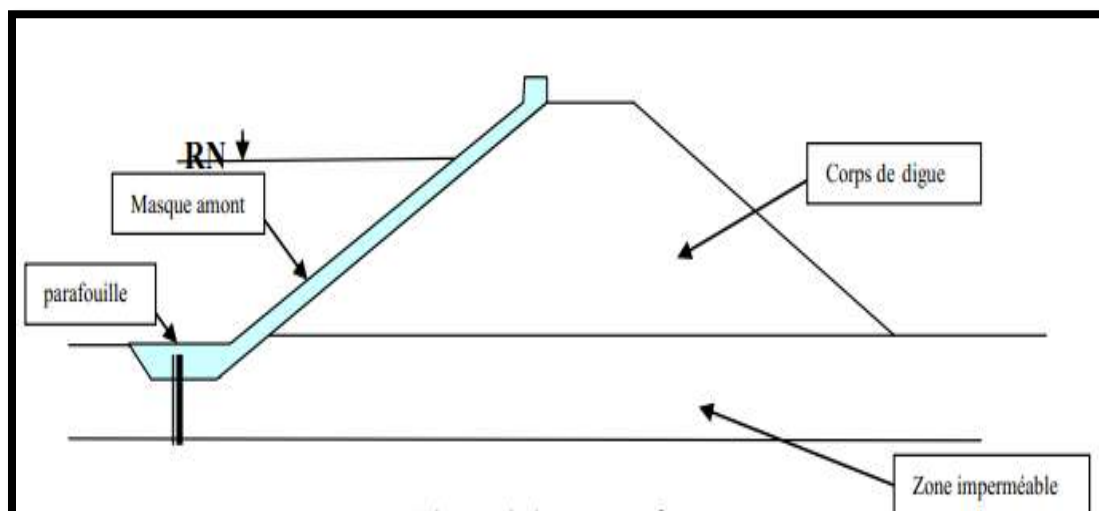


Fig.I. 3 : Barrage à masque amont

I.2 Situation géographique du site

Le site du barrage de SOUK TLATA sur l'oued de BOU-GDOURA se situe à l'extrémité occidentale de la grande Kabylie à 8,5 km de Tizi-Ouzou, à 80 km environ à vol d'oiseaux d'Alger dans la direction Est.

Le réservoir sera constitué de deux branches formées par les vallées de L'ACIF TLATA et du TALA IMEDRENE, qui confluent à l'amont du barrage avec un angle de 30° environ.

La retenue est fermée par une gorge de quelque centaine de mètres de long ; site choisi pour le barrage.

Le fond de la rivière est situé approximativement au niveau 65m NGA et présente en son endroit le plus étroit une largeur d'environ 50m. Les flancs de la vallée montent jusqu'au niveau 150m NGA au moins, avec une pente dépassant par endroits 2 :1 (2verticalement et 1 horizontalement).

La largeur de la vallée, à la cote du sommet du barrage, est de 200m environ.

Le plan de situation de l'ouvrage est montré dans la figure (I.4).

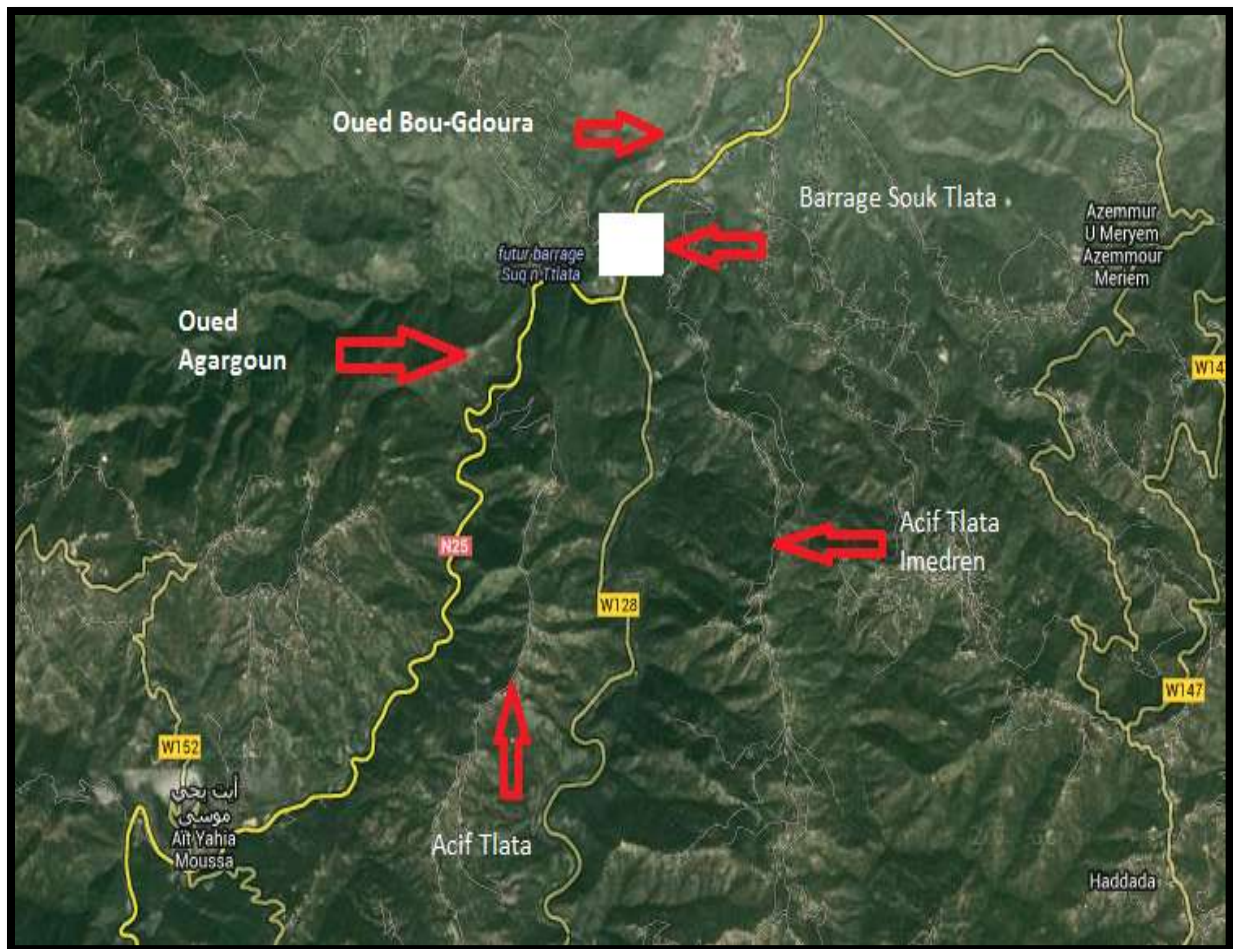


Fig.I.4 : Situation de l'ouvrage.

I.3 Documentation topographique

Un intérêt particulier doit être accordé à la collecte des données fiables, dont la consistance dépend principalement de l'approche méthodologique. La présente étude nécessite des données cartographiques, hydrologiques et pluviométriques de la région où se trouve le bassin versant.

La documentation topographique pour des travaux sur l'étude du barrage et pour justifier les conceptions de l'étude, on a reçu les documents cartographiques suivant:

- Plan du situation géographique de l'aménagement
- Plan d'aménagement du barrage
- Plan du situation générale du barrage et du réservoir

Conclusion

La conception des ouvrages nécessite la réalisation de plans topographiques bien précis, s'appuyant sur des levés de la zone d'implantation du barrage.

Il est judicieux de profiter des levés topographiques pour faire reporter sur le plan tous les points particuliers dont il est nécessaire de connaître la position précise de notre site et par conséquent une étude topographique est fondamentale.

Introduction

Ces études sont variées selon la nature des problèmes rencontrés, mais il devra permettre de se prononcer sur l'étanchéité au niveau de la cuvette que des fondations sur la qualité mécanique de celles-ci et sur la disponibilité en matériaux de construction.

II.1:Etude géologique

II.1.1:Géologie de la région

Le site de souk Tlata se trouve sur le bord méridional du bassin sédimentaire du miocène inférieur terminal de Tizi Ouzou.

Ce bassin formé par une série épaisse de dépôts gréseux, pélitique et marneux, appartient à l'ancien golf miocène de la basse Kabylie, qui est la terminaison orientale du grand bassin sédimentaire de la Mitidja.

Les coupes géologiques sont représentées dans les figures (II.1) ;(II.2) et (II.3) :

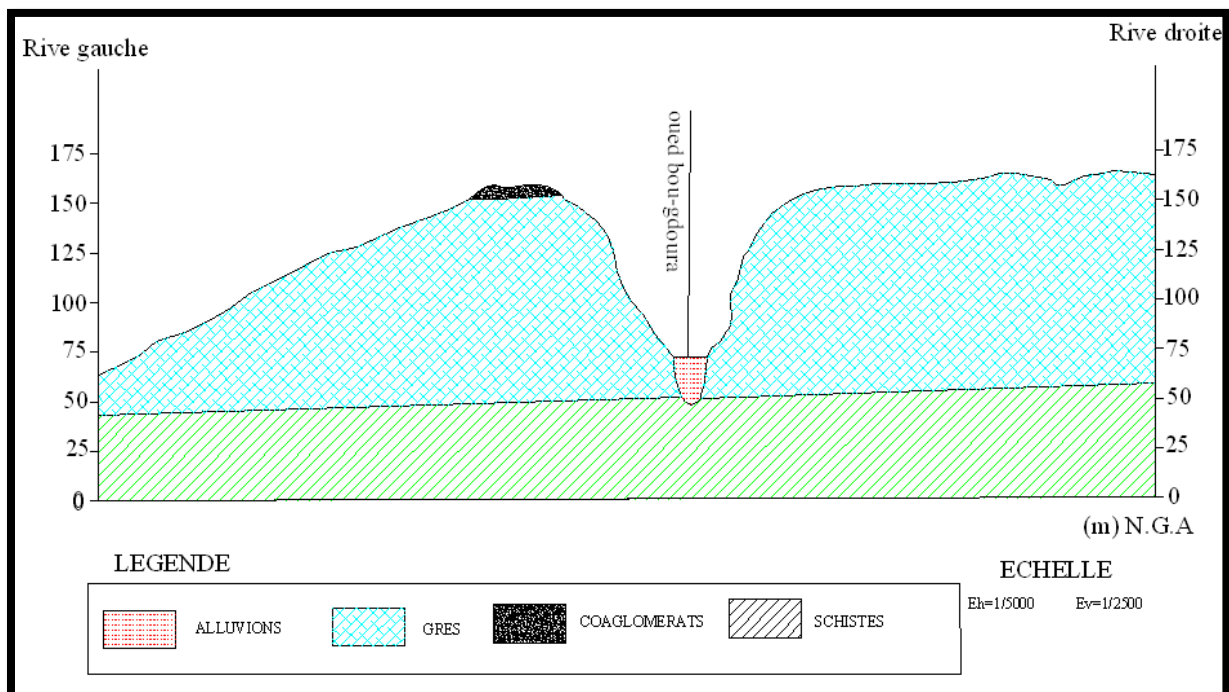


Fig II.01 : coupe géologique « oued bou-gdoura »

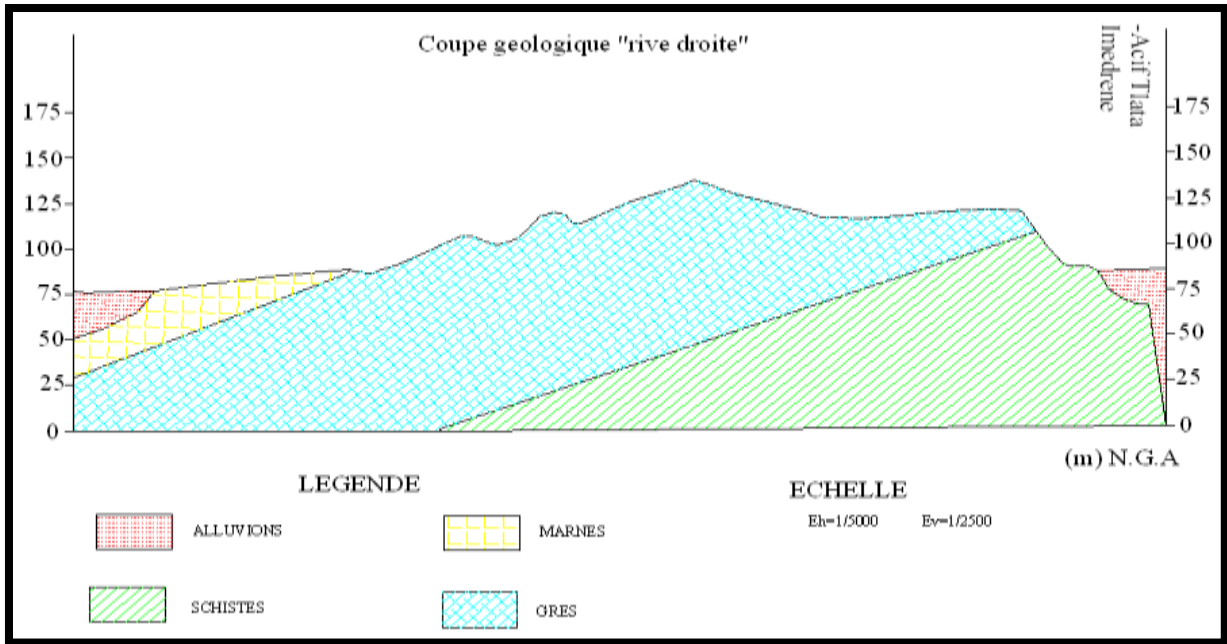


Fig II.02 : coupe géologique « rive droite »

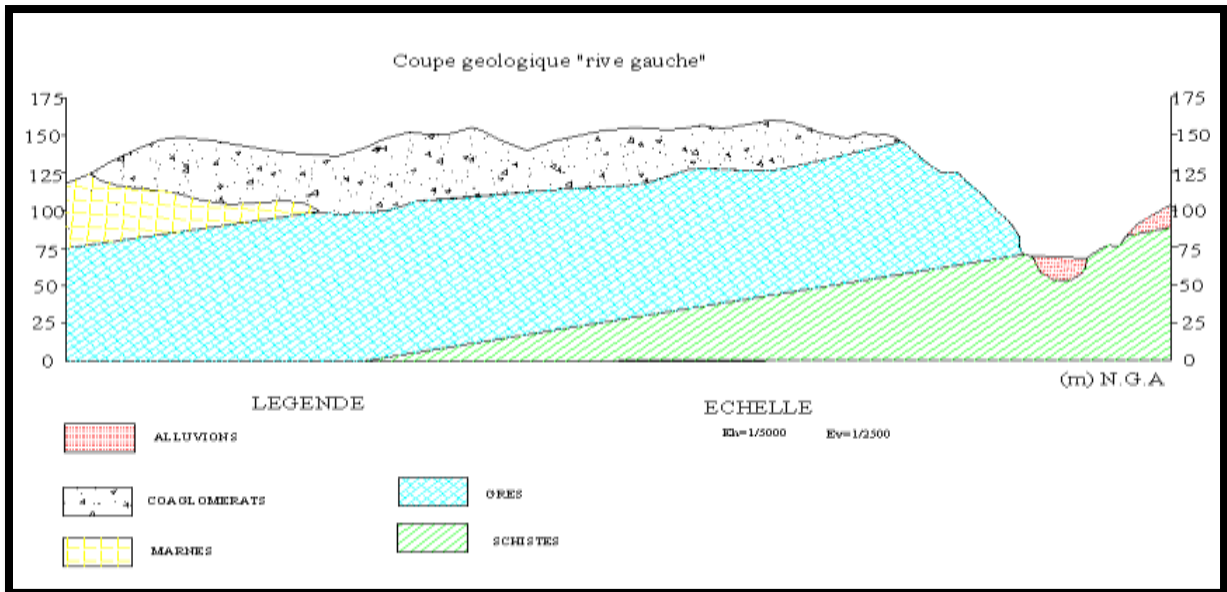


Fig II.03 : coupe géologique « rive gauche »

II.1.2: Stratigraphie générale

Dans la zone du barrage, les sédiments burdigaliens recouvrent avec un faciès transgressif le terrain enté-miocènes du socle métamorphique primaire.

Ces derniers éffleurent immédiatement à l'amont de la gorge de Souk Tlata, en occupant une vaste surface jusqu' au pied de la chaîne calcaire du Djurdjura.

- La région est drainée par l'oued SEBAOU et ces affluents.
- La plus grande partie des versants est couverte de sol alluvionnaire et colluvionnaire.

La région étudiée se trouve à une assez grande distance des massifs sismiques historiques, par conséquent le risque de tremblement de terre de forte intensité est réduit.

La transgression est marquée par une série de conglomérats de base formée par quelque mètres de poudingues localement grossier, suivis de grès fin siltites petite en alternance.

Le burdigalien présente deux faciès qui passent latéralement de l'un à l'autre.

- Grès plus au moins fins, tendre, à ciment carbonatique.
- Pelites plus au moins carbonatique.

En dessous on rencontre les terrains qui appartiennent à la série cristallophyllienne terminale du socle gressique est magmatique de la grande Kabylie. Dans la zone du barrage ces terrains sont représentés immédiatement sous le burdigalien par des phyllad.

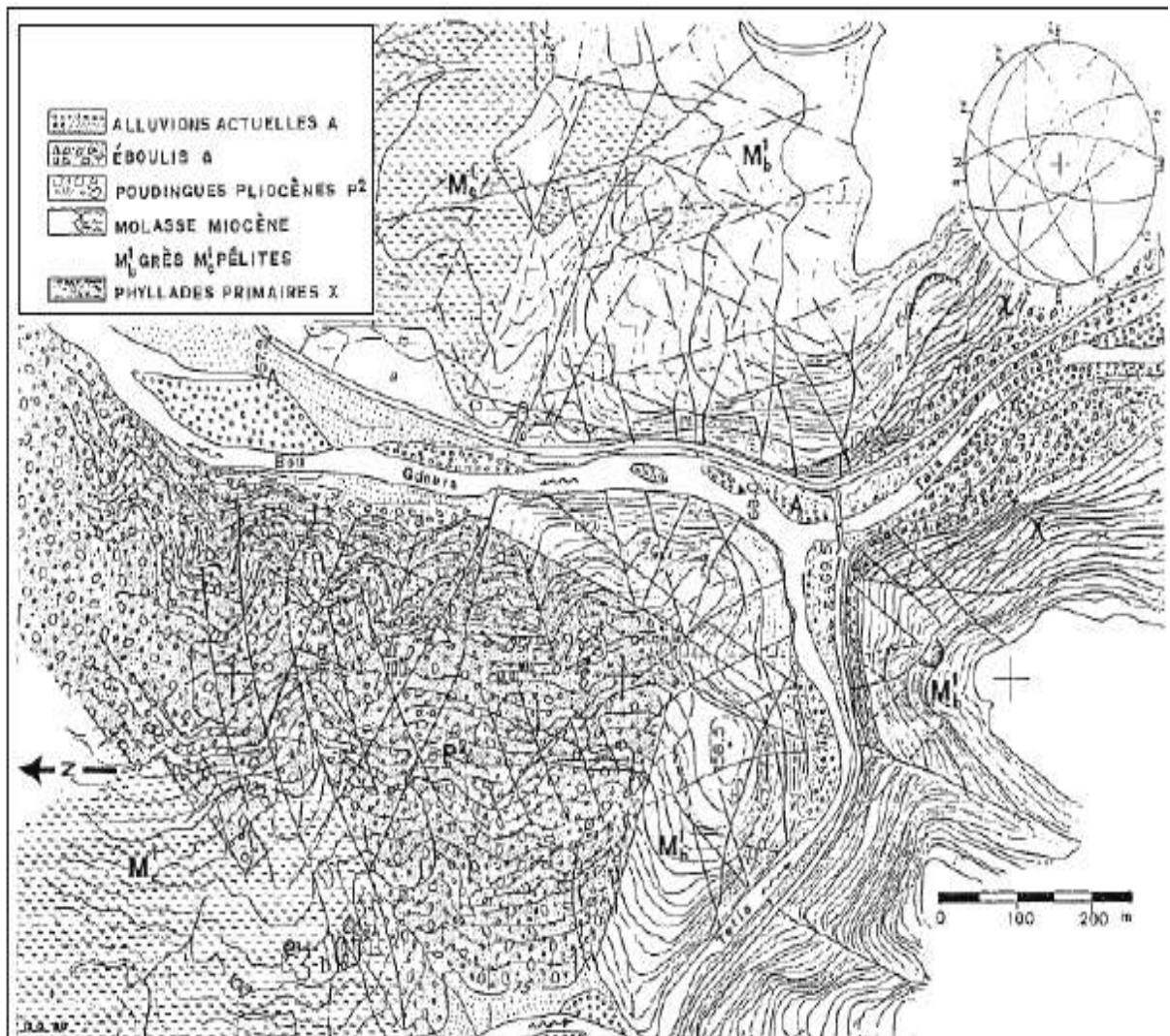


Fig II. 04 : Barrage de Souk El Tlata, Esquisse géologique du site.

II.1.3: Position et données géologiques

Les zones repérées sont situées d'après la description suivante :

- **Colluvions argileuses**

Cinq zones possibles pour les carrières existent, à l'amont du site du barrage, à une distance de 3 à 9 km, sur les rives de l'Acif Tlata Imdrane, de l'Acif Tlata et de l'Oued Tlata.

Colluvions argileuses sont des produits éluviaux des phyllades paléozoïques, remaniées par les mouvements de masse de la couche superficielle.

Généralement de granulométrie fine, englobant toutefois de débris rocheux, ces dépôts présentent une plasticité et une consistance moyenne et occupent des surfaces importantes

dans les versantes de la cuvette. Il s'agit toutefois de gisements de faible épaisseur, ce n'est que près du village de Kantidja que les colluvions s'étendent sans discontinuité sur une surface d'une dizaine d'hectares.

La genèse de ces sédiments laisse supposer la présence de matériaux organiques en bancs isolés ; dans la zone de Kantidja, des sols organiques ont été relevés à partir de 4 à 5 m de profondeur. De couleur beige à roux, ces colluvions passent localement de limon plus ou moins détritique à de l'argile plastique ; il s'agit donc d'un matériau hétérogène. La composante limoneuse est en général très importante.

Ces colluvions peuvent être utilisées comme matériaux pour le noyau ; il faudra toutefois compter sur l'exploitation de petits gisements séparés les uns des autres.

- **Alluvion graveleuses**

Un possible dépôts est situé en aval du site du barrage, à 0.5 km environ de distance et intéresse les alluvions du lit mineur et majeur de l'Oued Bou- Gdoura.

En surface, ces alluvions sont constituées d'un tout-venant grossier. Les graviers sous adjacents passent fréquemment à du sable comportant plus ou moins d'éléments finis.

Le terrain semble être assez homogène.

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

- gneiss et Q-pegmatiques 43% ;
- Calcaire 26% ;
- Micaschistes 22% ;
- Grés 6%.

Ces matériaux peuvent être utilisés pour les recharges du barrage mais devront être exploités par dragline en dessous de la nappe phréatique ; ils ne sont pas recommandables comme agrégats à béton en raison de la présence de micaschiste et de phyllade ainsi que de quartz microfissure (pegmatites) ; par contre, ils sont utilisable pour les transitions et pour les filtres s'ils sont sélectionnés et encore mieux s'ils sont corrigés par l'adjonction d'éléments de quartz de carrière.

- **Grés burdigaliens**

La zone à utiliser est située dans le versant de la rive droite de l'Oued Bou- Gdoura, au droit du site du barrage.

Ces sédiments sont largement présentés dans la zone du barrage et constituent en fait la roche de fondation des appuis de l'ouvrage.

Il s'agit de grés fins, bien classés, tendres à mi-durs, à ciment carbonatiques (sidérose) ; de couleur ocracée à grisâtre ; localement, ils présentent des intercalations organogènes relativement importantes.

Les grés miocènes peuvent être exploités comme pierres de maçonnerie ; à cause de leurs faible densité et résistance à la compression, ils ne peuvent pas être prévus pour des recharges enrochement ou pour le \square perré \square ; ils pourraient toutefois être employés sous forme de grés désagrégé comme recharge d'un barrage.

- **Pélites altérés**

La zone de ces matériaux occupe une surface très étendue, entre les vallées de l'Oued Agergoun et de l'Oued- Bou Goura ; les matériaux y présentent des caractéristiques assez homogènes.

Affleurant sur les versantes de rive gauche de l'Oued Agergoun, ces argiles sont le produit éluvial plus ou moins remanié des pélites grises, feuilletées à schisteuses de la formation burdigaliens.

L'épaisseur de la couche éluviale est de 6m environ, mais au-dessous, les pélites sont encore fortement altérées jusqu'à une profondeur de l'ordre de 10m. Ces sols ne sont pas facilement utilisables comme matériaux pour noyau du barrage, car ils présentent une teneur en carbonates élevée, ce qui comporte un risque sensible de microfissuration en cas de retrait.

- **Les Poudingues pliocènes**

Ils occupent une surface d'une vingtaine d'hectares sur la colline du versant de rive gauche de L'Oued Bou-Gdoura, et remplissent une large vallée épigénétique, d'une centaine de mètre de profondeur.

Après quelque mètres de couverture éluviale (en moyenne 3.8m), des alluvions graveleux on été traversées, prises dans une matrice limo- argileuse, à densité relativement élevée et présentant un degré de cimentation très variable.

Le conglomérat se présente, néanmoins, parfois avec une matrice plus détritique et parfois, à la grande profondeur, avec des caractéristiques semblables à celle du béton, ce qui pourrait être interprété aussi comme un bloc isolé de conglomérat de la série de base de la formation gréseuse burdigaliens.

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

- gneiss et Q-pegmatiques 58% ;
- Calcaire 3% ;
- Micaschistes 30% ;
- Grés 1% ;
- boules d'argile verte8%.

La zone du site du barrage offre des gisements importants de poudingues, qui pourraient être employés pour les recharges.

- **Calcaire d'Assi Youcef**

A 35 km de distance du site du barrage, au sud de boghni, se trouve une grande carrière avec une station de concassage en service.

Le gisement se trouve au pied septentrional de la □ chaîne calcaire □ du djurdjura.

Le Karst à altéré le rocher jusqu' à une profondeur de 5 à 10 m.

Sur la base de l'intensité de fissuration, on peut évaluer le volume moyen des polyèdres à $0,45 \text{ m}^3$, ce qui a pu être constaté aussi sur les blocs présents en carrière.

Ces matériaux, blocs sélectionnées, peuvent être exploités pour le \square perré \square de protection de la recharge amont du barrage, tandis que le tout-venant peut constituer le lit de pose des susdits enrochements.

II.1.4:Tectonique

Les sédiments burdigaliens forment une structure mono climatique plongeant vers le nord avec un pendage (15 ; 20)%.

Il s'agit d'une structure tectonique en forme « Hors » et « Graben » due aux mouvements épirogéniques de la néotectonique dispensée tardopliocène et poste-astienne, qui intéresse même les poudingues pliocène.

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

II.1.5:perméabilité, conditions hydrogéologiques

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

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

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

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

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

Les fractures et les contacts stratigraphiques sont donc des chemins potentiels de fuite de l'eau de réservoir. Toutefois, à cet égard, c'est dans les collines de rive gauche que les risques sont les plus élevés. En effet, le phénomène le plus important du site du barrage est la vallée épigénétique (colmatée par les poudingues pliocènes) qui traverse obliquement la colline susmentionnée.

II.1.6 : Sismicité régionale et insitu

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

Néanmoins le site du barrage n'est pas très distant des accidents tectoniques transversaux de direction N°140 et N°75 qui ont joué un rôle important dans les chaînes atlassiques pendant le paroxysme miocène et les soulèvements épirogéniques post-burdigalien, comme par exemple, les transversales de BOUIRA-ISSER et du DJURDJURA-BEJAIA.

Par conséquent il est possible que la zone du barrage de Souk Tlata puisse ressentir bien qu'affaiblies par la distance, les secousses des séismes des régions sismotectonique actives environnantes.

D'après les données historiques, il faut s'attendre, dans la zone du site du barrage à des tremblements de terre :

- légers (IMM= I - III) avec une fréquence biennale
- moyens (IMM=IV –V) avec une fréquence décennale
- forts (IMM=IV – VII) avec une fréquence de 150ans .

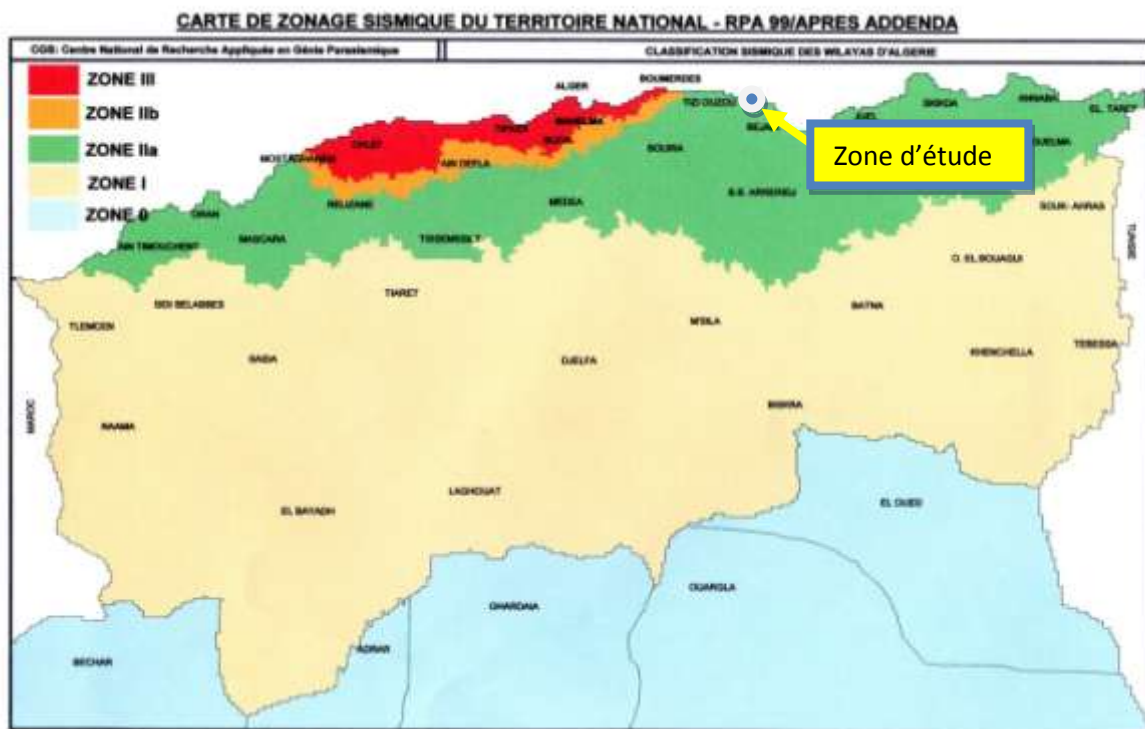
Aucun foyer sismique n'a été enregistré au site du barrage pendant ces dernières 200 années dans un rayon de 40Km. Des secousses des zones actives environnantes sont, par contre ressenties dans la région de TIZI-OUZOU avec une certaine fréquence, mais avec une

faible intensité (I–IV). Toutefois, les données historiques étant fragmentaires pour les périodes passées, l'on peut supposer que la zone du site a été sollicitée par des secousses d'intensité supérieure aux valeurs indiquées.

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

$$a_{\max} = (0,06 ; 0,10) \text{ g période de retour de 100 ans}$$

$$a_{\max} = 0,15 \text{ g période de retour de 500ans}$$



(Source ANB Echelle : 1/1000000)

Fig II.05: Carte de zonage sismique du territoire algérien

II.2: Etude géotechnique

II.2.1: Aspects géotechniques

Pour bien définir les caractéristiques et les comportements mécaniques des sols, nous proposons des paramètres géotechniques qui sont basés sur les résultats de reconnaissances et les essais en laboratoire.

II.2.1.1:Essais au laboratoire

Les essais de laboratoire se divisent en deux grandes catégories :

❖ Les essais d'identification comprennent

- L'analyse granulométrique qui étudie la répartition des grains, constituant le sol selon leur taille.

- Limites d'Atterberg : (limite de plasticité ; limite de liquidité ; indice de plasticité) caractérisant les différents états de consistance d'un sol fin.

❖ Les essais mécaniques comprennent

- les essais de compressibilité: le but de l'essai est de déterminer en laboratoire sur des échantillons intacts, les caractéristiques nécessaires au calcul des tassements aux sols en place sous le poids d'une charge verticale et au suivi de l'évolution dans le temps, de ces mêmes tassements.

- L'essai triaxial pour la détermination de l'angle de frottement interne et la cohésion spécifique et éventuellement les contraintes normales et tangentielles admissibles.

- L'essai Proctor normale, pour déterminer la densité max requise correspondant à une teneur en eau optimum définie par l'énergie de compactage.

II.2.1.2:Résultats des essais en laboratoire

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

a)-Colluvions argileuses

Paramètres de classification

-Granulométrie, fraction < 2 micron % : $X=11\pm 4$

-Limites et indices de consistance %: $W_L=35,3\pm 6$

$I_p=16,6\pm 5$

-Activité colloïdale	$A = 1,56 \pm 0,9$
-Teneur en matière organique % :	$X = 0,93 \pm 0,7$
-Classification U.S.C.S.	81% <i>CL</i>
	14% <i>SC-CL</i>
	5% <i>GC-CL</i>

Paramètres de compactage AA.S.H.O. Standard

-Densité sèche optimum t/m^3 :	$\gamma_d = 1,83 \pm 0,05$
-Teneur en eau optimum %:	$W_s = 14,7 \pm 1,6$

Paramètres mécaniques des échantillons compactés à W_n optimum

- Caractéristiques oedométriques:

* Index de compression	$C_c = 0,15 \pm 0,03$
* Index de gonflement	$C_g = 0,018 \pm 0,007$
* Module de compressibilité oedométrique	

$$\text{à } p = 2-15 \text{ bars } \text{kg/cm}^2 \quad E_o = 195- 219$$

$$\text{à } p = 2-20 \text{ bars } \text{kg/cm}^2 \quad E_o = 241 \pm 27$$

- Résistance a la compression simple kg/cm^2	$q_s = 1,47 \pm 0,2$
---	----------------------

* Coefficient de consolidation

Pour	U=50%	et	p=8-12	bars cm^2/s :	$CV = 1,2 \times 10^{-3} \pm 1,3 \times 10^{-3}$
Pour	U=90%	et	p=2-8	bars cm^2/s :	$CV = 8 \times 10^{-3} \pm 4 \times 10^{-3}$

* Coefficient de perméabilité k

$$\text{entre 2 et 8 bars } \text{Cm/s:} \quad K = 4 \times 10^{-5} \pm 3 \times 10^{-5}$$

- Caractéristiques de résistance au cisaillement:

* Essai triaxial CU + U kg/cm^2 : $C' = 0,35-0,55$
 $\varphi' = 18-19^\circ$

b)-Alluvions graveleuses de l'Oued Bou-Gdoura

Paramètres de classification

-Granulométrie, fraction $<0.06 \text{ mm } \%$: 8-23
 -Densité relative naturelle DR = $0,59 \pm 0,2$
 -Classification U.S.C.S. 48% SC-CL
 24% GC
 4% SC

Paramètres de compactage A.A.S.H.O.Standard

-Densité sèche optimum t/m^3 : $\gamma_d = 2,13 \pm 0,03$
 -Teneur en eau optimum %: $W_s = 7,3 \pm 0,5$

Paramètres mécaniques des échantillons compactés à W_n optimum

- Caractéristiques oedométriques:

* Indice de compression $C_c = 0,026$
 * Indice de gonflement $C_g = 0,0075$
 * Module de compressibilité

oedométrique kg/cm^2 : $E_o = 469$

- Caractéristiques de résistance au cisaillement:

* Essai triaxial consolidé et drainé (CD) kg/cm ² :	$C' = 1,1$
	$\phi' = 36^\circ$

c)-Grès burdigaliens

Paramètres de classification

-Granulométrie, fraction < 0,06 mm %:	30-68
-Limites et indices d'Atterberg %:	$W_L = 27,4$
	$I_P = 12,2$
-Teneur en carbonates, à l'exclusion des lithotypes organogènes % :	$X = 13,7 \pm 6,5$
-Désagrégation après 70 j. d'immersion	0
Poids spécifique des grains t/m ³	$\gamma_s = 2,68 \pm 0,02$
- Teneur en eau naturelle %	$W_n = 3,6 \pm 2,8$
- Eau d'absorption %	$W_s = 6, g \pm 1,9$
- Densité sèche t/m ³	$\gamma_d = 2,17 \pm 0,1$
- Porosité %	$n = 18,9 \pm 3,4$

Paramètres de résistance

- Dureté au choc avec le scléromètre type N.	$RM = 10,4 \pm 4$
-Résistance à la compression simple kg/Cm ² :	$\sigma_c = 102 \pm 45$
-Idem, après 10 j d'immersion kg/Cm ² :	$\sigma_{c10} = 80 \pm 38$
- Perte de résistance après 10 j. d'immersion %	$D = 18,9 \pm 9,2$

- Résistance à traction sur échantillons

Saturés kg/ cm²

$$\sigma_t = 16 \pm 4$$

Remarque

Les résultats des essais de compression simple sur carottes en conditions naturelles ou après 10 jours d'immersion en eau présentent une forte dispersion. Il faut s'attendre à ce qu'une bonne partie des blocs de roche puisse se désagréger après le compactage du tout-venant gréseux.

d)-Pélites altérées

Paramètres de classification

-Granulométrie, fraction <2 micron % :	$X=25\pm 4$
- Limites et indices d'Atterberg %:	$W_L=44\pm 2,5$
	$I_p=22,5\pm 3$
- activité colloïdale	$A= 1,25\pm 0,3$
-Teneur en carbonates % :	$X=16,4\pm 3,2$
-Classification U.S.C.S.	CL
-Poids spécifique des grains t/m ³	$\gamma_s = 2,72\pm 0,04$
-Teneur en eau naturelle	$W=7,55\pm 3,1$
-Densité sèche	$\gamma_d = 2,08\pm 0,2$

Paramètres de compactage A.A.S.H.O. Standard

-Densité sèche optimum t/m ³ :	$\gamma_d = 1,73\pm 0,04$
-Teneur en eau optimum %:	$W_s=17,5\pm 1$

Paramètres mécaniques des échantillons compactés à W_n optimum

- Caractéristiques oedométriques:

* Indice de compression $C_c = 0,18-0,21$

* Module de compressibilité

($p = 1-6$ bars) kg/cm^2 $E_o = 62$

($p = 2-16$ bars) kg/cm^2 $E_o = 143$

* Gonflement libre % $1,08$

- Caractéristiques de résistance au cisaillement:

* Essai triaxial CU + U kg/cm^2 : $C' = 0,17$

$\phi' = 25^\circ$

e)-Poudingues pliocènesParamètres de classification

-Granulométrie, fraction $<0,06$ mm %: $4-12$

-Limites et indices de consistance %: $W_L = 34,1 \pm 2,5$

$I_p = 10,5 \pm 1,9$

-Classification U.S.C.S. : GC

-Densité sèche naturelle t/m^3 : $\gamma_d = 1,97 \pm 1,99$

-Poids spécifique des grains t/m^3 : $\gamma_s = 2,66 \pm 0,005$

Paramètres de compactage A.A.S. H. 0.Standard

-Densité sèche optimum t/m^3 : $\gamma_d = 2,27 \pm 0,03$

-Teneur en eau optimum %: $W = 4,7 \pm 0,8$

-Coefficient de perméabilité au perméamètre

sur échantillons compacts cm/s: $k = 2.4 \times 10^{-6} \div 3.3 \times 10^{-6}$

II.2.2:Utilisation des matériaux pour les ouvrages

II.2.2:Les paramètres géotechniques à utiliser pour les calculs du barrage

Les résultats des essais en laboratoire peuvent être résumés de cette façon:

❖ Alluvions de l'Oued Bougdoura

-Les paramètres moyens de compactage Proctor standard sont:

$$\gamma_d = 2,13 \pm t/m^3, W_{opt} = 7,3 \pm 0,5\%, Sr = 80\% .$$

L'abrasivité Los Angeles est résultée de 29 - 35%.

Un échantillon reconstitué à D.P. = 2,05 t/m³ a été essayé à l'oedomètre et à l'appareil triaxial en conditions drainées et consolidées, en donnant les résultats suivants:

$$E_o = 470 \text{ kg/cm}^2 (\Delta p = 10 - 20 \text{ kg/cm}^2)$$

$$C = 1,1 \text{ kg/cm}^2, \quad \varphi = 36^\circ .$$

Les paramètres de résistance au cisaillement triaxial CD n'étant pas représentatifs du faciès, ils devront être vérifiés en phase du projet d'exécution.

❖ Les argiles colluviales

Il s'agit de limons argileux plus ou moins détritiques, de plasticité moyenne-faible, du type CL (U.S.C.S.); la fraction inférieure à 2 micron est en moyenne de 11%; les limites moyennes d'Atterberg sont caractérisées par WL = 35% et IP = 17%; l'activité colloïdale est inférieure à 2 et la teneur en matière organique varie entre 0,2 et 2% (en moyenne 0,9 ± 0,7%).

Les caractéristiques de compactage Proctor standard sont:

$$\gamma_d = 1,83 \pm 0,05 \text{ t/m}^3, W_{opt} = 14,7 \pm 1,6\%, Sr = 83\% .$$

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

- Module de compressibilité E_0 (p: 2-10 Kg/cm² : 229 kg/cm²)
- Coefficient de consolidation $C_v = 3,5 \cdot 10^{-3}$ cm²/s
- Résistance à la compression simple $q_s = 1,47$ kg/cm²
- Gonflement libre $G_f = 0,5\%$
- Cohésion efficace $C' = 0,35-0,55$ kg/cm²
- Angle de frottement efficace $\varphi = 18-19^\circ$

❖ Poudingues altérées

Caractéristiques moyennes de compactage Proctor standard:

$$\gamma_d = 2,27 + 0,3 \text{ t/m}^3, W_{opt} = 4,7 + 0,8 \%, S_r = 71\%$$

Au perméamètre, le coefficient de perméabilité d'échantillons reconstitués à D.P. résulte $K = 2,4 - 3,3 \cdot 10^6$ cm/s.

✚ Cela dit, nous proposons pour les calculs des barrages les paramètres géotechniques suivants:

• Alluvions:

- Densité humide (Proctor) $\gamma = 2,1 \text{ t/m}^3$
- Densité saturée $\gamma_{sat} = 2,2 \text{ t/m}^3$
- Résistance au cisaillement $C = 0 \text{ t/m}^2 \quad \varphi = 35^\circ$
- Module de compressibilité $E_0 = 450 \text{ kg/cm}^2$
- Coeff. de perméabilité $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ - } 1 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$

- **Argiles colluviales**

Densité humide (Proctor)	$\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$
Densité saturée	$\gamma_{\text{sat}} = 1,9 \text{ t/m}^3$
Résistance au cisaillement	$C' = 1,7 \text{ t/m}^2$
	$\phi = 18^\circ$
	$S_u = 0,7 \text{ kg/cm}^2$
Module de compressibilité	$E_o = 200 \text{ kg/cm}^2$
Coeff. de perméabilité	$k = 1.10^{-5} \text{ - } 1.10^{-6} \text{ cm/s}$

- **Grès désagrégé à sable**

Densité humide (Proctor)	$\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$
Densité saturée	$\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ t/m}^3$
Résistance au cisaillement	$C' = 0 \text{ t/m}^2$
	$\phi = 30^\circ$

- **Grès désagrégé à gravier**

Densité humide (Proctor)	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3$
Densité saturée	$\gamma_{\text{sat}} = 2.15 \text{ t/m}^3$
Résistance au cisaillement	$C' = 0 \text{ t/m}^2$
	$\phi = 34^\circ$

- **Les matériaux pour filtre de translation**

Densité humide (Proctor)	$\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
Densité saturée	$\gamma_{\text{sat}} = 2.05 \text{ t/m}^3$

Résistance au cisaillement $C' = 0 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 32^\circ$$

- **Matériaux pour le batardeau**

(Alluvions argileuses ou poudingues altérées)

Densité humide (Proctor) $\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3$

Densité saturée $\gamma_{\text{sat}} = 2.2 \text{ t/m}^3$

Résistance au cisaillement $C' = 0.5 \text{ t/m}^2$

$$\varphi = 28^\circ$$

II.2.3: Propositions pour l'utilisation des matériaux

- **Noyau** : Pour cette zone il est possible d'utiliser des colluvions argileuses, Néanmoins l'exploitation des zones d'emprunt devra être faite avec beaucoup de soin: les couches plus particulièrement détritiques ou organiques devront être éliminées et mises en dépôt.

Les caractéristiques limites à respecter sont les suivantes:

Limite de liquidité $WL = 25-50$

Indice de plasticité $IP = 10-25$

Φ maximum 100-120 mm

Le matériau sera mis en place par couches ne dépassant pas 30 cm d'épaisseur après compactage, et présentant une densité en aucun cas inférieure à la densité sèche maximum de l'essai Proctor standard à l'énergie de 60 t/m^3 . La perméabilité sur place ne devra pas dépasser $5 \times 10^8 \text{ cm/s}$. La teneur en eau devra être comprise entre -1 et +2 % de W_n optimum.

- **Les recharges amont du barrage** sont constituées par des matériaux graveleuses prélevés dans le lit du L'Oued Bou-Gdoura.

Après compactage, sur des épaisseurs ne dépassant pas 50 cm, la densité sèche d'au moins $2.1t/m^3$. En opérant un choix de l'occasion de l'exploitation de ces emprunts pour constituer la recharge amont des divers matériaux peuvent servir à la composition de :

- La couche en alluvions sélectionnées adossée à l'enrochement amont ;
- La recharge en alluvions tout-venant ;
- La transition.

Les alluvions sélectionnés de la couche amont ne devront pas avoir un pourcentage passant au tamis 0.074 supérieur à 5% dans le but d'obtenir une zone drainante indispensable à la stabilité du barrage.

Cela est valable aussi pour les recharges graveleuses du batardeau.

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

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

Les alluvions qui seront utilisés pour les zones de transition seront examinées du point de vue de la nature de la fraction pour s'assurer que celle-ci ne soit pas cohésive.

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

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

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

Granulométrie à respecter après compactage du grès bourdigalien :

Grés type 1 (tout-venant),

-Matériaux passant au tamis 0.074 mm \leq 35%

Grés type 2 (sélectionnée)

-Matériaux passant au tamis 0.074 mm \leq 8%

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

Enrochement amont : il s'agit d'une couche de blocs calcaire de la carrière d'Assi Youcef reposante sur un lit de tout-venant de la même carrière. Dans le but de bien serrer l'enrochement, les blocs les plus petits seront mis en place entre les plus gros.

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

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

Enfin, il faudra étudier plus en détail les caractéristiques géotechniques des calcaires de la carrière de Assi Youcef prévus pour les perré, comme agrégats pour le béton et éventuellement pour les drains.

Conclusion

Après l'analyse de toutes les données géotechniques de terrain et de laboratoire, effectuées sur les différents faciès évoqués ci-dessus, que ce soit à l'endroit du site du barrage Souk tlata ou au niveau de la cuvette et ses proximités (zones d'emprunts pour la construction du barrage) on peut faire les conclusions et les recommandations suivant :

La couche alluvionnaire perméable (sable, graviers, cailloux) du fond de la vallée nous obligent à asseoir la fondation de la digue jusqu'au substratum sain et imperméable.

Les matériaux argileux colluvionnaires nécessaires à l'étanchéité et la recharge de la digue, seront exploités de la zone d'emprunt située dans la cuvette et ses alentours.

Les matériaux nécessaires à la protection de la digue (blocs d'enrochement) seront fournis par les carrières calcaires en exploitation, situées dans la région sous forme de blocs.

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

Introduction

L'hydrologie peut être définie brièvement comme la science qui étudie le cycle d'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre et dans le sol tout en faisant appel à de nombreuses sciences.

L'hydrologie est devenue aujourd'hui une technique importante de l'art de l'ingénieur intéressé à l'exploitation ou au contrôle des eaux naturelles.

III.1 Le bassin versant**III.1.1 Caractéristiques générales du bassin versant**

On appelle bassin versant d'un cours d'eau l'ensemble des terrains tels que les eaux de pluie, qui y tombent et y ruissellent, atteignent finalement le cours d'eau en question. (Soit le point dit l'exutoire ainsi qu'une partie s'infilte)

Un bassin versant est donc limité par une ligne de crête qui est la ligne de partage des eaux de ruissellement.

III.1.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant**III.1.2.1 Paramètres géométriques**

- **Superficie du bassin versant**

La superficie du bassin versant est mesurée par planimétrie sur la carte topographique au 1/25000 (site du barrage) :

$$S = 465 \text{ Km}^2$$

- **Périmètre du bassin versant**

Le périmètre du bassin versant est obtenu directement par curvimètre sur la même carte et à la même échelle :

$$P = 100 \text{ Km}^2$$

- **Longueur du talweg principal**

La longueur du talweg principal est mesurée par curvimètre à partir du profil de l'oued, soit : **L=33km**

III.1.2.2 : Paramètres de forme

- **Indice de compacité de Gravellius "Kc"**

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

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (1)$$

P: périmètre du bassin versant (Km)

S: superficie du bassin versant (Km²)

Si : Kc = 1 ; le bassin versant est ramassé.

Kc > 1 ; le bassin est allongé.

$$K_c = 0,28 \frac{100}{\sqrt{465}}$$

AN :

K_C = 1.3

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

- **Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelieus**

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions L et l ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux de points de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits cotés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits cotés.

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P = 2*(L+l) \quad \text{Et} \quad S = L*l \quad \dots\dots\dots(2)$$

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

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

De (1) et (2) on obtient une Equation de 2^{ème} degré admet deux solutions L_r ; l_r :

$$L_r = \frac{K_C \sqrt{S}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right)$$

$$l_r = \frac{K_C \sqrt{S}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right)$$

Avec L_r : longueur du rectangle équivalent en (Km)

l_r : largeur du rectangle équivalent en (Km)

On obtient : et

L = 38 Km

l = 12.32 Km

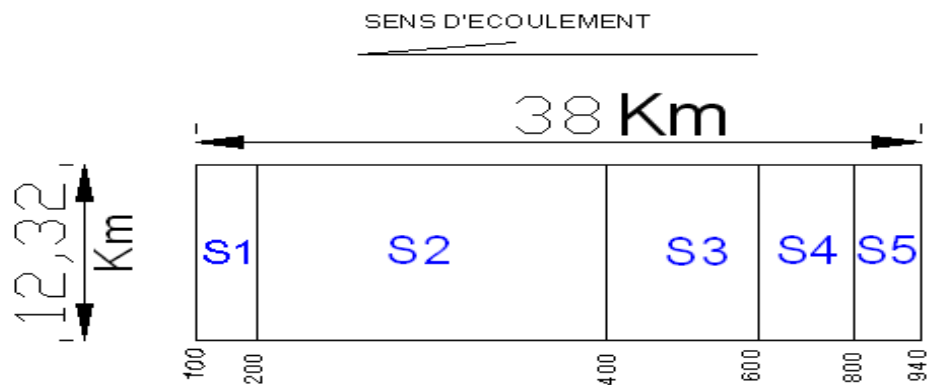


Fig III.01: Rectangle équivalent

- **Coefficient d'allongement**

Ce coefficient est obtenu par la relation :

$$Ca = \frac{L^2}{S}$$

L : la longueur du talweg principal L = 33 Km

S : la superficie du bassin versant. S = 465 Km²

AN :

Ca = 2.34

III.1.2.3 : Paramètres du relief

- **Courbe hypsométrique**

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrage des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes.

Le tableau III.01 nous donne la répartition des surfaces en fonction des cotes.

Tableau III.01 : Répartition en % de la surface élémentaire

Altitude (m)	Altitudes moyen (m). H _i [m]	Surfaces Partielles. S _i [Km ²]	Surfaces Partielles. S _i [%]	Surfaces Cumulées. S _i cum [%]
940-800	870	40	8.6	8.6
800-600	700	60.8	13.07	21.68
600-400	500	98.4	21.16	42.88
400-200	300	225.6	48.52	91.34
200-100	150	40.2	8.65	100

- Les altitudes caractéristiques

L'altitude maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux.

Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente, donc d'après la carte topographique on à :

$H_{\max} = 940 \text{ m NGA}$	$H_{\min} = 100 \text{ m NGA}$
--------------------------------	--------------------------------

Tableau III.02 : Résultats de calcul

Altitude (m)	H_i [m]	$S_i \cdot H_i$ [Km ² .m]
940- 800	870	343800
800- 600	700	42560
600- 400	500	49200
400- 200	300	67680
200-100	150	6030

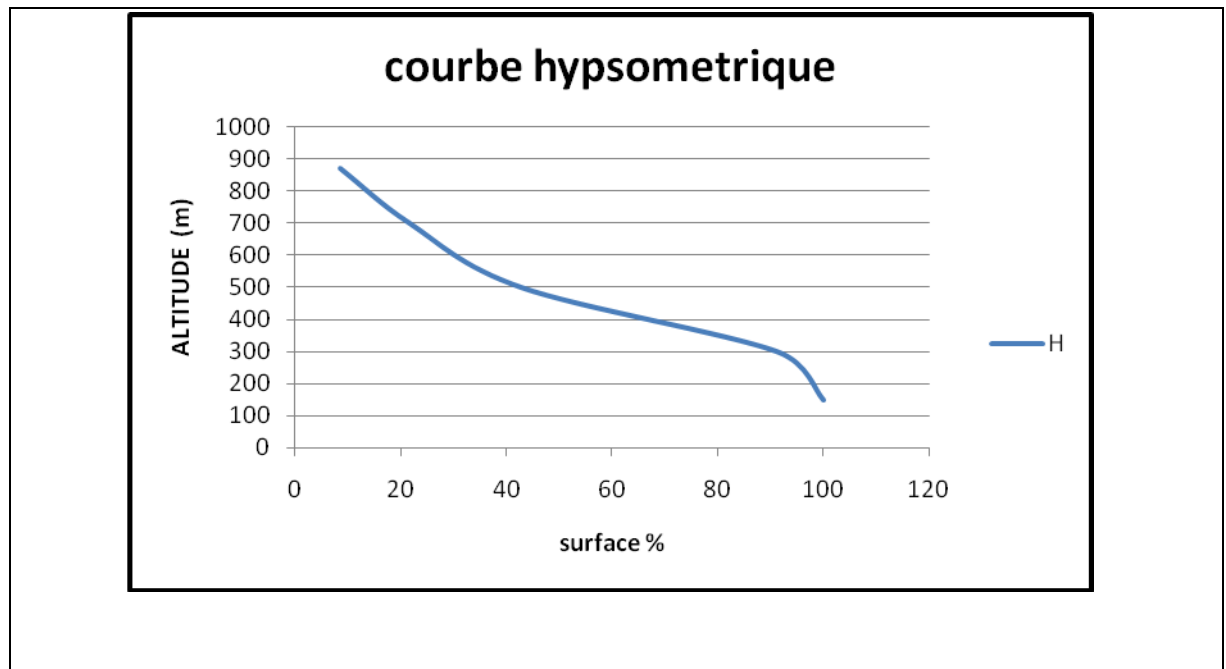


Fig. III.02 : Courbe hypsométrique

Altitude moyenne du bassin versant

Celle-ci est donnée par deux procédés :

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

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveaux (Km^2)

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

S : Superficie du bassin versant (Km^2)

$$H_{moy} = 430,7 \text{ m NGA}$$

Altitude médian

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

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

• **Indice de pente global**

Cet indice est déterminé par la formule suivante:

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

Avec:

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$$H_{5\%} = 760\text{m}$$

$$H_{95\%} = 122\text{m}$$

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

L : la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = 16.79$$

• **Dénivelée spécifique**

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

Elle est donnée par la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Tableau III.03: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

	Relief	Ds (m)
1	Très faible	<10
2	Faible	25
3	Assez faible	50
4	Modéré	100
5	Assez modéré	250
6	Fort	500
7	Très fort	>500

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

Dans notre cas le relief est fort.

III-1.2.4 Caractéristiques hydrographiques

➤ Densité de drainage

C'est la longueur totale de tous les talwegs du bassin.

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

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

S : surface du bassin versant en (Km²).

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

$$D_d = 0,71 \text{ km/km}^2$$

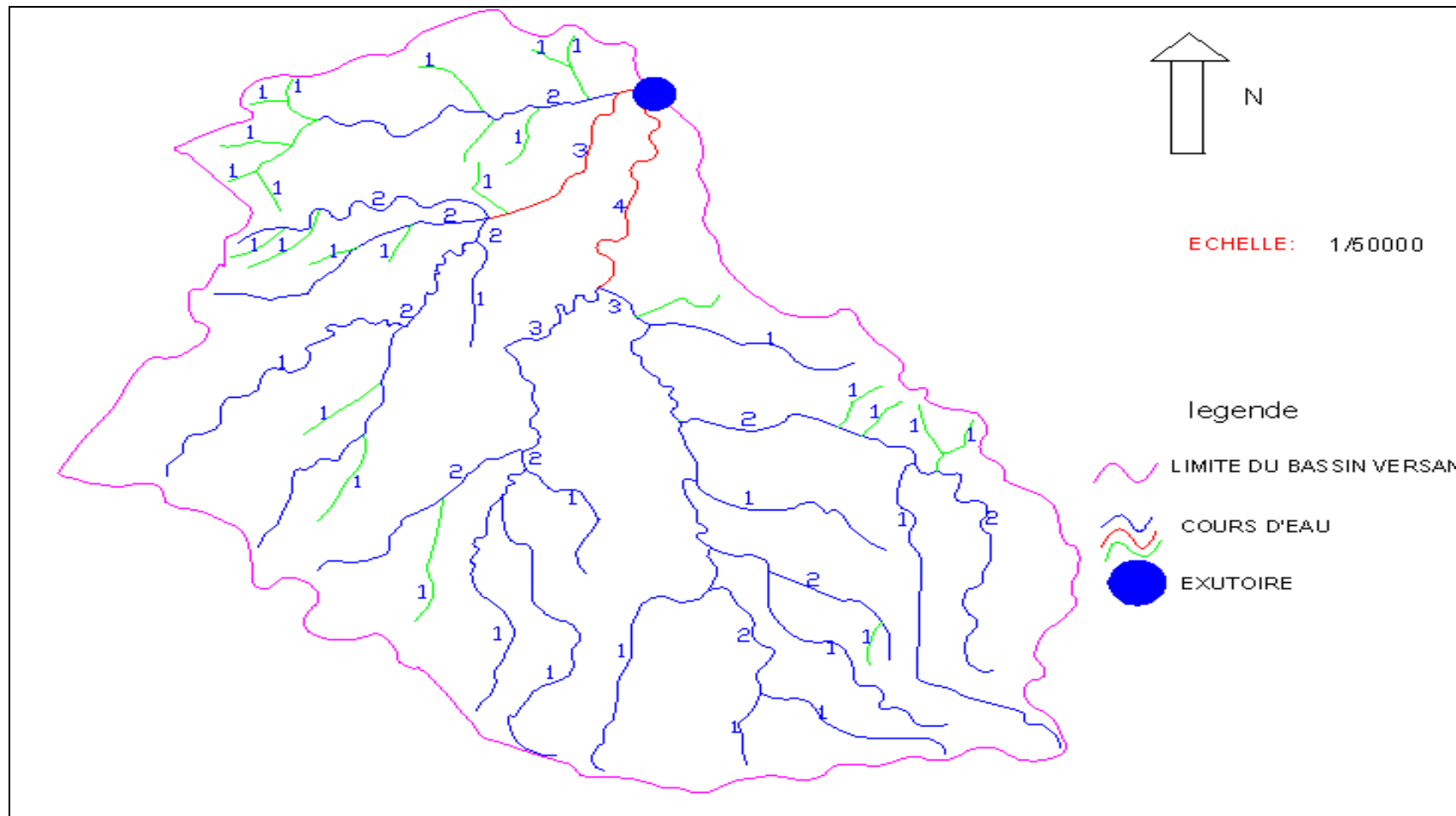


Fig .III 03 : Réseau hydrographique du bassin versant

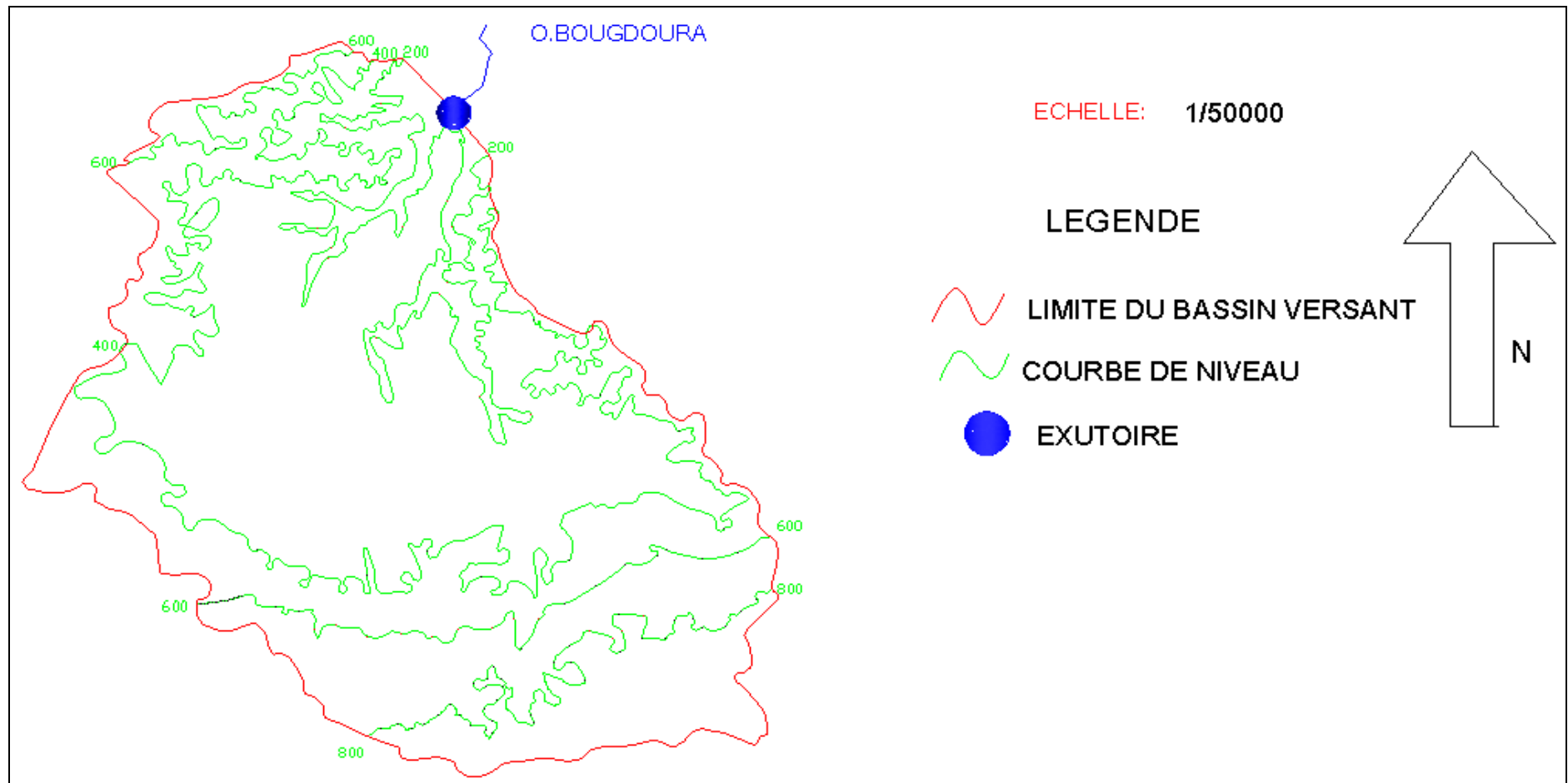


Fig.III.04 : Bassin versant de oued boug-doura

➤ **Longueur moyenne des versants**

$$L_i = \frac{L}{2D_d}$$

D_d : densité de drainage en (km/km²).

L : longueur du rectangle équivalent en (km).

$$L_i = 26,76$$

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

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire .Il existe plusieurs formules .Dans le contexte algérien et pour les grands bassins versants, il peut être notamment calculé par l'ancienne formule de **GIANDOTTI** (1937) soit :

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

A : Surface du bassin versant en [Km²] ;

L : longueur du talweg principale en [Km];

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

A.N :

$$T_c = 9.32 \text{ heure}$$

➤ **Vitesse moyenne de ruissellement :**

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

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

L_p : longueur du talweg principal.

T_C : temps de concentration.

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

Tableau III.04: des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant

DESIGNATION		SYMBOLE	UNITES	VALEUR
Superficie		S	km ²	465
Périmètre		P	km	100
Longueur du thalweg principal		L _P	km	33
Indice de compacité		K _C	-	1.3
Coefficient d'allongement		Ca	-	2.34
Rectangle Equivalent	longueur	L _r	km	38
	largeur	l _r	Km	12.32
Altitudes	maximale	H _{max}	m	940
	moyenne	H _{moy}	m	430.7
	médiane	H _{med}	m	430
	minimale	H _{min}	m	100
Pente moyenne de B.V		I _{moy}	%	0.13
Indice de pente globale		I _g	%	16.79
Indice de pente moyenne		I _{pm}	%	0.22
Indice de pente de M Roche		I _p	%	1
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	362.06
Temps de concentration		T _c	h	9,32
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/H	3,54

III.02 : Calcul de la précipitation moyenne sur le bassin versant :

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

Le calcul de la pluie moyenne sur une surface plus ou moins étendue repose sur l'hypothèse que la pluie ponctuelle est représentative des régions alentours.

L'exactitude de cette hypothèse dépend de l'étendue de la région que le pluviomètre est censé représenter, de l'hétérogénéité spatiale des pluies et de la topographie de la région.

L'hétérogénéité spatiale de la pluie est fonction du type de temps: des pluies convectives souvent de forte intensité peuvent intéresser une zone de superficie très restreinte. La précipitation moyenne est calculée sur la base des données disponibles, les relevés sont effectués aux différentes stations pluviométriques existantes dans le bassin versant. Les séries recueillies de ses stations comportent des lacunes.

Nous les avons comblées par régression linéaire en ayant recours aux stations pluviométriques des bassins versants avoisinants. Les valeurs ainsi obtenues sont encadrées (voir tableau III.05)

La précipitation moyenne peut être évaluée par différentes méthodes :

- La méthode de la moyenne arithmétique,
- La méthode de THIESSEN.

Tableau III. 05 : Précipitations moyennes des stations pluviométriques

années	Tizi Meden	D.E.M	Boghni	Ain Zaouia	Nezlioua	Tizi Letnine	Souk Tleta
68 - 69	636.4	610.9	715.2	655.5	657.7	585	678.4
69 - 70	997.2	922.8	1348	885	1220.3	912	1036.2
70 - 71	620.7	518.1	598.2	422.3	559.8	473	659.7
71 - 72	1162.5	1154.6	1200.4	519.3	1091.4	660.3	1201.5
72 - 73	1047.8	975.4	1133.4	550.3	1157	830	1162.2
73 - 74	989.3	997.5	984.1	774.9	1062	1005.6	981.8
74 - 75	565.1	640.5	593.1	571.2	571.8	578.8	671.8
75 - 76	845.2	849	970	904.8	556.6	941.5	1039
76 - 77	645.3	552	620.4	519.5	541.4	658.2	675.7
77 - 78	590.6	472.8	623.3	523.8	675	641.7	640.7
78 - 79	644.9	602.9	639.2	543.2	788.4	744.7	697.5
79 - 80	677.1	657.1	720	590.4	787.7	843.6	800.7
80 - 81	808.8	734	814.5	739.1	736.1	802.5	886.1
81 - 82	660.1	635.1	609.1	644.5	632.9	745.4	679
82 - 83	707.7	668.2	543.3	639.3	698.2	682.1	663.5
83 - 84	664.6	703.1	634.7	539.6	693.2	595.9	647.9
84 - 85	837.1	834.7	775.6	721.9	1064.3	764.8	896.8

85 - 86	658.1	715.8	665.9	563.2	714.8	593	694.1
86 - 87	895.6	880.6	912.6	738.2	928.2	761.2	985.7
87 - 88	520.4	520.9	500.4	417.6	570	422.8	514.4
88 - 89	720.4	597.7	685.6	539.4	661.2	578.9	729.4
89 - 90	514.5	475.6	487	451.6	453.4	421.8	727.3
90 - 91	714	743.7	699.6	667	715.3	574.1	725.2
91 - 92	658.5	729	623.5	633.8	734.3	499.8	729.8
92 - 93	672.1	587.3	642.5	575.5	632.1	460.2	666.6
93 - 94	535	514.2	505.8	472.2	545.6	423.4	449.2
94 - 95	869.4	670.3	773.8	697.3	783.8	663.1	693.1
95 - 96	853.1	702.2	807.3	681.2	721.2	742.1	892.1
96 - 97	407.2	394	372.2	368.4	423.6	392.5	446.2
97 - 98	980.10	936.6	892.2	766.2	1063	719.2	1124.01
98 - 99	634.00	567.80	642.6	640.9	643.6	645.9	659.09
99 - 00	496.00	414.50	462	392.0	416.4	410.4	473.85
00 - 01	670.40	624.20	702.5	600.1	765.6	545.1	707.99
01 - 02	772.40	863.10	697	215.9	803.1	614.1	710.67
	725.63	690.18	723.38	593.09	737.32	645.10	763.15

➤ **La moyenne arithmétique**

Les stations les plus proches du site d'étude sont prises en considération pour l'estimation de \bar{P} à l'aide de la moyenne arithmétique.

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{n} = \frac{725.63+690.18+723.38 +593.09+737.32 +645.1+763.15}{7} = 696.83 \text{ mm.} \approx 697 \text{ mm.}$$

\bar{P} : Répartition moyenne annuelle.

Pi : hauteur de pluie annuelle afférente a l'année de rang.

n : Nombre d'années d'observation (7).

➤ **Méthode des polygones de THIESSEN**

Cette méthode est basée essentiellement, sur un découpage géométrique de l'espace, où chaque pluviomètre est pondéré par une zone d'influence.

La détermination des zones d'influences des pluviomètres, est effectuée en traçant les médianes des segments des droites joignant les postes pluviométriques deux à deux, et en planimétrant les surfaces des zones d'influence.

La hauteur moyenne des précipitations est :

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

Tableau III.06: précipitation moyennes par la méthode de Thiessen.

Zones	Stations	P _i (mm)	S _i (km ²)	P _i .S _i
1	Tizi meden	725.63	80.3	58268.1
2	Draa El Mizan	690.18	45.8	31610.24
3	Boghni	723.38	74.5	53891.81
4	Ain Zaouia	593.09	78	46261.02
5	Nezlioua	737.32	39	28755.48
6	Tizi Lethnine	645.10	49.1	31674.41
7	Souk Tlata	763.15	98.2	74941.33

La lame d'eau moyenne précipitée est de l'ordre : 699.79 mm ~ 700 mm.

Conclusion

La pluviométrie moyenne donnée par les deux méthodes est 700 mm. La station représentative est la station de Boghni de code 021903.

Introduction

Le barrage de Souk el Tleta est de type zoné, son dimensionnement se fait selon des normes adéquates.

IV .1: Dimensionnement de la digue

IV. 1.1:Hauteur du barrage

- Niveau normal de retenue

Dénommée cote de retenue normale (RN), il s'agit de la cote « habituelle » ou « normale » de remplissage du barrage, correspondant au niveau autour duquel le plan d'eau se situe une grande partie de l'année. Le réservoir de Souk Tleta garantie une capacité utile de 77.5 hm^3 , ce qui correspond à un niveau d'exploitation normal de 122m NGA

$$\text{NNR} = H_{VM} + H_U + N_{TN}$$

NNR : Niveau normal de retenue.

H_{VM} : Hauteur du volume mort.

H_U : Hauteur du volume utile.

N_{TN} : Niveau du terrain naturel.

$$\text{NNR} = 22 + 63 + 37 \quad \Rightarrow \quad \text{NNR} = 122 \text{ m NGA}$$

- **Niveau des plus hautes eaux**

Le niveau des plus hautes eaux est égal au niveau normal de retenue (NNR= 122m) majoré de la charge déversant déjà déterminée ($h = 2,7\text{m}$).

$$\text{NPHE} = \text{NNR} + h$$

$$\text{NPHE} = 125$$

- **Niveau de la crête du barrage**

$$N_{Cr} = NPHE + h_s + R$$

N_{Cr} : Niveau de la crête

NPHE : Niveau de retenue maximale.

h_s : Hauteur de sécurité, $0.5 \leq h_s \leq 1m$

R : Revanche.

- **Calcul de la revanche**

La revanche R est la différence de cote entre les Plus Hautes eaux correspondant à la crue de projet et la crête pour éviter la submersion du remblai par les vagues.

Une revanche est indispensable pour les raisons suivantes :

Surélévation du plan d'eau lors du passage de la crue maximale considérée pour le projet.

-La hauteur maximale des vagues provoquées par le vent extrême considéré.

-Le déferlement des vagues à la surface du parement amont.

-La surélévation du plan d'eau provoqué par le vent extrême considéré.

-Supplément de sécurité (par exemple pour les vagues causées par des glissements de terre, avalanches, rupture de glaciers, tremblements de terre)

$$R = 0.75 \cdot H + \frac{v^2}{2g}$$

R : Revanche (m)

H_v : Hauteur de la vague d'eau (m)

V : Vitesse de la vague (m/s)

g : Accélération de la pesanteur.

Les dispositions prises pour le choix de la revanche sont conformes aux normes italiennes en vigueur pour les barrages; dans ce cas particulier on exige une hauteur de revanche de 4 m plus 1 m pour le risque sismique, en définitive une revanche de 5 m au-dessus de la vague maximale estimée à 0.70 m.

Détermination de la hauteur de la vague

C'est un paramètre très important pour la sécurité de l'ouvrage.

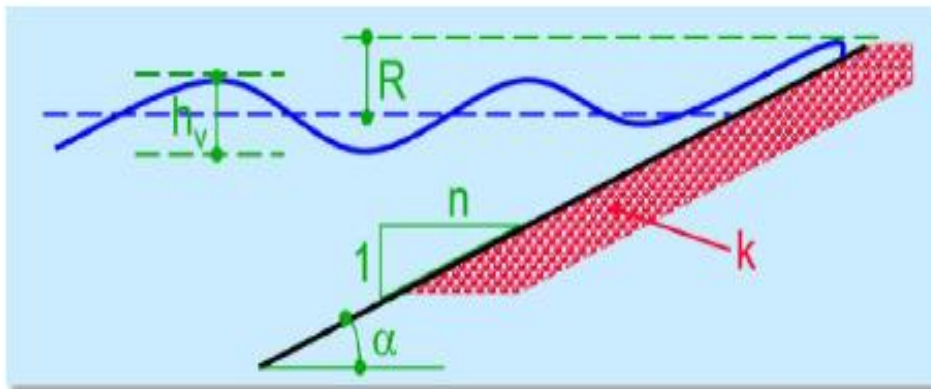


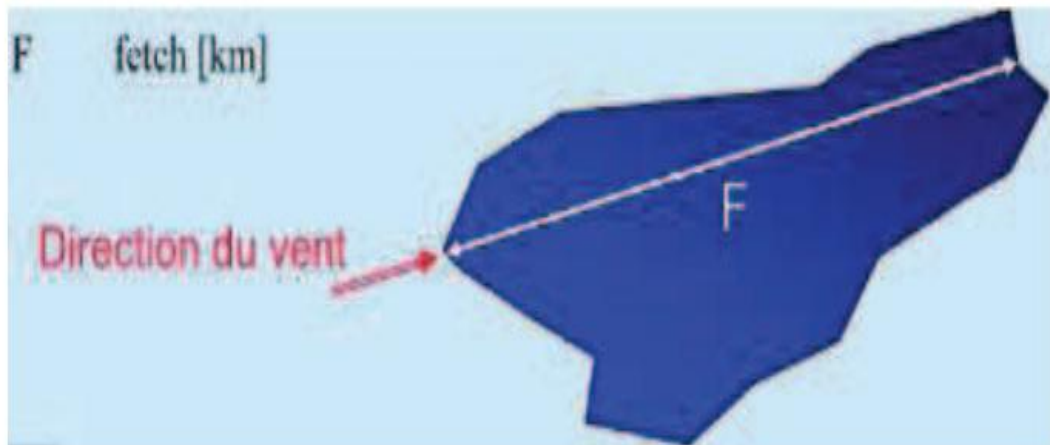
Fig .VI.01: Paramètres de sécurité vis-à-vis des phénomènes naturels.

a- Formule de Stevenson Gaillard

Avec :
$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0.26 \cdot \sqrt[4]{F}$$

$$V = 1,5 + 2.H$$

F : largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée Fetch et doit être inférieure à 18 kilomètre [F = 2 km].



A.N : $H = 0,92 \text{ m}$

D'où : $V = 3,34 \text{ m/s}$

b- Formule de Stevenson reprise par Mallet et Paquant

Avec : $H = 0.5 + 0.33 \cdot \sqrt{F}$

A.N:

$$H = 0.5 + 0.33 \cdot \sqrt{2} = 0,97 \text{ m}$$

$$V = 1,5 + 2 \cdot H = 1,5 + 2 \cdot 0,97 = 3,44 \text{ m/s}$$

D'où : $N_{Cr} = NPHE + hs + R$

AN: $N_{Cr} = 125 + 0,7 + 5 = 130,7\text{m}$

$N_{Cr} = 130,7 \text{ m}$

IV.1.2 : Largeur en crête

La largeur du barrage près de son couronnement lorsque la retenue est pleine. Elle doit également permettre la circulation des engins pour la finition du barrage et les éventuels pour les eaux ultérieures.

Elle dépend de plusieurs facteurs et notamment des risques de tremblement de terre et de la longueur minimum du chemin d'infiltration qui assure un gradient hydraulique suffisamment faible à travers le barrage lorsque le réservoir est plein.

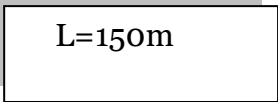
La largeur en crête peut être évaluée à l'aide des formules suivantes :

- Formule T.KNAPPEN $c = 1,65H_b^{0.5}$
- Formule E.F.PREECE $c = 1,1H^{0.5} + 1$
- Formule PRATIQUE $c = (5/3),H^{0.5}$
- Formule SIMPLIFIEE $c = 3,6.H^{1/3} - 3$

La largeur en crête est calculée dans l'étude d'optimisation et elle est de **10m**.

IV.1.3: Longueur en crête

La longueur en crête par rapport à l'axe défini de la digue est:


$$L=150m$$

VI.1.4 : Pente des talus

Tableau IV.01: Valeurs indicatives des pentes des talus (CEMAGREF)

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

D'après le tableau qui donne les pentes des talus en fonction de la hauteur et de type de barrage .on choisit pour les calculs les pentes:

- Parement amont $m_1 = 3$
- Parement aval $m_2 = 3$

VI.2:Dimensionnement du noyau

La granulométrie des matériaux constituant le noyau doit être continu.

VI.2.1:Largeur en crête du noyau

$$2m < b_n < H_b/10$$

Alors $2m < b_n < 93,7/10 \rightarrow b_n = 8m$

VI.2.2:Pentes du noyau

Les pentes sont choisies en fonction de la perméabilité du matériau (argile colluviale de perméabilité $k = 1.10^{-8} - 1.10^{-9} \text{ m/s}$).

Tableau VI.02 : Pente du noyau

Perméabilité K (m /s)	pente
$10^{-13} - 10^{-11}$	1/2 - 1/3
$10^{-11} - 10^{-9}$	1/3 - 1/4
$10^{-9} - 10^{-8}$	1/4 - 1/5

Le noyau d'argile colluviale aura une pente de 1/4.

$$m = 0,25$$

De la hauteur du noyau on tire la largeur à la base du noyau, la hauteur du noyau est:

$$H_n = H_b - 1 = 92,7\text{m}$$

$$H_n = 92,7 \text{ m}$$

$$2. m.H_n + b_{\min} = 54,35\text{m}$$

$$B_{\text{base}} = 54,35\text{m}$$

VI.3 : Calcul de la longueur du drain

$$L_d = (1/4 \text{ a } 1/3)L$$

$$L_d = 145,76 \text{ m.}$$

Conclusion

La hauteur du barrage de souk tlata est de 95m avec une capacité utile de 77.5 hm³ Au niveau de la retenue normale (R.N.) fixée à 122.00 NGA.

I.1 : Notions de base d'hydraulique souterraine

L'étude de l'écoulement de l'eau dans les sols repose sur les trois hypothèses suivantes :

1. Le sol est saturé.
2. L'eau et les grains sont incompressibles.
3. La phase liquide est continue

Soit un volume quelconque de sol saturé (V), limité par une surface (S) et traversé par un écoulement (fig.I.01). Dans un intervalle de temps donné, dt , un volume d'eau dV_1 pénètre à l'intérieur de (S) et un volume d'eau dV_2 en sort. Si on suppose que les grains n'ont pas bougé, c'est à dire si (V) est un domaine fixe de l'espace, le volume d'eau V_w contenu dans (S) reste le même. Par suite, $dv_1 = dv_2$. Le débit est conservé. **C'est la condition de continuité.**

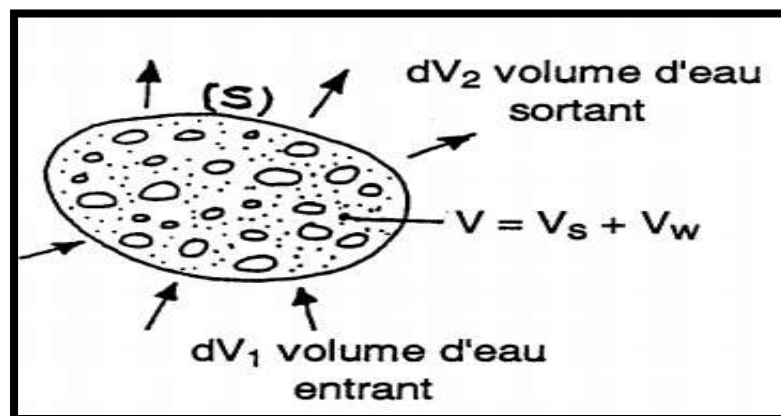


Fig .I.01 : Ecoulement dans le sol

Pour expliciter la condition de continuité, considérons un parallélépipède élémentaire de sol, limité par une surface (S), de côtés dx , dy et dz .

Soit \vec{V} (V_x , V_y , V_z) la vitesse de l'eau au centre M de cet élément de volume (fig.I.02)

L'eau pénètre par la facette $ABCD$ avec une vitesse : $V_x - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_x}{\partial x} dx$ et sort par la facette

$A'B'C'D'$ avec une vitesse $V_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_x}{\partial x} dx$

Il en est de même pour les autres facettes

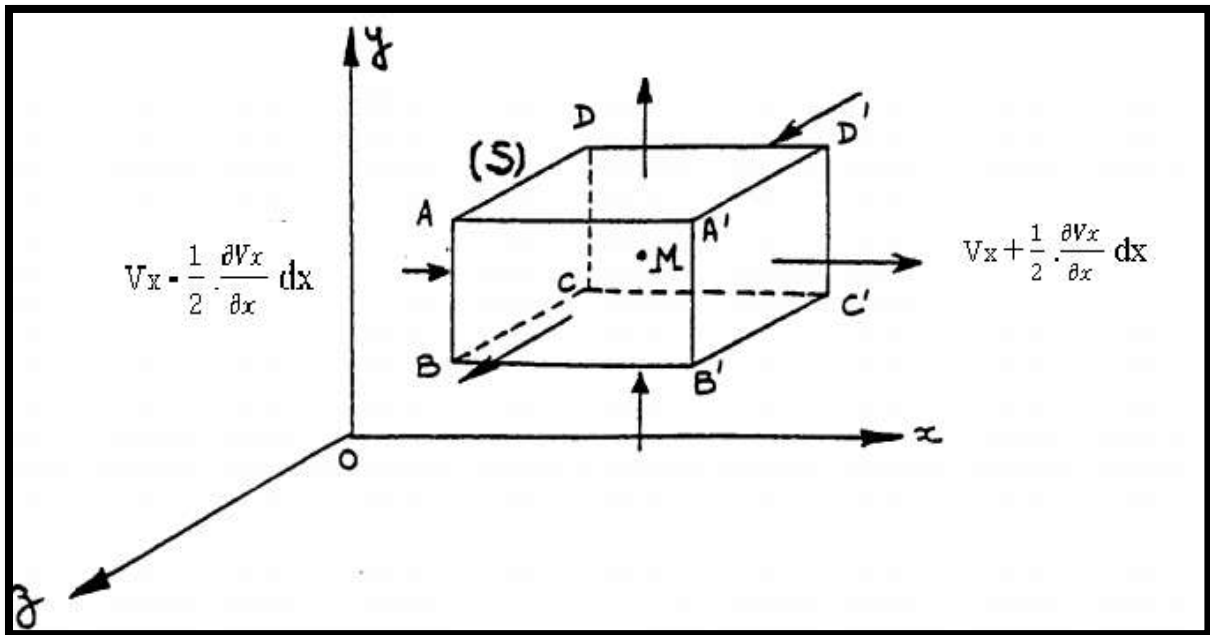


Fig.I.02 : Volume Élémentaire Représentatif (VER)

Au total, le volume d'eau entrant dans le parallélépipède pendant l'intervalle de temps dt s'écrit :

$$dv_1 = \left[\left(V_x - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_x}{\partial x} dx \right) \cdot dy \cdot dz + \left(V_y - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_y}{\partial y} dy \right) \cdot dx \cdot dz + \left(V_z - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_z}{\partial z} dz \right) \cdot dx \cdot dy \right] \cdot dt$$

On a de même pour le volume sortant :

$$dv_2 = \left[\left(V_x + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_x}{\partial x} dx \right) \cdot dy \cdot dz + \left(V_y + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_y}{\partial y} dy \right) \cdot dx \cdot dz + \left(V_z + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial V_z}{\partial z} dz \right) \cdot dx \cdot dy \right] \cdot dt$$

La condition de continuité $dv_1 = dv_2$ s'écrit donc après simplification :

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad \text{soit } \operatorname{div} \vec{V} = 0$$

C'est la loi de conservation en volume.

Remarques

- En hydraulique des sols on a le plus souvent affaire à des régimes permanents, c'est à dire des écoulements stabilisés pour lesquels la vitesse de l'eau en tout point du massif est indépendante du temps. Les particules fluides suivent donc des trajectoires, appelées lignes de courant, invariables au cours du temps.
- On appelle régime transitoire un régime non stabilisé, variable avec le temps

I.1.1. Vitesse de l'eau dans le sol

L'eau qui s'écoule dans un sol circule dans les interstices entre les grains qui forment des canaux de tailles variables. Les trajectoires réelles des filets liquides sont assez tortueuses et il n'est pas possible de définir les vitesses réelles de l'eau (fig. I.03-a). Comme on s'intéresse surtout au mouvement global du fluide on définit des trajectoires fictives et des vitesses moyennes.

- Soit q le débit de l'eau s'écoulant dans un tube de sol au travers d'une surface d'aire totale S (grains + vides).

Par définition, la vitesse de décharge de l'eau dans le sol, notée v , est égale au rapport

$$V = \frac{q}{S}$$

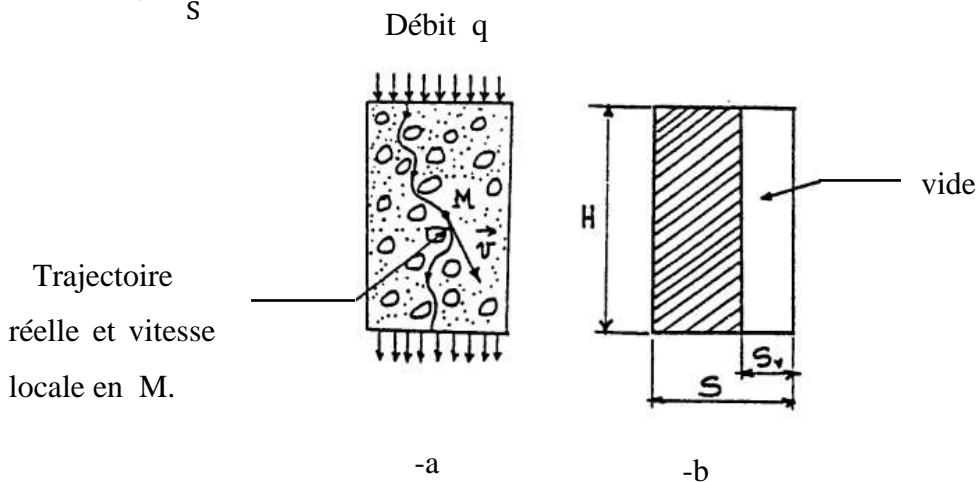


Fig I.03 : Vitesse de l'eau dans le sol

En pratique, c'est la vitesse de décharge v (appelée aussi vitesse de percolation) qui est utilisée dans les calculs de débits. C'est une vitesse fictive, apparente.

En considérant que l'eau ne circule que dans les vides, on peut définir la vitesse moyenne réelle, notée v' , définie par : $v' = \frac{q}{S_v}$

Soit n la porosité du milieu $n = \frac{V_v}{V} \iff V_v = n \cdot V$

Pour un cylindre de section S et de hauteur H , on a : $V_v = S_v \cdot H = n \cdot S \cdot H \iff S_v = n \cdot S$

S : aire totale de la section, S_v : aire occupée par les vides.

La vitesse réelle moyenne a donc pour valeur $v' = \frac{q}{S_v} = \frac{q}{n \cdot S}$ d'où : $v' = \frac{v}{n}$

Equation de Darcy

Darcy a obtenu expérimentalement (1856) la formule représentant l'écoulement de l'eau dans un milieu poreux (sableux principalement) (figure I.04) :

$$Q = \frac{KA}{L} \Delta h = KiA = V_D A$$

Où :

Q = débit d'écoulement [$L^3 T^{-1}$] ;

A = section de l'échantillon perpendiculairement à l'écoulement [L^2] ;

L = longueur de l'échantillon [L] ;

Δh = Différence de charge entre l'entrée et la sortie de l'échantillon [L] ;

V_D = Vitesse apparente de Darcy (vitesse de filtration) [LT^{-1}] ; $i = \Delta h / L = \partial h / \partial l = \partial \phi / (g \partial l) =$ gradient hydraulique ;

K = conductivité hydraulique [LT^{-1}].

L'équation de Darcy s'exprime dans sa forme générale :

$$Q_i = -KA \frac{\partial h}{\partial l} = -\frac{KA}{g} \frac{\partial \phi}{\partial l}$$

Ou l prend les valeurs x, y et z. Le signe (-) de l'équation de Darcy traduit le fait que la vitesse est dirigée dans le sens des charges décroissantes.

La conductivité hydraulique K constitue le paramètre clé de l'écoulement souterrain représenté par la loi de Darcy. Elle indique le degré de perméabilité à l'eau du terrain. Parfois appelée (historiquement) coefficient de Darcy ou abusivement, perméabilité, elle peut aussi être exprimée en darcy (une perméabilité de 1 darcy équivalant à une conductivité hydraulique de $9,6 \cdot 10^{-6}$ m/s pour une eau à 20 C°). La conductivité hydraulique est liée à la fois aux propriétés du milieu (regroupées sous la forme du paramètre de perméabilité intrinsèque k_i) ainsi qu'à celles du fluide (sa viscosité μ est son poids volumique ($\gamma = \rho g$) qui s'écoule dans ce milieu :

$$K = k_i \frac{\gamma}{\mu} = k_i \frac{\rho g}{\mu}$$

La conductivité hydraulique est donc une fonction du rapport ρ / μ . La masse volumique ρ et la viscosité absolue μ de n'importe quel fluide varient avec la température et la pression. Toute variation de ρ (par exemple en fonction du contenu en sel) ou de μ (par exemple, en fonction de la température) du fluide s'accompagne donc d'une variation de K.

Domaine de validité de la loi d Darcy

La loi de Darcy n'est valide que pour les écoulements laminaires. Le gradient hydraulique limite, au delà duquel la loi de Darcy n'est plus applicable, dépend essentiellement du milieu considéré.

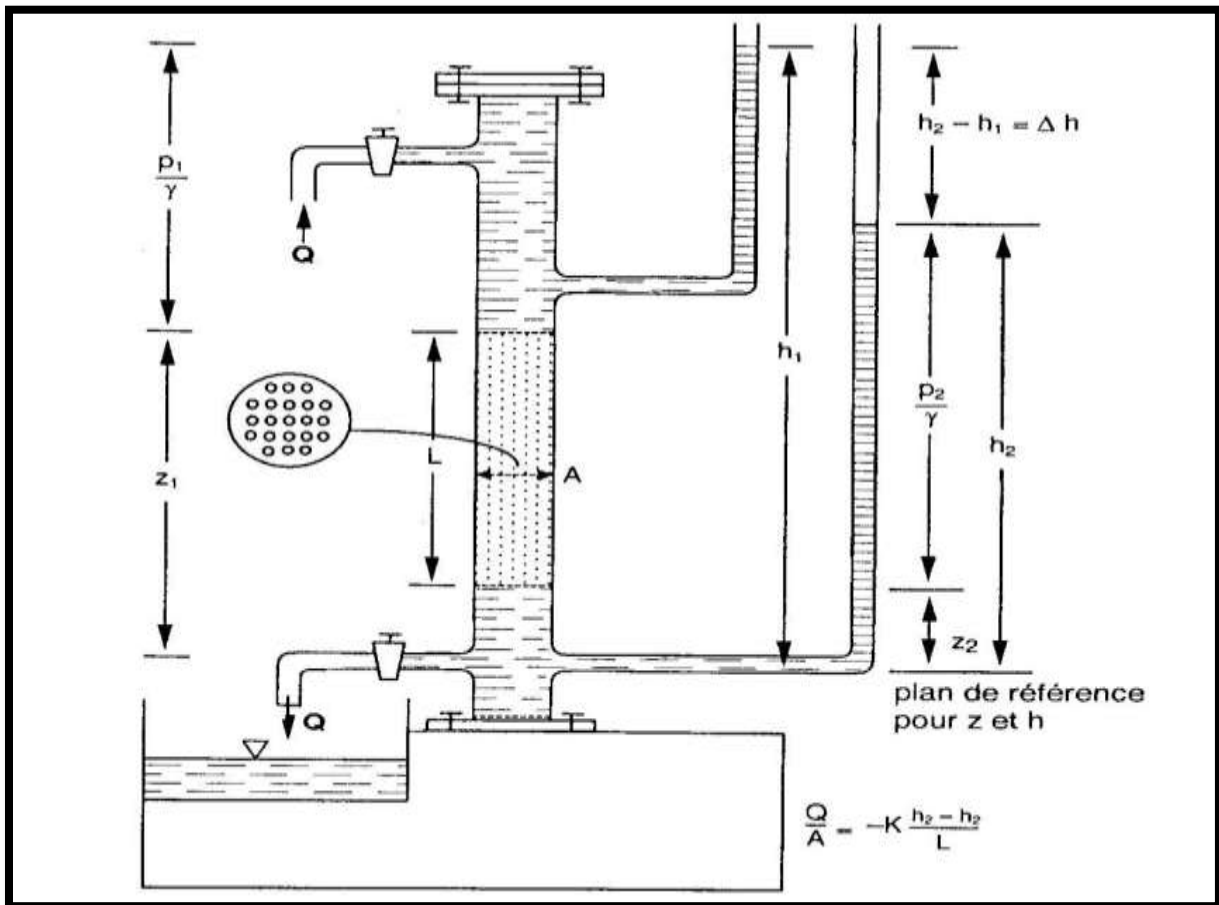


Fig I.04 : Appareil de Darcy destiné à déterminer les paramètres de l'écoulement de l'eau à travers une colonne de sable.

I.2 : Les écoulements souterrains

Introduction

A l'intérieur du cycle hydrologique, les eaux souterraines jouent un grand rôle puisqu'elles sont un maillon important des phénomènes complexes d'échange entre les différents compartiments. Elles contribuent entre autres à l'alimentation des sources et des rivières. Parmi les propriétés d'un gisement aquifère, on sera notamment amené à considérer, d'une part la proportion d'eau que le terrain en cause apparaît comme à même de retenir, d'autre part les conditions dans lesquelles cette eau pourra s'écouler sous l'effet de causes diverses.

I.2.1 : Les systèmes aquifères**Définitions**

Tout d'abord qu'est ce qu'une nappe ? dans le dictionnaire français d'hydrogéologie, définissent une nappe d'eau comme « l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique ». Un aquifère est donc un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. Un aquifère peut comporter une zone non saturée. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers); la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique); la vitesse de percolation est plus rapide.

Les formations peu perméables (dites semi-perméables), comme les sables argileux, peuvent stocker de l'eau mais la vitesse de transit est faible: on parle d'aquitard. Ces formations peuvent assurer la communication entre aquifères superposés par le phénomène de drainance. Les aquicludes sont des formations imperméables ne produisant pas d'eau.

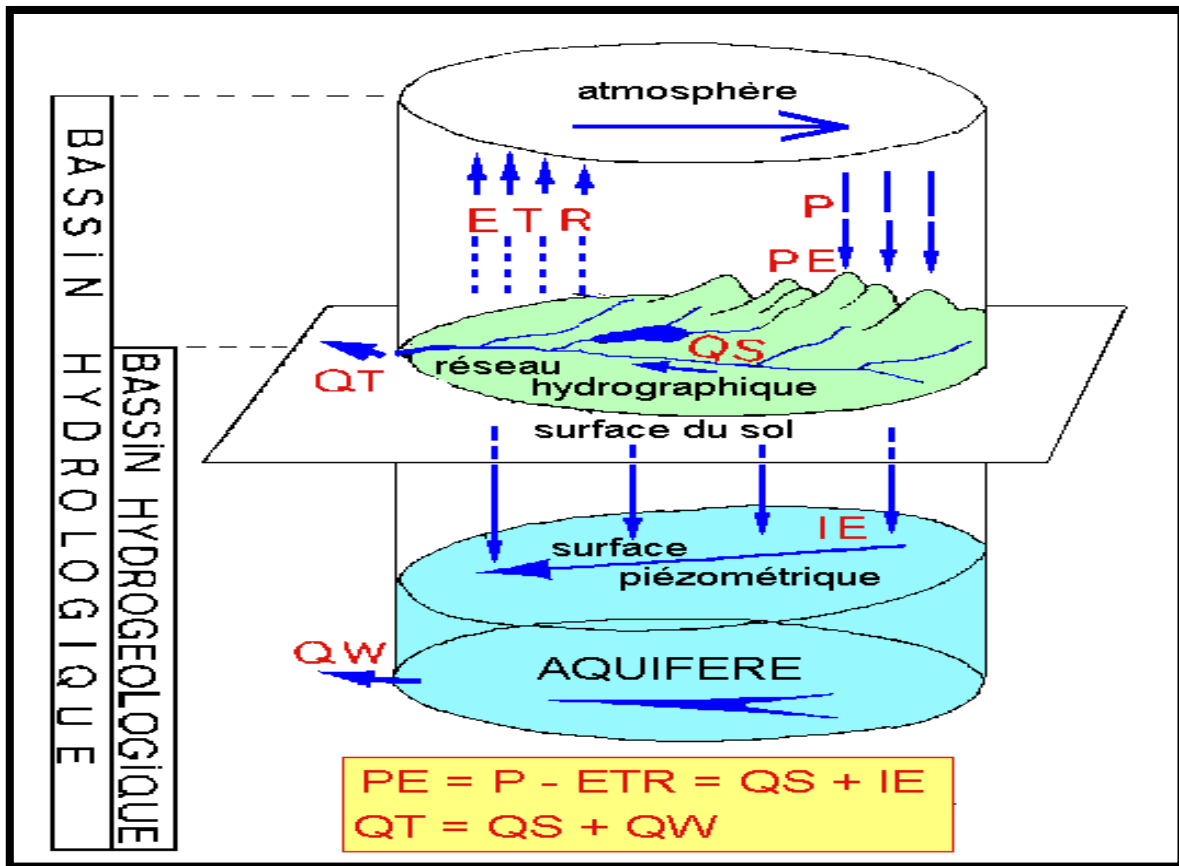


Fig I.05 : Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère.

La surface piézométrique d'une nappe libre est la surface supérieure de la zone saturée de l'aquifère. Les mêmes cotes de cette surface forment des courbes de niveau appelées courbes isopiézométriques car elles correspondent à des points de même charge hydraulique. L'eau de

La nappe se déplace perpendiculairement aux courbes isopiézométriques; sa vitesse est inversement proportionnelle à la distance entre deux courbes consécutives.

I.2.2 : Types de Nappes

I.2.2.1. Nappes libres

La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée. On a comme exemple :

* Nappe alluviale

L'aquifère est constitué par les alluvions d'une rivière. L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de la rivière et les échanges se font dans les deux sens.

Les alluvions sont très perméables; elles peuvent être très épaisses (une centaine de mètres) et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de la rivière: c'est le cas du Rhin, du Rhône. Ces nappes, soutenues par l'apport de la rivière (ou d'un lac), sont très vulnérables à la pollution. L'aménagement du cours des rivières diminue leur vitesse (barrage) et favorise le dépôt des particules fines qui tendent à colmater le fond du lit et interrompre les échanges avec la nappe.

En pays aride, la nappe alluviale est alimentée par les crues de la rivière (oued) qui est à sec en période d'étiage. Comme l'oued, les eaux de la nappe s'écoulent, souvent vers les dépressions endoréiques où elles s'évaporent (lacs temporaires avec dépôt de sels ou sebkha continentale).

*** Nappe en plaine littorale**

La nappe d'eau douce qui est située dans les alluvions est en équilibre hydrostatique avec la nappe salée issue de l'eau de mer. Ces deux nappes se mélangent peu, leur interface constitue un biseau salé. Tout rabattement de la nappe d'eau douce entraîne la rupture de l'équilibre et la progression du biseau salé vers l'intérieur des terres.

II.2.2.2 : Nappes captives

La nappe est confinée car elle est surmontée par une formation peu ou pas perméable; l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir: la nappe est artésienne. Le jaillissement peut disparaître par la suite si la nappe est exploitée au point de diminuer sa pression (cas historique du forage artésien de Grenelle).

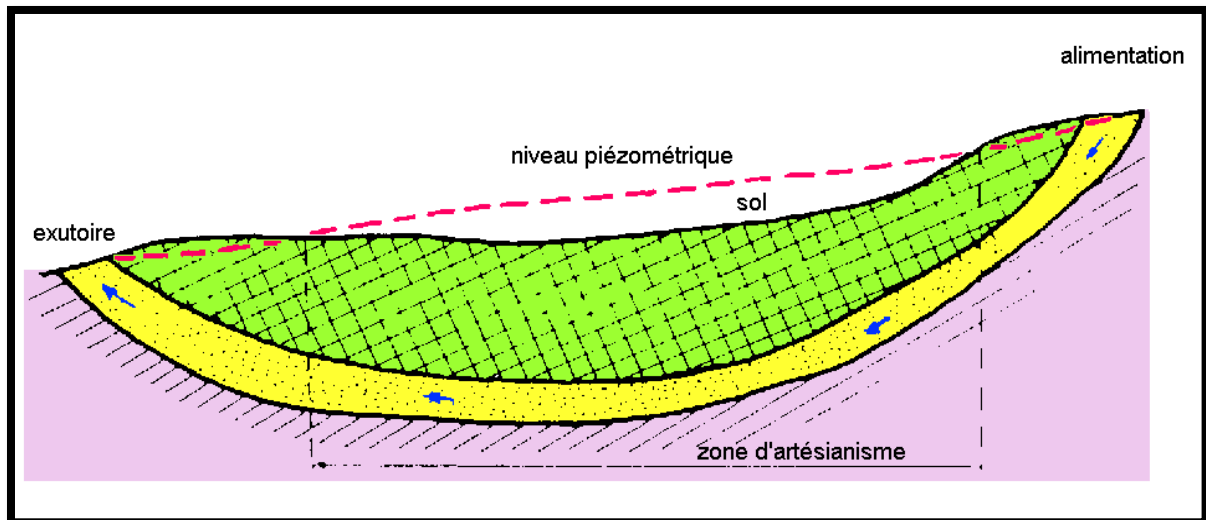


Fig.I. 06: nappe captive des sables tertiaires de Gironde.



Fig.I.07: source jaillissante en Artois.

I.2.2.3 : Nappes semi captives

Lorsque l'éponte supérieure de l'aquifère ne peut pas être considérée comme imperméable, bien que nettement moins perméable que l'aquifère lui-même, alors un échange peut avoir lieu entre cet aquifère et son éponte supérieure. Une telle nappe est dite semi captive. Si la charge hydraulique de cette nappe est supérieure à celle existante dans l'éponte, un écoulement vertical ascendant aura lieu, régi selon la loi de darcy par la conductivité hydraulique de l'éponte. En effet, Cette conductivité hydraulique étant la plus faible, c'est elle

qui détermine la limite maximale des échanges. Cet écoulement entraîne ainsi une perte d'eau de la nappe. Si la charge hydraulique de la nappe aquifère est plus faible que celle existante dans l'éponte, un écoulement vertical descendant aura lieu. Cet écoulement constitue une recharge de la nappe aquifère, c'est ce qu'on appelle le phénomène de drainance.

I.2.2.4 : Aquifère à nappe suspendue

Il existe encore un cas particulier de nappe qui se présente quand une formation imperméable apparaît entre la zone saturée et la surface du sol, donnant origine à la rétention des eaux des infiltrations au dessus de cette formation.

I.2.3 : Milieu poreux et milieu fissuré

Le milieu poreux ou matrice poreuse, est un milieu perméable comportant des pores interconnectés. Le milieu fissuré est un milieu perméable dans lequel l'eau s'écoule à travers un réseau de fissures ouvertes diversement interconnectées.

✓ Continuité ou discontinuité

Le milieu perméable, comportant des vides interconnectés dans le sens de l'écoulement, est dit continu. Les roches meubles, pourvues de pores et les roches compactes, découpées par un réseau de microfissures, constituent des milieux continus. Par contre les roches compactes à macro fissures est karstiques sont des milieux discontinus.

✓ Isotropie et anisotropie

Un milieu est dit isotrope lorsque ses caractéristiques physiques (granulométrie en particulier) sont constantes dans les trois directions de l'espace. Dans le cas contraire, il est anisotrope.

✓ Homogénéité ou hétérogénéité

Un milieu est homogène lorsqu'il présente, en tous points dans le sens de l'écoulement, des caractéristiques physiques constantes. Dans le cas contraire, le milieu est hétérogène.

Un milieu homogène peut être isotrope ou anisotrope. En revanche un milieu hétérogène est toujours anisotrope.

I.2.4 : Les paramètres caractérisant l'écoulement souterrain

***Porosité** : C'est le rapport entre le volume des vides et le volume total :

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{V}_v}{\mathbf{V}_t}$$

* **Porosité efficace** : La **porosité efficace** est le rapport du volume d'eau gravitaire au volume total de la roche saturée en eau:

$$\text{Porosité efficace, } n_e (\%) = \text{volume eau gravitaire} / \text{volume total} = \frac{V_e}{V_t}$$

Exemple: un échantillon de craie de 1 000 cm³, prélevé dans un aquifère, libère par égouttage 20 cm³ d'eau: sa porosité efficace est de 2%.

* **Coefficient d'emménagement**

Le coefficient d'emménagement d'un aquifère est déterminé à partir de la quantité d'eau libérée pour une perte de charge donnée, c'est à dire une baisse de pression. Dans un aquifère, la perte, ou le gain, d'une certaine quantité d'eau se traduit par une variation de la charge hydraulique. Celle-ci est mesurée à l'aide de piézomètres. Pour une nappe libre, c'est la gravité qui provoque l'écoulement de l'eau. Pour une nappe captive, l'expulsion d'une petite quantité d'eau provoque une grande variation de pression et donc une forte perte de charge. D'une façon générale, pour une même différence de charge, la quantité d'eau libérée est beaucoup plus grande dans une nappe libre.

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_s \cdot \mathbf{b}$$

Avec :

S_s est le coefficient d'emménagement spécifique du matériau aquifère et b étant son épaisseur.

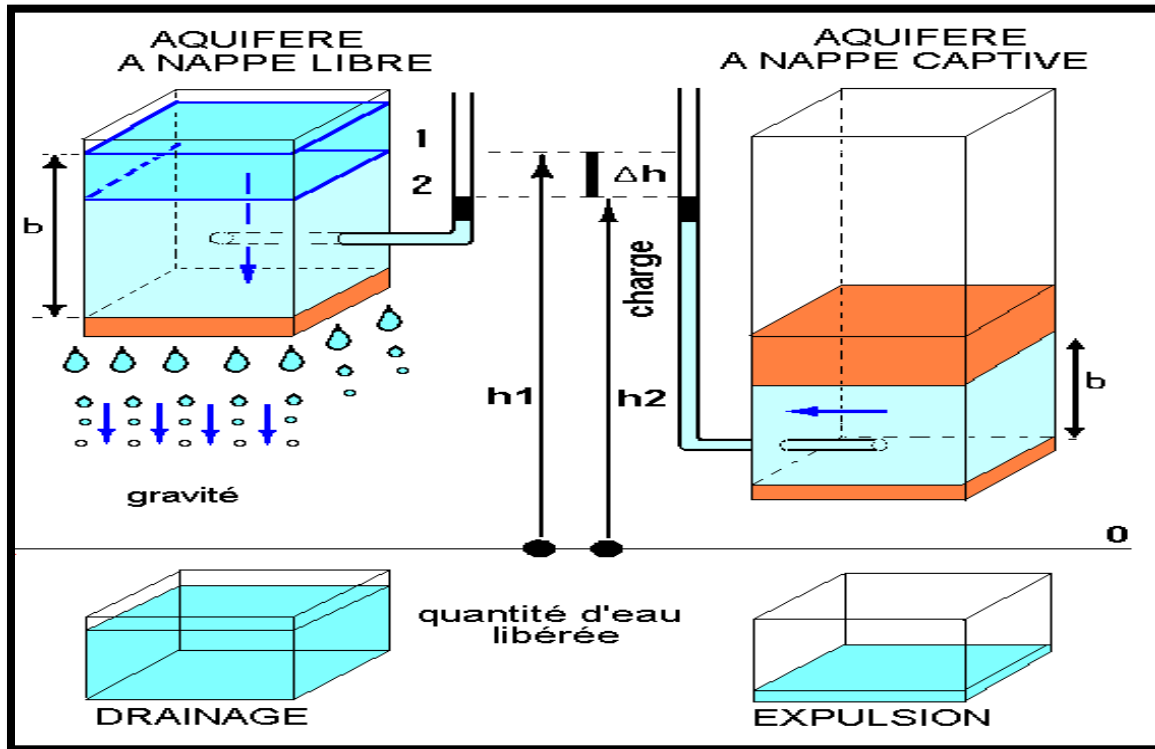


Fig.I.08: variation de charge et volume d'eau libérée (adapté de G. CASTANY).

Le coefficient d'emmagasinement S est défini comme le rapport du volume d'eau libérée (ou emmagasinée) par unité de surface sur la différence de charge hydraulique. Dans les nappes libres, le coefficient d'emmagasinement est égal à la porosité efficace (eau gravitaire); il est compris entre 0,2 et 0,01. Dans les nappes captives, il est beaucoup plus petit, 0,001 à 0,0001. Il est mesuré sur le terrain par des pompages d'essai qui rabattent la nappe.

* Gradient hydraulique

On le calcule en plaçant deux piézomètres distants de L mètres. Le gradient est le rapport entre la différence de niveau dh des piézomètres et la distance L . On utilise également les cartes piézométriques en mesurant la distance entre deux courbes isopieacutriques en mesurant la distance entre deux courbes isopiézométriques (hydro isohypses) consécutives.

$$i = \frac{dh}{L}$$

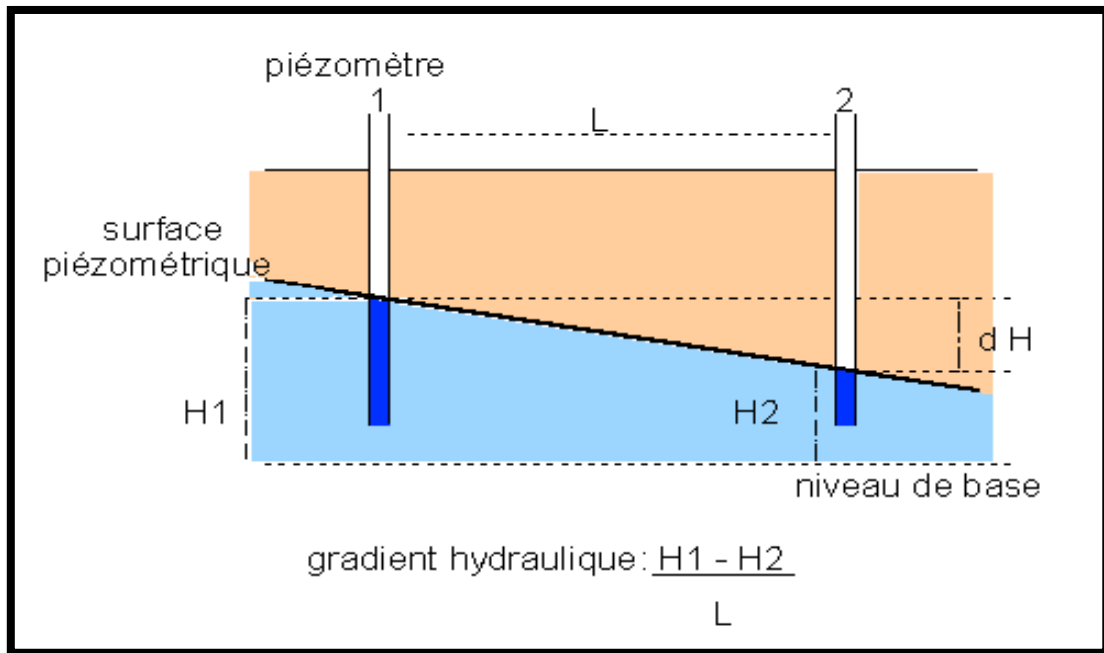


Fig.I.09: calcul du gradient hydraulique avec 2 piézomètres.

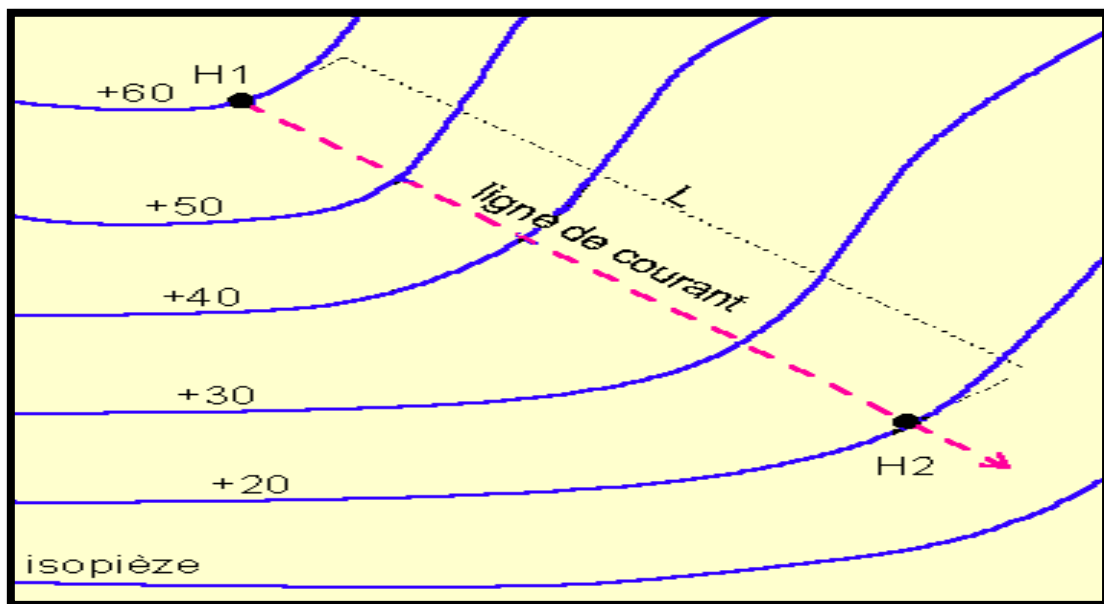


Fig.I.10: calcul du gradient hydraulique à partir d'une carte piézométrique.

* La conductivité hydraulique et la perméabilité des milieux poreux

"La **conductivité** est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique" (G. CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m^2 et le m^3 , K est exprimé en m/s .

Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristiques du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique). Il est grossièrement proportionnel au carré du diamètre des grains pour une nappe libre. Il varie de 10 m/s à 10^{-11} m/s . Un matériau est considéré comme imperméable au delà de 10^{-9} m/s .

$$K = \frac{g}{\nu} \frac{d^2}{a}$$

Ou :

g : accélération de la pesanteur ;

d : diamètre caractéristique résultant de la forme des grains et de leur disposition ;

ν : Coefficient de viscosité cinématique ;

a : constante sans dimension égale à :

$$a = i \frac{2 \cdot g \cdot d}{\nu V}$$

i : gradient hydraulique :

V : vitesse de filtration apparente [m/s]

Notons bien qu'il faut faire la différence entre la perméabilité (K), caractéristique du matériau dépendante du fluide, et la perméabilité intrinsèque (k) qui est une caractéristique propre du matériau sans qu'elle soit dépendante du fluide.

***la transmissivité**

La transmissivité caractérise la productivité d'un captage. Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de la zone saturée b.

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \cdot b \text{ (m)}$$

***La diffusivité**

C'est le rapport de la Transmissivité sur le coefficient d'emmagasinement; elle caractérise la vitesse de réaction d'un aquifère face à une perturbation. Sur le terrain, la transmissivité est mesurée par les pompages d'essai. Un pompage d'essai consiste à pomper dans un forage selon un protocole déterminé et à interpréter le rabattement de la surface piézométrique de la nappe au moyen de plusieurs piézomètres disposés à quelques dizaines ou centaines de mètres du point de forage. L'interprétation des données nécessite un traitement complexe qui est largement informatisé de nos jours. Cet essai permet de connaître la quantité optimale d'eau pouvant être prélevée dans la nappe.

$$\text{Diffusivité} = T \text{ (m}^2\text{/s)} / S, \text{ en m}^2\text{/s}$$

I.2.5 : Relations Fluides-Solides dans les milieux poreux

I.2.5.1 : Milieux saturés en eau

Mis à part l'eau de constitution des minéraux de la roche, on distingue :

a) Eau liée

Elle est attachée à la surface des grains par le jeu des forces d'attraction moléculaire. Ces forces décroissent avec la distance de la molécule d'eau au grain :

- Une première couche adsorbée, dont l'épaisseur est de l'ordre de quelques dizaines de molécules (0,1 micro environ), correspond à une orientation des molécules d'eau à structure dipolaire H-OH perpendiculairement à la surface du solide. Les forces d'attractions de ces molécules atteignent plusieurs dizaines de milliers de bars, mais décroissent rapidement avec la distance.

Dans cette couche adsorbée, les propriétés de l'eau sont fortement modifiées : très grande viscosité, forte densité. De nombreux ions, principalement des cations, peuvent y être retenus par attraction conjuguée des molécules d'eau et de celles du solide.

- Une zone de transition, entre 0,1 et $0,5 \mu$, contient des molécules d'eau qui supportent encore une attraction non négligeable et sont immobiles.

- Au-delà, les forces d'attraction sont négligeables, et l'eau est dite libre.

Il est évident que cette limite de $0,5 \mu$ est peu arbitraire et varie d'un milieu à un autre : il s'agit ici d'illustrer les phénomènes. La figure suivante illustre la variation de la force d'attraction des molécules d'eau, et leur orientation au voisinage d'un grain solide.

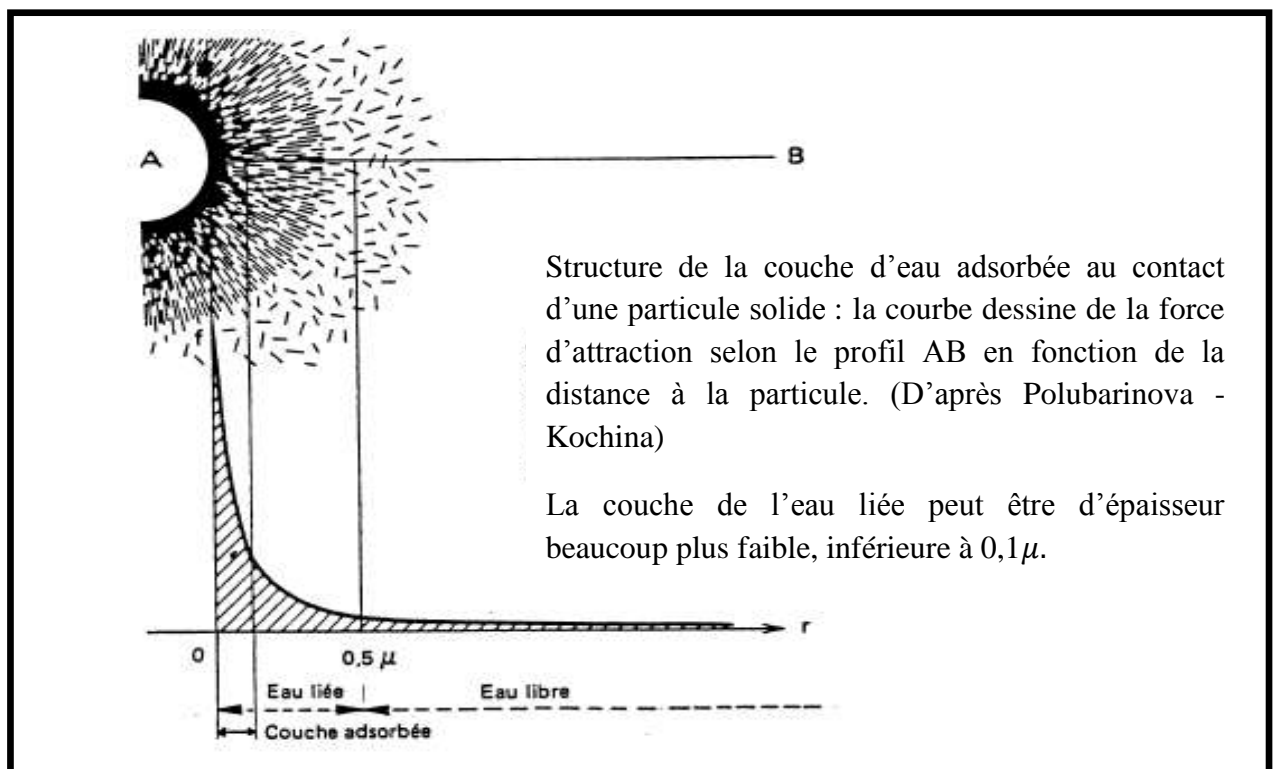


Fig .I.11 : différents types d'eau au voisinage d'un grain dans un aquifère.

b) Eau libre :

C'est celle qui est en dehors du champ d'attraction des particules solides, et qui est susceptible de se déplacer par opposition à l'eau liée sous l'effet de la gravité ou des gradients de pression.

I.2.5.2 : Milieux non saturés

Ce problème se complique du fait de l'existence d'une troisième phase : l'air, en plus de l'eau et du solide.

a) Teneur en eau et saturation volumique

On définit la teneur en eau ω par le rapport :

$$\omega = \text{Volume d'eau contenu} / \text{volume total}$$

Et la saturation volumique :

$$s = \text{volume d'eau contenu} / \text{volume total des pores}$$

b) Pression capillaire

Entre deux en contact, ou un fluide au contact d'un solide, il existe une énergie superficielle engendrée par la différence entre la force d'attraction des molécules vers l'intérieur dans chaque phase et la force d'attraction des molécules à travers la surface de contact.

Conclusion

Pour conclure, on peut dire qu'il existe deux grands types d'aquifère, aquifère à nappe libre et aquifère à nappe captive et que le mouvement de l'eau considéré sous l'action de la gravité, il est possible de distinguer encore deux grands types d'eau souterraine : l'eau gravitaire ou libre et l'eau de rétention. Seule l'eau libre participe à l'écoulement. Ce dernier peut être en régime permanent ou transitoire selon le cas.

II.1 : Etude des infiltrations dans un barrage

L'eau peut s'écouler à travers tous les sols mais le phénomène d'écoulement à une intensité très variable d'un sol à un autre. Cette intensité varie en fonction des vides entre les particules du sol et les frottements contre ces particules.

II.1.1 : Procédé de calcul

- La charge d'eau créée au bief-amont par la construction du barrage provoque des infiltrations d'eau à travers et sous ce dernier quelque soit sa perméabilité et celle de la fondation.
- Cette circulation d'eau d'infiltration au sein de la digue et de sa fondation peut mettre en danger la stabilité de l'ouvrage.
- L'étude des infiltrations doit permettre de déterminer les éléments suivants :
 - La ligne phréatique ;
 - La pression de l'eau interstitielle ;
 - Débit d'eau de fuite.

La ligne de saturation du massif du barrage, qui en pratique confondu avec le long de laquelle la pression hydraulique de l'eau au sein du barrage est nulle, cette dernière est appelée ligne phréatique, cette ligne limite la partie sèche ou humide de la partie saturée.

La pression de l'eau interstitielle dans le massif qui peut être déterminé à partir d'un réseau de ligne équipotentielle, c'est-à-dire de ligne reliant les points l'égal potentiel hydraulique au sein du barrage et des fondation. La position de ligne de saturation (phréatique) et la connaissance des pressions interstitielles sont utiles pour le calcul de la stabilité.

Débit de fuite duaux qui peut s'obtenir à partir d'un réseau de lignes de courants orthogonales aux lignes équipotentielles, ces lignes de courants présentent théoriquement la trajectoire de l'eau à travers le barrage.

II.1.2 : Tracé de la ligne de saturation

Il existe plusieurs méthodes pour tracer la ligne de saturation, parmi celle-ci : la méthode graphique de Kozeny qui donne des solutions approchées, mais en général suffisantes.

➤ **Principe de la méthode de kozeny**

On admet dans les calculs des infiltrations par cette méthode les hypothèses suivantes :

- La filtration est admise dans un seul plan ;
- Les composantes des vitesses dont les directions sont perpendiculaires à ce plan sont supposées nulles ;
- L'imperméabilité de la fondation.
- KONZY a montré que la ligne de saturation peut être assimilée dans sa partie médiane à une parabole d'axe horizontal dont le foyer O est situé au pied du parement aval du barrage.
- L'équation de la parabole est :

$$Y^2 - Y_0^2 - 2XY_0 = 0 \Rightarrow Y = \sqrt{Y_0^2 + 2XY_0}$$

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

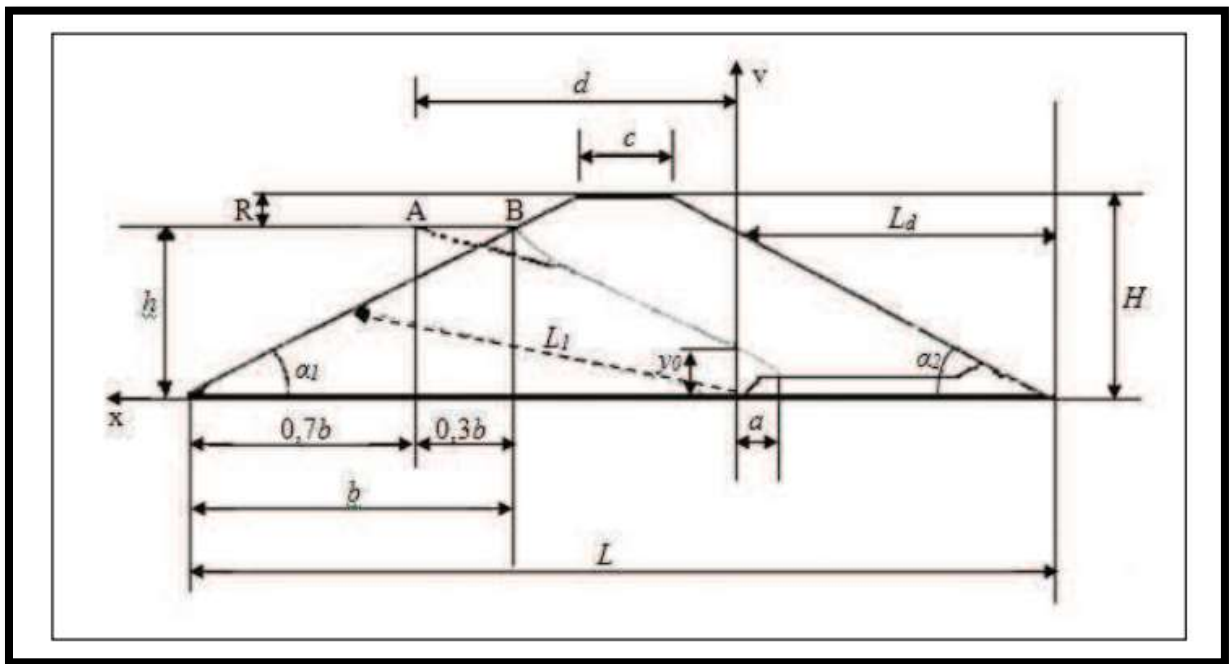


Fig II.01 : Tracé de ligne de saturation et la parabole de KOSENY

Les paramètres d , h , Y_0 sont représentés sur la figure (II.01)

➤ **Projection horizontale de la partie mouillée du parement amont :**

- La parabole (fig II.01) coupe le plan d'eau amont en un point **A** situé a une distance **AB** du parement avec $AB = 0,3.b$
- Pour obtenir la ligne de saturation a partir de la parabole KOZENY, on raccorde celle ci au point **B** du plan d'eau amont par une courbe normale au parement amont en **B** et tangente à la parabole.

➤ **Calcul de b**

Projection horizontal de la longueur mouillée du talus amont.

$$b = (H - R) / \tan \alpha_1$$

$$b = (95 - 5) \cdot 3$$

$$b = 270\text{m}$$

$$b = 270\text{m}$$

➤ **Calcul de d**

$$d = L - L_d - 0.7b$$

$$d = 373.71 - 145,76 - 0,7 \cdot 270 = 38,95\text{m}.$$

$$d = 38,95\text{m}$$

➤ **Calcul d'Y₀**

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$$h = H - R$$

$$h = 95 - 5 = 85\text{ m}$$

$$h = 85\text{m}$$

d : Largeur de base du barrage diminuée de $0,7b$ ($d = 38,95$).

b : Projection horizontale de la partie mouillée du parement amont $b = 270\text{m}$

(Déterminé graphiquement).

h : La hauteur du niveau de l'eau sur la base ($h = 85\text{m}$).

On trouve $Y_0 = 54,5\text{m}$.

La construction de la parabole définit sur le parement aval du noyau le segment $a + \Delta a = 71,9\text{m}$; étant celui-ci incliné de 76° on obtient, de l'abaque de Casagrande,

$\Delta a / (a + \Delta a) = C(\alpha) = 0,275$, et donc:

$$\Delta a = 19,8 \text{ m}$$

$$a = 52,1 \text{ m}$$

II.1. 3 : Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue

Le débit de fuite à travers le noyau est déterminé par la formule suivante :

$$q = K \cdot I \cdot A$$

Avec :

q : Débit d'infiltration en ($\text{m}^3/\text{s}/\text{ml}$).

K : Coefficient de perméabilité en (m/s). ($K = 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$)

I : Gradient hydraulique.

A : Section d'infiltration par unité de longueur.

Le gradient hydraulique est déterminé par: $I = dy/dx$ et $A = y \cdot 1$

$$\text{Donc: } q = K \cdot y \cdot dy/dx$$

Avec $y \cdot dy/dx = y_0$

D'où $q = K \cdot y_0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ml}$.

Le débit total à travers le barrage sera donc: $Q=q.L$

AN: $Y_0=54,5m$.

D'où

$$q=54,5 \cdot 10^{-7} m^3/s/ml.$$

II.2 : étude des réseaux d'écoulements

Dans un massif de sol homogène isotrope soumis à un écoulement permanent et tel qu'il n'y ait pas de variation de volume du sol (donc pas de modification de l'arrangement du squelette solide) les équations qui régissent l'écoulement sont :

- la condition de continuité de la phase liquide : $\text{div } \vec{V} = 0$ et

- la loi de Darcy généralisée : $\vec{V} = k \cdot \vec{i} = -k \cdot \overrightarrow{\text{grad}h}$

Ces deux équations sont équivalentes au système :

$$\begin{cases} \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \\ V_x = -K \frac{\partial h}{\partial x} \\ V_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \end{cases}$$

La condition de continuité s'écrit : $\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \Delta h = 0$

La charge $h(x,z)$ satisfait donc à une équation de Laplace. C'est une fonction harmonique.

Dans le cas d'un milieu anisotrope, on aboutit à l'équation :

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Qui n'est plus une équation de Laplace. La charge n'est plus une fonction harmonique.

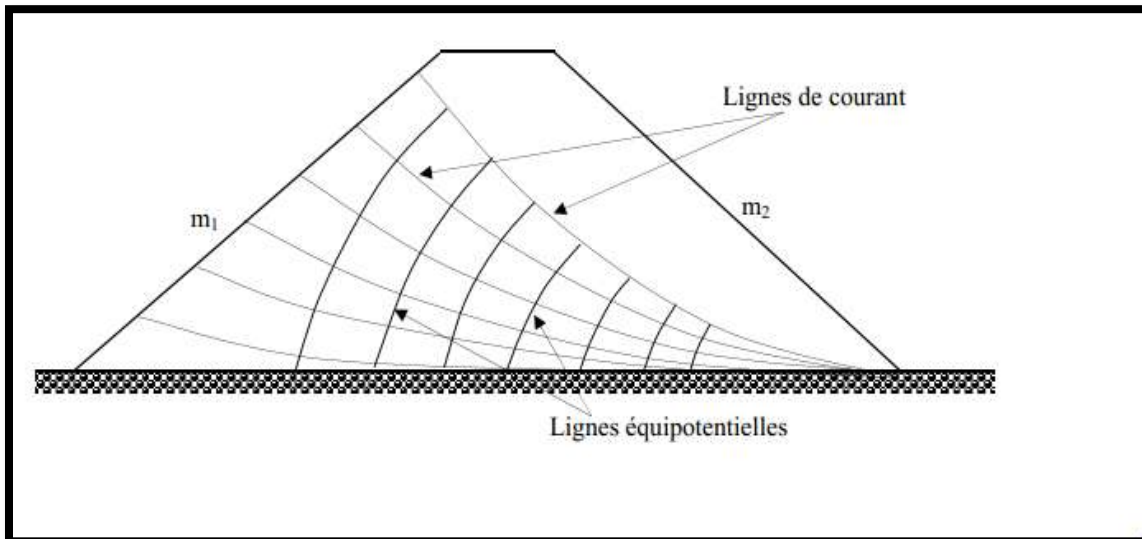


Fig.II.02: Trace des lignes de courant et des lignes équipotentiennes

II.2.1 : Milieu isotrope

La condition de continuité s'écrit :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

L'écoulement a lieu entre des limites déterminées sur lesquelles sont imposées des conditions sur l'écoulement (la vitesse de décharge) ou sur la charge hydraulique. Le problème consiste à déterminer une fonction $h(x,z)$ satisfaisant à l'équation de Laplace et aux conditions aux limites. La solution est indépendante de la perméabilité k du sol.

En pratique, la résolution de l'équation de Laplace consiste à rechercher (figure 03)

- les lignes équipotentiennes pour lesquelles on a $h = C^{ste}$,
- les lignes de courant pour tout point M desquelles on a $\frac{\partial h}{\partial n} = 0$, l'axe \vec{Mn} étant porté par la normale à la ligne de courant.

Dans le cas général l'équation de Laplace n'est pas intégrable et on a recours aux méthodes numériques.

Dans les cas géométriquement simples on utilise la transformation conforme

On a vu que l'on pouvait introduire la fonction potentielle :

$$\phi(x,z) = -K \cdot h \vec{V} = \overrightarrow{\phi}$$

On peut aussi introduire la fonction de courant $\Psi(x,z)$ définie par $\frac{\partial \Psi}{\partial z} = V_x$ et $-\frac{\partial \Psi}{\partial x} = V_z$

On montre facilement que ϕ et Ψ sont des fonctions harmoniques ($\Delta \phi = \Delta \Psi = 0$)

et que les lignes $\phi = C^{ste}$ sont les lignes équipotentiels ($h = C^{ste}$) (fig.II.03)

et $\Psi = C^{ste}$ sont les lignes de courant.

On peut alors écrire que la fonction $\phi + i \Psi$, appelée potentiel complexe est une fonction harmonique de la variable complexe $x + iy$. Les méthodes de transformations conformes permettent, à partir de potentiels simples, de définir des écoulements de formes plus complexes s'adaptant aux conditions aux limites imposées. Les calculs sont assez lourds.

Lignes équipotentiels et lignes de courant constituent un réseau orthogonal : le réseau d'écoulement.

En effet, en tout point M, la ligne de courant est perpendiculaire à la ligne équipotentielle.

Soit P un point très voisin de M sur l'équipotential passant par M (fig. II.03)

Perte de charge entre M et P: $(-dh)_{Mp} = \vec{l} \cdot \overrightarrow{MP}$

Or $(-dh)_{Mp} = 0$ (équipotentielle), donc les vecteur \vec{l} et \overrightarrow{MP} sont perpendiculaires.

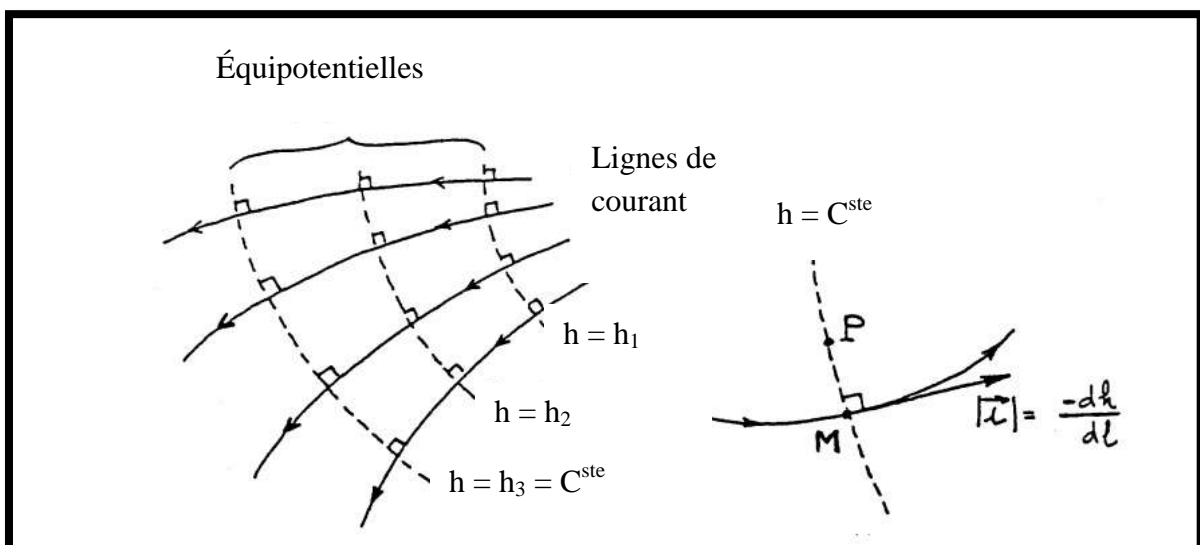


Fig :II.03 Lignes équipotentiellles et lignes de courants.

Deux lignes de courant déterminent un tube de courant dans lequel l'eau circule sans sortir; le débit y est donc constant.

La vitesse de décharge est d'autant plus faible que les lignes de courant s'écartent.

Détermination des réseaux d'écoulement

La détermination des réseaux d'écoulement peut se faire de différentes façons :

- par recherche d'une solution analytique à partir du potentiel complexe dans tes cas géométriquement simples,
- par méthode numérique (calcul par élément finis),
- par méthode analogique (analogie électrique),
- manuellement, par approximations successives.

Exemples de conditions aux limites

Soit un barrage en terre de section droite ABCD reposant sur un substratum imperméable (fig.II.04). La hauteur de l'eau dans la retenue est H. Le plan de référence pour les altitudes et les charges hydrauliques est le niveau du substratum. Il correspond au niveau de l'eau à l'aval.

Les conditions aux limites de l'écoulement sont les suivantes:

- AF est une surface imperméable : aucun débit ne la traverse, la composante de la vitesse de décharge selon la normale \vec{n} à la surface imperméable est nulle : le gradient hydraulique transversal est nul.

$$\frac{\partial h}{\partial n} = 0 \text{ la dérivée normale est nulle (condition de Neumann)}$$

AF est une ligne de courant

- AE est une surface filtrante : c'est une surface en contact avec une masse d'eau libre. Dans la masse d'eau libre, les pertes de charge sont négligeables :
 $h = C^{\text{ste}}$ (ici $=H$).

La condition à la limite sur AE est donc : $h = C^{\text{ste}}$ (condition de Dirichlet).

Les surfaces filtrantes sont des surfaces équipotentiellles.

AE est donc normale aux lignes de courant.

- EF est la surface libre (surface de la nappe) : le débit qui la traverse est nul : le gradient hydraulique transversal est nul : $\frac{\partial h}{\partial n} = 0$ (\vec{n} normal à EF au point considéré). C'est une ligne de courant. Elle n'est soumise qu'à la pression atmosphérique. En négligeant l'action de la capillarité : $h = z$.

On a donc la double condition : $\frac{\partial h}{\partial n} = 0$ et $h = z$

- au point F et dans le drain de pied : $h = 0$.

L'écoulement considéré, limité dans sa partie supérieure par une surface libre, est dit écoulement à surface libre.

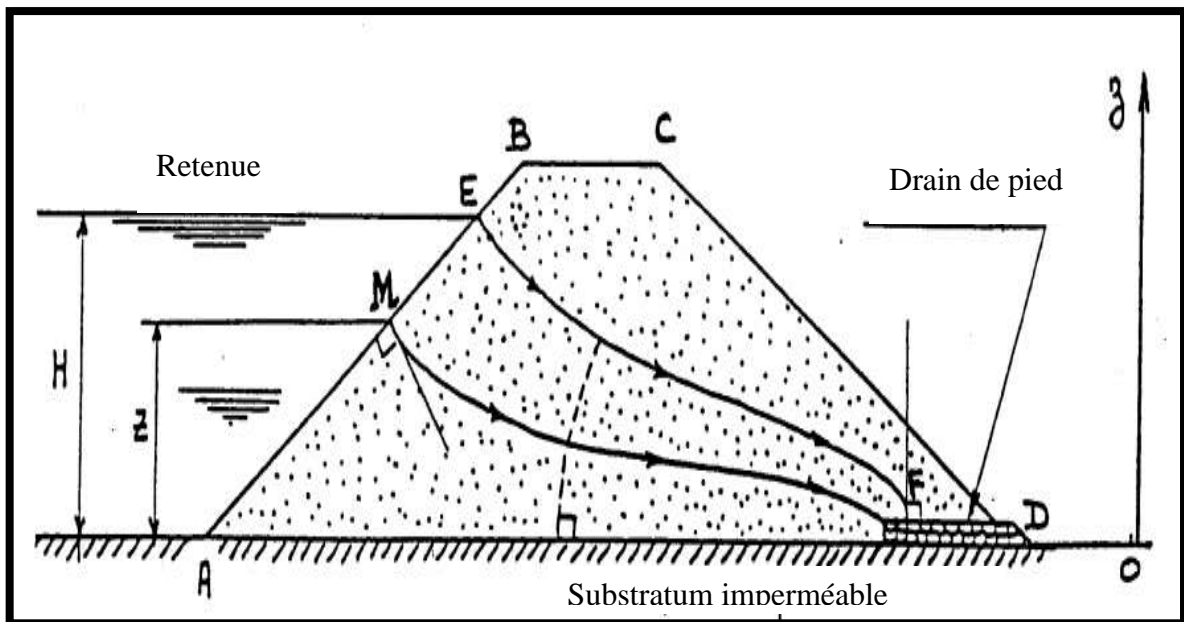


Fig II.04 : Barrage en terre homogène sur fondation imperméable

▪ Méthode d'analogie électrique

Le réseau d'écoulement peut être déterminé par la méthode d'analogie électrique.

Si une plaque conductrice de l'électricité, plane, d'épaisseur constante, homogène et isotrope est parcourue par un courant électrique, le potentiel électrique $V(x,z)$ vérifie l'équation de Laplace

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \Delta V = 0$$

La densité de courant i et le potentiel électrique sont reliés par la relation

$$\vec{i} = - \left(\frac{1}{\rho} \right) \overrightarrow{\text{grad}v} \quad (\rho: \text{résistivité})$$

Il y a donc une analogie entre l'écoulement d'un courant électrique dans une plaque

$$\left[\vec{i} = - \left(\frac{1}{\rho} \right) \overrightarrow{\text{grad}v} \right] \text{ et l'écoulement bidimensionnel de l'eau dans un sol}$$

$$\left[\vec{V} = k \cdot \vec{i} = - k \cdot \overrightarrow{\text{grad}h} \right].$$

Le modèle du problème étudié est découpé dans un papier conducteur graphité.

Les lignes de courant sont représentées par les bords libres ou des entailles à (pour une palplanche par exemple).

Les surfaces filtrantes (équipotentiellles) sont portées à un potentiel V proportionnel à h .

Si l'écoulement est à surface libre il faut découper le modèle par approximations successives de façon à avoir $h = z$ (condition à la limite de surface libre).

Mis à part cette incertitude, L'analogie électrique est facile à mettre en œuvre, rapide, directe et quasi exacte.

On détermine le réseau d'écoulement par ses équipotentiellles: à l'aide d'une sonde, on mesure en tout point de la plaque le potentiel $V(x,z)$.

Les grandeurs qui se correspondent sont les suivantes :

Gradeur hydraulique	Gradeur électrique
Charge : h	Potentiel : V
Vitesse de décharge : \vec{V}	Densité de courant : \vec{i}
Débit : q	Intensité : I
Perméabilité : K	Conductivité : $\frac{1}{\rho}$

II.2.2 : Milieu anisotrope

Dans la réalité, du fait de la sédimentation et de la consolidation suivant la verticale, les perméabilités horizontale k_x et verticale k_v sont différentes : $k_v < k_x$.

L'équation aux dérivées partielles qui régit l'écoulement n'est plus une équation de Laplace.

$$\operatorname{div} \vec{V} = 0 \quad \longrightarrow \quad Kx \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + kZ \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \text{et} \quad \Delta h \neq 0$$

II.3 : Utilisation des réseaux d'écoulement

Dans la construction des barrages en terre, les réseaux d'écoulement nous permettent de résoudre deux problèmes essentiels : le calcul du débit d'infiltration et le calcul de la pression interstitielle.

-le calcul du débit d'infiltration.

Les lignes de courants et les lignes équipotentielles forment un réseau orthogonal où deux lignes de courants forment un tube de courant dans lequel le débit reste constant. Le calcul du débit est fait pour chaque tube de courant et la somme des débits donnent le débit total circulant à l'intérieur de ces limites géométriques.

-le calcul de la pression interstitielle.

La détermination de la pression interstitielle se fait d'après la figure ci-dessous suivant l'expression suivante : $u_{M_2} = (z_1 - z_2) \cdot \gamma_w$

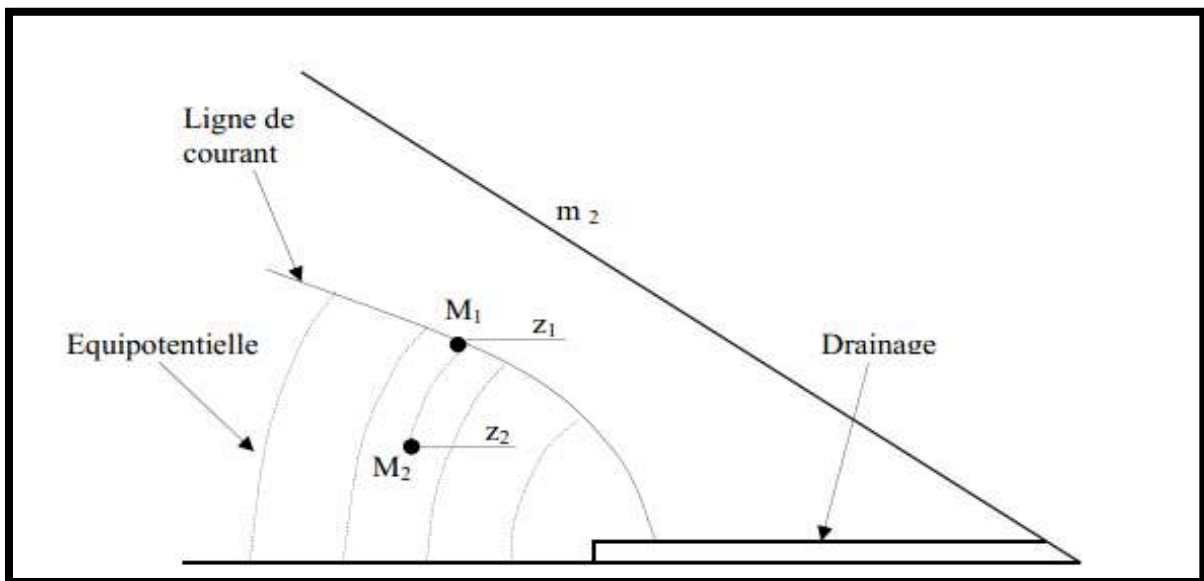


Fig .II.05 : Détermination de la pression interstitielle

Introduction

L'évolution de la technologie amène l'ingénieur à réaliser des problèmes géotechniques de plus en plus complexes soumis à des contraintes de sécurité de plus en plus sévères. Pour l'exécution de ces projets et vu la complexité des méthodes analytiques, l'ingénieur a recours aux méthodes qui lui permettent de simuler le comportement des systèmes physiques complexes.

Parmi ces méthodes, celle aux éléments finis. Elle se considère la plus performante vu son grand champ d'application. Afin de pouvoir manipuler avec le code Plaxis qui se base sur la méthode aux éléments finis, nous allons commencer ce chapitre par une description des modèles rencontrés.

III.1: Présentation du code Plaxis

Plaxis V8 est un logiciel géotechnique aux éléments finis spécialement destiné à l'analyse en 2D des déformations et de la stabilité des sols et structures. Ces applications géotechniques nécessitent des lois de comportement pour la simulation du comportement des sols et des roches, non linéaire, dépendant du temps et anisotropique.

Le programme utilise une interface graphique pratique permettant aux utilisateurs de générer rapidement un modèle géométrique et un maillage d'éléments finis basés sur la coupe verticale de l'ouvrage à étudier. La génération du modèle d'éléments finis commence par la création du modèle géométrique, qui est la représentation du problème réel à étudier. Un modèle géométrique consiste en des points, des lignes et des couches.

Après la définition de la géométrie, l'utilisateur devra saisir les paramètres relatifs aux matériaux puis, assigner ces jeux de données aux éléments géométriques. Lorsque le modèle géométrique est entièrement défini, et lorsque les propriétés de tous les éléments géométriques ont été affectées, le modèle géométrique est terminé et le maillage peut être généré.

III.2: Modèle défini par l'utilisateur

L'utilisateur peut définir des lois de comportement autres que les modèles standard de Plaxis. On distingue les comportements suivants :

III.2.1: Comportement drainé

Avec cette option, aucune surpression interstitielle n'est générée. C'est évidemment le cas pour des sols secs et pour des sols totalement drainés du fait de leur forte perméabilité comme les sables ou à cause d'un faible accroissement du chargement. Cette option peut aussi être utilisée pour simuler le comportement du sol à long terme.

III.2.2: Comportement non drainé

Cette option est utilisée pour permettre la génération complète des surpressions interstitielles. L'écoulement de l'eau interstitielle peut parfois être négligé du fait des faibles perméabilités pour les argiles ou à cause d'une vitesse de chargement élevée.

Toutes les couches considérées comme non drainées se comporteront ainsi, même si la couche ou une partie de celle-ci se trouve au dessus de la nappe phréatique. Remarquons que les paramètres de modélisation à entrer sont les paramètres effectifs.

III.3: Modèle de Mohr Coulomb

Ce modèle se considère comme une première approximation du comportement d'un sol, il comporte cinq paramètres (le module d'Young, le coefficient de poisson, la cohésion, l'angle de frottement et l'angle de dilatance).

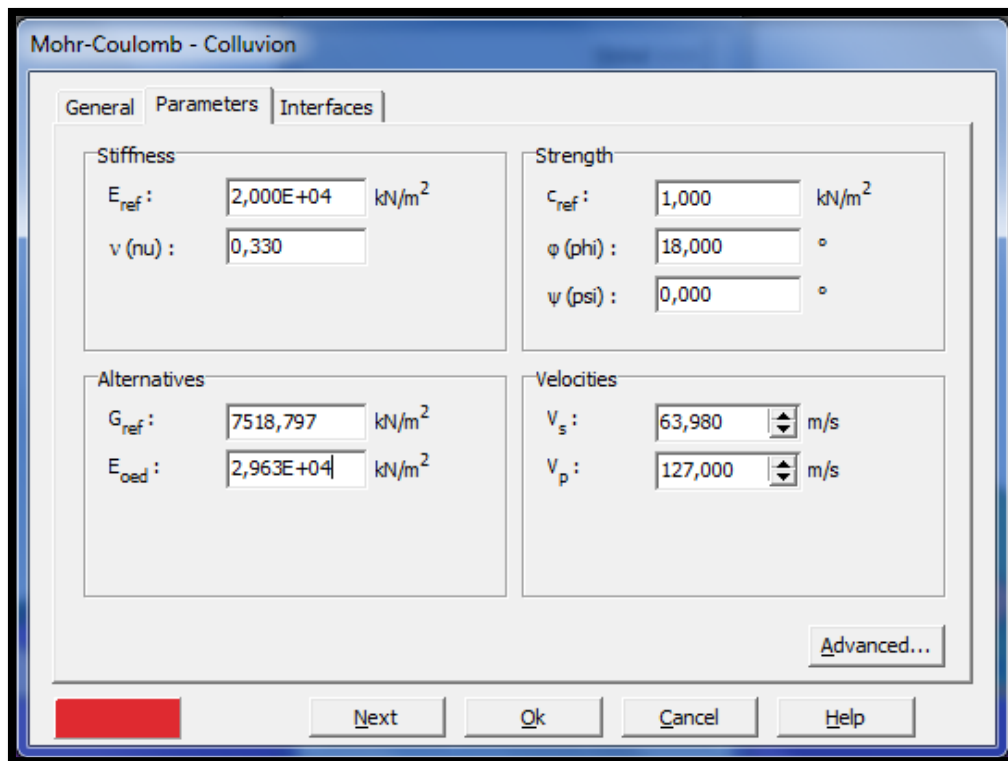


Fig III.01: Fenêtre des Paramètres du modèle de Mohr Coulomb

III.3.1: Le module d'Young

Dans le modèle élastique et le modèle de Mohr Coulomb, Plaxis utilise le module d'Young comme module de déformation de référence. Le choix de ce dernier nécessite un soin considérable, d'ailleurs il est conseillé d'utiliser E_0 pour des argiles très surconsolidées et quelques roches avec un large domaine élastique, alors que pour les sables et les argiles normalement consolidées, il est préférable de prendre E_{50} .

III.3.2: le coefficient de Poisson

Le choix d'une valeur pour le coefficient de poisson est particulièrement simple dans le cas du modèle élastique ou du modèle de Mohr Coulomb avec un chargement gravitaire. Dans la plupart des cas, les valeurs de ν seront comprises entre 0,3 et 0,4. Pour le cas du comportement non drainé, le coefficient de Poisson effectif devra être inférieur à 0,35.

III.3.3: L'angle de frottement

L'angle de frottement peut s'obtenir à partir de la courbe intrinsèque du modèle Mohr Coulomb. Dans le code Plaxis, on doit éviter de travailler avec des angles de frottements supérieur à 35° dans des calculs préliminaires pour un projet, car le temps de calcul varie exponentiellement avec de l'angle de frottement.

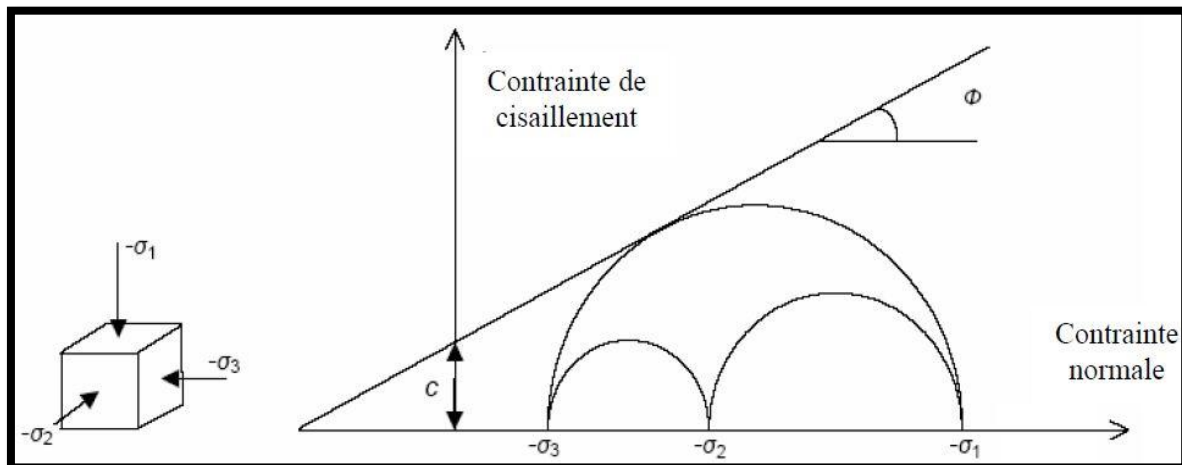


Fig III.02: Courbe intrinsèque du modèle de Mohr Coulomb

III.3.4: La cohésion

Il est conseillé aux utilisateurs peu expérimentés d'entrer au moins une valeur faible de la cohésion (prendre $c > 0.2$ kPa) dans le cas des sols purement frottants à fin d'éviter les complications dans des calculs. Pour les couches dans lesquelles la cohésion croît avec la profondeur Plaxis propose une option spéciale dans des paramètres avancés.

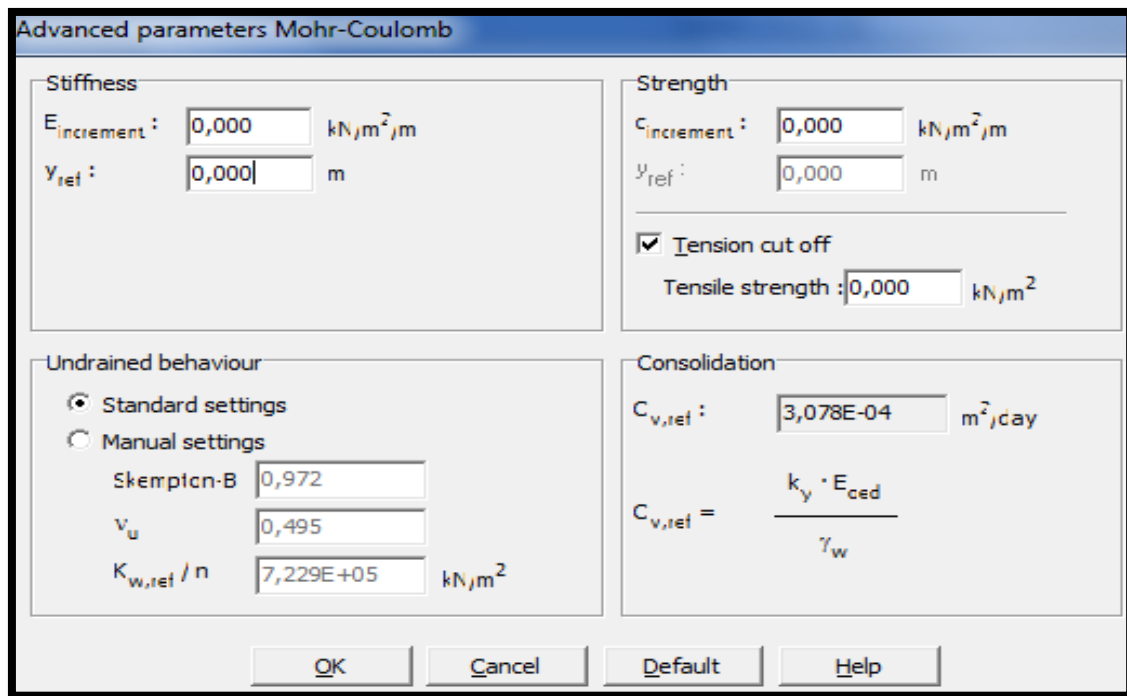


Fig III.03: Fenêtre des paramètres avancés de Mohr Coulomb

III.3.5: L'angle de dilatance

L'angle de dilatance ψ est donné en degrés, il peut se calculer par la règle suivante :

$$\psi = \varphi - 30^\circ \text{ si } \varphi > 30^\circ$$

La valeur ($\psi = 0^\circ$) correspond généralement aux argiles ou pour les sables de densité faible à moyenne. Pour les sables lâches l'angle de dilatance peut être inférieur à zéro.

III.4: Les démarches de modélisation avec le code Plaxis

Nous présenterons ici les principaux axes et cheminements d'un calcul avec le code Plaxis.

III.4.1: Géométrie

La première étape sous Plaxis est la définition de la géométrie. Un certain nombre de propriétés sont disponibles :

- Les lignes géométriques s'utilisent pour dessiner les différentes couches du sol.
- L'outil (plates) permet de tracer et de définir des structures élancées qui possèdent une résistance en traction, compression et une résistance en flexion. Cet outil est principalement

utilisé pour modéliser des murs, des poutres des coquilles, des plaques pour modéliser les murs et les zones rigides principalement les éléments ayant une forte extension selon l'axe perpendiculaire au plan de modélisation.

Application au projet

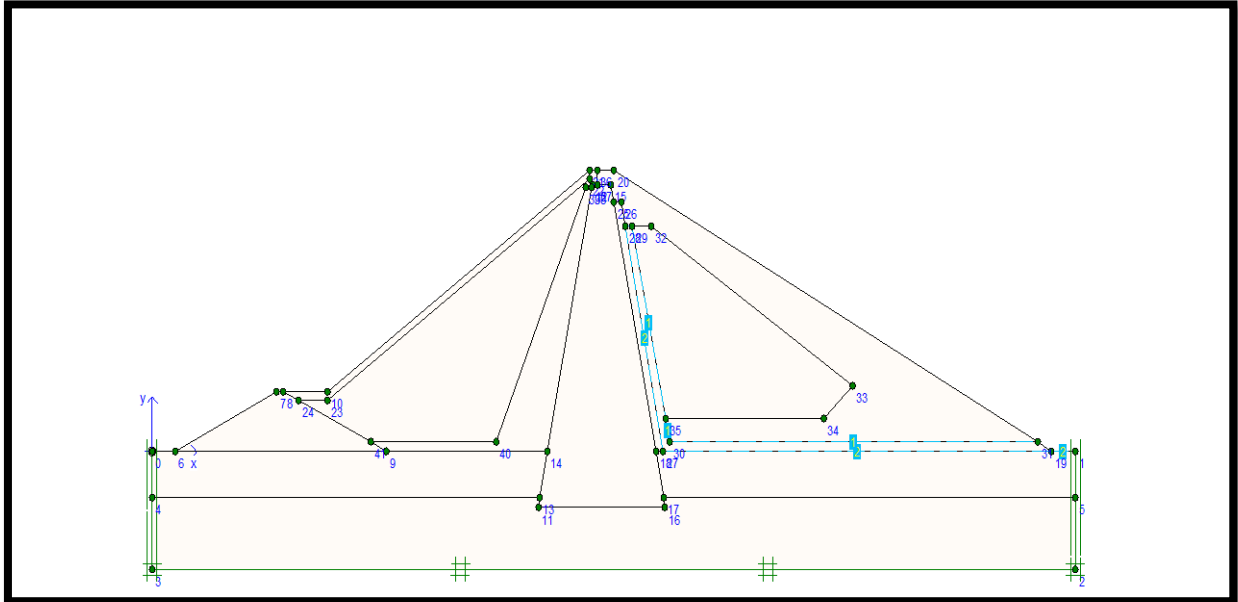


Fig III.04 : La Géométrie de corps du barrage

III.4.2: Définition des paramètres des matériaux

Ensuite, il convient de définir les différentes propriétés des différents matériaux selon son type (sol et interface, plaque, ancrage, géogrid, etc....), le modèle de comportement et les différents paramètres permettant de le définir. Pour les sols, en plus de la définition des caractéristiques mécaniques, leurs interfaces avec les autres types d'éléments, il faut également définir le comportement hydraulique du sol (drainé, non drainé ou non poreux).

Voir la première partie, chapitre II : études géologique et géotechnique ;

“Les paramètres géotechniques à utiliser pour les calculs du barrage”.

Les résultats sont récapitulés dans la figure ci-dessous

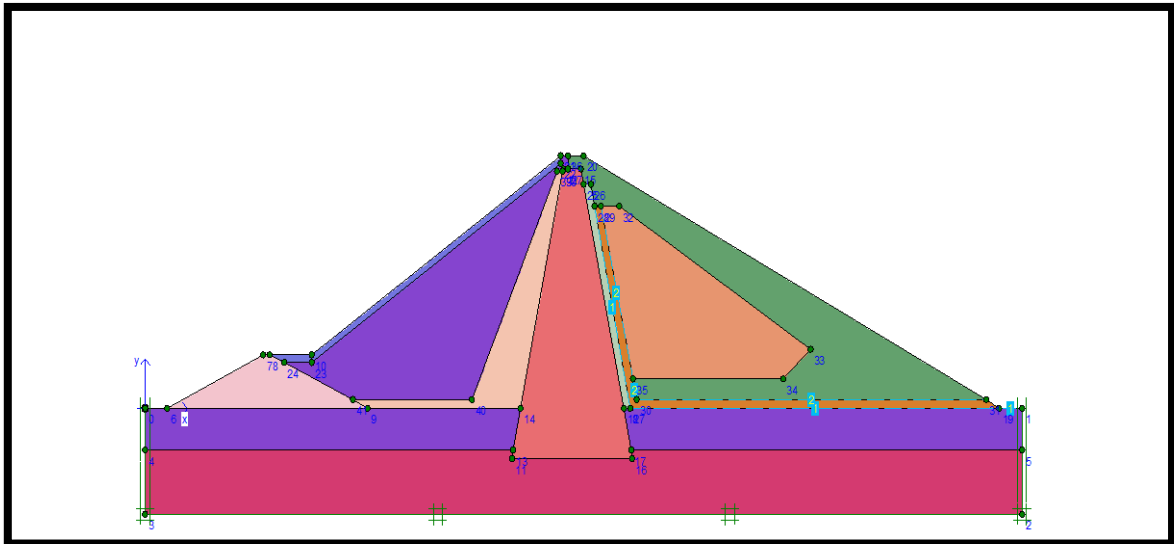


Fig .III.05 : les différents matériaux

III.4.3: Maillage

Le maillage se génère automatiquement, ce qui est un point fort de Plaxis. L'opérateur peut paramétrer la finesse du maillage entre différents options (très grossie, grossie, moyen, fin, très fin), l'utilisateur peut également décider de mailler plus finement une certaine région du sol et le voisinage d'un élément grâce aux options refine dans le mesh menu.

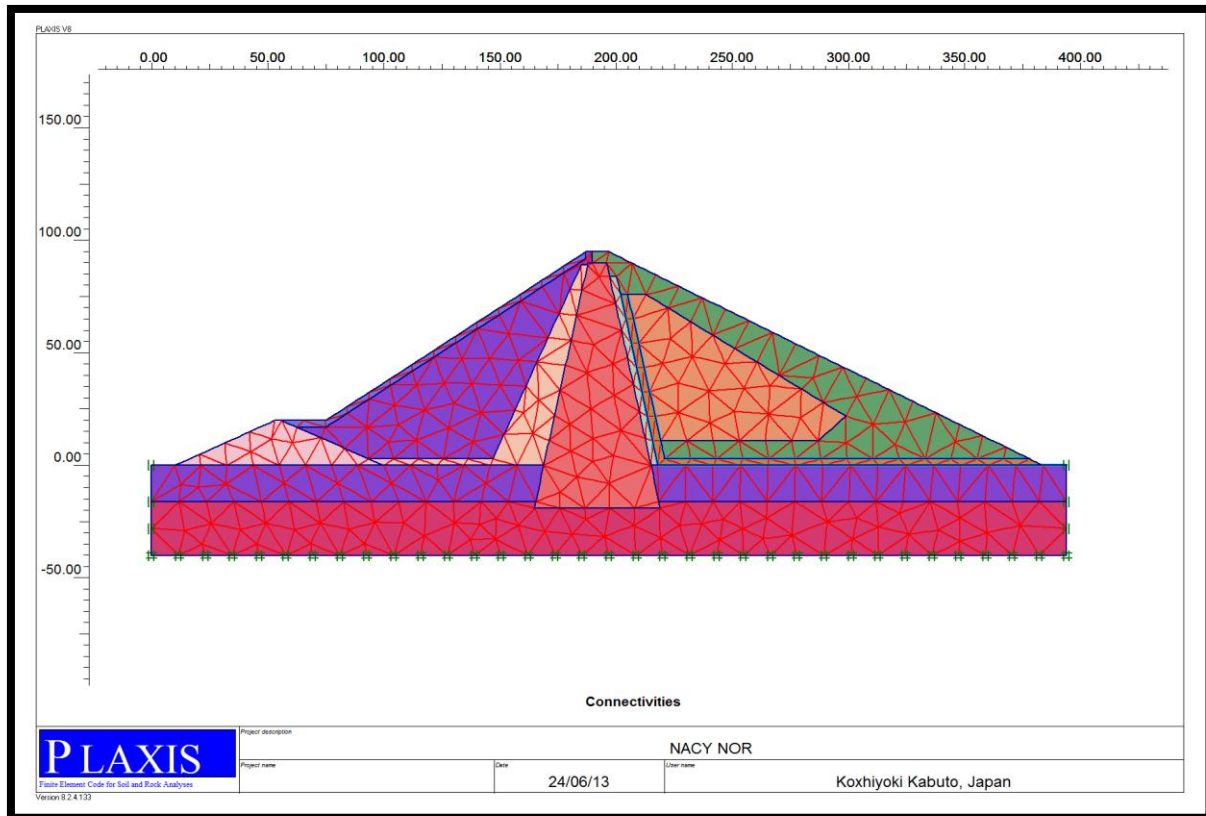


Fig.III.06 :Maillage

III.4.4: Conditions aux limites

Une fois la géométrie définie, il faut entrer les conditions limites, c'est à dire les déplacements et les contraintes imposées aux limites extérieurs de la géométrie. Si aucune condition limite n'est fixée sur un tronçon, par défaut le logiciel considère que l'élément n'est soumis à aucune force extérieure et est libre de se déplacer dans toutes les directions.

Les conditions limites pouvant être imposées sont celles qui imposent un déplacement dans une direction donnée ou celle qui impose une force dans une direction donnée. Plusieurs outils permettent de créer une large gamme de conditions limites (force répartie, force ponctuelle, encastrement, glissement, etc.....).

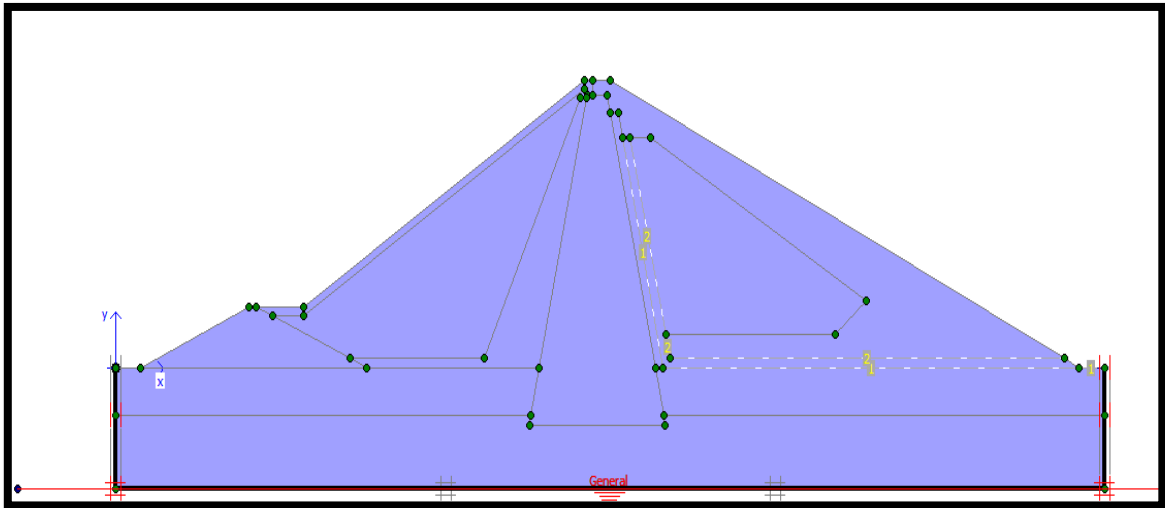


Fig.III.0 7: Conditions aux limites

III.4.5: Les conditions initiales

La définition des conditions initiales se fait en deux étapes distinctes. Tout d'abord, lorsque la fenêtre des conditions initiales s'ouvre, seul le sol est activé. L'opérateur active les éléments constructifs (déplacements, contraintes imposées, ancrage, plaque) qui correspondent à l'instant initial. Il désactive les éléments de sol qui ne correspondent pas à cet instant initial. Un switch bouton permet d'accéder à deux fenêtres différentes, chacune représentant la géométrie de la modélisation:



- La première qui s'appelle initiale pore pressure permet de définir un niveau de nappe phréatique initial, et de générer les pressions interstitielles correspondantes.
- La deuxième fenêtre permet de générer les contraintes initiales à l'intérieur du massif.

III.4.6: Visualisation des Résultats

Les résultats du code Plaxis sont :

- Les pressions interstitielles actives.
- potentiel hydraulique.
- Le degré de saturation
- le champ d'écoulement.

Les résultats

On a travaillé avec deux (03) niveaux de remplissage de la cuvette :

- Remplissage à 25 m.
- Remplissage à 50 m.
- Remplissage à 85 m.

Les résultats maximaux concernent la modélisation sont effectués pour les trois (03) cas de niveau de remplissage.

-a- Résultats pour le niveau 25m

- Pression interstitielle :- 404,72 KN/m²
- Champ d'écoulement : $1,91 \cdot 10^{-6}$ M/ S
- Potentiel hydraulique : 25m.
- Degré de saturation : 100%.

-b- Résultats pour le niveau 50 m

- Pression interstitielle : -666,82 KN/m²
- Champ d'écoulement : $5,52 \cdot 10^{-6}$ m/ S
- Potentiel hydraulique : 50 m.
- Degré de saturation : 100%.

-C- Résultats pour le niveau 85 m

- Pression interstitielle : -1010 KN/m²
- Champ d'écoulement : $13,76 \cdot 10^{-6}$ m/ S
- Potentiel hydraulique : 85m.
- Degré de saturation : 100%.

Interprétation

➤ La pression interstitielle

Lors du remplissage du barrage la pression interstitielle maximale dans les différents niveaux de la nappe sont :

de hauteur $h = 25$ m elle est de $404,72 \text{ KN/m}^2$;

$h = 50$ m elle est de $666,82 \text{ KN/m}^2$;

et enfin $h = 85$ m elle est de 1010 KN/m^2 comme indiquée ci-dessous :

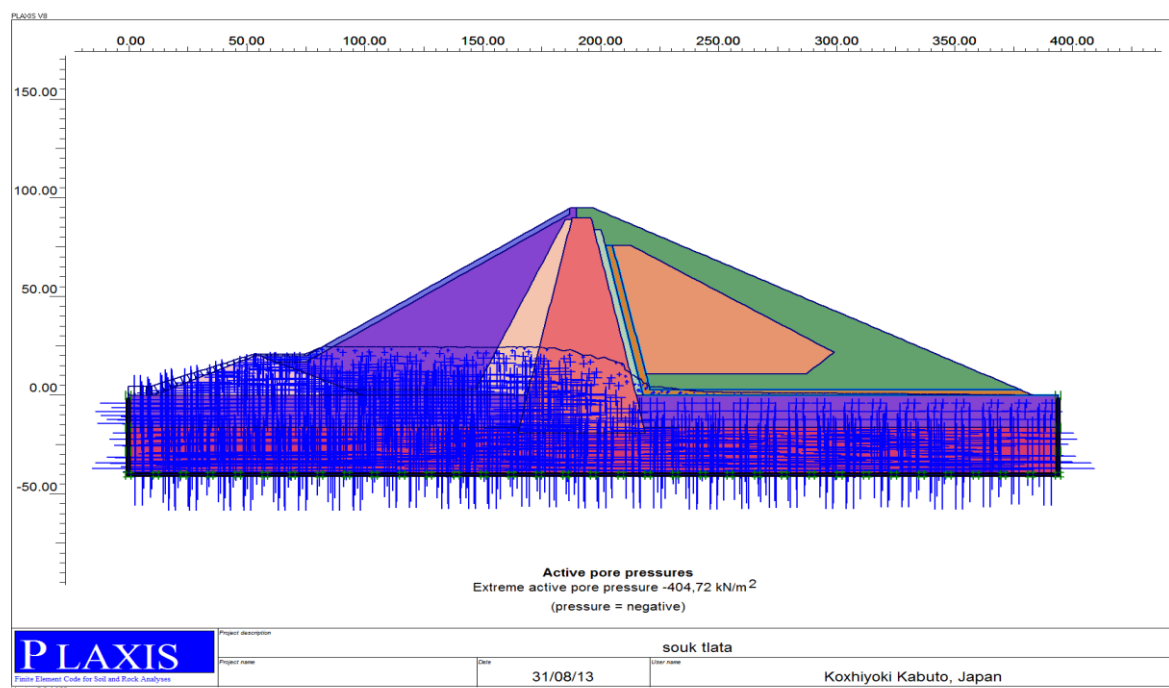


Fig.III.0 8:la pression interstitielle au niveau 25 m

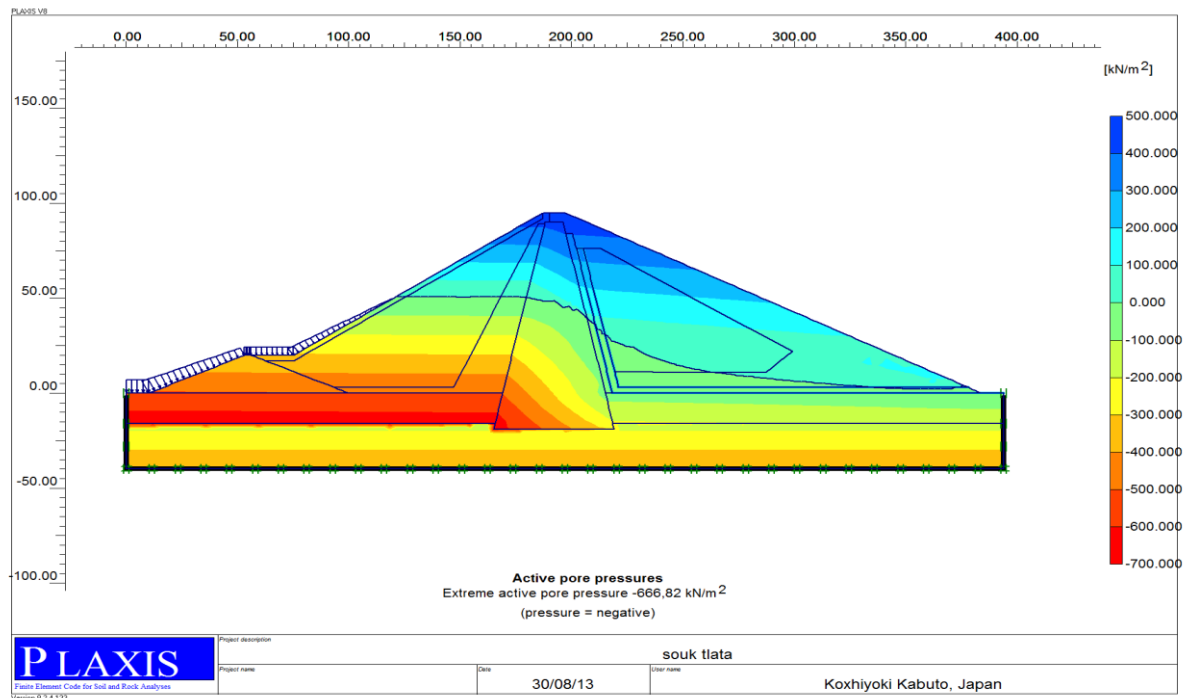


Fig.III.0 9 :la pression interstitielle au niveau 50 m

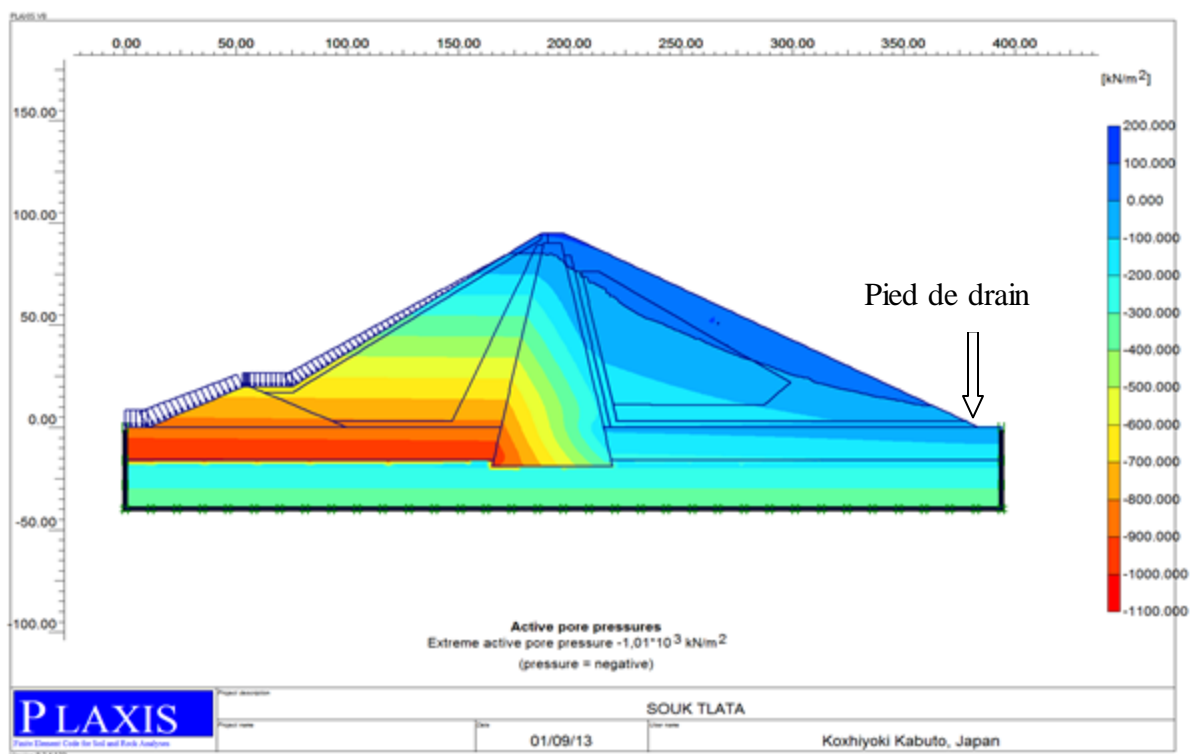


Fig.III.10 :la pression interstitielle au niveau 85 m

✚ On prend la variante $h = 50\text{m}$:

La ligne de saturation est de forme horizontale et se situe dans la partie amont du barrage, son sens d'écoulement : de l'amont vers l'aval se dirige vers le début du noyau ou commence la parabole de Kozeny ensuite elle poursuit en oblique jusqu'à la fin du barrage en aval (pied de drain voir la figure III 10).

La pression interstitielle maximale à ce niveau est de $666,82 \text{ KN/m}^2$ elle se situe à l'amont du barrage au-dessus de la fondation comprise entre les couleurs orange foncé elle est de valeur décroissante en montant vers le niveau de saturation ou elle devient nulle. Dans le substratum elle est trop faible varie entre 100 et 300 KN/m^2 .

Les différentes couleurs qui sont en réalité des lignes de courant prennent la forme qui ressemblent à la ligne de saturation.

➤ Le potentiel hydraulique

La charge hydraulique maximale est de 50 m suit la ligne de saturation de couleur orange se stabilise dans la partie amont et entame en sens décroissant à partir du noyau en forme des flèches jusqu'au point o vers l'aval du barrage.

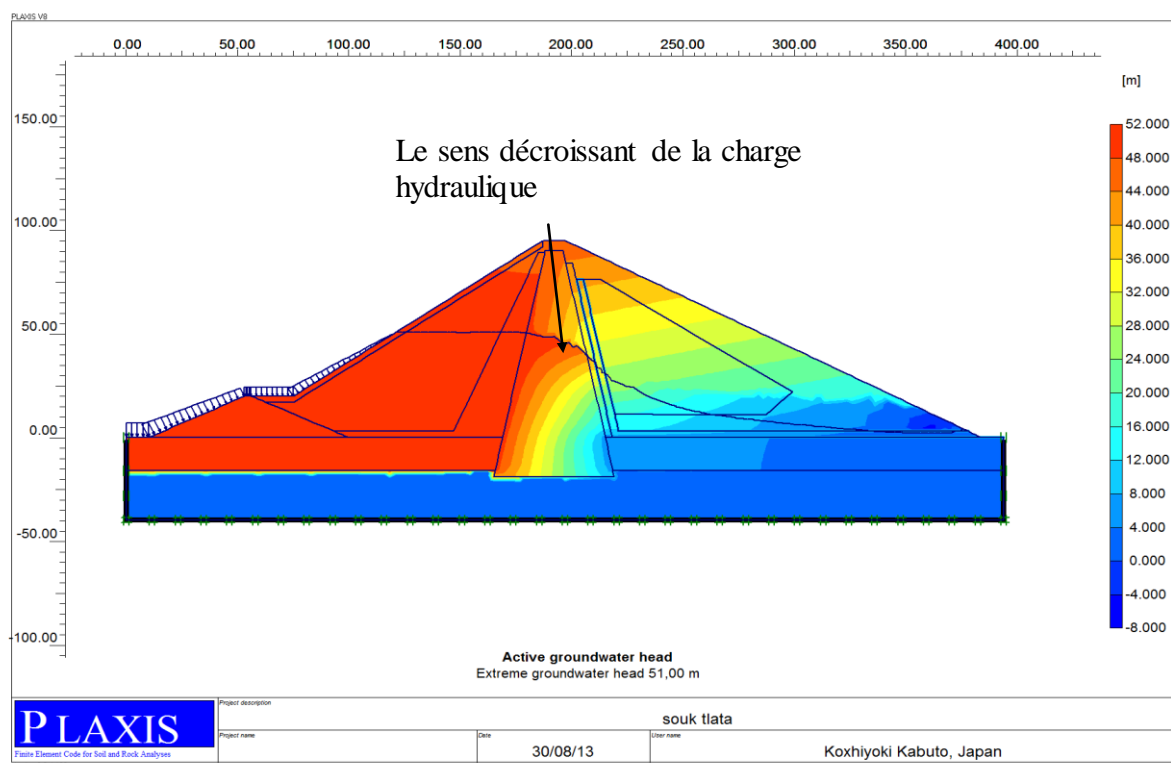


Fig.III.11 : le potentiel hydraulique au niveau 50 m .

➤ Le degré de saturation

On a les différents aspects de saturation du sol comme l'indique la figure ci-dessous :

- état saturé ou le sol est saturé en eau et la succion est nulle. C'est la partie située au-dessous de la ligne de saturation de couleur orange.
- état partiellement saturée du sol ou le degré de saturation est voisin de (1) et la succion est nulle.
- L'état non saturée ou le degré de saturation est inférieur à (1) et la succion non nulle, c'est la partie située au-dessus de la ligne de saturation.
- L'état sec ou la saturation est nulle et la succion est très forte.

Remarque

Les sols non saturés ou partiellement saturés ils contiennent à la fois la phase solide, la phase liquide et la phase gazeuse.

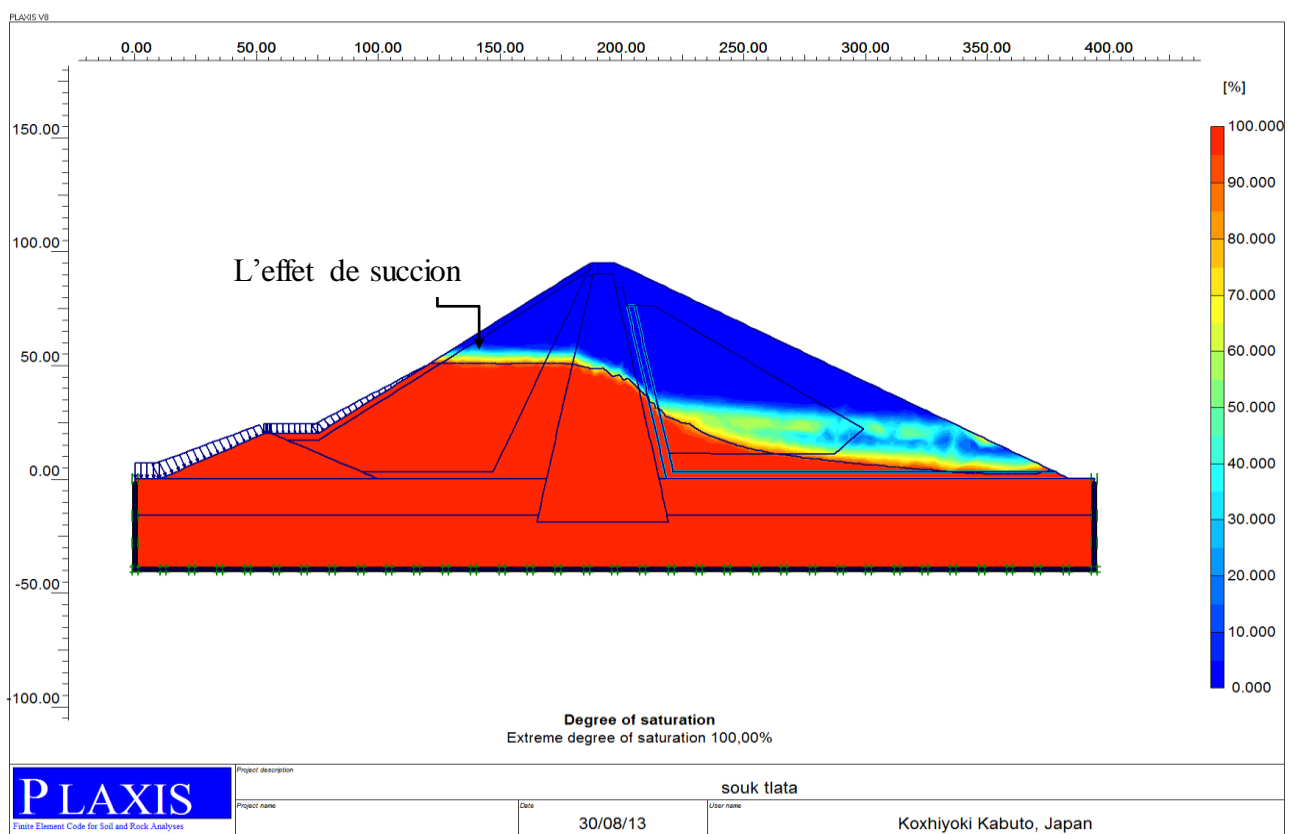


Fig III. 12: le degré de saturation au niveau 50 m

➤ Le champ d'écoulement :

Pour bien préciser les valeurs des vitesses on procède à une coupe verticale AA' dans la partie amont à travers le corps du barrage qui traverse la couche d'alluvion telle que

A(126 ; 50) et A'(125 ; 25) on a constaté la vitesse max est de $1,29 \cdot 10^{-6}$ m/s.

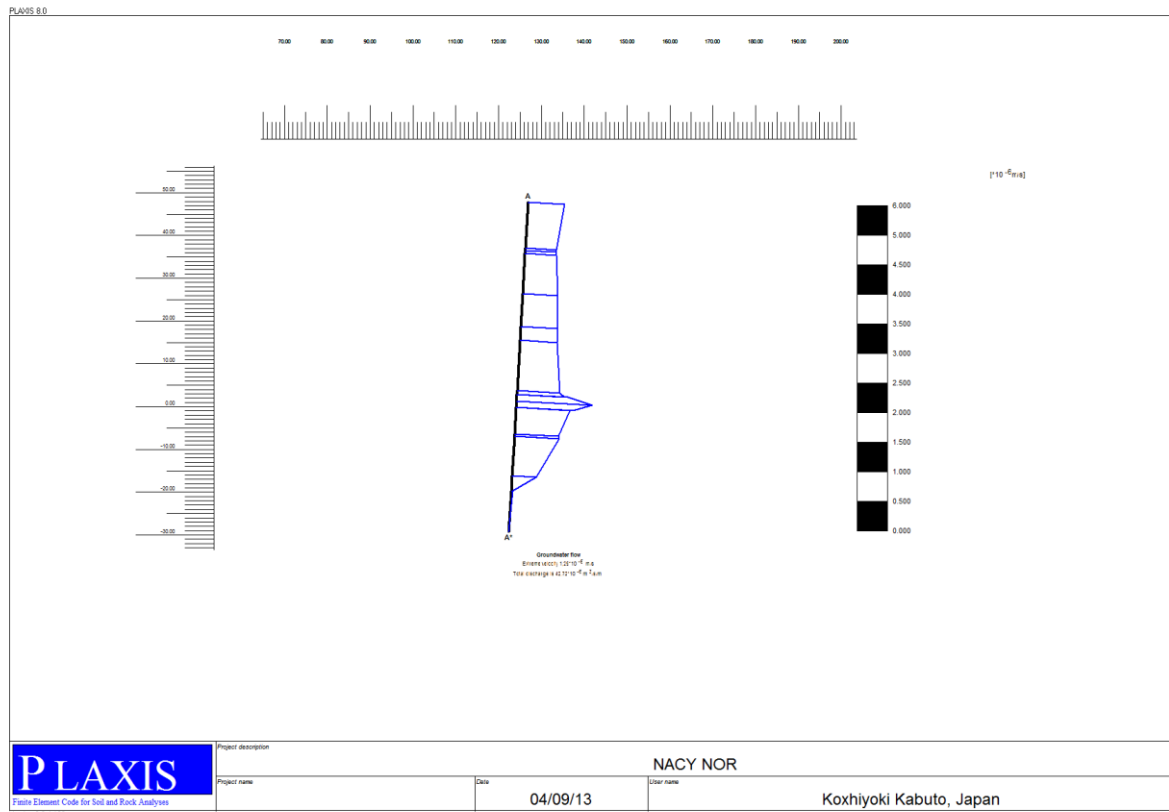


Fig .III.13 : La coupe verticale de la partie amont du barrage

Au niveau du noyau :

Le noyau qui est fait de matériau d'argile diminue la vitesse max d'écoulement qui est de l'ordre de $945 \cdot 10^{-9}$ m/s

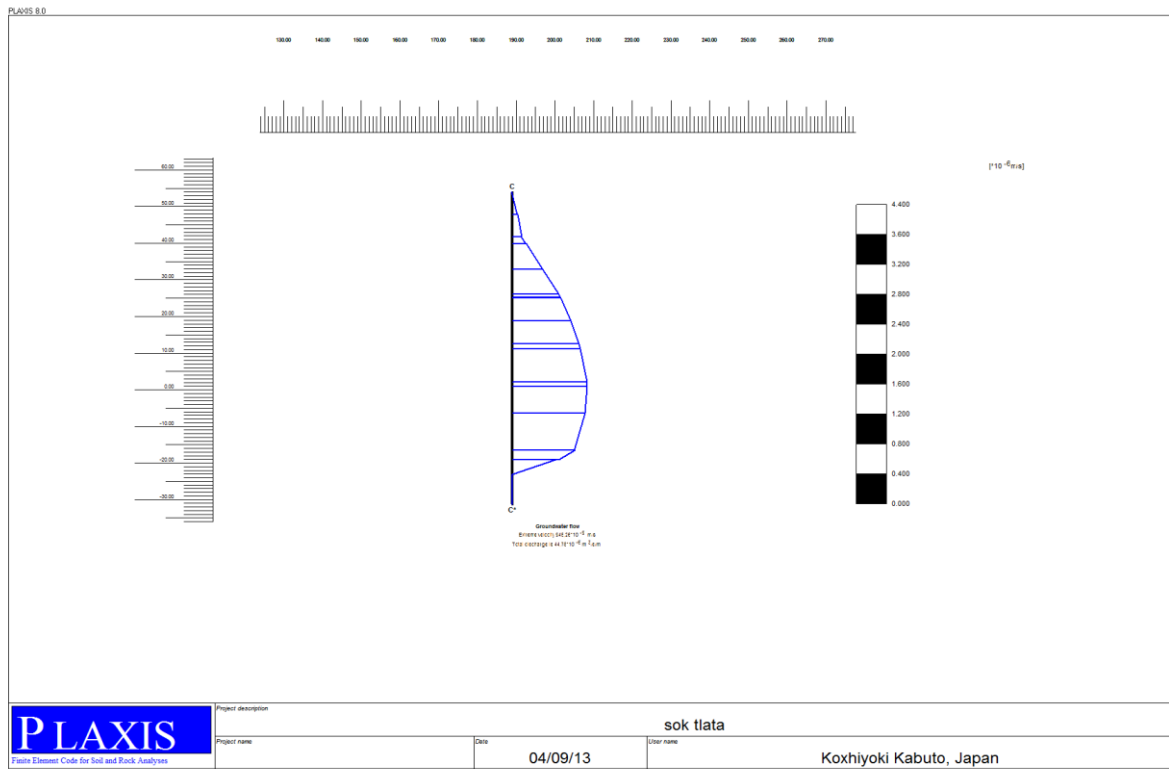


Fig .III .14 : la coupe verticale au niveau du noyau

Et dans la partie avale en remarque que la vitesse augmente dans la couche d'alluvions elle est de l'ordre $1,34 \cdot 10^{-6}$ m/s.

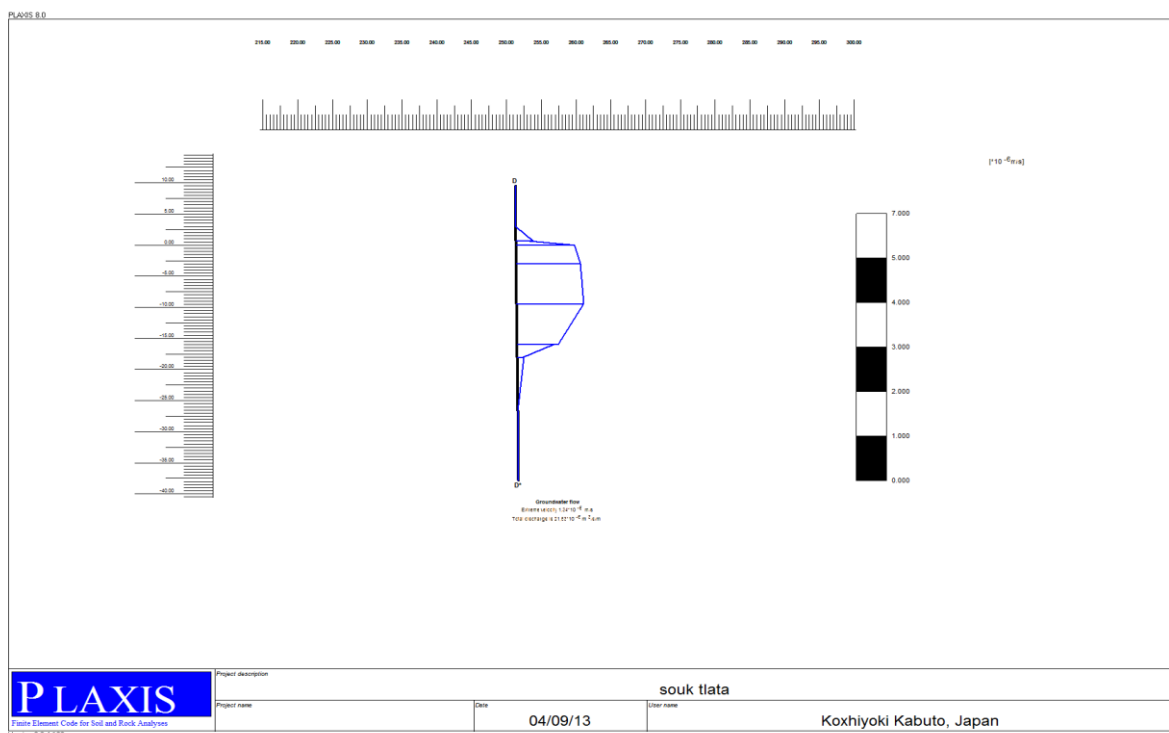


Fig .III .15 : la coupe verticale au niveau de la partie avale

Le champ d'écoulement à travers le barrage est plus important dans la partie avale

Conclusion

la pression interstitielle, le champ d'écoulement, le potentiel hydraulique et le degré de saturation augmentent proportionnellement avec l'augmentation du niveau de la nappe.

Conclusion générale

Après avoir analysé et traité toutes les données et les résultats obtenus dans le thème étude du barrage SOUK TLATA sur l'oued de BOUG-DOURA wilaya de TIZI OUZOU on peut déduire les conclusions suivantes :

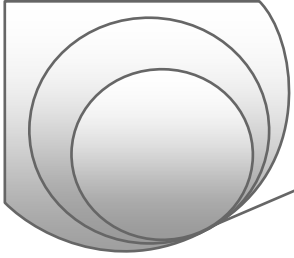
Le site étudié présente de bonnes conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrologiques.

Le bassin versant Acif Tlata se caractérise sous forme peu allongée avec une surface de 465 Km².

La construction du barrage sur l'oued BOUG-DOURA est réalisable. De plus, le choix d'un barrage du type barrage en terre avec un noyau argileux permet l'utilisation de matériaux.

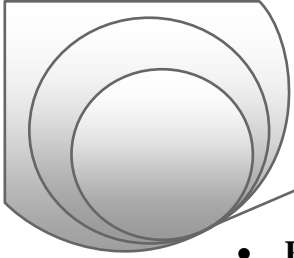
La hauteur du barrage est de 95 m avec une capacité utile de 77,5 hm³ au niveau de la retenue normale (NNR) fixée à 122NGA .

Dans notre travail de modélisation par plaxis on a déduit que la pression interstitielle, le champ d'écoulement, le degré de saturation et le potentiel hydraulique sont proportionnel à la hauteur au niveau de la nappe.

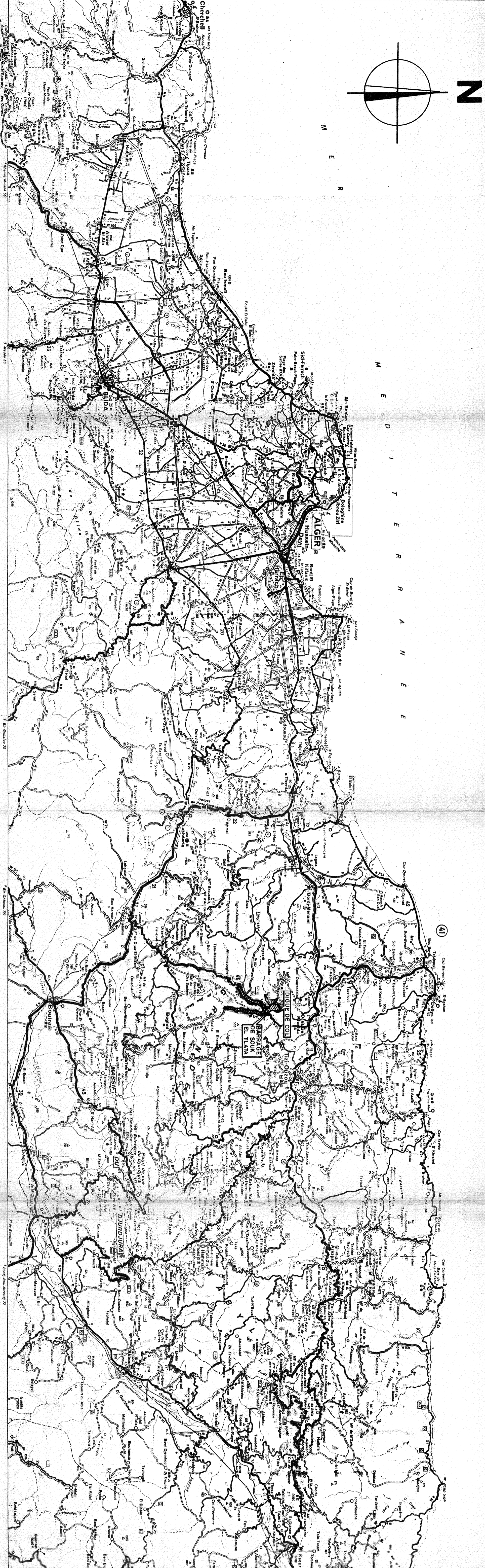


Bibliographie

- Expertise de l'avant projet détaillé du barrage Souk Tlata (document ANBT ALGER).
- **Messaïd Belkacem, 2009** : Etude de la position efficace des drains dans les barrages en terre, thèse doctorat en science hydraulique de l'Université Colonel Hadj-Lakhdar-Batna .
- **Afiri Ryma ,2011-2012**: étude de faisabilité d'un barrage en terre : barrage de souk Tlata Mémoire de Master 2 (Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- **Berkal Kahina , 2011**: étude de faisabilité d'un barrage en terre sur l'Oued Bou-Gdoura, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdellah.
- **Dahlab Fatima et Ouzzir Sofiane et Senoussi Hassaballah ,2005**: étude d'infiltration dans un barrage en terre par la méthode des éléments fini (université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou) .
- **Guenoun Ourdia et Kelali Nabila , 2002-2003** : hydrologie de bassin versant de l'Oued Bou-Gdoura (Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- **Oukacine Zohra et Sait Louiza,1989**: étude de faisabilité du barrage de N'Ait Khellili W.Tizi Ouzou (Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- **Touabia. B et Benlaoukli.B , 2004** : introduction au dimensionnement des retenues collinaires. (ENSH Blida).
- **Ichalalenes Sofiene, 2008** : étude d'un barrage de l'oued El Mellah (Wilaya de Médéa) (Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdellah ENSH).
- **Mouloud Ameziane , 2006/2007** : Calcul numérique de l'écoulement souterrain autour d'un forage ;(Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdellah).
- **Chalah N et Mastar N, 1999**: étude et conception du barrage en terre (Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou).
- **Becue Jean-Pierre** (SAFEGE), avec la participation de coutte **Gérard (ENGERF)** et **Lautrine Danièle** (Cemargref): Choix du site et du type de barrage.



- **Patrick le Delliou , 2003 ;** les barrages : Conception et maintenance, ENTPE collection presses Universitaires de Lyon.
- **Pierre-Alain ROCHE , 2004-2005 :** Cours hydrologie ; Chapitre 6 : Hydrogéologie, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- **BEI ERE ENSAT / ENSIACET / ENSEEIHT 2006** □ Département Hydraulique et Mécanique des Fluides □ .
- Hydraulique souterraine Théorie, 2011 : développements numériques et applications cours □ compléments d'hydraulique □ 3eme Bac Architectes et constructions.
- **Jacques Lérau . 2005 - 2006 :** Cours géotechnique1, Chapitre 2 : Institut National des sciences appliquées de Toulouse.
Département de Sciences et Technologies Pour l'Ingénieur.
- Géotechnique Francophone
www.géotec-fr.org (consultation en ligne et téléchargement).
- www.memoreonline.com (consultation en ligne).
- books.google.fr (consultation en ligne).
- Institut International d'ingénierie de l'eau et l'environnement (2iE) ; Cours □ ouvrages hydrauliques □.
www.foad-2ei-edu.org (téléchargement).
- Hydrogéologie (Eaux souterraines)
www.ulval.ca (consultation en ligne).



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE
 DIRECTION GÉNÉRALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

BARRAGE DE SOUK EL TLATA
 AVANT-PROJET DÉTAILLÉ

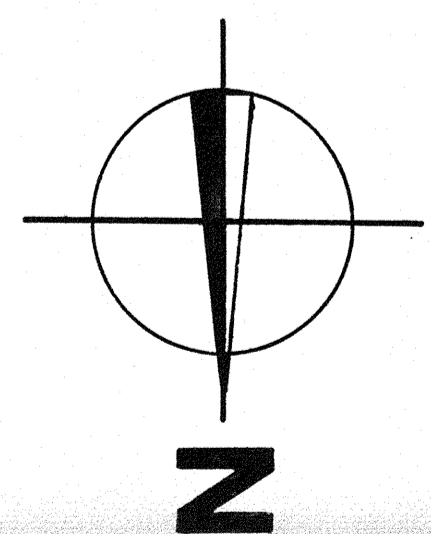
SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE L'AMÉNAGEMENT

Bureau d'études
 Dr. Ing. G. Lombardi
 Locarno (Suisse)

DATE	DESS.	CONSTR.	VISE'	ÉCHELLE
Mai 1971	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	1:300000
A				
B				
C				

540.6-51

376.000
375.000
374.000
373.000
372.000
371.000
370.000
369.000
368.000



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE
DIRECTION GÉNÉRALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

BARRAGE DE SOUK EL TLATA

AVANT-PROJET DÉTAILLÉ
SITUATION GÉNÉRALE
DU BARRAGE ET DU RESERVOIR

Bureau d'études	DATE	DRESS.	CONSTR.	VISÉ	ÉCHELLE
Dr. Ing. G. Lombardi	MAR 1991	Ing. G. Lombardi	Ing. G. Lombardi	Ing. G. Lombardi	1:10000
Locarno (Suisse)	30/03/91	Ing. G. Lombardi	Ing. G. Lombardi	Ing. G. Lombardi	540.6-52