



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

*Université Badji-Mokhtar Annaba*

*Faculté des sciences de l'ingénierie*

*Département hydraulique*

# MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE SCIENCES ET TECHNIQUES

FILIERE HYDRAULIQUE

OPTION AOH

Modélisation de l'infiltration et de la stabilité du barrage

Boukhroufa El-tarf en 3D

**Présenté par :**

MAMOUR Ismail

TILBI SeifEddine

BOUDERBALLAH Badr Eddine

**Dirigé par :**

- Pr Meksaouine Mohamed

**Jury de soutenance:**

-Mrs KHERICI Houria	Président	Professeur	UBMA-ANNABA
-Mr AMARCHI hocine	Examineur	Professeur	UBMA-ANNABA
-Mrs BENABDSELLAM Tamara	Examineur	MCA	UBMA-ANNABA
-Mr Adjaj Mostapha	Invité		UBMA-ANNABA

## ***Remerciements***

***Nous remercions en premier lieu ; dieu le tout puissant, pour son aide et sa grande miséricorde, car ; c'est grâce à lui que nous sommes arrivés à accomplir et à présenter modeste travail.***

***Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr meksawine et Mr Adjaj Mostapha ; pour tous ses conseils et encouragements qui nous ont conduits à réaliser ce travail intéressant.***

***Nous remercions également les responsables, le personnel et enseignants de département d'hydraulique pour leur disponibilité.***

***Grand merci aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet***

## ***Dédicaces***

***Nous rends un grand hommage à travers ce modeste travail en signe de respect de reconnaissance envers :***

- ❖ Mon Père et ma mère qui ont beaucoup sacrifiée pour l'affection qu'il m'a toujours portée***
- ❖ A mon frère (walid) et toute ma famille***
- ❖ A mes amis et toute ma famille du département d'hydraulique***

## ***Dédicaces***

***Nous rends un grand hommage à travers ce modeste travail en signe de respect de reconnaissance envers :***

- ❖ Mon Père et ma mère qui ont beaucoup sacrifiée pour l'affection qu'il m'a toujours portée***
- ❖ A mon frère (sofaine) et toute ma famille***
- ❖ A mes amis et toute ma famille du département d'hydraulique***

## ***Dédicaces***

***Nous rends un grand hommage à travers ce modeste travail en signe de respect de reconnaissance envers :***

- ❖ Mon Père et ma mère qui ont beaucoup sacrifiée pour l'affection qu'il m'a toujours portée***
- ❖ Mes sœur et toute ma famille***
- ❖ A mes amis et toute ma famille du département d'hydraulique***

## **Résumé**

***Le barrage Boukhroufa ,en pleine construction, permettra sans aucun doute de subvenir, avec d'autres barrages tel que Boulatane et Bounamousa, aux besoins hydriques, entre autre l'alimentation en eau potable et l'irrigation de la région d'El Tarf.***

***Ce modeste travail s'inscrit dans l'étude de la faisabilité de ce barrage.En effet, deux points y ont été traités :***

- une initiation au logiciel d'éléments finis de dernière génération, soit le logiciel MIDAS GTS NX,***
- ainsi que son application à l'étude d'infiltration et de stabilité de cet ouvrage.***

## ***Summary***

***The Boukhroufa dam, which is under construction, will undoubtedly provide water supply, along with other dams such as Boulatane and Bounamousa, for drinking water and irrigation in the El Tarf region.***

***This modest work is part of the study of the feasibility of this dam. In fact, two points were treated there:***

***-An introduction to the latest generation of finite element software, MIDAS GTS NX software,***

***- And its application to the study of infiltration and stability of this work.***

## ملخص

السد بوخروفة, الذي هو قيد الإنشاء سيوفر إمدادات لمياه الشرب و الري, بالإضافة إلى سدود أخرى مثل سد بولطان و بوناموسة.

هذا العمل المتواضع هو جزء من دراسة جدوى السد و تم التطرق إلى نقطتين هما

مقدمة لأحدث جيل من برنامج العناصر المحددة و هو برنامج

**midas GTS.NX**

تطبيق هذا البرنامج في دراسة تسريب و استقرار هذا السد

# SOMMAIRE

## CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES BARRAGES EN TERRE

1.1 LES BARRAGES EN TERRE.....	1
1.2 LES BARRAGES EN ENROCHEMENT .....	2
1.2 .1 . CARACTERISTIQUES PRINCIPALES.....	2
1.2 .1 .1 . FORME ET STRUCTURE DES OUVRAGE.....	2
1.2 .1 .2 .DEFINITION DU PROFIL GENERAL DES BARRAGES EN TERRE.....	2
1.2 .1 . 3. DRAINS ET FILTRES DU BARRAGE EN TERRE.....	5
1.2 .1 . 4 .CLASSIFICATION DES BARRAGES EN TERRE.....	7

## CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU BARRAGE BOUKHROUFA

2 : présentation et objectifs de l'aménagement .....	11
2.1 Situation.....	11
2.2 La topographie .....	12
2.3 DESCRIPTION GENERALE DES TRAVAUX.....	12
2.3.1 Objectifs de l'aménagement.....	12
2.3.2 Données générales sur l'aménagement .....	13
2.3.3 : fiche synoptique du projet.....	13
2 .3.3.1 Hydrologie.....	13
2 .3.3.2 Retenue du barrage.....	14
2.3.4 Description des ouvrages à réaliser.....	14
2.3.4.1 Digue.....	14
2.3.4.1.1 Aperçu des conditions géologiques.....	14
2.3.4.1.2 Description de la digue.....	15
2.3.4.1.3 Voile d'étanchéité .....	17
2.3.4.1.3.1 L'étanchéité de la fondation .....	17
2.3.5 Galerie d'injection sous la digue .....	18

2.3.5.1 puits et galeries d'accès .....	19
2.3.5.2 galeries de dérivation (provisoire) .....	19
2.3.6 Vidange de fond.....	19
2.3.7 Tour de prise d'eau .....	20
2.3.8 Dérivation provisoire puis transformation en vidange de fond et accès à la tour de prise .....	21
2.3.9 Évacuateur de crue .....	21
2.3.10 forages.....	23
2.3.10.1 – Généralités.....	23
2.3.10.2 Forages de reconnaissance.....	23
2.3.10.2.1 .Exécution.....	23
2.3.11 GEOLOGIE DE LA CUVETTE.....	24
2.3.11.1 Généralité .....	24
2.3.12 Le choix de type du barrage en terre.....	25

### **CHAPITRE 3 : PRESENTATION DU LOGICIEL MIDAS GTS NX**

<b>3.1 : INTRODUCTION.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 : SOLVEUR INTEGRE OPTIMISE POUR LES PLATES –FORMES 64BITS.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 : modèles complexes, modélisation simple.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 : modélisation su monde normal.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Génération de rapports d'analyse complète.....</b>	<b>29</b>

### **CHAPITRE 4 : Exploitation du logiciel : Midas GTS.NX**

4.1 : Introduction .....	30
4.2 Saisie des données :.....	30
4.3 Modélisation de l'écoulement au niveau du corps du barrage :.....	33
4.4 Modélisation de la stabilité du barrage par la méthode SRM:.....	38
4.5 Conclusion.....	40

## **CHAPITRE 5 Conclusion générale et perspectives**

Conclusion générale .....	41
---------------------------	----

## Sommaire

### **CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES BARRAGES EN TERRE.**

<i>Figure 1 : Barrage en terre .....</i>	<i>1</i>
<i>Figure 1.1 : schéma de répartition des tranches dans la retenue.....</i>	<i>2</i>
<i>Figure1.2 :Barrage homogène.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure1 .3 : Barrage à zones.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure1.4 :Barrage à noyau.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure1.5 : Barrage à diaphragme.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure1.6 : Barrage à masque.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure1.7 : Barrage avec para fouille.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure1.8 : Barrages avec noyau et rideau de palplanche.....</i>	<i>10</i>

### **CHAPITRE 2 : présentation du barrage boukhroufa**

<i>Figure 2.1 : situation de barrage boukhroufa.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure2.2 : image topographie de barrage boukhroufa.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure2.3 : vue en plan des injections des plots d'essai.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure2.4: dérivation provisoire.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure2 .5: évacuateur de crues.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure2.6 : machine de forage.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure2.7 : la topographie de la cuvette.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure2.8 : les ouvrages du barrage.....</i>	<i>26</i>

### **CHAPITRE 3 : présentation de logiciel**

<b>Figure 1 – Comparaison.....</b>	<b>27</b>
------------------------------------	-----------

### **CHAPITRE 4 : Exploitation du logiciel : Midas GTS.NX**

<i>Figure 4.1 : fenêtre générale de logiciel .....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 4.2: Squelette du Barrage de Boukhroufa En 3D.....</i>	<i>30</i>

<i>Figure4.3Terrain Geometry Maker.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure4.4: import TMS File.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure4.5 : Projection des ouvrages de La Digue Sur le terrain naturel.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 4.6 : Maillage.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure4.7 Fixation des nœuds périphérique en translations et en rotation.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure4.8Générer fonction limite d'infiltration.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 4.9Paramétrage de l'ensemble des phases de l'analyse.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 4.10: Ecoulement à travers le barrage état initial (plein).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 4.11: Lignes d'Ecoulement à travers le corps du barrage (état initial).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 4.12: Pression interstitiel état initial (plein).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 4.13: Ecoulement à travers le barrage en vidange rapide.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 4.14: Pression interstitielle vidange rapide.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 4.15: Déplacement barrage fin de construction.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 4.16: Stabilité (SRM) barrage vide (pas d'eau).....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 4.17: Stabilité (SRM) barrage avec niveau d'eau bas (20 m).....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 4.18: Stabilité (SRM) barrage plein.....</i>	<i>39</i>

## **Sommaire**

### **CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES BARRAGES EN TERRE.**

*Tableau 1 .1 : Revanche minimale en remblai en fonction de  $H^2VV$ .....4*

*Tableau1 .2 :Largeur minimale en crête.....4*

*Tableau1 .3 : Hauteur du barrage et la pente du talus.....5*

*Tableau1.4 : La pente de talus pour barrage de remblayage hydraulique.....5*

### **CHAPITRE 2 : présentation du barrage boukhroufa**

*Tableau2.1: calcul d'hydrologie.....13*

*Tableux2.2:calcul de retenue du barrage.....14*

### **CHAPITRE 4 : Exploitation du logiciel : Midas GTS.NX**

*Tableaux4.1 : matériaux du sol.....33*

## **1. GENERALITES SUR LES BARRAGES EN TERRE :**

### **1.1 LES BARRAGES EN TERRE**

*Le terme « terre » doit être, pour les ingénieurs, pris dans le sens le plus large du mot et sert à désigner toute sorte de matériaux terreux comprenant non seulement les différents sols définis par le pédagogue, mais aussi l'ensemble des matériaux provenant de la désagrégation ou de la décomposition des roches.*

*Les barrages en terre sont des murs de retenue d'eaux suffisamment étanches construits avec la terre et les matériaux du site suivant des mélanges et des proportions bien définies.*

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

*Le barrage homogène ;*

*Le barrage à noyau étanche ;*

*Le barrage à masque d'étanchéité.*

*Le barrage en terre homogène est constitué d'un massif en terre compactée imperméable, muni d'un dispositif de drains dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet du batillage dans sa partie amont.*

*Souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettent pas d'envisager une digue homogène étanche. Dans ce cas, une solution couramment adoptée consiste à concevoir un massif en plusieurs zones, dont chacune est constituée d'un matériau argileux qui pourra être placé en amont du barrage une couche de roche triée.*



**Figure 1 : Barrage en terre**

## **1.2 LES BARRAGES EN ENROCHEMENT**

*Le barrage en enrochement peut être constitué uniquement d'un matériau imperméable, tel que l'argile. Il peut également avoir un noyau central imperméable, vertical ou incliné, compris entre des massifs d'appui (à l'aval) ou de protection (à l'amont). Ce massif peut être fait de matériaux plus perméables, tels que le gravier sableux. Sur la face en contact avec l'eau, on dispose parfois d'un tapis d'étanchéité souple, ou « masque », réalisé avec des produits bitumineux qui s'adapte bien à la surface à couvrir et à un éventuel tassement du barrage. Le noyau peut s'étendre bien plus bas que le niveau de la fondation du barrage principal, dans le but de réduire le suintement.*

### **1.2 .1 . CARACTERISTIQUES PRINCIPALES :**

#### **1.2 .1 .1 . FORME ET STRUCTURE DES OUVRAGES :**

*Les barrages en terre, en général, ont une forme de trapèze et ils comprennent les trois parties suivantes :*

*a)CORPS DU BARRAGE*

*b) DISPOSITIFS DE PROTECTION CONTRE LES INFILTRATIONS*

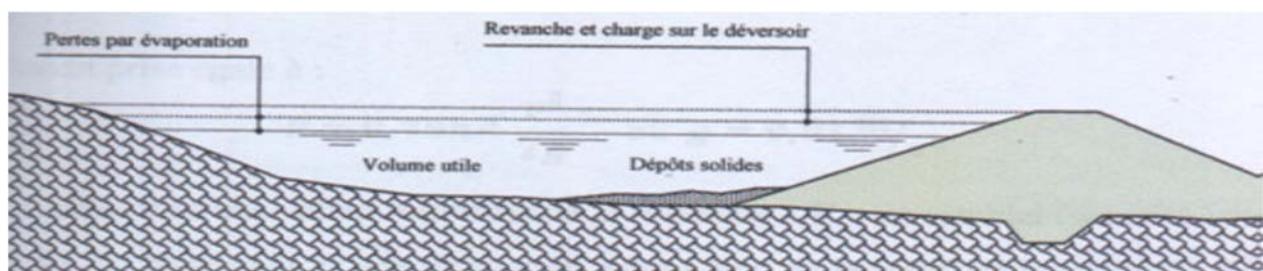
*c) DRAINAGE*

#### **1.2 .1 .2 .DEFINITION DU PROFIL GENERAL DES BARRAGES EN TERRE :**

Le type de barrage en terre envisagé étant choisi selon les conditions locales du site et l'importance de l'ouvrage .L'étape suivante des études consiste à définir le profil général du barrage.

##### **-HAUTEUR DU BARRAGE :**

La hauteur totale du barrage sera égale à la hauteur normale de la retenue des eaux majorée de la charge maximale au –dessus du seuil du réservoir de crues et de la revanche (figure 1.1)



**Figure 1.1 : schéma de répartition des tranches dans la retenue**

**\_ NIVEAU NORMAL DE RETENUE :**

La hauteur de retenue est calculée compte tenu de la capacité utile à stocker, de la tranche morte, éventuellement prévue en fond de retenue pour emmagasiner les dépôts, et de la tranche correspondant aux pertes par évaporation et par infiltration.

**\_ NIVEAU DES PLUS HAUTES EAUX :**

La charge maximale au – dessus du réservoir de crue dépend des caractéristiques de l'évacuateur de crues définies en fonction de l'hydrologie du bassin versant et du laminage des crues de la retenue. Elle est déterminée par l'étude de l'évacuateur décrues. On appelle niveau des plus hautes eaux le niveau normal de retenue majoré de la charge sur le déversoir de crue.

**\_ REVANCHE :**

La revanche R qui est la différence de cote entre les PHE (Plus Hautes Eaux correspondant la crue de projet) et la crête pour éviter la submersion du remblai par les vagues, il existe plusieurs formules basées notamment sur la vitesse du vent U et la longueur du plan d'eau (ou fetch) F, qui permettent d'abord de calculer la hauteur des vagues h (en considérant la Direction la plus défavorable pour le couple F, U). Il est proposé de retenir la formule de BRETSCHNEIDER qui est adaptée aux retenues modestes (superficie < 100 ha). Cette formule tient compte de la profondeur de l'eau D à proximité du barrage

La valeur de U est la vitesse du vent trentenaire de durée une heure.

U : vitesse du vent (m/s)

D : profondeur de l'eau (m)

F : longueur du fetch (m)

g : accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>)

$$H = 0.26 \cdot th \left[ 0.578 \cdot \left( \frac{g \cdot D}{U^2} \right)^{3/4} \right] \cdot \left[ \frac{0.01 \left( \frac{g \cdot F}{U^2} \right)^{1/2}}{th \left[ 0.578 \cdot \left( \frac{g \cdot D}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right]^3 \cdot \frac{U^2}{g}$$

La vitesse de propagation des vagues v peut être évaluée par la formule de GAILLARD :

$$v = 1,5 + 2 h \quad (1.2)$$

Où  $h$  en m et  $v$  en m/s.

La revanche est prise égale à  $R = 0,75 h + v^2/2g$  où  $g = 9,81$  m/s.

Il est préconisé une valeur minimale de la revanche  $R$  en remblai (sécurité aussi vis-à-vis des PHE, du tassement, d'une fissuration amont-aval de la crête) en fonction de  $H^2V$  (, ce Minimum étant pris égal à  $(H^2V) 1/4/4$ . Des résultats se trouvent dans le tableau 1.1. Bien entendu, si les calculs à l'aide des formules de BRETSCHNEIDER et GAILLARD, donnent une valeur supérieure de la revanche, c'est cette dernière qu'il faut retenir. Dans ce cas, un parapet souple (par exemple en gabions) peut éventuellement assurer la protection entre  $R$  minimum et  $R$  calculée. Lorsque le remblai est zoné et comporte un noyau étanche avec une recharge amont perméable, ce dernier doit au moins atteindre la cote [ $PHE + 0,5 R$  min].

**Tableau 1 .1 : Revanche minimale en remblai en fonction de  $H^2V$**

$H^2\sqrt{V}$	5	30	100	300	700	1500
<b>R minimum en m (remblai)</b>	<b>0.40</b>	<b>0.60</b>	<b>0.80</b>	<b>1.05</b>	<b>1.30</b>	<b>1.55</b>

Il faut tenir compte du tassement des fondations et du tassement du remblai qui reproduisent essentiellement pendant une période de quelques mois à quelques années après l'afin des travaux et donc réaliser une contre-flèche en crête (au-dessus des PHE ; on a donc  $R + \text{contre-flèche}$  qui diminue avec le temps). Pour le remblai seul, le tassement après construction peut être estimé à 1 % de sa hauteur (et même moins pour les hauteurs inférieures à 15 mètres). Une contre-flèche optique qui permet d'améliorer l'aspect visuel peut être ajoutée. Dans le cas d'un barrage zoné, le noyau doit avoir la même contre-flèche.

LA CRETE : La largeur en crête  $L$  est en général déterminée par l'une des formules suivantes où  $H$  est la hauteur du remblai en mètres :

$$L = 1/3 H ; L = 1,65 H^{1/2} ; L = 3,6 H^{1/3} - 3$$

Avec  $L = 3$  m comme valeur minimale, afin de permettre la circulation des engins. Le Compactage des dernières couches peut nécessiter une largeur supérieure. La largeur en crête dépend aussi de l'utilisation de cette dernière (chemin, route). Pour les barrages zonés, elle dépend également du nombre de zones au niveau de la crête. Les largeurs minimales suivantes sont proposées :

$H^2\sqrt{V}$	<100	Entre 100 et 300	>300
<b>L minimum en m (remblai)</b>	<b>3 m</b>	<b>4 m</b>	<b>5 m</b>

**Tableau1 .2 :Largeur minimale en crête**

**a) PENTE DES TALUS:**

La largeur à la base d'un barrage en terre est déterminée par la pente des talus des parements. Les valeurs des pentes habituelles sont comprises entre 1/3 et 1/1,5, ce qui donne ces ouvrages des épaisseurs à la base très importante (par exemple, 600 m pour 100 m de hauteur). La pente des talus est souvent plus faible à la base de l'ouvrage. Si le sol de la fondation n'est pas moins solide que le sol du corps du barrage, la pente des talus du barrage de remblai peu être pris comme suit (tab 1. 3)

Hauteur du barrage (m)	La pente des talus	
	Talus amont $m_1 = \cot \alpha_1$	Talus aval $M_2 = \cot \alpha_2$
<5	2-2.50	1.5-1.75
5-10	2.25-2.75	1.75-2.25
10-15	2.5-3	2-2.5
15-50	3-4	2.5-4
>50	4-5	4-4.5

**Tableau1 .3 : Hauteur du barrage et la pente du talus**

Pour le barrage de remblayage hydraulique, la pente des talus peut être comme suit (tab1 .4)

Barrage	Sol de la fondation	La pente des talus amont et aval
Barrage hétérogène en gravier terre avec noyau	Rocheuse, Argile solide	3-4
Barrage homogène	Sableuse, Argile-sableuse	4-5

**Tableau1.4 : La pente de talus pour barrage de remblayage hydraulique**

Pour les barrages de grand hauteur on établit les bermes avec un écartement vertical de 10-15m .La largeur des bermes n'est pas inférieure à 1-2 m .Si les bermes sont utilisées pour la voie de communication, leur largeur n'est pas inférieure à 3m .Les bermes permettent de diminuer la pente moyenne des talus et d'améliorer la condition de la stabilité

**1.2 .1 . 3. DRAINS ET FILTRES DU BARRAGE EN TERRE :**

**a) : ROLEDES DRAINS ET FILTRES :**

*Du fait de la charge hydraulique à l'amont du barrage, l'eau s'infiltré progressivement dans le massif même du barrage et dans ses fondations, bien que le choix des matériaux de construction et de l'implantation de l'ouvrage aient été fait de manière à limiter les débits d'infiltration*

*Un drain est un organe qui évacue les eaux provenant d'une infiltration à travers un massif ou d'un ressuyage*

*Un filtre est un organe destiné à bloquer la migration des particules fines éventuellement entraînées par la circulation de l'eau dans un massif.*

*Filtre et drain sont le plus souvent associés, le filtre pouvant jouer lui-même le rôle de drain, surtout dans les petits ouvrages*

**b) : CONSTITUTION DES DRAINS ET FILTRES :**

*Les drains sont constituées, soit de graviers perméables, soit d'éléments de tuyaux en béton poreux ou en plastique perforé également entourés d'une couche de graviers. Les filtres sont constitués des couches successives des matériaux perméables, de*

*Granulométries de plus en plus fines assurant la transition entre le drain et les éléments fins des terres drainées. Dans un filtre, chaque couche doit jouer le rôle de filtre vis-à-vis de la précédente dans le sens de l'écoulement de l'eau*

**c):TYPES DES DRAINS ET FILTRES DANS UN BARRAGE EN TERRE :**

*1°) drain prisme : il est utilisé dans le cas, où la quantité des enrochements est suffisante pour la construction et dans la période de construction le drain-prisme est utilisé en qualité des batardeaux .La crête du drain soit être supérieure au niveau d'eau en aval*

*Le drain-prisme est utilisé le plus souvent pour raisons :*

*\_ structure est simple*

*\_ Augmentation de la stabilité du parement aval*

*2°) drain tapies superficiel : il est utilisé dans le cas, où la quantité des enrochements n'est pas suffisante et il est nécessaire seulement pour la protection du talus aval, non pas pour l'abaissement de la ligne de saturation*

*3°) drain tuyau il est utilisé seulement dans le cas de l'absence de l'eau dans l'aval .Pour évacuer l'eau d'infiltration vers l'aval on établit des tuyaux d'évacuation de l'eau avec un écartement de 50m ; ce type de drain abaisse bien la ligne de saturation et la pression de filtration dans la fondation*

4°) *drain tapies internes* : il est utilisé dans le cas de l'absence de l'eau en aval .Pour évacuer l'eau du drain vers l'aval on établit aussi les tuyaux avec un écartement de 50 m, il est permet :

\_ D'abaisser bien la ligne de saturation

\_ évacuer bien l'eau de filtration à travers le barrage et sa fondation

5) *drain combiné* : il a des avantage de tous les deux types de drains examinés plus haut, c'est pourquoi, s'il ya une quantité suffisante de matériaux on établit souvent des drains combinés

#### 1.2 .1 . 4 .CLASSIFICATION DES BARRAGES EN TERRE :

Tous les barrages en terre peuvent être classifiés comme suit :

a) Selon la construction du corps du barrage : (fig. 1.3)

- *Barrage en terre homogène* : est le plus facile à réaliser ; il constitué d'un massifient terre compactée imperméable, muni d'un dispositif de drain dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet du batillage dans sa partie amont

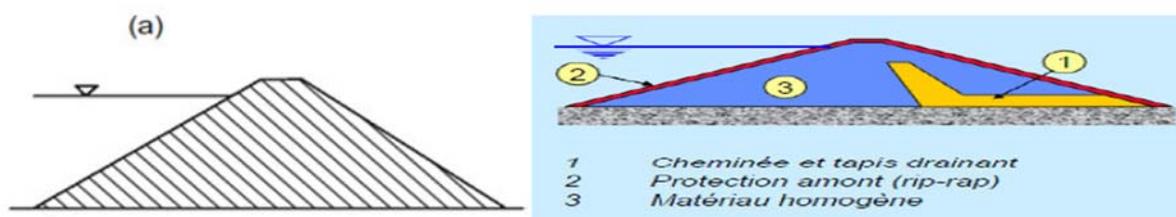


Figure1.2 :Barrage homogène

- *Barrage à zones* : ils sont des barrages en remblai constitués de plusieurs types des matériaux disposés de façon à assurer séparément les fonctions de stabilité du barrage et d'étanchéité. Le découpage du corps du barrage en matériaux différents est appelé zonage. Il permet de faire de grandes économies dans les volumes mis en œuvre et d'utiliser au mieux les matériaux disponibles sur le site. Il existe autant de types de zonages que de barrages dans la mesure où chaque ouvrage est conçu en fonction des matériaux trouvés sur le site ou immédiatement à proximité



Figure1 .3 : Barrage à zones

- Barrage à noyau (fig. : 1. 4): souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettent pas d'envisager une digue homogène étanche. Dans ce cas une solution couramment adoptée consiste à concevoir un massif en plusieurs zones, dont chacune est constituée d'un matériau différent, suivant le rôle que doit jouer chaque zone.

La fonction d'étanchéité est assurée par un noyau étanche réalisé en matériau argileux qui pourra être placé en amont du barrage (fig. :1.4/ C2) ou au centre de celui-ci (fig. :1.4/ C1)

Le noyau étanche est maintenu par une ou plusieurs zones constituées de matériaux plus grossiers et relativement perméables, qui assureront la stabilité mécanique de l'ouvrage. Lorsqu'il ya discontinuité importante dans la granularité des matériaux des différentes zones en contact, il y a lieu d'interposer une couche filtrante de transition entre zones. Le noyau étanche en terre peut être remplacé par un écran interne de la paroi moulée.

Le noyau interne a le gros avantage d'être peu sensible aux agressions extérieures .C'est, on outre une solution rustique, à la longue durée de vie, en général relativement peu couteuse il présente l'inconvénient d'être difficilement réparable en cas de fuit.

L'étanchéité du barrage doit être éventuellement prolongée dans ses fondations soit par ancrage du noyau, soit en réalisant au- dessous du noyau une coupure étanche telle que paroi moulée, rideau d'injection.

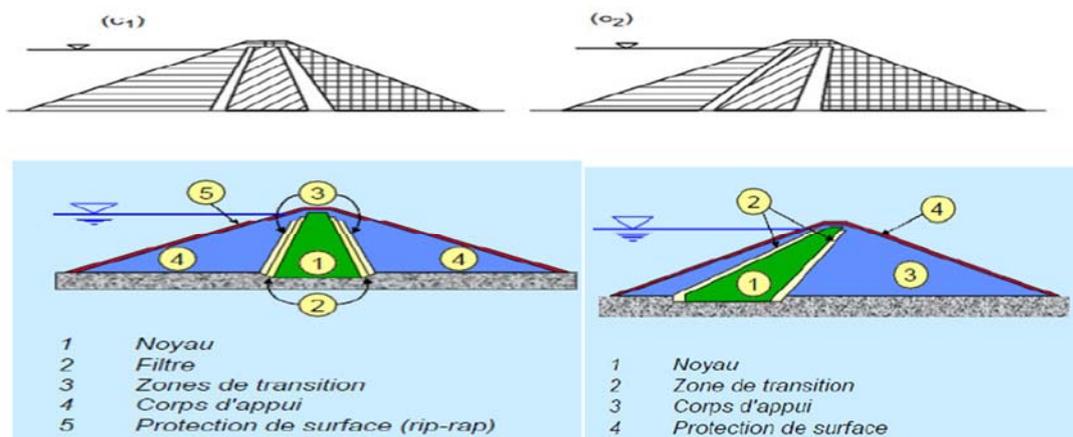
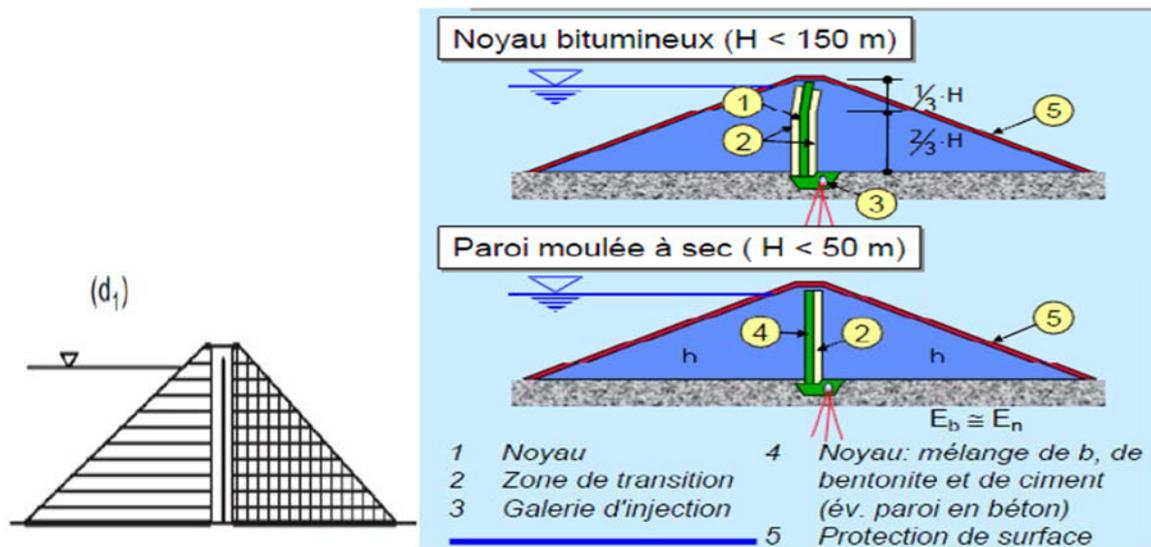


Figure1.4 :Barrage à noyau

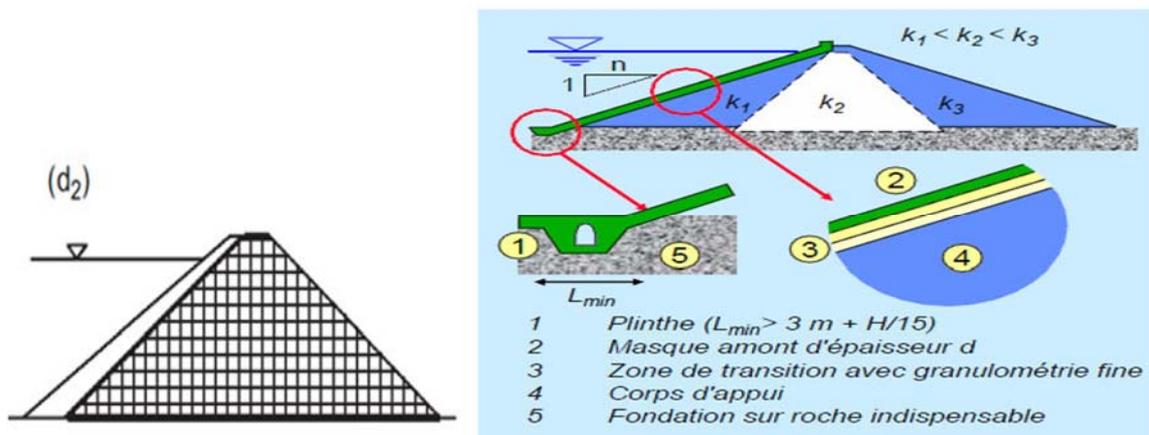
**- Barrage à diaphragme**



**Figure1.5 : Barrage à diaphragme**

- Barrage à masque : la réalisation d'un noyau étanche peut présenter des difficultés telles que manque de matériaux convenables, difficulté de mise en œuvre, etc. On devra comparer alors cette technique à celle d'une digue homogène à masque amont étanche.

Le masque amont est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage. Il existe de nombreuses natures de masque étanche telles que le béton de ciment ou bitumineux, chapes préfabriquées, membranes étanches etc.



**Figure1.6 : Barrage à masque**

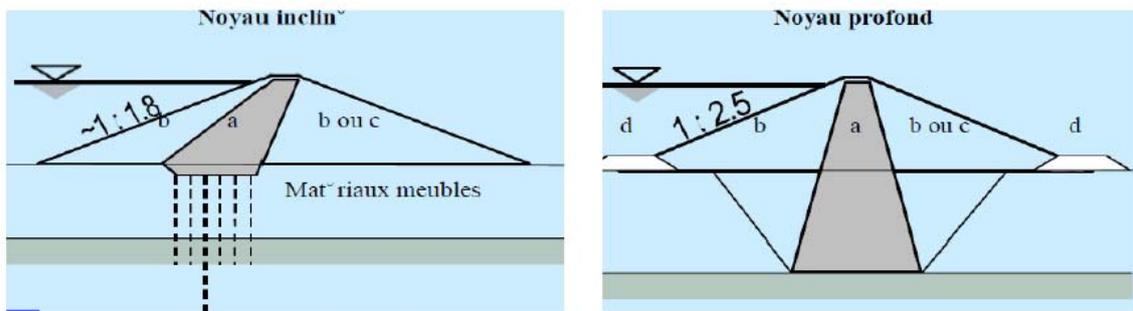
Le masque amont repose en général sur une couche d'éléments fins drainants et peut nécessiter suivant sa nature, une couche de protection.

Le masque amont présente l'avantage de pouvoir être exécuté après l'édification du remblai et de pouvoir être réparé aisément. Il est par contre plus exposé aux agressions extérieures (mécaniques, thermiques, etc.) et il est par conséquent plus fragile que le noyau interne.

Comme dans le cas du barrage à noyau, le masque doit être prolongé s'il y a lieu, par une coupure étanche dans les fondations du barrage.

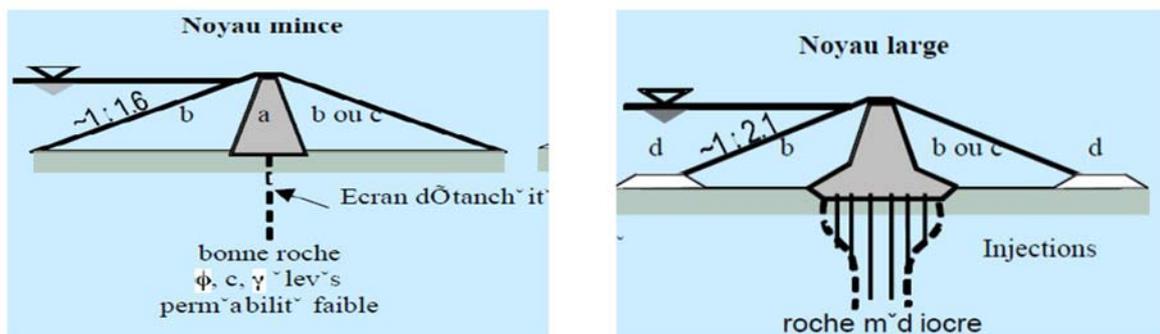
**b) Selon la construction des dispositifs contre la filtration sous l'ouvrage :**

- Barrages avec para fouille : dans le cas d'une fondation posé sur matériaux meubles et perméables (sous-sol compressible avec difficulté de traitement ou sous-sol peu compressible et injectable)



**Figure1.7 : Barrage avec para fouille**

- Barrages avec noyau et rideau de palplanche : dans le cas d'une fondation sur Rocher



**Barrages avec masque et tapis étanche Barrages à écran d'étanchéité**

**Figure1.8 : Barrages avec noyau et rideau de palplanche**

## 2. PRESENTATION ET OBJECTIFS DE L'AMENAGEMENT

### 2.1 Situation

Le site du barrage de Boukhroufa, situé sur l'Oued Boukhroufa, affluent de l'oued El Kébir Est, se trouve à 10 km au sud-est de la localité de Bouteldja et à 30 Km du chef-lieu d'El Tarf.

On y accède par la nationale R.N44 reliant ANNABA à EL KALA; A la sortie de BOUTELDJA on prend la route menant au sud vers le village de ZITOUNA.

Cette route partiellement asphaltée longe la rive gauche de l'oued BOUHALLOUFA et passe par le col topographique situé à l'aval de l'axe du barrage projeté.

Une piste en terre permet l'accès à la rive droite à partir d'une bifurcation située à proximité de la mehta OULED-BOU-AICHA.

L'infrastructure locale se limite à une petite concentration de maison à proximité de l'axe, à environ 2 Km en aval sur la rive gauche.

En amont, il n'existe aucune infrastructure dans la cuvette excepté une station pluviométrique désaffectée

À environ 4 Km de l'axe du barrage.

Cette région à des conditions naturelles ou il n'a pas été observé d'indice de pollution notable.

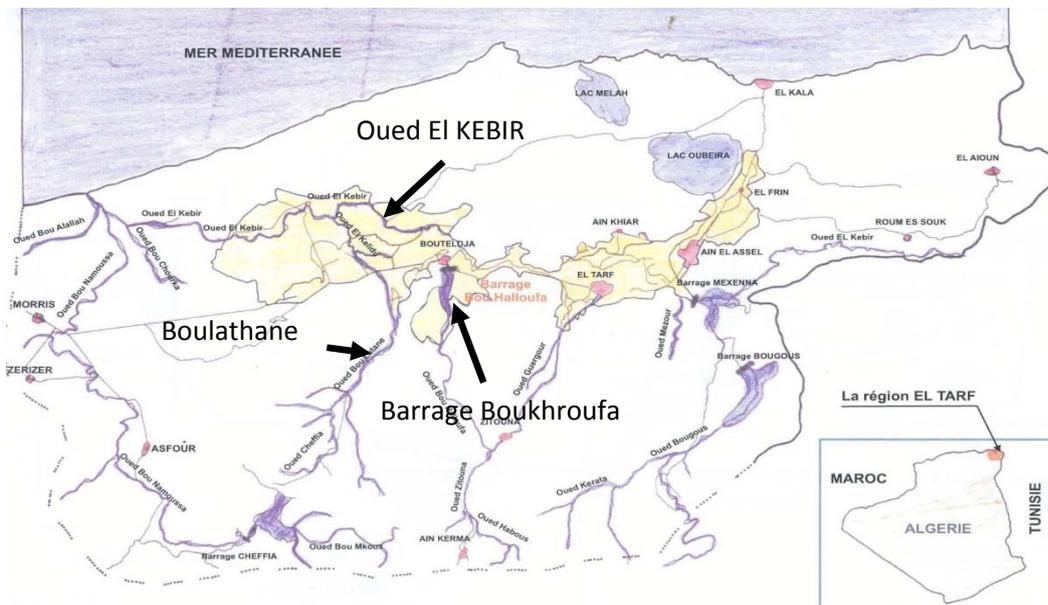


Figure 2.1 : situation de barrage boukhroufa

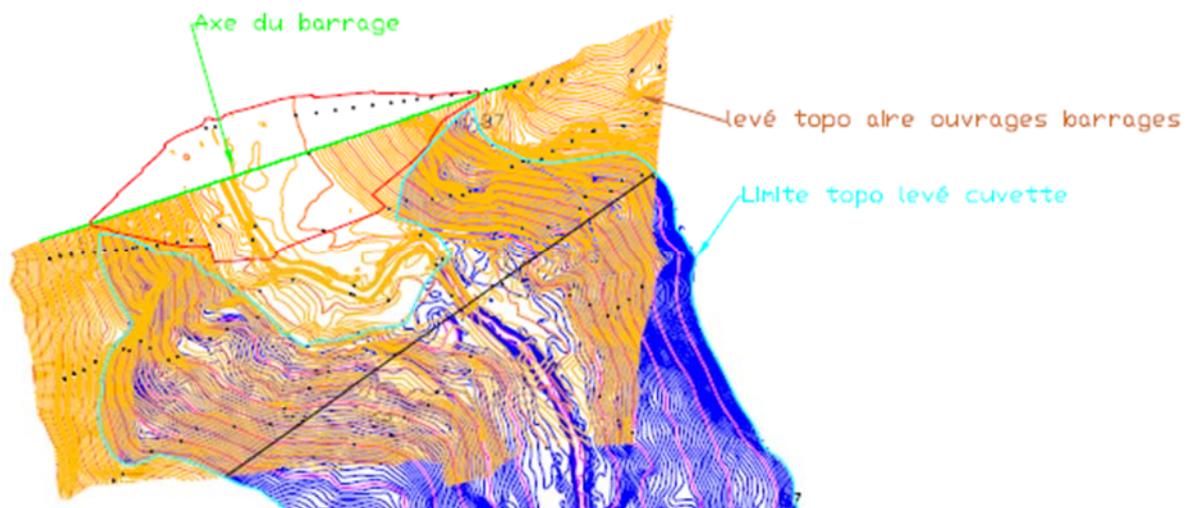
## 2.2 La topographie :

L'étude de la carte topographie à l'échelle 1/25000 fait ressortir la présence d'un verrou topographie intéressant pour l'implantation du barrage. cet emplacement a les coordonnées NTU suivantes :

X : 428,4 Km

Y : 4066,3 Km

Z : 22m



**Figure2.2 : image topographie de barrage boukhroufa**

## 2.3 DESCRIPTION GENERALE DES TRAVAUX

### 2.3.1 Objectifs de l'aménagement

Le barrage de Boukhroufa est programmé dans le cadre de l'aménagement hydraulique de la wilaya d'El Tarf. Il est conçu pour régulariser 73,84 hm<sup>3</sup> d'eau par an provenant des apports propres de l'oued et les volumes transférés d'autres barrages et emmagasiner 125hm<sup>3</sup> environ.

L'aménagement hydraulique de la wilaya d'El Tarf est composé de deux (02) transferts : Ouest et Est à savoir:

-Transfert Est transfert des eaux à partir du barrage BOUNAMOUSA vers le barrage de Boulatane.

-Transfert Ouest : Transfert des eaux à partir de la prise d'eau de l'Oued El Kébir via le barrage BOUKHROUFA vers le barrage de Boulatane soit un apport annuel d'environ 42,5 Hm<sup>3</sup> à raison de 5,7 m<sup>3</sup>/s

*-La réalisation de ce barrage permet la création des périmètres irrigués au niveau de la wilaya d'El Tarf, assure une protection contre les inondations qui menacent les habitants et les infrastructures situés en aval, permet également une participation au développement économique et social de la région (création des postes d'emplois au cours de la construction et au moment de l'exploitation des périmètres irrigués).*

**2.3.2 Données générales sur l'aménagement**

*L'aménagement du barrage de boukhroufa est implanté sur l'Oued du même nom, affluent d'El Kebir Est. Il est situé à 5 Km au sud de la ville de bouteldja(Wilaya El Tarf).*

*La réalisation du barrage, d'une hauteur approximative de 87,00 m, doit permettre la création d'une retenue de 125 millions de m<sup>3</sup> sous le niveau normal de 82.00 m. La réserve d'eau est destinée aux besoins de l'irrigation. Le volume nécessaire annuel est rapartie comme suit :*

*Périmètre de Bounamousse 23.10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>*

*Périmètre d'El Tarf 48.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>*

**2.3.3 FICHE SYNOPTIQUE DU PROJET**

**2 .3.3.1 Hydrologie**

**Tableau2.1: calcul d'hydrologie**

Bassin versant	Périmètre B .V.	Pluviométrie Annuelle	Apport annuel d'O.Boukhroufa	Autres apports	Crue de projet (T=1000)	Débit de crue de projet laminé
176,5 km <sup>2</sup>	72 Km	886 mm	27,7 hm <sup>3</sup>	42,5 hm <sup>3</sup>	1 015 m <sup>3</sup> /s	600 m <sup>3</sup> /s

### 2.3.3.2 Retenue du barrage

**Tableux2.2:calcul de retenue du barrage**

Capacité de la retenue	Tranche morte	Côte PHE	Côte RN	Côte prise d'eau min
125 hm <sup>3</sup>	8,40 hm <sup>3</sup>	+87,0 mNGA	+82,0 mNGA	+40,50 mNGA

### 2.3.4 Description des ouvrages à réaliser

*L'aménagement du barrage, comprend essentiellement les ouvrages suivants :*

- Une digue, y compris les ouvrages nécessaires à sa construction (batardeau, galerie de dérivations);
- Des galeries d'injection et d'accès
- Transformation de la galerie de dérivation, en galerie de vidange de fond et d'amenée ;
- Une tour de prise d'eau ;
- évacuation de crues.

#### 2.3.4.1 Digue

##### 2.3.4.1.1 Aperçu des conditions géologiques

*L'axe du barrage est disposé sur le dernier étranglement de la vallée de l'Oued Boukhroufa, avant son élargissement, La Vallée de l'Oued, dans la zone du site est creusée, dans des alternances d'argilites et grés, appartenant à la série numidienne, vaste ensemble charrié sur les terrains de crétacé. Le massif rocheux est recouvert des dépôts collovionnaires et alluvionnaires. Les conditions de fondation présentées sur le site, se caractérisent, par l'hétérogénéité de la lithologie.*

*Les argilites sont gréseuses et occasionnellement marneuses de couleur variable. La calcite et le pyrite apparaissent dans les fractures du massif rocheux les argilites se rencontrent en couches plus épaisses, que les grés (maximum 13 m sur les appuis et 22 m dans la plaine). L'argilite est intensément fracturée au niveau du site et présente de nombreux miroirs de failles.*

*Les grés ont une couleur variable. Ils présentent une granulométrie passant de fine à grossière. La composition est quarteuse et le ciment est principalement siliceux. Les couches*

*De grés atteignent une épaisseur maximale de 11 à 13 m. Les grés présente sur l'ensemble du site une fracturation soulignée, ainsi qu'une altération importante.*

*Les dépôts collovionnaires, qui recrouvent les versants ont une puissance de 1 à 2,5 m. Ils sont constitués par des fragments de grés altérés dans une matrice argilo-sableuse.*

*Les dépôts alluvionnaires appartenant au lit actuel et à la basse terrasse de l'Oued, sont constitués d'argilites et limons, des sables argileux à argile-sableux. Le passage vers le substratum se fait généralement par des dépôts grossiers sableux. L'épaisseur des alluvions sur le substratum atteint 24 m.*

*Généralement les plans de stratification ont un pendage vers l'aval et la rive droite les discontinuités sont représentées par trois familles principales, dont le pendage varie entre 60° en subvertical, vers SO, SE et NE. D'extension métrique les diaclases ont une ouverture de quelques mm à 5 cm sur lma surface, se refermant en profondeur*

*Dans la zone du site, quatre (4) failles et zones de broyage ont été mises en évidence, leur remplissage étant brécho-argileux d'épaisseur métrique*

*L'altération du massif rocheux est particulièrement importante. En profondeur, on peut distinguer trois (3) zones principales d'altération. La limite de la zone A, en profondeur atteint de 8 à 1 lm. Dans cette zone la roche asubi une profonde de la matrice, mais la structure reste encore visible. La limite de la zone B, se situe entre 16 à 25 m, la roche ayant subi une altération superficielle de la matrice.*

*Au dessous de la zone B, est disposée la zone C. Ici, le massif rocheux est sain, mais la roche est intensément à moyennement fracturée. Dans le périmètre du site, la nappe phréatique présente un écoulement vers la rivière. En rive gauche de la ligne piézométrique est subparallèle au versant de profondeur de 16 à 24,80m et en rive droite le niveau se relève jusqu'à la côte 30. Dans la terrasse de l'Oued le niveau des eaux souterraines a été constaté à la côte 26,0.*

*L'analyse des résultats des essais d'eau « in situ », du type Lugeon, définit la fondation rocheuse du site, comme une fondation perméable.*

*La perméabilité du massif rocheux à une profondeur de 60m, se répartie en rive gauche de 7,55UL, et dans la vallée 8,28UL, la valeur moyenne pour tout le site devient 10,61UL.*

#### **3.3.4.1.2 Description de la digue**

*Les conditions géologiques et topographiques du site, favorisent la réalisation d'un barrage en terre sans limitation du type du matériau, toutefois, existant à proximité.*

*Les conclusions, qui s'en suivent des reconnaissances et des recherches des matériaux éventuels de construction, sont les suivantes :*

-Les réserves en enrochement (zone 7) sont approximativement  $12.10^6 m^3$

-Les réserves en argiles sont pratiquement illimitées /zone 5; base du barrage /;

-Le volume de matériaux alluvionnaires disponible est supérieur à  $6.10^6 m^3$ /zone 8/.

Des conclusions précédentes et leur analyse, on s'est orienté vers un type de digue zonée

. L'étanchéité de l'ouvrage, étant constituée d'alluvion, est assurée par un noyau central en argile, la stabilité de la digue sera également assurée par les recharges amont et aval en alluvions.

Sur les versants, la base de la digue repose sur le substratum. Au milieu, dans la terrasse de l'Oued la fondation atteint la côte 20, qui se trouve dans une couche de graviers.

Niveau de crête 87,0 m

Largeur de la crête 10,0 m

Longueur de la crête 883,0 m

Hauteur maximale 87,0 m

#### **PAREMENT AMONT**

Pente du talus en alluvion 1/2,5

Pente du talus en enrochement 1/2,5

Couche de protection /rip/rap/1,0 m

#### **PAREMENT AVAL**

- pente du talus en alluvions 1/1,8

-Pente du talus en enrochement 1/1,8

- bermes aux côtes 70,00 m, 55,00 m

Et 40 m avec une largeur de 5,00 m la crête de la digue à une largeur de 10,00 m. Elle est disposée au niveau 87,0, soit 5,00 m au dessus du niveau de retenue normal (82,00) et environ 2,0 m au dessus du niveau de la crue de projet,

La route sur la crête, comporte une chaussée large de 6,0m, qui n'est destinée qu'aux déplacements liés à l'exploitation de l'aménagement, La galerie d'injection est prévue suivant l'axe de la digue, sur toute sa longueur. Elle est disposée au fond d'un para fouille en argile et assure le contact avec le substratum, dans la partie centrale.

*Le volume des remblais, à mettre en œuvre est de l'ordre de 3,47 millions de m<sup>3</sup>, répartis comme suit :*

*Alluvions sélectionnées 3 332.000 m<sup>3</sup>*

*Alluvion tout venant 195.000 m<sup>3</sup>*

*Enrochements pour les parements 83.000 m<sup>3</sup>*

*Argile 840 000 m<sup>3</sup>*

*Filtre, drains, transitions 60 000 m<sup>3</sup>*

#### **2.3.4.1.3 Voile d'étanchéité**

*La voile d'étanchéité, exécuté à partir de la galerie d'injections, a les suivantes caractéristiques :*

*-Les forages sont positionnés sur une seule ligne ;*

*-L'espacement final des forages est de 2.5 m ;*

*-La profondeur du voile : 45m sur la rive droite, 50m sur la rive gauche ,25m dans le lit de l'oued*

*-Forage en voile et injections de peau :20 000 ml*

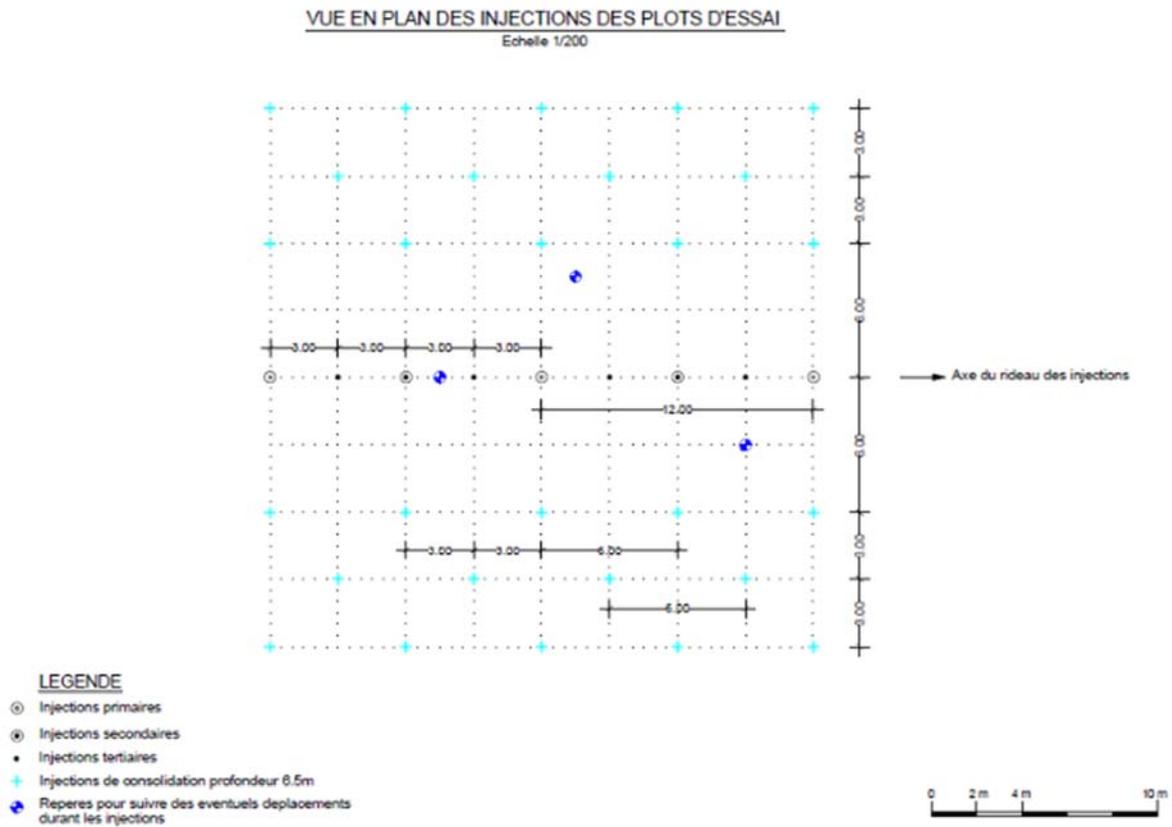
*Les injections seront réalisées à partir de la galerie d'injection. La profondeur des forages est prévue à 45m. Le voile d'étanchéité est prolongé en rive droite à travers l'évacuateur de crue. En rive gauche, il a une longueur complémentaire de 50 m.*

##### **2.3.4.1.3.1 L'étanchéité de la fondation**

*Une voile d'injections avec des forages de 45 m de profondeur, exécutés en trois étapes, sur une seule ligne .volume du travail 20 000 ml*

*Injection de peau dans la fondation du noyau en argile, disposées dans une maille de 4\*4 m et de 5 m profondeur.*

### 2.3.5 Galerie d'injection sous la digue



**Figure 2.3 : vue en plan des injections des plots d'essai**

L'ouvrage représente une galerie construite, en béton armé, exécutée à l'air libre. La section est en fer de cheval de largeur 3,50 m, avec une hauteur de 2,5 m. Par rapport à sa fondation, la galerie se divise en trois (3) tronçons :

- en rive gauche, elle est disposée dans une tranchée excavée, dans la roche ;
- dans la zone centrale, la galerie repose sur le substratum. La section se trouve dans une tranchée excavée dans la couche des graviers ;
- en rive droite, de même que pour la rive gauche elle est entièrement disposée dans le substratum.

Le profil en long présente des pentes étudiées de manière à permettre la circulation pendant l'exploitation, comme aussi un écoulement gravitaire des eaux drainées vers le puits et la station de pompage.

Pendant l'exploitation, elle sera utile à des inspections pour l'évaluation des eaux infiltrées et enfin pour une réparation éventuelle du voile d'étanchéité, dans le cas où on aurait constaté des fuites importantes.

### **2.3.5.1 Puits et galeries d'accès**

*L'accès vers la galerie d'injection s'effectuera par deux puits d'accès, en rive gauche et rive droite. Un troisième accès est assuré, par la galerie de dérivation et de vidange, par l'aval.*

*Les débouchés à l'air libre de ces puits et galeries sont prévus sur les plateformes d'accès. Ils sont équipés d'un portail métallique ajouré, muni d'une fermeture de sécurité efficace.*

*Leurs sections ont la même largeur que celle de la galerie d'injection, seulement la galerie de dérivation dans laquelle est disposée la conduite de vidange garde sa section à fer de cheval, avec une section (B\*H)= 10,50\*9,75*

### **2.3.5.2. Galerie de dérivation (provisoire)**

*La galerie qu'on proposé a une section fer à cheval avec le rayon de la partie supérieure 2 m et la hauteur totale de 4 m .La longueur de la galerie est de 270 m et la pente longitudinale de 1% .La partie inférieure, séparée de la partie demi-circulaire par un plancher, est compartimentée en deux sections 3\*3 m*

*L'ouvrage est implanté, dans le pied du versant naturel droit. Il est conçu pour permettre l'évacuation de la crue de chantier, soit 260 m<sup>3</sup>/s, avant laminage. La section est en fer de cheval, d'une section de (B\*H =10,5\*9,75)*

*Les couches dans la fondation traversée, sont essentiellement des grès alterné avec des argilites Les travaux seront exécutés à ciel ouvert, Le débouché amont représente une vaste plateforme, sur laquelle est aménagé l'ouvrage d'entrée.*

*En aval la dérivation provisoire débouchée sur un bassin d'amortissement  
La longueur de la galerie est approximativement de 270m.*

*La tour de prise d'eau est située sur l'axe de la galerie à 40m de l'ouvrage d'entrée*

*La galerie de dérivation à partir de l'emplacement de la tour de prise, jusqu'à la sortie sera transformée en vidange de fond, au stade définitif des travaux.*

*Deux conduites en acier DN1200 mm pour les besoins de consommations disposées sur la partie supérieur soit au dessus des deux pertuis de la vidange de fond.*

### **2.3.6 Vidange de fond**

*La vidange de fond a deux pertuis , équipées avec deux vannes wagon , S=2 m<sup>2</sup> installées dans la chambre de vannes , située à la base de la tour de prise , Chaque pertuis de vidange a deux prises , une à la cote 40.5 m prévue avec grille et une autre inférieure , au niveau du radier de la galerie de dérivation , à la cote 29,0 m .*

*La chambre des vannes de la vidange de fond et de la tour de prise forment un ensemble, une construction en béton armé, ainsi projeté qu'il permet aussi la fonction de la dérivation*

*des eaux pendant l'exécution des travaux .Cette solution impose la réalisation partielle de la tour de prise, en même temps avec le bétonnage de la galerie de dérivation .*

*La conduite métallique  $d= 1600$  mm pour la vidange de fond sera montée à l'intérieur de la galerie de dérivation .A l'amont , le contrôle de la conduite se fera par une vanne wagon sous carter ( $1.2*1.6$  m) située à la base de la tour de prise et manœuvrée par un treuil , positionné à la partie supérieure du ceci .A la tête aval de la conduite , il ya une chambre de vannes pour une vanne a jet creux (howell-Bunger) .De la conduite métallique de la vidange de fond , il sera aussi assuré le débit d'irrigation par une conduite de  $d=1$  m , équipée avec une vanne papillon .Le débouchage de la vidange se fait dans un bassin d'amortissement de 4 m de largeur et 20 m de longueur .En suite , les débits évacués sont dirigés vers le lit de l'oued par un canal trapézoïdal .*

*Les vannes de la vidange sont des vannes noyées, manœuvrable de la partie haute de la tour de prise.*

*Le tronçon aval de la vidange est en pipe de 1600 mm diamètre, comme le tronçon amont*

### **.2.3.7 Tour de prise d'eau**

*La tour de prise est implanté en tête amont de la galerie , avec les équipements de contrôle (vannes ) montées et exploitées a sec .Six prises d'eau ,posées aux trois niveaux différant , portent le débit d'eau en aval à l'aide de deux conduites .La tour aura une section circulaire , de diamètre 10 m .Les prises pour l'alimentation en eau ont des grilles retirables avec des batardeaux de fermeture , en utilisant les mêmes guidages .La fermeture des circuits d'alimentation en eau se fait à l'aide des vannes papillon posées à la base de la tour deux conduites DN=1200 mm , comprenant chacune 2 prises , sur trois niveau (soit 6 prises au total , aux niveaux ( 46m, 62m,74m), deux prises pour chaque niveau.*

*Chaque prise est constituée d'une buse carrée/ronde , continué avec un coude et une conduite descendante DN 1200 m ,Chaque conduite est contrôlée par une vanne papillon  $D=1200$  mm .Les vannes papillons seront manœuvrées d'une plate-forme de travail à la cote 37.00m ,La tour de prise est posée à 118m amont de l'axe du barrage et dans l'axe de la galerie de dérivation .L'exécution de la tour se fait en deux étapes .Dans la première étape, en même temps avec l'exécution de la galerie de dérivation, la tour s'élève jusqu'à la hauteur de 12 m environ .La deuxième étape consiste dans l'exécution de la tour jusqu'à la cote finale. La structure de la tour comprend une fondation de  $12*12$  m sur qui se développe une structure demi-circulaire en béton armé ( $d=4$ m).Pendant l'exploitation, la tour est plein d'eau. Le prélèvement de l'eau se peut faire aux niveaux différents, par prises .A la base de la tour , dans l'axe de la galerie de dérivation , il est encore prévu , une prise équipée avec vanne wagon sous carter ,  $1.2*1.6$  m , qui assure l'accès de l'eau dans la tour a la cote 29.70m .*

*La partie supérieure de la tour il y a une construction en béton armé qui abrite deux plans électriques de 3 t et un pont roulant.*

*L'accès dans la tour, se fait de l'aval et l'accès sur la verticale est assuré par des escaliers et un ascenseur.*

### **2.3.8 DERIVATION PROVISOIRE PUIS TRANSFORMATION EN VIDANGE DE FOND ET ACCES A LA TOUR DE PRISE.**

*Section : Fer à cheval de 43.1 m<sup>2</sup>*

*Longueur : 262 ml selon l'APD / 300 ml selon l'étude d'exécution*

*Débit : 260 m<sup>3</sup>/s*



**Figure 2.4 : dérivation provisoire**

### **2.3.9 Évacuateur de crue**

*L'ouvrage est conçu pour permettre l'évacuation de la crue de projet, qui représente un débit de 1015m<sup>3</sup>/s avant laminage.*

*L'évacuateur proposé est un type canal avec l'accès frontal de l'eau, avec la longueur du seuil du déversoir de 25 , le niveau dans la retenue étant 86 m. Le canal rapide a une structure type cuve en béton armé , la largeur du canal rapide étant de 12 m .Ceci se continue en aval avec un dissipateur d'énergie et une risberme en béton et en enrochement .Ensuite , les débits évacués sont conduits par un canal exécuté en déblai .*

*L'évacuateur est du type latéral en tranchée, avec un coursier de 406 m et divisé en trois (3) tronçon et un bassin d'amortissement. Il comporte les éléments suivants*

plateforme d'accès arasée à la côte 72,0m ; déversoir latéral, présentant une longueur libre de 25,0m, dont le seuil est à la côte 82,00m correspondant au niveau de retenue normale.

La tranchée va en s'élargissant avec les dimensions suivantes  $B_1=12,0m$ , côte de fond 71,5m jusqu'à  $b_2 = 18,0m$ , côte de fond 67,3m, longueur de 35,0m. La sortie de la tranchée se trouve à 30m en amont de l'axe du barrage

Suit, une zone de transition avec une longueur de 75,0m, pente 0,1% côte du fond à l'entrée 67,30, côte du radier à la sortie 67,23. La largeur passe de 18,0m à 16,0m, le coursier ayant une largeur de 12,0m et un profil rectangulaire suivant la pente se divise en trois (3) tronçons ;

Le premier à une longueur de 205 m, la pente étant de 8,8% côte d'entrée 70,00, profondeur 5,05m côte de sortie 52,00 profondeur 2,35m ; le deuxième à une longueur de 158m, la pente étant de 16%, la côte de sortie est 27,00 profondeur de 1,8m ;

Le troisième tronçon du coursier, est dans les limites du dissipateur d'énergie. Sa longueur est de 32m, la pente de 22% la côte de fond arrive à 18,0m ;

Le dissipateur d'énergie ayant un profil rectangulaire, comme le coursier à une longueur de 40m. Le troisième tronçon et le dissipateur vont en s'élargissant, jusqu'à 35,0m. La crête des parois est fixée à la côte 32,0.

Après le dissipateur, on prévoit un canal d'écoulement, d'un profil trapézoïdal

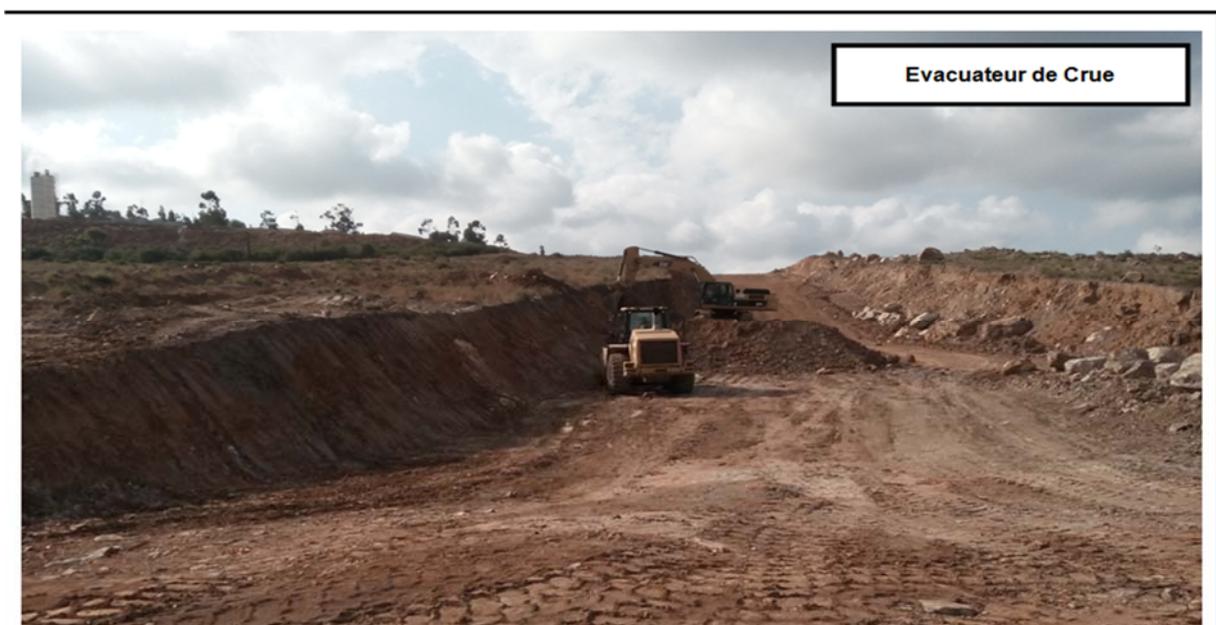


Figure 2.5: évacuateur de crues

### 2.3.10 Forages

### **2.3.10.1 - Généralités**

*Des forages additionnels de reconnaissance sont exécutés à la sondeuse rotative avec extraction systématique de carottes et essais spécifiques. Les forages pour les injections de consolidation et du voile d'étanchéité principal, pour les piézomètres et forages drainants, sont exécutés à la sondeuse rotative, avec couronne pleine ou évidée, ou par un procédé de roto percussion.*

*Les forages pour les injections de bourrage et de serrage et pour le scellement de barres d'ancrage seront exécutés à la foreuse à percussion ou au marteau-perforateur.*

*L'Entrepreneur doit adapter la technique de forage ou terrains traversés par le choix judicieux du procédé de forage, du type de sondeuse, de carottier et de couronne, la vitesse de rotation, la pression sur l'outil, le procédé de forage et la fréquence des manœuvres.*

*En terrain meuble et dans le rocher très friable ou fracturé, des mesures appropriées être prises pour assurer la tenue des parois du trou.*

*L'Entrepreneur aura la charge d'implanter le sondage sur le terrain et de soumettre cette implantation à l'Administration, avant de commencer les travaux. Tous les forages exécutés sont soigneusement repéré sur le terrain, et obturés par un bouchon pendant toute la durée des travaux.*

*La déviation des forages par rapport à leur position théorique ne doit pas dépasser 3% de leur longueur. L'Entrepreneur doit être en mesure d'effectuer à la demande de l'Administration démesures de contrôle de déviation. Les frais de cette opération seront à la charge de l'Administration ou de l'Entrepreneur suivant que la précision imposée a été respectée ou non.*

### **2.3.10.2 Forages de reconnaissance**

#### **2.3.10.2.1 .Exécution**

*L'Entrepreneur procédera à la requête de l'Administration à des forages additionnels de reconnaissance sur le site du futur barrage et des ouvrages annexes. La zone sur laquelle ces sondages seront exécutés pourra toutefois s'étendre jusqu'à une distance de 200 mètres des limites des ouvrages projettes, sans que l'Entrepreneur puisse prétendre à une indemnité.*

*Ces forages seront exécutés à la sondeuse rotative avec prélèvement continu des carottes, les carottiers seront adaptés à cette exigence. L'Administration pourra demander le prélèvement d'échantillons intacts. En principe, l'Administration exigera l'utilisation d'un double carottier pivotant sur roulement à billes. Suivant la qualité du terrain, il pourra s'avérer nécessaire d'utiliser une boue de bentonite à la place d'eau claire comme fluide de forage. Ceci ne peut se faire qu'avec l'accord préalable de l'Administration.*

*Les sondeuses devront être capables de forer en 76 et 96 mm de diamètre minimum et jusqu'à une profondeur de 65 mètres. En cas de perte d'eau ou de boue de forage, la cimentation ne pourra être réalisée qu'après avoir épuisé les autres techniques et après accord de l'Administration*



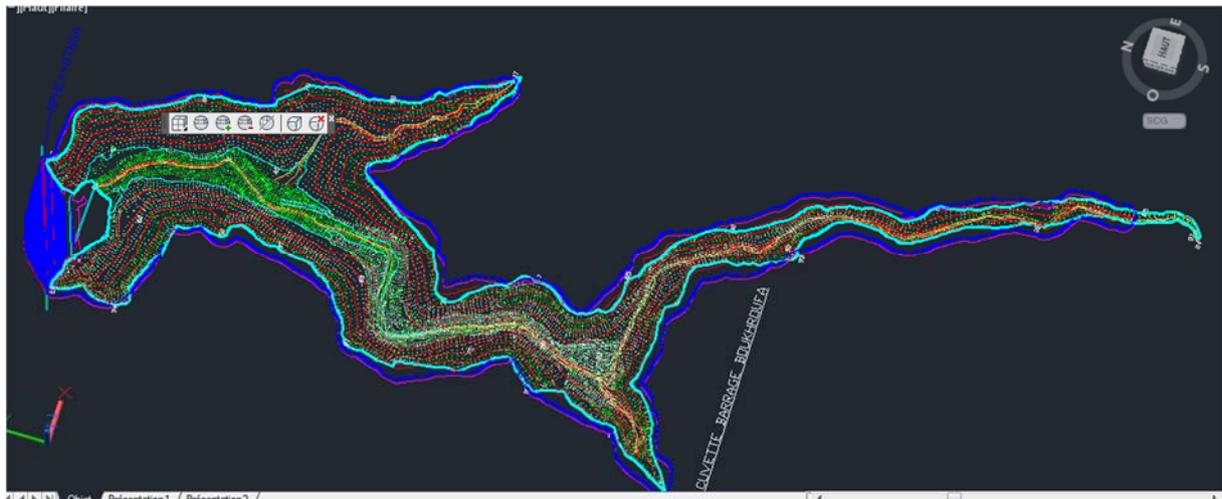
**Figure 2.6 : machine de forage**

### **2.3.11 GEOLOGIE DE LA CUVETTE**

#### **2.3.11.1 Généralité :**

*Le barrage de BOukhroufa créera une retenue dont le H plan d'eau sera à la cote 75,5 avec une longueur d'environ 7,5 KM donnant lieu à une capacité de l'ordre de 102,5.Hm<sup>3</sup>*

*Le lac ainsi constitué dont la superficie sera de 440 hectares, n'inondera qu'une station pluviométrique désactivée et la route en terre qui va dans la direction de la ville de ZITOUNA en amont du réservoir. Les terrains affleurant dans la cuvette sont généralement recouverts d'une végétation importante.*



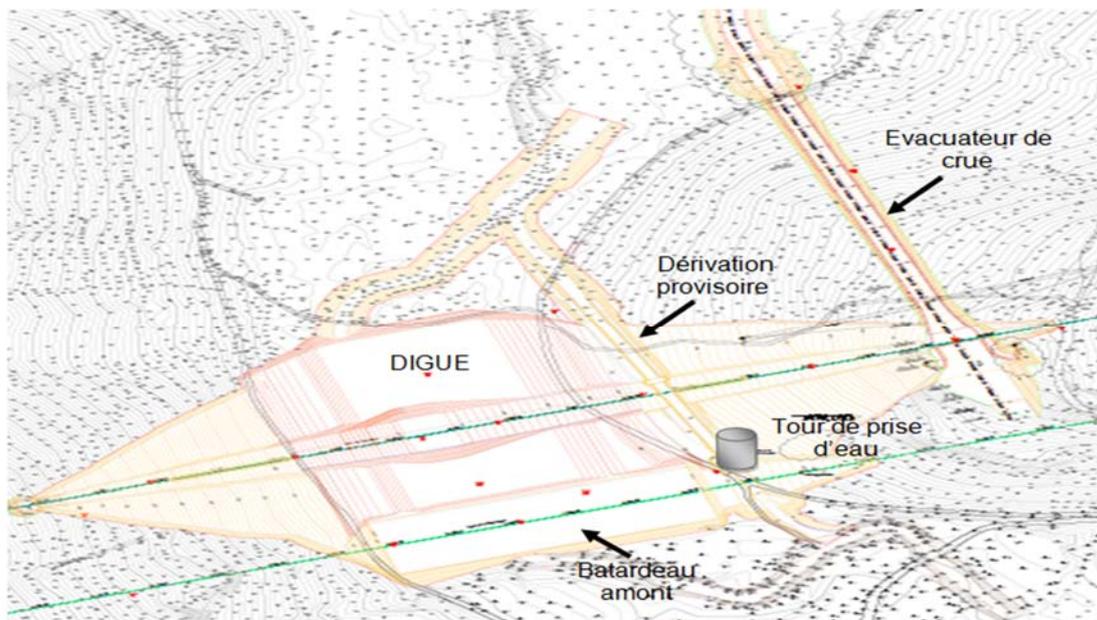
**Figure2.7 : la topographie de la cuvette**

### **2.3.12 Le choix de type du barrage en terre**

*Les barrages en terre sont les plus répandus dans notre pays, et de plus ils sont les ouvrages les plus résistants aux séismes*

*Pour le choix du type de la digue à réaliser il est indispensable d'avoir une bonne connaissance des conditions géologique, topographiques, hydrauliques, et économiques,*

*La disponibilité et le type des matériaux locaux recensés lors des différentes campagnes géologiques nous guide vers le choix d'une digue zoné en matériaux alluvionnaires avec noyau central.*



**Figure2.8 : les ouvrages du barrage**

### **3.1 Introduction**

*GTS NX est un logiciel complet d'analyse d'éléments finis qui est équipé pour gérer toute la gamme des applications de conception géotechnique, y compris les fondations profondes, les fouilles, les systèmes de tunnels complexes, l'analyse des infiltrations, l'analyse de consolidation, la conception de remblais, l'analyse de la stabilité dynamique et de la pente. GTS NX dispose également d'une plate-forme de modélisation avancée conviviale qui permet des niveaux de précision et d'efficacité inégalés.*

*GTS NX est équipé de fonctionnalités spécialisées et uniques qui ont été développées pour accélérer les processus de modélisation et d'analyse. Avec ces fonctionnalités, vous pourrez générer des conceptions optimales de haute qualité avec une efficacité supérieure à tout autre programme*

### **3.2 Solveur intégré optimisé pour les plates-formes 64 bits**

La restriction sur la taille du fichier traité a été supprimée et, par conséquent, la gestion d'un grand modèle n'est plus un problème dans la pratique. En raison de la moindre utilisation de la mémoire et de l'amélioration des performances de sélection / addition / suppression, même une modélisation 3D peut être traitée rapidement et facilement.

Le système d'exploitation PC de transfert de masse 64bits, qui fournit un environnement multi-tâches, a connu un développement rapidement. Pour suivre le rythme des changements rapides, un nouveau cadre qui supporte parfaitement le système 64bits a été développé, offrant un nouveau moteur graphique optimisé même pour les grands modèles.

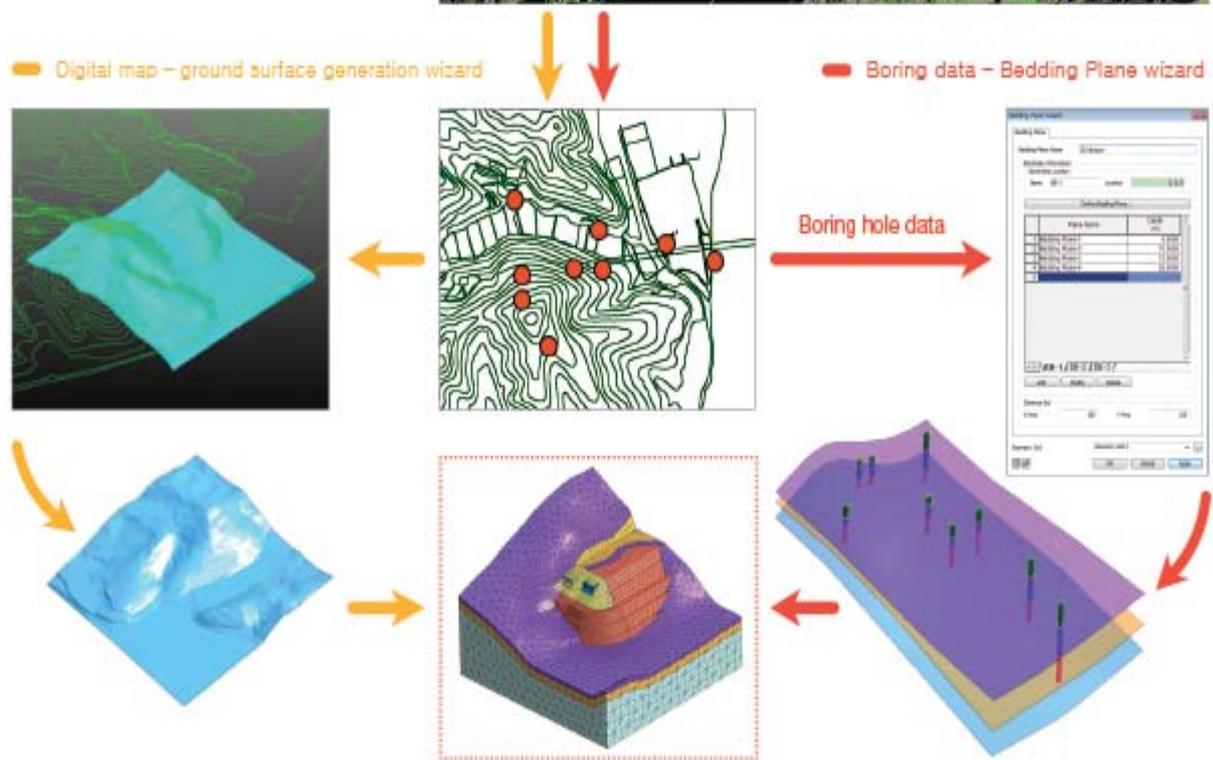


Figure 1 – Comparaison

### 3.3. Modèles complexes, Modélisation Simple

#### Ground auto-generation wizard

- 3D ground surface generation from digital map
- 3D ground strata generation using boring hole wizard

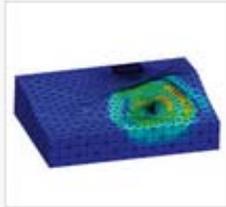


Les sites de projets qui contiennent des courbes topographiques complexes peuvent prendre des heures à être modéliser avec des commandes basiques basées sur la CAO. Cela entrainera donc un souci de gain de temps et de facilitation de la modélisation une diminution de la précision de l'analyse finale. Alors que GTS NX dispose d'un programme de géométrie de terrain (TGM) haut de gamme qui convertit automatiquement les cartes topographiques en surfaces modifiables.

GTS NX est également équipé d'un assistant lecture qui permet de modéliser facilement les couches de sol inégales. Vous pouvez utiliser directement votre profil de sol en entrant les données du journal des sondages pour plusieurs coordonnées. Le programme vas ensuite extrapoler automatiquement les changements dans les niveaux de sol entre chaque point.

### 3.4 Modélisation du monde réel :

All types of analysis in one interface

			
<p><b>Slope stability analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strength Reduction Method (SRM)</li> <li>• Stress Analysis Method (SAM)</li> <li>• Nonlinear time history - SRM coupled analysis</li> </ul>	<p><b>Static analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Linear static</li> <li>• Nonlinear static</li> </ul>	<p><b>Construction stage analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stress analysis ( drained, undrained)</li> <li>• Seepage construction stage</li> <li>• Stress - seepage - slope coupled</li> <li>• Consolidation construction stage</li> <li>• Stress - seepage fully coupled</li> </ul>	
			
<p><b>Consolidation analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidation</li> <li>• Construction stage</li> </ul>	<p><b>Stress - seepage coupled analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fully coupled analysis</li> <li>• Construction stage</li> </ul>	<p><b>Seepage analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steady state flow</li> <li>• Transient seepage analysis</li> </ul>	<p><b>Dynamic analysis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenvalue / 1D free field</li> <li>• Response spectrum</li> <li>• Time history (linear / nonlinear)</li> <li>• 2D equivalent linear analysis</li> </ul>

Le logiciel Midas GTS-NX permet la modélisation de quasiment tous les problèmes géotechnique avec une très grande fidélité au monde réel d'un point de vue aussi bien physique que géométrique.

### **3.5 Génération de rapports d'analyses complets**

Les rapports d'analyse des éléments finis peuvent prendre autant de temps que les modèles d'éléments finis eux-mêmes. Ceci est dû à la large gamme de résultats générés à partir de l'analyse des éléments finis qui se composent d'un large éventail de modèles de contour, de feuilles de calcul et de graphiques. GTS NX dispose d'une nouvelle fonction novatrice qui permet de générer des rapports en format PDF directement à partir du menu des résultats de traitement post-programme. Cette fonctionnalité élimine la nécessité d'utiliser abondamment l'écran d'impression ou de copier et coller des fonctions pour générer des rapports sur des documents Word. Les fonctions d'extraction des résultats permettent de sélectionner en toute transparence le modèle de contour 3D d'intérêt, de modifier la taille et l'angle d'affichage, et d'ajouter des notes, des dimensions et des graphiques et des feuilles de calcul correspondants au besoin.

#### 4: Exploitation du logiciel : Midas GTS.NX

##### 4.1 : Introduction

C'est un logiciel de géotechnique qui permet de traiter les différents problèmes du sol comme le glissement des terrains, le tassement, la consolidation, l'infiltration de des eaux dans le corps de la digue d'un barrage et d'autres problèmes liés à la géotechnique. Plusieurs programmes sont intégrés dans la fenêtre générale du logiciel et apparaissent à son lancement

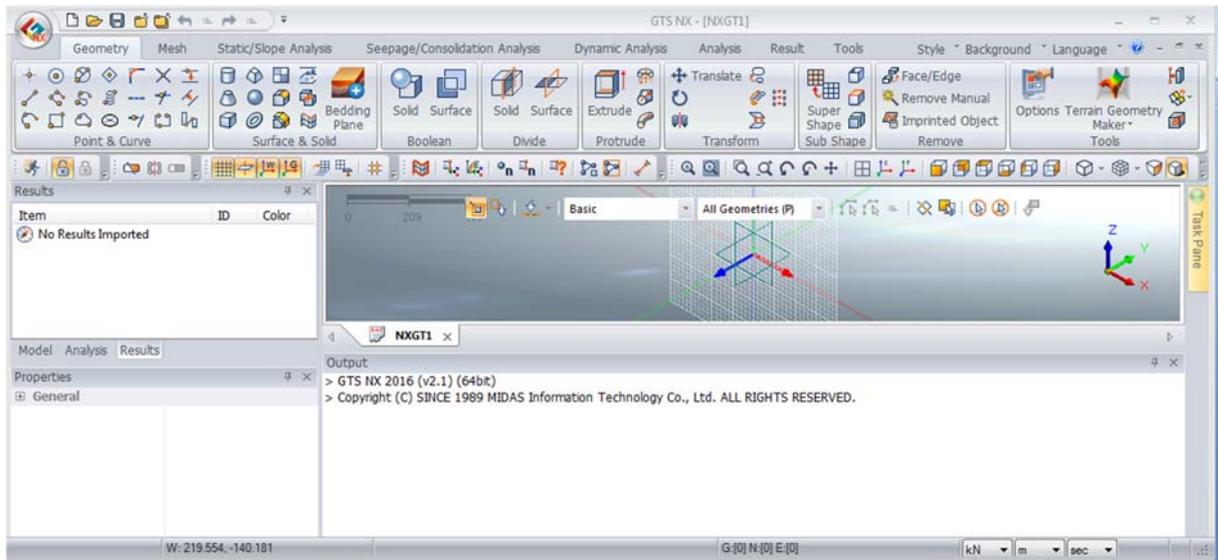


Figure 4.1 : fenêtre générale de logiciel

##### 4.2 Saisie des données :

Dans un premier lieu, nous commençons par procéder à la projection sur Autocad des différentes courbes de niveaux en vue de la modélisation du terrain naturel sur lequel repose notre barrage étudié à savoir le barrage de Boukhroufa. La figure suivante en est la projection.

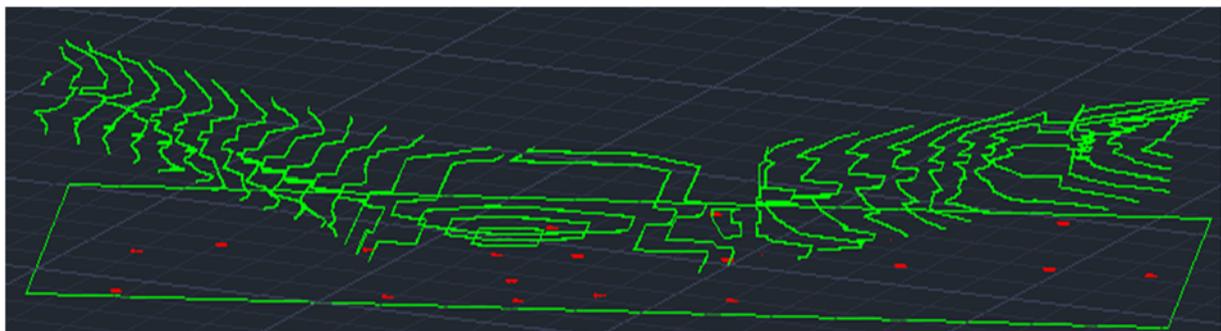
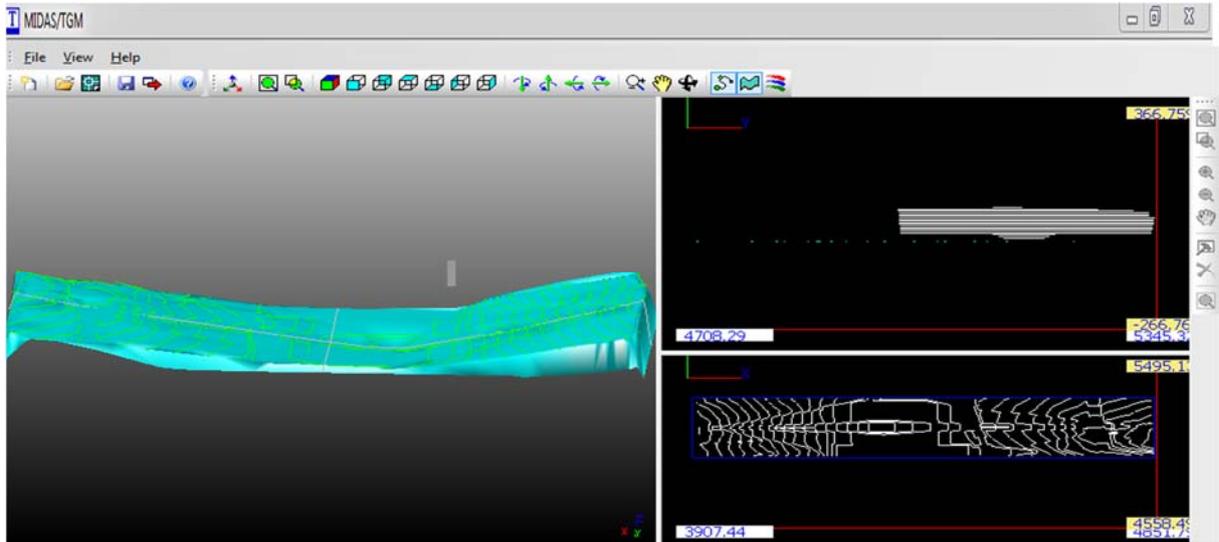


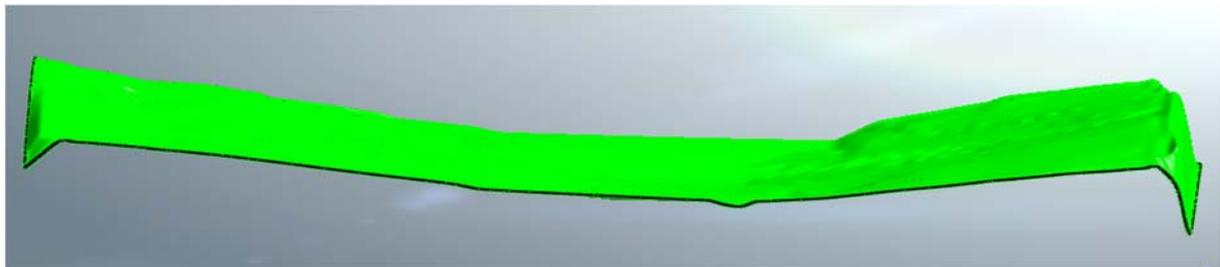
Figure 4.2: Squelette du Barrage de Boukhroufa En 3D

Une fois la partie Autocad finalisé, nous passons ensuite au TGM (Terrain Geometry Maker) qui est un module de Midas gts-nx, qui nous permet de créer une surface à partir des courbes de niveau tracés préalablement sur Autocad.



**Figure4.3Terrain Geometry Maker**

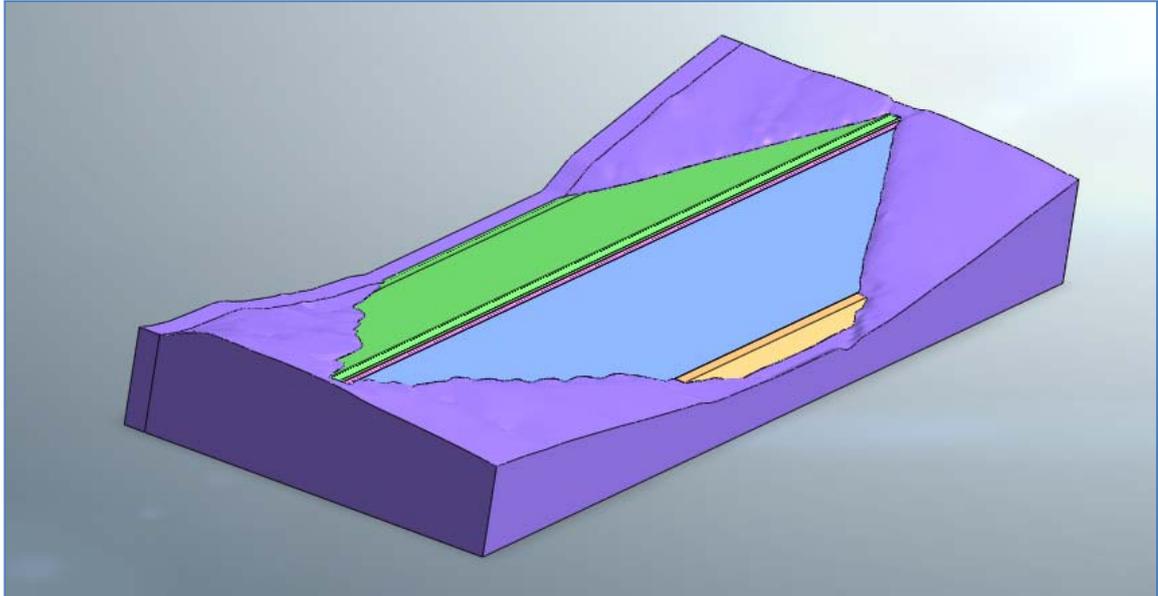
Le model surfacique du terrain est ensuite exporté en format TMS en vue d'être exploité sur Gts-nx.



**Figure4.4 : import TMS File**

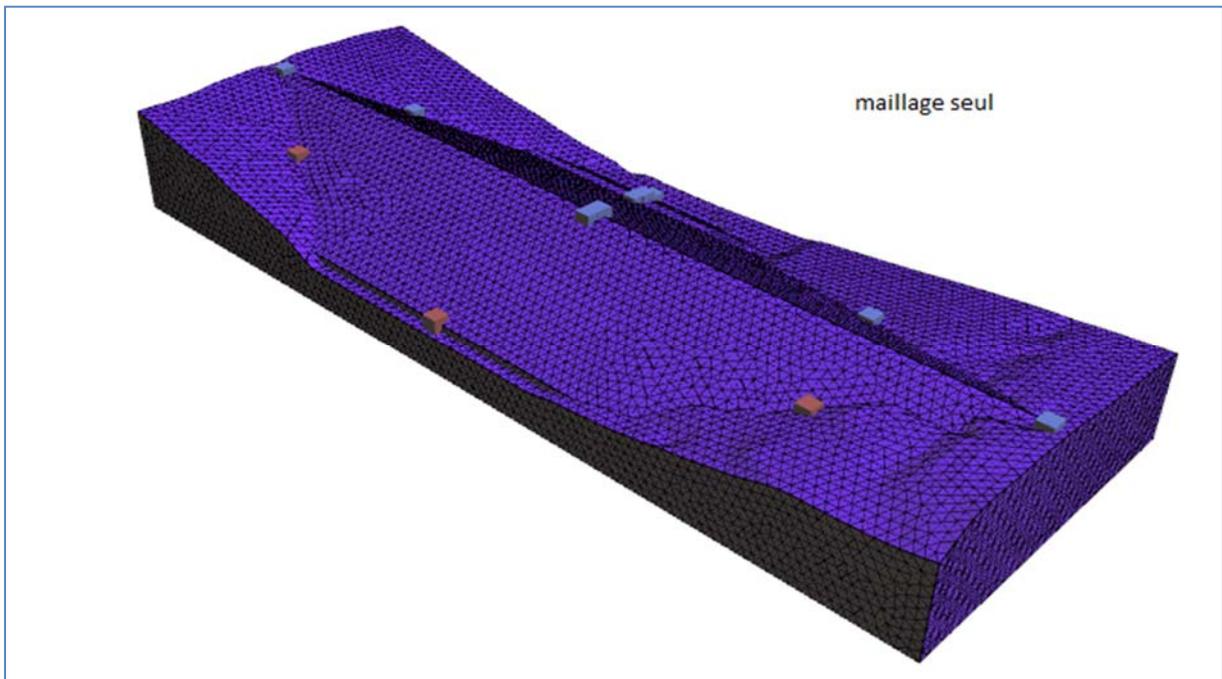
Nous passons ensuite à l'élaboration du modèle géométrique du barrage comprenant le terrain naturel ainsi que tous les constituants du corps du barrage.

Pour rappel, il s'agit d'un barrage en terre zoné avec un noyau centrale en argile. Pour des soucis d'optimisations du model, nous n'avons pas projeté les ouvrages en bétons vue que le but final de la modélisation est de procéder au calcul de stabilité de l'ouvrage.



**Figure4.5 : Projection des ouvrages de La Digue Sur le terrain naturel**

*Nous allons maintenant procéder au maillage du modèle ainsi qu'à la définition des différents matériaux (voir tableau 4.1).*



**Figure 4.6 : Maillage**

**Tableaux4.1 : matériaux du sol**

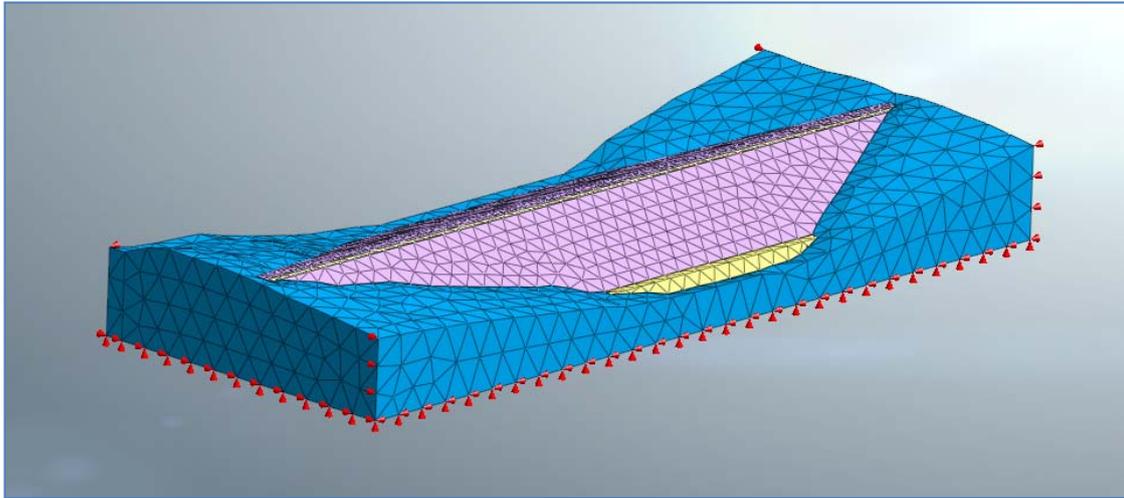
Nom	Noyau	Filtre	Corps de barrage	Roche en place
Matériau	Isotrope	Isotrope	isotrope	Isotrope
Type de modèle	MohrCoulomb	MohrCoulomb	MohrCoulomb	MohrCoulomb
Module élastique(E)	4.0E+04	5.0E+04	5.2E+04	2.0E+06
Coefficient de poisson( $\nu$ )	0.35	0.33	0.3	0.2
Poids spécifique (N/m <sup>3</sup> )	20	20	19	23
K <sub>0</sub>	0.5	0.5	0.74	0.6
Poreux				
Poids spécifique (N/m <sup>3</sup> )	21	22	22	23
Indice des vides initial ( $e_0$ )	0.5	0.5	0.5	0.5
Insaturé	Noyau	Filtre	Corps de barrage	Roche en place
K <sub>x</sub> (m/s)	1.92E-05	1.92E-05	0.01	1.00E -05
K <sub>y</sub> (m/s)	1.92E-05	1.92E-05	0.01	1.00E -05
K <sub>z</sub> (m/s)	1.92E-05	1.92E-05	0.01	1.00E -05
Non linéaire				
Cohésion (KPa)	30	0	0	100
Angle de frottement interne (°)	35.6	33	39	43

*Ayant terminé la définition du modèle numérique, nous allons entreprendre une série de modélisations en vue de tester les capacités du logiciel ainsi que valider le design du barrage étudié.*

#### **4.3 Modélisation de l'écoulement au niveau du corps du barrage :**

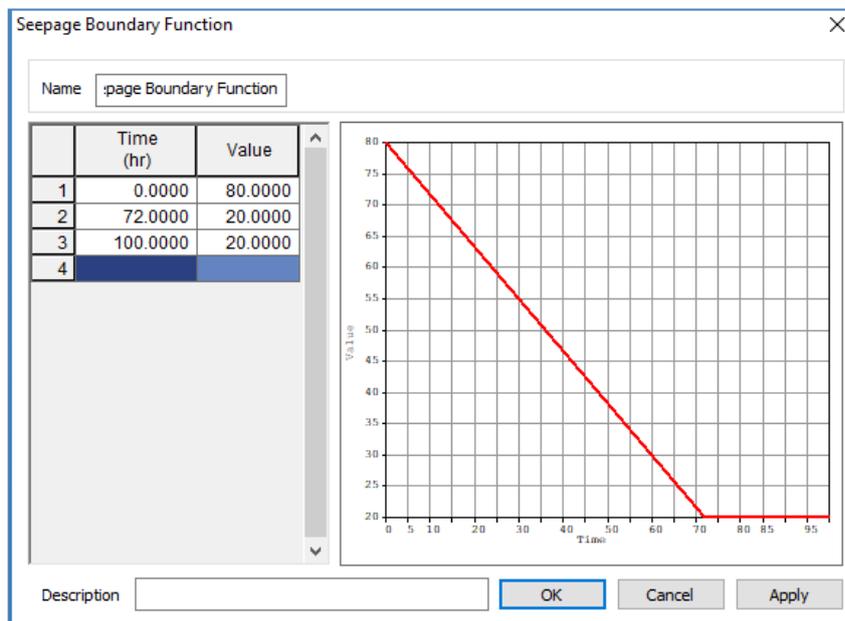
*Ayant défini le modèle numérique du barrage, nous allons entreprendre la définition du problème étudié à savoir l'analyse de l'écoulement au niveau du corps du barrage.*

*Cette analyse sera définie par des conditions aux frontières. La première condition est la fixation des nœuds périphérique en translations et en rotation (voir la figure suivante)*



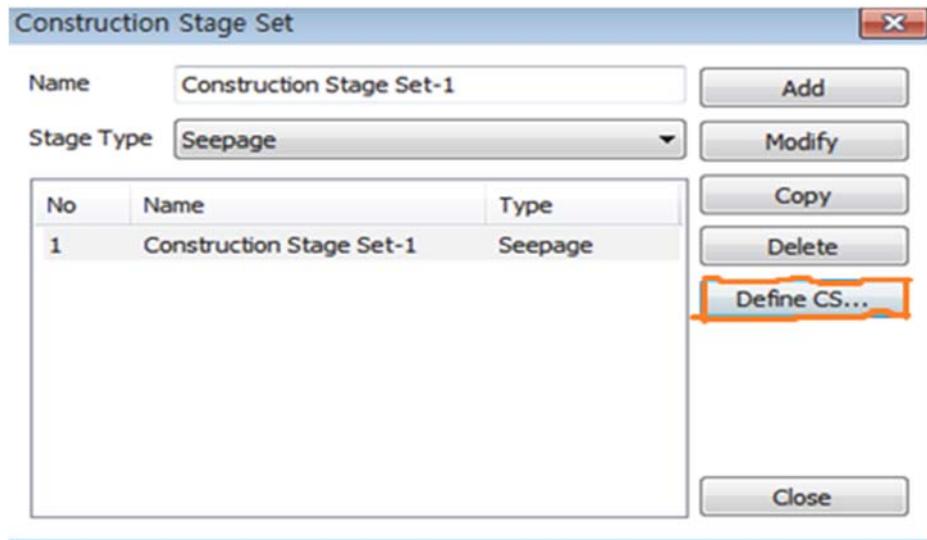
**Figure4.7 Fixation des nœuds périphérique en translations et en rotation**

En vue de l'analyse de l'action d'une vidange rapide sur le comportement du barrage, nous allons définir une fonction spatiale faisant évoluer le niveau de l'eau en amont du barrage de 80 m à 20 m en un laps de temps de 72 heures.



**Figure4.8 Générer fonction limite d'infiltration**

Le phasage du problème sera effectué en staged construction faisant en premier lieux intervenir l'état initial du barrage (plein), puis l'introduction de la fonction de vidange rapide offrant ainsi un aperçu dynamique de l'écoulement.



**Figure 4.9** Paramétrage de l'ensemble des phases de l'analyse

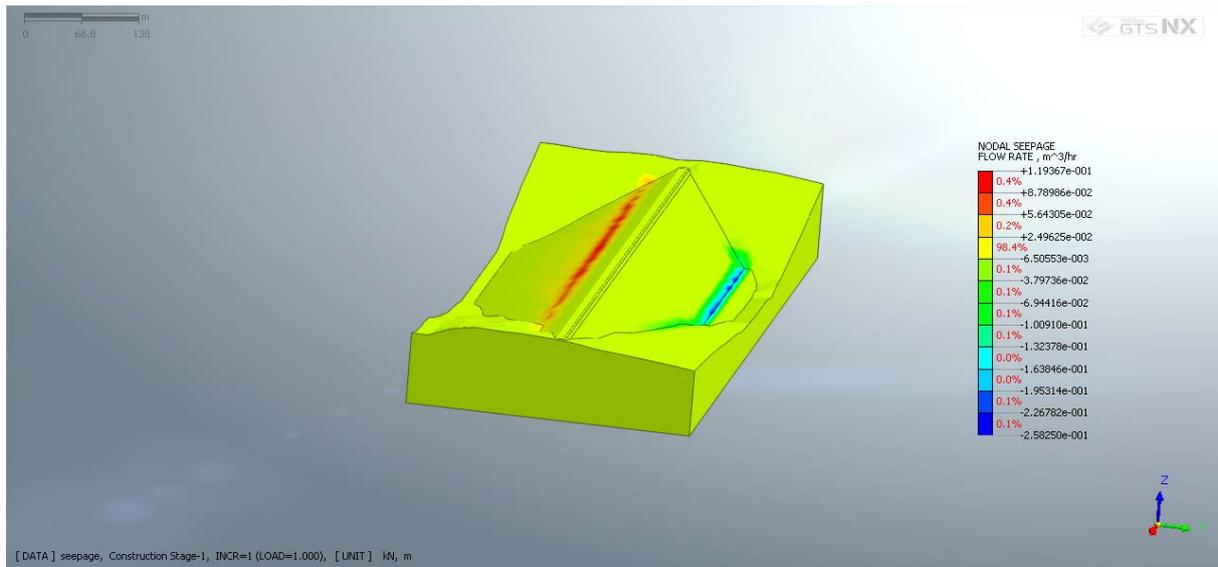
*L'analyse peut être maintenant lancée, le problème étudié est défini par :*

- > **NUMBER OF NODES : 3070**
- > **NUMBER OF ELEMENTS: 12825**
- > **NUMBER OF DOFS : 3070**
- > **NUMBER OF EQUATIONS: 2758**

*Pour information, l'analyse à tourner sur une station de travail avec processeur cadencé à 4.4 GHS et 32 GO de RAM.*

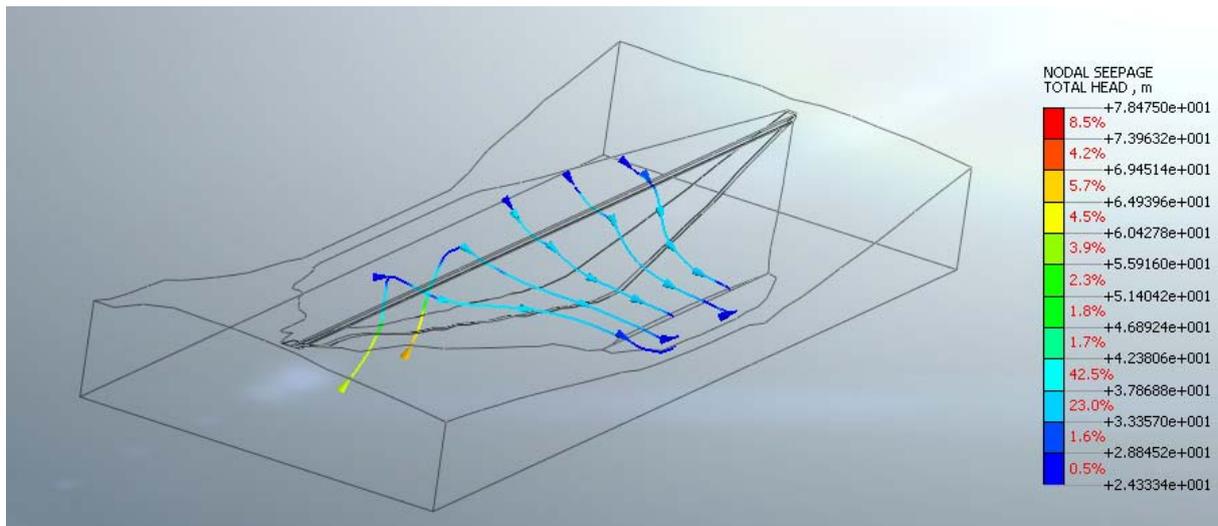
*Le logiciel Midas Gts-nx offre une myriade de résultats exploitables, nous nous contenterons des plus explicites au problème étudié.*

*La figure suivante offre un aperçu sur l'écoulement au niveau du corps du barrage à l'état initial.*



**Figure 4.10: Ecoulement à travers le barrage état initial (plein)**

La figure suivante nous montre les lignes d'écoulements à travers le corps du barrage faisant ressortir la fonction du prisme de drainage, montrant ainsi la cohérence du modèle numérique avec la réalité physique.



**Figure 4.11: Lignes d'Ecoulement à travers le corps du barrage (état initial)**

Les figures suivantes montrent l'évolution des pressions interstitielles ainsi que le flux d'écoulement avant et après la vidange rapide du barrage. Encore une fois le modèle numérique offre des résultats cohérents avec le physique réel faisant apparaître une chute de la pression en fonction de la diminution du niveau d'eau en amont du barrage.

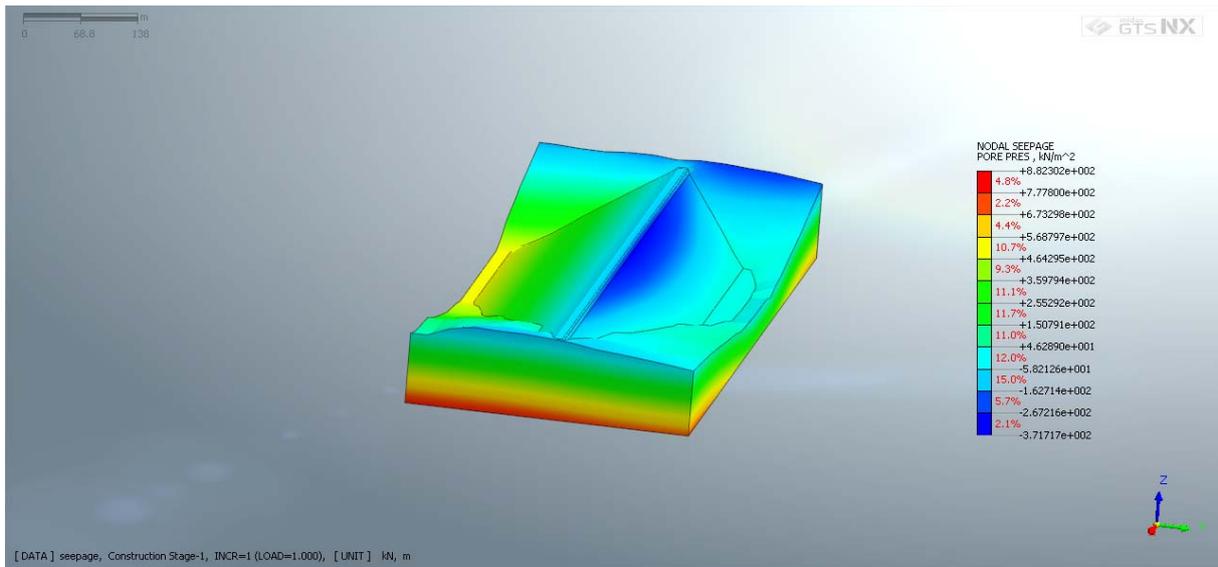


Figure 4.12: Pression interstitiel état initial (plein)

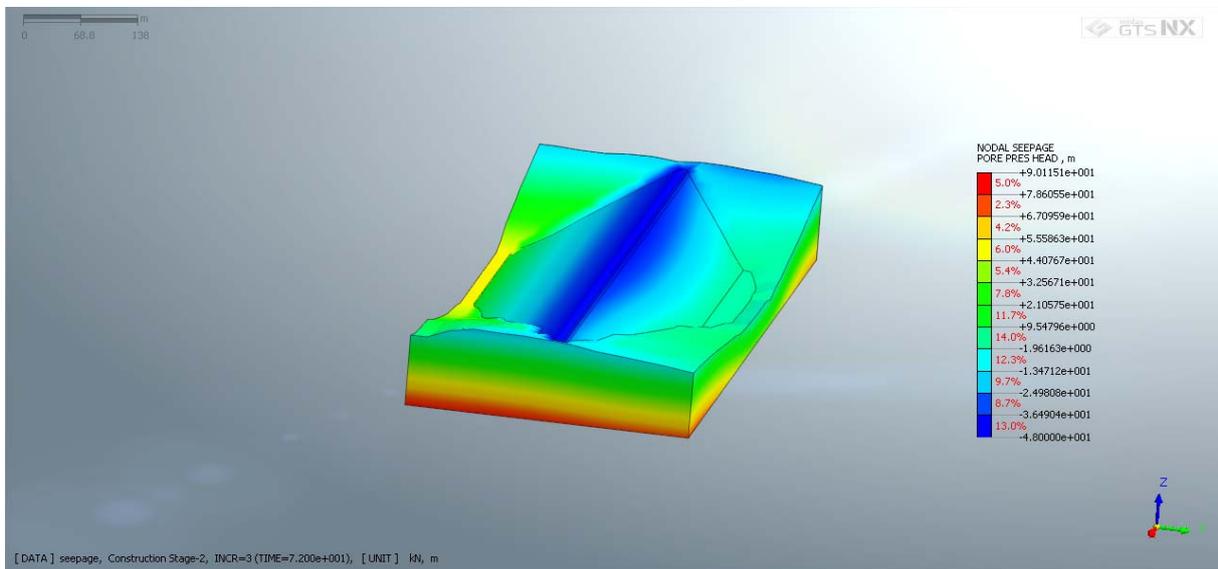


Figure 4.13: Ecoulement à travers le barrage en vidange rapide

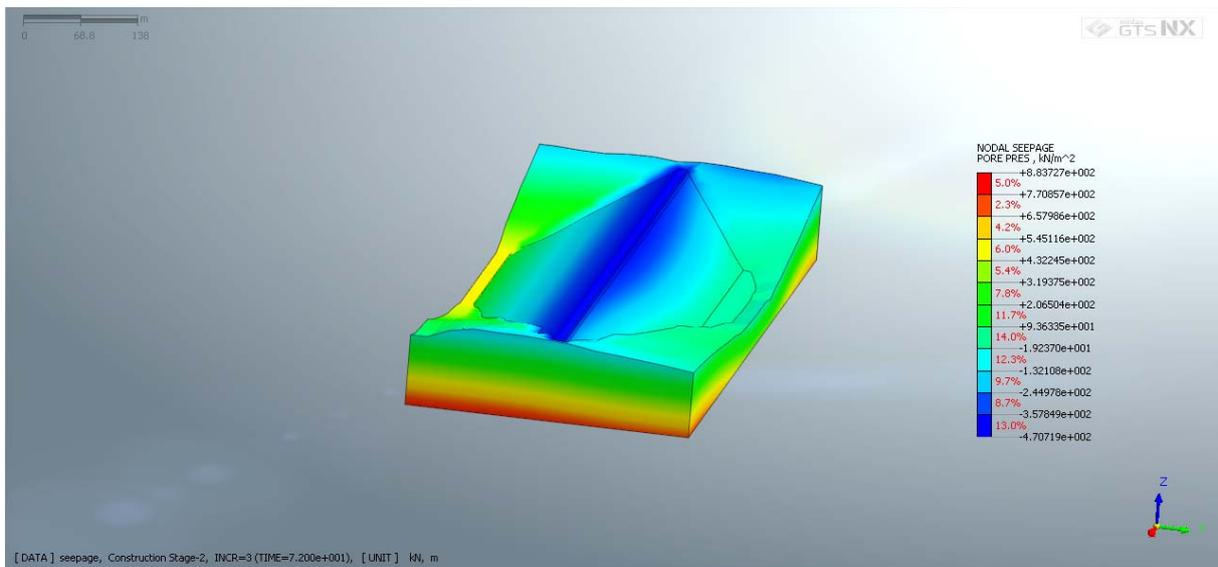


Figure 4.14: Pression interstitielle vidange rapide

#### 4.4 Modélisation de la stabilité du barrage par la méthode SRM:

Nous allons maintenant entreprendre l'analyse de la stabilité du barrage par la détermination du coefficient de sécurité de se dernier.

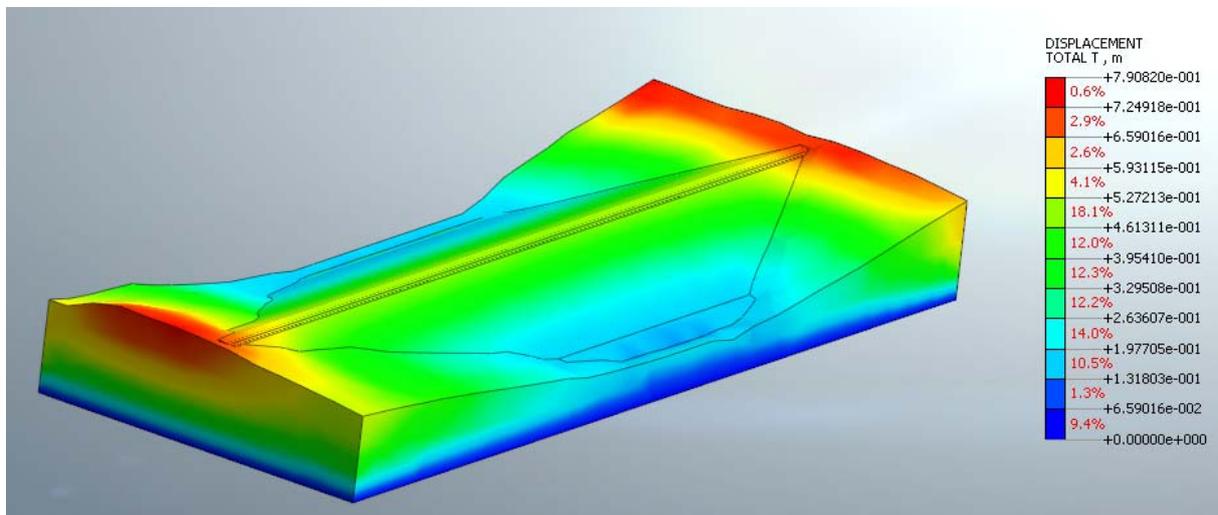
La méthode utilisée est dite StrengthReductionMethod(SRM), offrant une vision plus détaillé sur la stabilité faisant apparaitre un zonage de la stabilité.

Outre la Fixation des nœuds périphérique en translations et en rotation, la deuxième condition sera l'ajout de la gravité comme force extérieur appliqué au barrage. La variable appliqué à l'analyse sera le niveau d'eau appliqué à l'amont du barrage faisant ainsi varié la pression interstitiel et le poids de l'eau appliqué.

L'analyse peut être maintenant lancé, le problème étudié est définis par :

- > **NUMBER OF NODES : 2758**
- > **NUMBER OF ELEMENTS: 12251**
- > **NUMBER OF DOFS : 8274**
- > **NUMBER OF EQUATIONS: 7131**

La figure suivante montre l'évolution des déplacements à la fin de la construction du barrage (barrage complètement vide). Les résultats semblent cohérents avec un déplacement maximum n'excédent pas les 8 cm au niveau extrême des berges du barrage.



**Figure 4.15: Déplacement barrage fin de construction**

Les figures suivantes montrent l'évolution du coefficient de sécurité en fonction du remplissage du barrage. Un certain nombre de points a été choisis pour montrer la valeur du coefficient de sécurité. Le barrage semble stable avec un coefficient de sécurité supérieur à 1 hormis pour la zone du prisme de drainage. Cela pourrait être corrigé en procédant à une stabilisation du sol soit par le changement de la géométrie, des matériaux ou bien de procéder à des techniques de confortement.

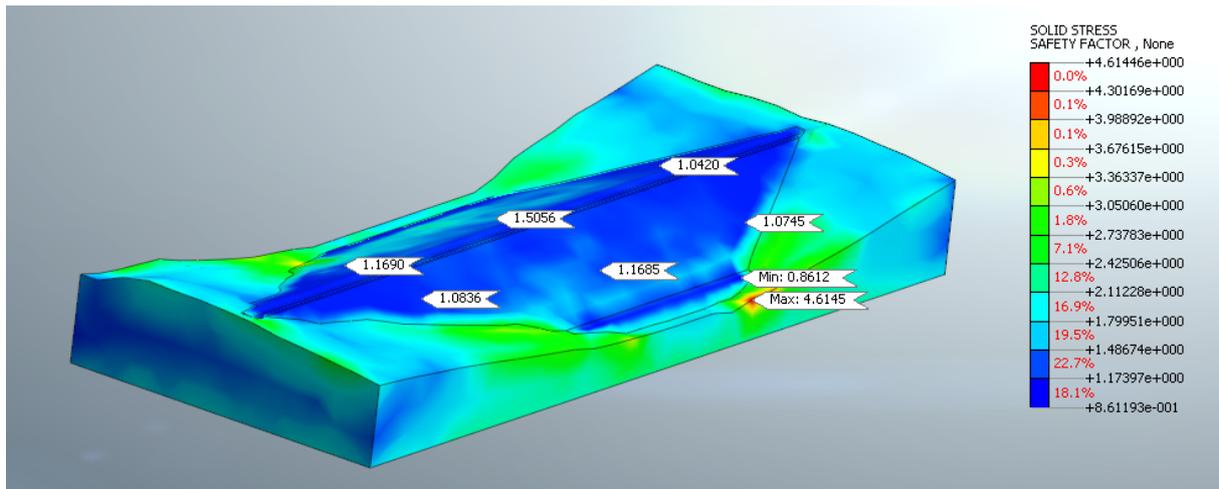


Figure 4.16: Stabilité (SRM) barrage vide (pas d'eau)

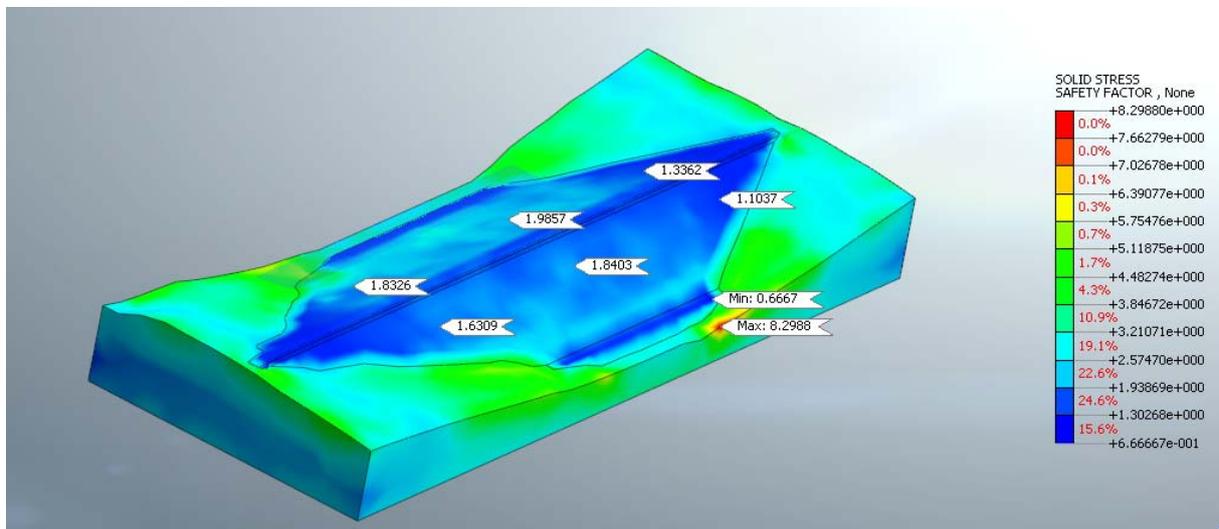


Figure 4.17: Stabilité (SRM) barrage avec niveau d'eau bas (20 m)

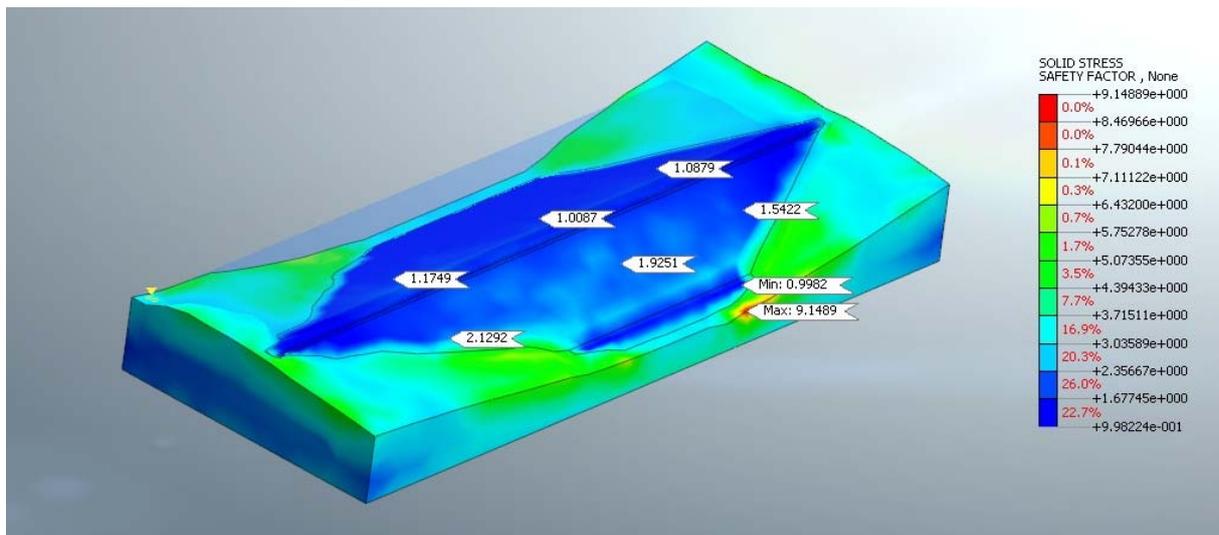


Figure 4.18: Stabilité (SRM) barrage plein

#### **4.5 Conclusion**

*Ce chapitre a été très exhaustive en résultats, notamment pour ce qui est de l'exploitation ne sera 'ce que partiel du logiciel Midas Gts-Nx.*

*Les résultats ainsi obtenus semblent cohérents, cependant faute de temps ainsi que la masse de calcul importante nécessitant une machine de calcul puissante, nous n'avons pue que légèrement exploité les capacités du logiciel.*

*La stabilité du barrage semble être assuré hormis au niveau du prisme de drainage ou cela nécessiterai un confortement.*

## Conclusion générale

*La définition du modèle numérique faite, une série de modélisations a permis de tester les capacités du logiciel, ainsi que validé le design du barrage étudié. Par exemple :*

*Une fonction spatiale faisant évoluer le niveau de l'eau en amont du barrage de 80 m à 20 m en un laps de temps de 72 heures, a permis l'analyse de l'action d'une vidange rapide sur le comportement du barrage.*

*L'analyse en infiltration a tourné sur une station de travail avec processeur cadencé à 4.4 GHS et 32 GO de RAM., avec succès, avec :*

- > Nombre de nœuds = 3070**
- > Nombre d'éléments = 12825**
- > Nombre de degrés de liberté = 3070**
- > Nombre d'équations = 2758**

*Ainsi, le logiciel Midas Gts-nx offre une myriade de résultats exploitables, nous nous contenterons des plus explicites au problème étudié.*

- *Les lignes d'écoulements à travers le corps du barrage font ressortir la fonction du prisme de drainage, montrant ainsi la cohérence du modèle numérique avec la réalité physique,*
- *l'évolution des pressions interstitielles ainsi que le flux d'écoulement avant et après la vidange rapide du barrage montre, encore une fois que le modèle numérique offre des résultats cohérents avec le physique réel, faisant apparaître une chute de la pression en fonction de la diminution du niveau d'eau an amont du barrage,*

*L'analyse en stabilité sur la même station de travail adonné avec succès, avec :*

- >Nombre de nœuds = 2758**
- >Nombre d'éléments = 12251**
- >Nombre de degrés de liberté = 8274**
- >Nombre d'équations = 7131**

*L'évolution des déplacements à la fin de la construction du barrage (barrage complètement vide) montre que les résultats semblent cohérents avec un déplacement maximum n'excédant pas les 8 cm au niveau extrême des berges du barrage.*

*En fonction du remplissage, le barrage semble stable avec un coefficient de sécurité supérieur à 1 hormis pour la zone du prisme de drainage. Cela pourrait être corrigé en procédant à une stabilisation du sol soit par le changement de la géométrie, des matériaux ou bien de procéder à des techniques de confortement.*

*En conclusion générale, les résultats ainsi obtenus semblent cohérents, cependant faute de temps ainsi que la masse de calcul importante nécessitant une machine de calcul puissante, nous n'avons pu que légèrement exploiter les capacités du logiciel.*

*La stabilité du barrage semble être assurée hormis au niveau du prisme de drainage ou cela nécessiterai un confortement.*

***CHAPITRE 1***  
***GENERALITESUR LES***  
***BARRAGES EN TERRE***

**CHAPITRE 2**

**PRESENTATION DU BARRAGE**

**BOUKHROUFA**

**CHAPITRE 3**

**PRESENTATION DE LOGICIEL**

**MIDAS GTS.NX**

# **CHAPITRE 4**

## **CHAPITRE 4 EXPLOITATION DU LOGICIEL MIDAS GTS NX**

**CHAPITRE5**

**CONCLUSIONS GENERALE**

# **BIBLIOGRAPHIE**

**Mémoire fin d'étude (AOH) promotion(2015)**

**Barrage boukhroufa expertise APD VOL III-Géologie-Géotechnique Annexe III 3.2 Labo**

**Agence national des barrages et transfèreCPS Word**

**Présentation de logiciel Midas GTS.NX site officiel de logiciel WWW .Midas GTS.NX.COM**