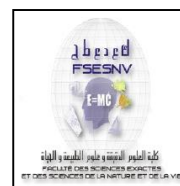


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi. Tébessa

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences
de la Nature et de la Vie



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème :

**Stabilité des barrages en terre et ouvrages d'auscultation ;
Cas du barrage en Terre (géo membranes) d'Ourkiss.
W.Oum El Bouaghi, NE Algérien**

Présenté par :

HAMAIZIA Djouhra

Devant le jury

Pr. BAALI Fethi
Dr. AOUN Mounira
Dr. MOUCI Ridha

Professeur U.L.T Tébessa
M.C « B » U.L.T Tébessa
M.C « B » U.L.T Tébessa

Président
Examineur
Rapporteur

Session Juin 2021

تطرح السدود الترابية مشكل التوازن، وبصفة خاصة انزلاق المنحدر، والتآكل الداخلي، والتي غالبا ما تؤدي إلى سيناريوهات كارثية في السدود الكبيرة، لذلك يعد امن وسلامة الهيكل من المشاغل الأولية لمهندسي السدود.

في هذا التقرير نتطرق إلى استقرار وتجهيزات الأمان لسد اوركيس، الواقع بولاية أم البواقي، حيث أن دراسة الظروف الجيولوجية واستقرار السد، سمح بتنصيب أجهزة الأمان المختلفة، من أجل الحفاظ عليه في أحسن الظروف.

الكلمات المفتاحية

سد، استقرار، التسمع ، سد اوركيس ، شمال شرق الجزائر.

Abstract

Fill dams pose the problem of stability particularly the problem of internal erosion and sliding slope, which causes in general, damages much serious in the big dams.

Our report deals with the stability and safety equipments of the Ourkiss dam, which is located in Oum El Bouaghi, in the northeast of Algeria. The study of geological conditions, and the stability of the Ourkiss dam is defined by differents auscultation Equipments, of the dam, as well their location, to always maintain them in the best safety conditions

Keywords

Dam, Stability, Auscultation, Ourkis dam, North East of Algeria

Résumé

La sécurité des barrages constitue le souci permanent des ingénieurs chargés de leur conception, particulièrement, Les barrages en remblai posent le problème d'érosion interne, ou de glissement des talus, causes des scénarios pessimiste dans les grands barrages ;

Notre étude traite la stabilité et l'auscultation du barrage d'Ourkiss, situé dans la Willaya d'Oum El Bouaghi, au Nord Est algérien. Bien que l'étude des conditions géologiques, et de la stabilité du barrage d'Ourkiss, ont défini différents types de matériels d'auscultation du barrage, ainsi que leur implantations, pour le maintenir toujours dans les meilleures conditions de sécurité.

Mots clés

Barrage, Stabilité, Auscultation, Barrage d'Ourkis, Nord Est Algérien.

Dédicace

Je dédie ce travail à la mémoire de ma mère et à la mémoire de mes deux frères, qui vient de nous quitter ;

A mon père Pour sa patience et considérable sacrifices pour me parvenir à ce niveau ;

A toute la famille, mes amies et collègues Je dédie ce travail.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord « ALLAH », qui nous a donné la force de faire ce modeste travail.

Nous tenons à remercier également notre encadreur Dr MOUICI Ridha, pour ses orientations, suggestion et pour avoir contribué à l'élaboration de ce présent mémoire.

Nos remerciements Vont au Pr Fethi BAALI, d'avoir accepté d'examiner mon travail et de présider mon Jury ainsi que Dr Mounira Aoun d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je tiens à remercier Mr BELAHCEN Farid chef Ingénieur indépendant.

Je tiens à remercier Mr MESSAI Zakaria Adjoint de Directeur du Barrage d'Ourkiss.

Un remerciement particulier est dédié à mes collègues de travail Mr BOUANDEL Raouf, Mr BELFERRAG Miloud, MESLI Ismail, BOUHALA Nadjib, BOUSLIMANI Nouredine.

Et ainsi que Tous les enseignants et le personnel du département des Sciences de la Terre et de l'Univers, qui ont contribué à notre formation et les connaissances qu'ils nous ont transmises grâce auxquelles nous avons pu réaliser ce travail.

Mes remerciements s'adressent, aussi, à tous ceux qui ont aidé, quelle que soit la façon, à l'élaboration de ce travail pour qu'il puisse voir le jour sans oublier mes amies.

Table des Matières

ملخص.....	I
Abstract.....	I
Résumé.....	I
Dédicace.....	II
Remerciements.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.....	VII
Liste des photographies.....	VIII
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : PRESENTATION DES BARRAGES ENTERRE	2
I. INTRODUCTION	2
II. LES BARRAGES EN TERRE OU REMBLAIS	3
1 Types de barrage en terre.....	4
1.1 Barrages en terre homogènes.....	5
1.2 Barrages en terre à noyau étanche.....	6
1.3. Barrages en terre à masque amont.....	7
2 Etanchéité.....	8
2.1 Paroi moulée.....	9
2.2 Traitement des fondations par injection.....	9
3 Tapis d'étanchéité amont.....	10
3 Rupture des barrages en terre.....	11
3.1 Causes de rupture des barrages en terre.....	11
Problèmes techniques.....	11
Causes naturelles.....	11
Causes humaines.....	11
3.2 Types de ruptures.....	11
3.3 Exemples de ruptures.....	12
Etat critique de la submersion (Cas du barrage de Fergoug, Algérie).....	12
Erosion régressive (cas du barrage Teton aux Etats Unis).....	13
III. STABILITE DES BARRAGES EN REMBLAI.....	14
1 Analyse de la stabilité des barrages en terre et pathologie liée à l'instabilité de l'ouvrage	14
1.1 Le glissement des talus	14
Le mécanisme de glissement.....	15
Le glissement côté aval en situation de crue	15
Le glissement en situation aval lors de la décrue.....	16
Causes du glissement.....	16
Nature et géologie du terrain.....	17
Actions de l'eau.....	17
Actions mécaniques extérieures.....	17
1.2 Mécanisme de l'érosion interne et développement de phénomène renards.....	18
Origines du phénomène d'érosion.....	18
L'érosion interne.....	19
Les phénomènes d'arrachement.....	19
L'entraînement.....	19
L'érosion régressive.....	19
Le renard hydraulique.....	20
Le débouillage.....	20

Le phénomène de boullance.....	20
La dissolution.....	21
La défloculation.....	21
Les phénomènes de transport.....	21
La suffusion.....	21
La dispersion du sol.....	22
1.2.1 Etude des infiltrations dans un barrage en terre.....	24
Méthodes graphiques.....	24
Méthodes analogiques.....	24
Méthodes de simulation numérique.....	24
IV. CONCLUSION.....	25
Chapitre II : AUSCULTATION DES BARRAGES EN TERRE.....	26
I. INTRODUCTION.....	26
II. TYPES D'AUSCULTATION.....	27
III. NATURE DES PHENOMENES MESURES	28
1 Les tassements.....	29
2 La piézométrie.....	29
3 Les débits de drainage et fuites.....	29
IV. LE SYSTEMES D'AUSCULTATION.....	30
1 Grandeurs physiques mesurées.....	31
Paramètres géométriques.....	32
Paramètres hydrauliques.....	32
Autre paramètres.....	32
2 Les appareils de mesure.....	33
Spécification des appareils de mesure.....	33
Qualification des appareils de mesure.....	33
Procédures d'installation.....	34
Contrôles périodiques.....	34
3 Réalisation et transmission des mesures.....	34
Mesure manuelle.....	34
La Télémessure.....	34
Traitement des mesures.....	34
Analyse des données.....	35
4 Interprétation et exploitation des résultats Interprétation des résultats.....	36
4.1 Interprétation des résultats.....	36
Déplacement.....	36
Débit de fuite.....	36
Pression.....	36
4.2 Exploitation des résultats.....	36
Exploitation des résultats de l'auscultation à court terme	36
Exploitation des résultats de l'auscultation à long terme.....	37
VI. CONCLUSION.....	37
Chapitre III : PRESENTATION DU BARRAGE D'OURKISS.....	38
I. CADRE GENERAL.....	39
1. Situation géographique.....	38
2. Objectif du barrage	38
II. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES ET AUTRES PARAMETRES DU BARRAGE D'OURKISS ET SA RETENUE.....	41
II. LES APPORTS NATURELS ET VOLUME REGULARISE.....	41
III. LE TAPIS ETANCHE.....	42
III. ETUDE DE STABILITE DE LA DIGUE	45
Chapitre IV : AUSCULTATION DU BARRAGE D'OURKISS.....	46

I. INTRODUCTION.....	46
II. PRESENTATION GENERAL DU DISPOSITIF D'AUSCULTATION DU BARRAGE D'OURKISS...	47
III. TYPE D'AUSCULTATION DU BARRAGE D'OURKISS.....	48
1 Auscultations géotechniques.....	48
1.1 Cellule de mesure des pressions interstitielles.....	49
1.2 Cellules pour les mesures des pressions totales.....	50
1.3 Piézomètres.....	51
1.4 Dispositifs pour les mesures des eaux percolées.....	53
2 Auscultations topographiques.....	54
3 Mesures sismiques.....	56
4 Mesures hydrométéorologiques.....	57
IV. CONCLUSION.....	57
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	60

Liste des tableaux

01 Synthèse de quelques ouvrages en terre ayant des problèmes avec l'érosion.....	23
02 Paramètres significatifs pour le suivi des ouvrages remblais et de leurs fondations...	30
03 Caractéristiques hydrologiques et autres paramètres du barrage et sa retenue.....	43
04 Résultats de l'analyse de la stabilité.....	45
05 dispositif d'auscultation du barrage d'Ourkiss.....	48
06 Résultats de quelques mesures des pressions interstitielles du barrage d'Ourkiss.....	50
07 Résultats de quelques mesures de niveau dans les piézomètres du barrage d'Ourkiss	51
08 Résultats de quelques mesures des pressions interstitielles du barrage d'Ourkiss.....	53
09 Résultats de Quelques enregistrements automatique de la quantité des eaux percolées du barrage d'Ourkiss.....	54

Liste des figures

01 Catégories des Barrages en remblais.....	4
02 Barrage en terre homogène.....	5
03 Barrage en terre à noyau étanche.....	6
04 Barrage à masque amont.....	7
05 Etanchéité par parois moulées.....	9
06 Traitement des fondations par injection.....	10
07 Tapis d'étanchéité amont.....	10
08 Glissement circulaire d'un talus.....	15
09 Mécanisme de glissement circulaire coté Aval en situation de crue.....	15
10 Mécanisme de glissement coté fleuve lors de la décrue.....	16
11 Schéma représentatif des divers phénomènes initiateurs de l'érosion dans un barrage	18
12 Phénomène d'entraînement.....	19
13 Phénomène d'érosion régressive.....	19
14 Phénomène de renard.....	20
15 Phénomène de débouillage.....	20
16 Phénomène de boulangerie.....	21
17 Phénomène de suffusion	22
18 Trajectoire de l'eau à travers le barrage.....	24
19 Surveillance des barrages.....	26
20 Typologie des dispositifs d'auscultation.....	27
21 Diagramme d'un système d'auscultation.....	31
22 Auscultation et instrumentation d'un barrage.....	33
23 Situation géographique du barrage d'Ourkiss.....	39
24 Objectif du barrage Ourkiss.....	40
25 digue principale et coupe en travers du barrage d'Ourkiss.....	43
26 Renforcement de la conception la géo membrane du tapis étanche.....	43

Liste des Photographies

1 Barrage de Mattmark, Valais de 120 m, 1967 en remblais.....	2
2 Barrage du Mont-Cenis.....	3
3 Barrage en terre homogène de Herraça, W. Chelef	5
4 Barrage à digue zonée de Zit El Amba, W. Skikda.....	7
5 Masque en béton armé et plinthe.....	8
6 Masque en béton bitumineux du bassin de Vallon.....	8
7 Masque en membrane barrage de Codole	8
8 Barrage à masque amont en Béton de Ghrib W. Ain Defla.....	8
9 Barrage Fergoug après la rupture par déversement en 1928.....	12
10 Barrage Fergoug après la reconstruction en 1986.....	13
11 Rupture. Le barrage de Teton	13
12 Barrage d'Ourkiss, W. d'Oum El Bouaghi.....	38
13 Fractures ouvertes, karstifiées avec des concrétions calcaires.....	42
14 Fractures, karstifiées dans les calcaires dolomitiques de la surface de la zone du barrage.....	42
15 Matériaux argileux, extraits de la zone d'emprunt, caractérisés par la présence de carbonate (CaCO ₃).....	43
16 Pose de la géo membrane et géotextile depuis la crête la digue du barrage d'Ourkiss	44
17 Contrôle des joints, dès la fin de la pose de la géo membrane, par l'air comprimé...	44
18 Télégestion des enregistrements au niveau du réseau standard (bâtiment de commande) du barrage d'Ourkiss.....	46
19 Traitement numérique des enregistrements télégestés du barrage d'Ourkiss par le logiciel GeoDas.....	46
20 Raccordement des appareils de mesures à l'aide des câbles au bâtiment de commande.....	47
21 Raccordement des Cellules des pressions interstitielles du barrage d'Ourkiss.....	49
22 Raccordement des Cellules des pressions totales du barrage d'Ourkiss.....	50
23 Piézomètre P1 du barrage d'Ourkiss.....	51
24 Lecture de niveau d'eau du piézomètre PR12, à l'aide d'une sonde hydroélectrique de mesure de niveau.....	52
25 Dispositif de drainage du barrage d'Ourkiss.....	53
26 Raccordement des deux (2) accélérographes du barrage d'Ourkiss au niveau du bâtiment de commande.....	56
27 Accélérographe du barrage d'Ourkiss.....	56
22 Bac d'évaporation du barrage d'Ourkiss.....	57

INTRODUCTION

Les barrages en terre, ou en remblais, sont les barrages les plus répandus dans le monde, ils sont construits de matériaux naturels qui peuvent être détritiques ou concassés et de ce fait, les matériaux donnent des barrages en terre ou en enrochements.

Ces barrages sont le sujet de plusieurs phénomènes qui peuvent nuire à la stabilité. La détection précoce de ces phénomènes est d'une importance vitale, vu l'enjeu que court la pérennité de ces barrages, il s'agit d'un système d'alerte efficace qui doit donner l'alerte en temps réel.

Le présent travail est une modeste contribution à l'inventaire des différents ouvrages d'auscultation nécessaire dans un barrage en terre, comme exemple on a pris le Barrage en géo membranes d'Ourkiss dans la W. d'Oum El Bouaghi.

Le travail est organisé sur quatre chapitres ;

Le premier chapitre est dédié à la définition et la présentation des barrages en terre et les différents phénomènes qui peuvent affecter la stabilité ;

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation sommaire des ouvrages d'auscultation dans un barrage en terre ;

Le troisième chapitre est consacré à la présentation du barrage, pris en exemple, à savoir, le barrage en terre (géo membranes) d'Ourkiss ;

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation du dispositif d'auscultation du barrage d'Ourkiss.

Il est à noter que certains détails de la présentation du barrage d'Ourkiss et de son dispositif d'auscultation présentent des données stratégiques à ne pas divulguer. Ainsi, on n'a pas pu avoir accès à certaines données, et parfois à certains résultats, ni à l'autorisation de les publier.

Chapitre I : **PRESENTATION DES BARRAGES ENTERRE**

I. INTRODUCTION

Les barrages, suivant les matériaux de construction ; se subdivisent en barrage en terre ou remblais et en Béton. Les barrages en terre, ou en remblais, sont les barrages les plus répandus dans le monde, ils peuvent être réalisés à partir de sols naturels meubles prélevés à proximité du site de l'ouvrage. Ou en enrochements, dont la majeure partie est constituée de matériaux de carrière concassés.

Plusieurs phénomènes peuvent affecter leur stabilité ; outre la fondation et son interaction avec le sous-sol, des phénomènes en relation avec l'eau peuvent nuire à la stabilité de tout l'ouvrage.

II. LES BARRAGES EN TERRE OU REMBLAIS

Les barrages en terre ou en remblais sont les barrages les plus répandus dans le monde, représentent environ 70% des grands barrages, leur grande proportion s'explique par leur simplicité d'exécution, et leur faible coût de construction.

On choisit ce type d'ouvrage lorsque la vallée est trop large pour admettre une structure en béton, et les matériaux de constructions sont disponibles en place, ou à faible distance.



Photo N° 1 : Barrage de Mattmark, Valais de 120 m, 1967 en remblais (fr.slideshare.net)

On distingue deux catégories de barrage en remblai :

1. Les barrages en terre, réalisés à partir de sols naturels meubles prélevés à proximité du site de l'ouvrage.
2. Les barrages en enrochement, dont la majeure partie est constituée de matériau de carrières concassé.

La digue du barrage en terre et enrochements du Mont-Cenis (Photo N°2) est d'un volume de 15 millions de m³, avec une largeur de 460 m à la base et de 12 m en crête, pour une longueur de 1400 m. Il couvre une surface de 41,5 hectares.



Photo N° 2 : Barrage du Mont-Cenis. (Photo site www.industrie.gouv.fr)

Les barrages en remblais présentent les avantages suivants :

1. Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrages poids, résistent à la pression de l'eau par leur propre poids ;
2. Pouvoir de reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles ;
3. Adaptation à un large éventail de conditions de fondation ;

Utilisation de matériaux naturels, disponibles, souvent à proximité, ce qui limite largement des frais supplémentaires ;

- 1 Processus de construction pouvant être continus et hautement mécanisés ;
- 2 Conception extrêmement flexible quant au choix de matériaux de remplissage.

1. Types de barrage en terre

Les barrages en terre compactés peuvent être divisés en trois principaux types, (in www.planete-tp.com) :

1. Les ouvrages en terre homogènes ;
2. Les ouvrages à noyaux étanches ;
3. Les ouvrages à masques amont.

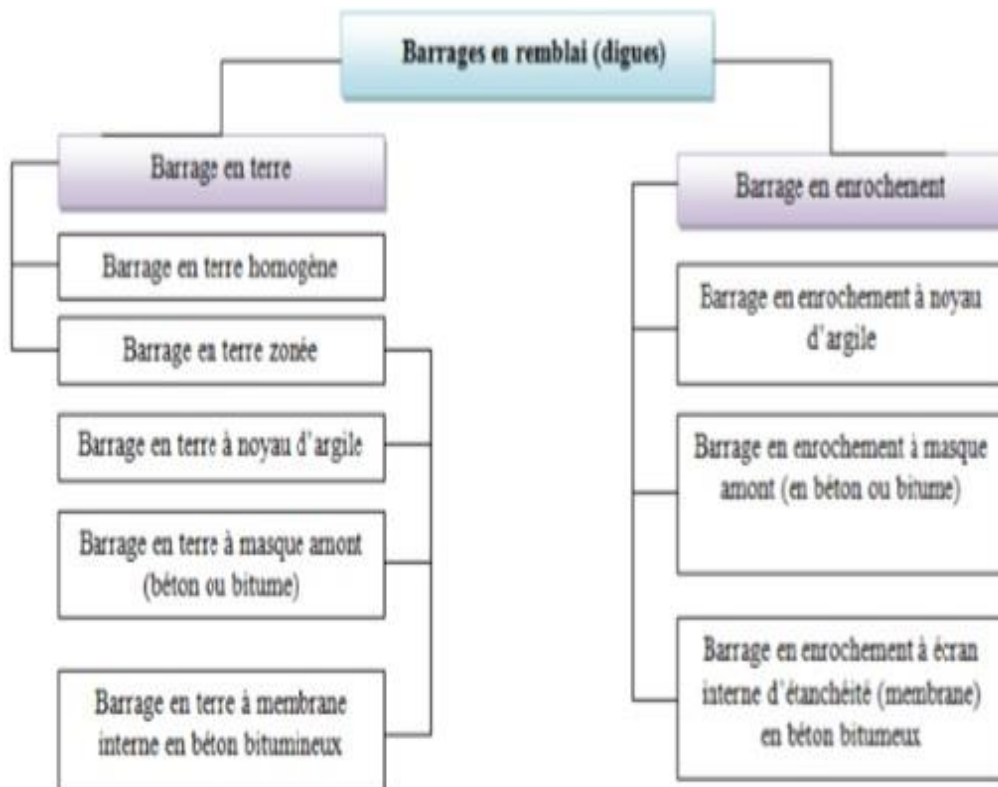


Figure N° 1 : Catégories des Barrages en remblais (ANTON et Al, 2011)

1.1 Barrages en terre homogènes

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est totalement construit avec un seul matériau, qui est le plus souvent argileux, remplissant simultanément les deux fonctions d'écran et de masse. Ce matériau doit présenter des caractéristiques permettant de garantir une étanchéité suffisante, et une stabilité du remblai.

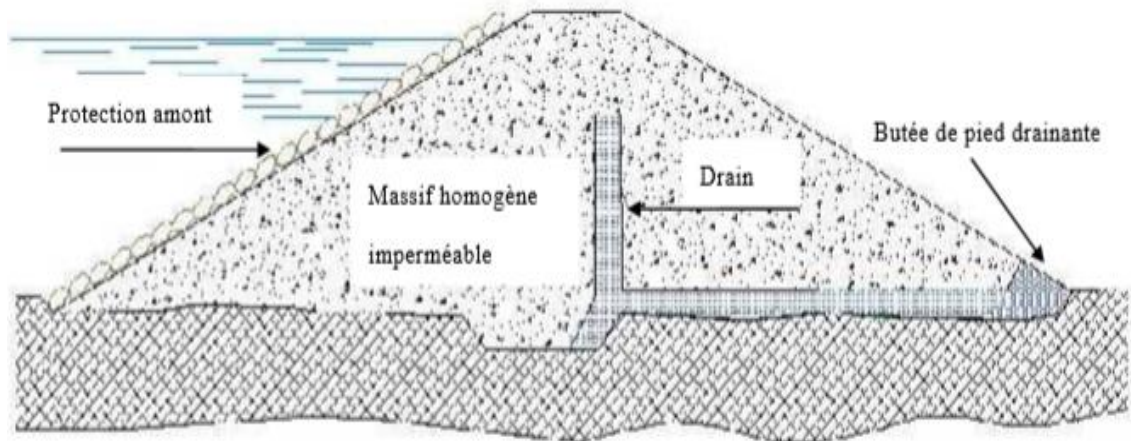


Figure N° 2 : Barrage en terre homogène (LE DELLIOU, 2003).

Leur simplicité a permis de développer une technique de réalisation bien maîtrisée, tout en assurant une grande sécurité, néanmoins ce type de barrage est surtout adopté pour la réalisation de retenue collinaires et de petits barrages.



Photo N° 3 : Barrage en terre homogène de Herraça, W. Chelef (in postesdeoehenalgerie.blogspot.com)

1.2. Barrages en terre à noyau étanche

Dans le cas où la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage, on opte, le plus souvent, pour un ouvrage à zones avec un noyau en argile assurant l'étanchéité.

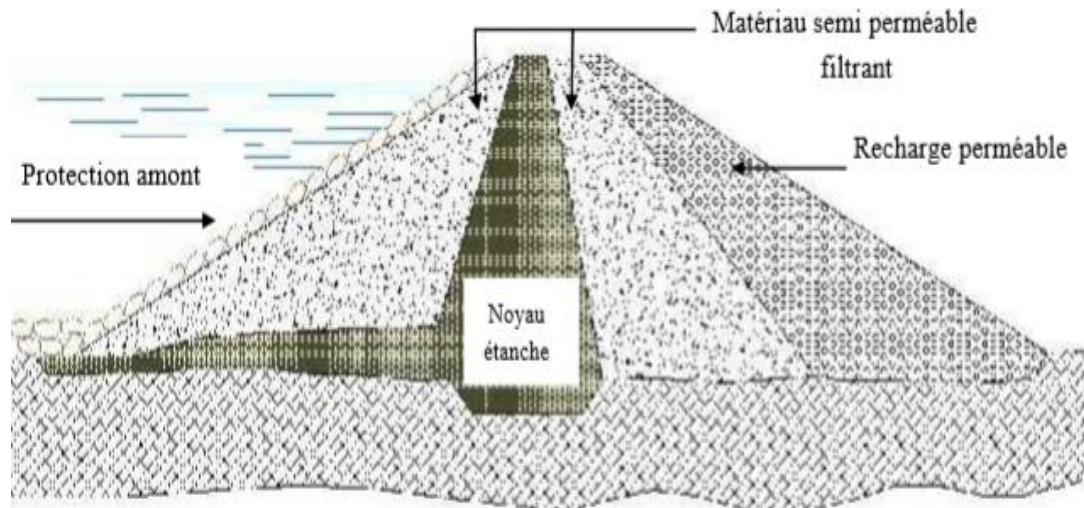


Figure N° 3 : Barrage en terre à noyau étanche (LE DELLIYOU, 2003).

La stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges, ces recharges peuvent être au nombre variables, et disposées différemment d'un barrage à un autre, en fonction de la nature du matériau, et des conditions spécifiques à chaque barrage.

Ce type de barrages présente toutefois l'inconvénient d'une mise en œuvre plus compliquée et onéreuse, surtout si la vallée est étroite et où le travail mécanisé devient plus compliqué, un autre inconvénient, est la nécessité de séparer par des filtres de transition les différentes zones.

Par contre, pour les ouvrages importants, les matériaux grossiers de recharges sont plus résistants que les matériaux argileux, on peut donc construire des talus plus raides et on contrôle mieux les écoulements dans le corps du barrage.

Notons que le noyau étanche peut être vertical ou incliné et parfois remplacé par un diaphragme en béton, en ciment ou bitumineux (in CHERIF et al, 2013).



Photo N° 4 : Barrage a digue zonée de Zit El Amba, W. Skikda (in settah.canalblog.com)

1.3. Barrages en terre à masque amont

Dans les sites où aucune terre n'est disponible, les enrochements sont employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton (Photo N°5), en produits bitumineux (Photo N°6) ou en géo membrane (Photo N°7). Posé sur l'ouvrage lui-même, coté amont.

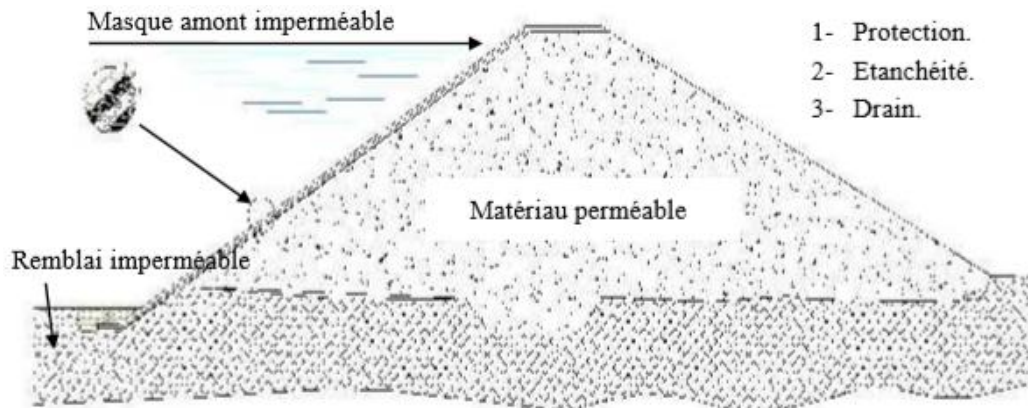


Figure N° 4 : Barrage à masque amont (LE DELLIU, 2003)

La présence de ce masque sur le parement amont présente un double avantage de pouvoir faire des réparations en cas de dégradation du masque et de permettre de faire des vidanges rapides sans risque de glissements. Sans oublier leur rôle d'empêcher de grandes pertes d'eau par infiltration.



Photo N°5 : Masque en béton armé et plinthe du Barrage des Cous (Photos Irstea-G2DR)



Photo N°6 : Masque en béton bitumineux du bassin de Vallon d'OL (Photos Irstea-G2DR)



Photo N°7 : Masque en membrane barrage de Codole (Corse, Photos Irstea-G2DR)



Photo N°8 : Barrage à masque amont en Béton de Ghrib W. Ain Defla. (opodoran.canalblog.com)

Lorsque les fondations du barrage sont imperméables, il suffit d'assurer la liaison entre le massif du barrage et sa fondation en réalisant un ancrage du dispositif d'étanchéité pour empêcher les infiltrations suivant la ligne de contacts entre le barrage et sa fondation.

Dans le cas où les fondations sont perméables, leur traitement est indispensable pour les rendre étanches. Ce traitement est fonction de la nature des matériaux les constituant et de leurs profondeurs.

2. Etanchéité

C'est une tranchée remplie de matériaux assurant l'étanchéité du massif, qui doit recouper la couche perméable et s'ancrer dans le substratum imperméable ;

Cette solution est adoptée lorsque l'épaisseur de la couche imperméable n'est pas très grande car l'exécution de la tranchée et son remblayage se fait d'une manière mécanique.

2.1. Paroi moulée

On appelle paroi moulée un écran vertical construit à partir de la surface des fondations par excavation sans blindage et rechargé de coulis auto-durcis sable de bentonite avec ciment ou en béton plastique. Cette technique est envisagée dans les terrains meubles et dans les fondations rocheuses grâce à de nouvelles techniques appelées hydro fraise. Elle peut entraîner des désordres s'il se produit des déplacements importants, comme le poinçonnement inverse du remblai dans le cas d'un fort tassement de la fondation meuble. Si cette paroi est située au pied amont du remblai, elle peut subir un cisaillement important dans sa partie supérieure.

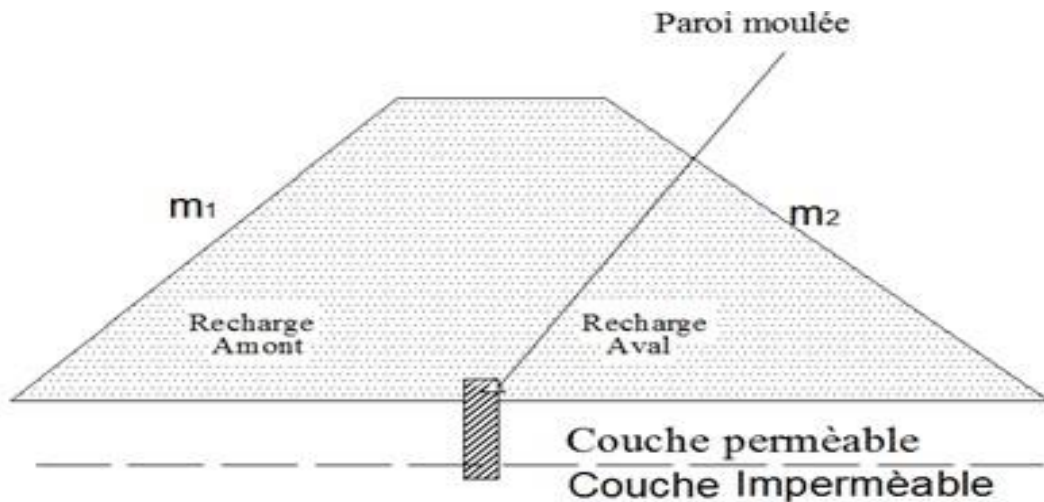


Figure N°5 : Etanchéité par parois moulées (in www.researchgate.net)

2.2. Traitement des fondations par injection

L'injection consiste à faire pénétrer dans un milieu plus au moins perméable un matériau pompable (liquide, suspension, émulsion, mortier) appelé coulis d'injection. L'injection s'effectue généralement par des forages réalisés dans le milieu à traiter et a pour but le plus souvent d'en améliorer la résistance mécanique et de réduire sa perméabilité. (Figure N°6).

Les injections sont utilisables aussi bien dans le cas d'une fondation meuble que dans celui de massifs rocheux plus ou moins fissurés. Les produits d'injection étant adaptés au matériau traité (coulis de bentonite et ciment, coulis spéciaux). La coupure comporte les plus souvent trois lignes de forages, comme l'injection ne peut être efficace en surface, soit on recoupe les premiers mètres injectés par une clé d'étanchéité, ou on traite à partir d'une certaine hauteur de remblai.

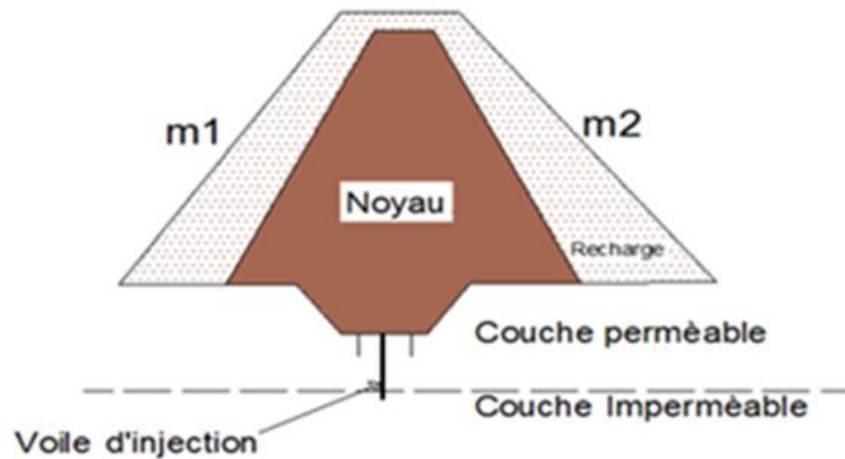


Figure N°6 : Traitement des fondations par injection (in www.researchgate.net)

2.3. Tapis d'étanchéité amont

Lorsque l'étanchéité de la retenue ne peut pas être réalisée par une coupure au droit du barrage, la solution consiste à étancher la cuvette totalement ou partiellement à l'aide d'un tapis en matériaux argileux compactés (Figure N°7). On peut adjoindre aux matériaux argileux des produits d'étanchéité, des polymères synthétiques et de la bentonite pour améliorer son efficacité.

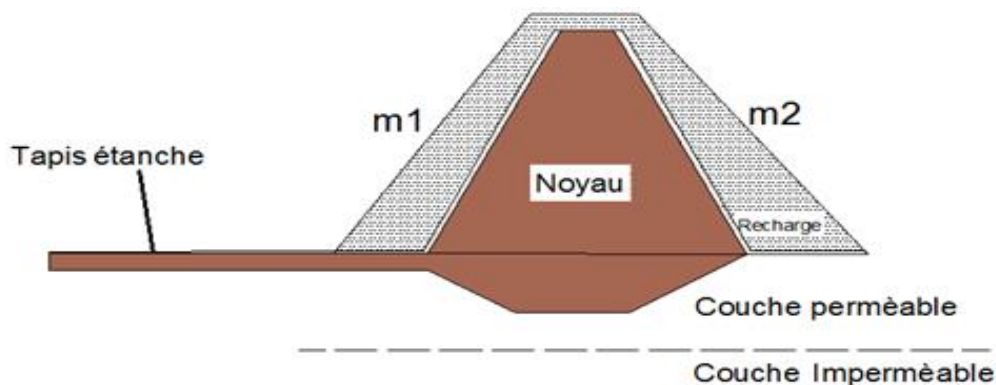


Figure N°7 : Tapis d'étanchéité amont(in www.researchgate.net)

De leur part les barrages en enrochement se divisent en trois principaux types (Figure N°1)

- 1 Les ouvrages en enrochement à noyaux d'argile ;
- 2 Les ouvrages en enrochements à écran interne d'étanchéité (membrane) en béton bitumineux ;
- 3 Les ouvrages à masques amont (béton ou bitume).

3. Rupture des barrages en terre

Le risque « rupture de barrage » entre dans la catégorie des risques technologiques. Les causes ainsi que les mécanismes en jeu lors d'une rupture sont variables en fonction des caractéristiques propres au barrage. de construction rend les barrages modernes beaucoup plus sûrs.

3.1. Causes de rupture des barrages en terre

Problèmes techniques

Les problèmes techniques peuvent entraîner la rupture d'un ouvrage. Il peut s'agir d'un défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des crues ou bien d'un vice de conception, de construction ou de matériaux, le type de barrage, les matériaux utilisés, la nature des fondations ainsi que l'âge de l'ouvrage vont avoir une influence sur l'apparition de ces problèmes (Les ruptures des barrages, 2004).

Causes naturelles

Quel que soit le type des actions ou des sollicitations sur un barrage, elles menacent son sécurité et son stabilité et par la suite on aura un grand risque, on cite ici : (LE DELLIU,2003).

1. Le phénomène de renard au niveau du contact fondations-barrage ou fondation-ouvrages annexes.
2. Glissement des talus du barrage.
3. Liquéfaction du remblai par un séisme.
4. Risque de tassement.

Causes humaines

Les causes humaines peuvent enfin être à l'origine d'accidents : études préalables pas assez approfondies, contrôle d'exécution insuffisant, erreurs d'exploitation, défaut de surveillance et d'entretien ou encore actes de malveillance, sabotage, attentat, guerre (Les ruptures des barrages, 2004).

3.2. Types de ruptures

On classe les types de ruptures en trois familles (P. LE DELLIU, 2003) :

- **La rupture au premier remplissage** : représente 37%, elle prend beaucoup de temps selon la capacité du barrage.
- **La rupture par déversement** :(submersion) représente 37%, cette cause a diminué pour les barrages récents.
- **La rupture pendant l'exploitation** : représentée 26%, la cause de cette

rupture c'est le manque ou l'insuffisance d'entretien et de surveillance, on remarque que cette rupture touche beaucoup plus les barrages en remblai.

3.3. Exemples de ruptures

Etat critique de la submersion (Cas du barrage de Fergoug, Algérie).

La rupture du barrage Fergoug par déversement en 1928 (Photos N°9) montre que les premiers barrages ont connu des problèmes de conception du fait que les techniques de réalisations des barrages n'étaient pas alors maîtrisées. Le barrage a été reconstruits en 1986 (Photos N°10).



Photo N°9 : Barrage Fergoug après la rupture par déversement en 1928. (in docplayer.fr)



Photo N°10 : Barrage Fergoug après la reconstruction en 1986 (in merise 18191.skyrock.com)

Erosion régressive (cas du barrage Teton aux Etats Unis).

Parmi les exemples les plus connus est la rupture du barrage Teton. Barrage en terre, il a été situé sur la rivière de Teton, trois miles de nord-est de Newdale, Idaho (U.S.A), et a été conçu pour fournir la commande d'inondation, la production d'électricité, et l'irrigation pour plus de 40.000 hectares de champs (A.D. MVONDO MVOGO, 2012).



Photos N11 : Rupture du barrage de Teton, Etats-Unis (TETON HISTORY,1998).

III. STABILITE DES BARRAGES EN REMBLAI

Quelle que soit sa structure, pour remplir correctement et durablement ses fonctions, un barrage en remblai doit être stable, étanche, bien drainé et protégé des agents extérieurs.

En outre, il est évident qu'un barrage mal dimensionné et instable porte, d'une part, préjudice à la sécurité des populations, exploitations agricoles et aménagements situés à son aval et, d'autre part, appellera probablement des travaux d'entretien (recharge des talus, par exemple).

Après avoir défini la notion de stabilité, on se propose, dans cette section, d'établir une typologie des problèmes d'instabilité avec leurs conséquences sur la pérennité de l'ouvrage, d'inventorier les facteurs qui jouent, dans un sens favorable ou défavorable, sur cette stabilité puis, enfin, d'exposer les principes des vérifications à conduire pour aboutir au meilleur dimensionnement de l'ouvrage.

La stabilité ou son contraire, l'instabilité - est entendue ici au sens mécanique du terme. Un ouvrage instable mécaniquement se caractérise par l'apparition de désordres dans sa masse qui se traduisent, en surface, par des déformations géométriques décelables, au stade primaire, par l'auscultation topographique. On opposera cette instabilité mécanique «de masse » aux instabilités d'origine hydraulique (telles que les effets du renard) ou de surface (telles que le développement du ravinement superficiel) qui affectent plus ponctuellement la géométrie de l'ouvrage (J.M. DURAND et al, 1999).

1. Analyse de la stabilité des barrages en terre et pathologie liée à l'instabilité de l'ouvrage

Généralement deux vérifications importantes doivent être analysées pour les barrages en terres :

1. La première vérification est la stabilité des talus, en réalité il faut rassurer que le sol d'un côté du barrage ne sera pas glissé relativement à une partie plus stable.
2. La seconde chose qu'il faut vérifier, c'est l'érosion interne ce phénomène se produit lorsque la ligne de saturation peut rabattus à l'intérieur du barrage et la charge hydraulique issue érode le corps du barrage conduisant à une perte de stabilité général puis une rupture à long terme.

1.1. Le glissement des talus

Le cas typique est l'apparition d'une ligne de glissement quasi circulaire dans le corps du remblai aux pentes de talus trop raides. Ce mécanisme de glissement circulaire s'avère le plus fréquent dans les remblais homogènes ou aucune ligne privilégiée de rupture n'est déterminée par la structure interne du massif. Le cercle de glissement recoupe parfois les terrains de fondations et les matériaux qui la constituent présentent des caractéristiques mécaniques particulièrement médiocres (H. BAGHZIM, 2005), (Figure N°8) ;

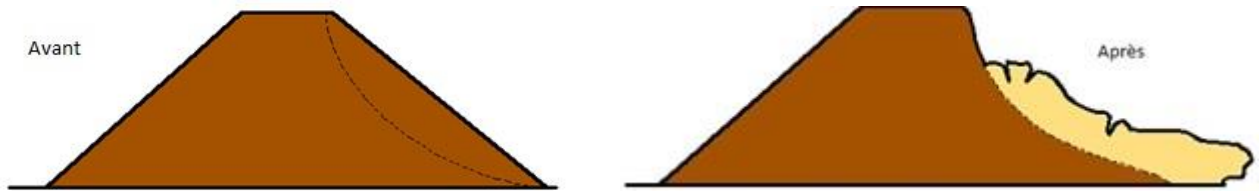


Figure N°8 : glissement circulaire d'un talus (H. BAGHZIM, 2005).

Le mécanisme de glissement

Il existe deux mécanismes de glissement :

1. Le glissement du talus côté aval, se produisant le plus souvent durant la crue ;
2. Le glissement du talus côté fleuve, se produisant lors de la décrue.

Le glissement côté aval en situation de crue

Ce mécanisme se produit lorsque trois facteurs sont réunis :

1. Un profil de digue étroit avec pentes de talus fortes (pentes supérieures à 0,65) ;
2. Une piézométrie élevée dans la digue liée à l'absence de drainage et/ou à la présence de couches hétérogènes ;
3. Une faible compacité du remblai donnant de faibles caractéristiques mécaniques des matériaux du corps de digue, ou encore la présence d'une couche argileuse sous- consolidée au niveau de la fondation.

Ces trois facteurs sont potentiellement réunis dans les zones d'anciennes brèches dont la réparation n'a pas toujours été menée dans les meilleures conditions, où la saturation du remblai et la raideur du talus provoquent des ruptures de masse par glissement du talus, La figure N°9, illustre ce mécanisme (H. BAGHZIM, 2005).

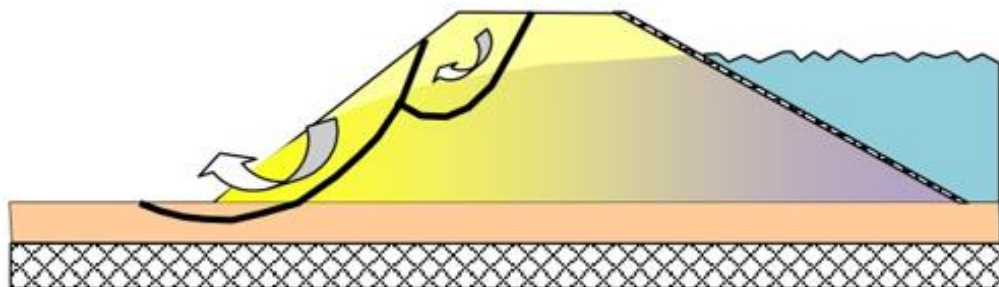


Figure N°9 : mécanisme de glissement circulaire coté Aval en situation de (H. BAGHZIM, 2005)

Le glissement côté fleuve lors de la décrue

Le mécanisme de rupture par glissement côté fleuve se produit lors de la décrue rapide du cours d'eau. Ce mécanisme, lié aux sous-pressions qui se développent pendant la période de crue, concerne surtout des talus de digues constitués de matériaux argileux, présentant des pentes raides ou des perrés trop étanches. Ce mécanisme concerne particulièrement les digues à proximité de déversoirs équipés de remblais fusibles (remblai destiné à se rompre lorsque la hauteur d'eau l'atteint). En effet, la mise en fonction du déversoir s'accompagne de l'érosion rapide du remblai fusible. Le débit dérivé dans le déversoir croît, ce qui provoque une décrue dans le fleuve pouvant alors provoquer des glissements de talus côté fleuve. (J.M. DURAND et al, 1999).

Le mécanisme de glissement se produit selon les étapes suivantes (figure N°10) :

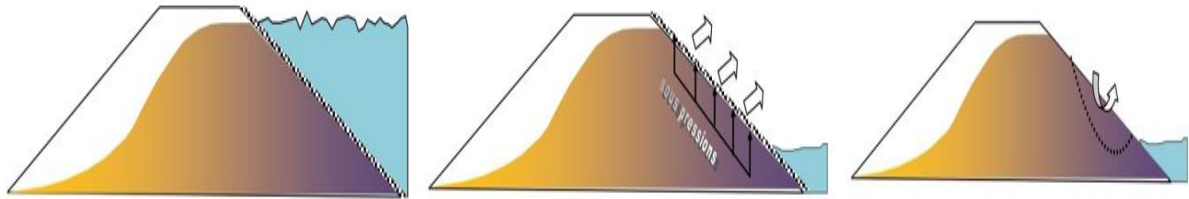


Figure N°10 : Mécanisme de glissement coté fleuve lors de la décrue (H. BAGHZIM, 2005).

Le remblai se sature progressivement avec l'augmentation du niveau d'eau amont à une coté élevé lors d'une longue crue ; Au cours de la décrue ; L'abaissement du niveau d'eau est relativement rapide ;

- Le remblai se draine plus ou moins vite selon ses caractéristiques de perméabilité ;
- Le parement n'est plus stabilisé par la pression de l'eau ;
- L'eau qui sature le remblai altère les caractéristiques mécaniques du massif, et engendre des sous pressions au niveau des parements, s'il est mal drainé
 - Les sous pression entraînent Le décollement et même l'arrachage des pierres de parement (cas du talus pierrée) La saturation du remblai amoindrit les caractéristiques mécaniques du massif et peut provoquer une rupture de masse par glissement circulaire (cas du talus amont naturel)

Causes du glissement

Dans le but de remédier au problème posé par les glissements de terrain, il faut rechercher les origines et les principales causes provoquant ce phénomène de glissement de terrain dans les cas de talus naturels ou de talus en remblai artificiel (H. BAGHZIM, 2005)

L'apparitions de glissement de terrain est guidée par la topographie et par la géologie, en d'autre terme par l'environnement physique. Ils concernent non seulement les régions montagneuses et côtières, mais aussi les bassins à forte densité de vides souterrains et les sols argileux sensibles aux variations de teneur en eau sont très marqués par les variations climatiques, les secousses sismiques peuvent être les causes de glissement, les activités humaines peuvent induire également des glissements (H. BAGHZIM, 2005).

En général, les mouvements de terrain sont bien connus et ils surviennent lorsque la résistance des terrains est inférieure aux efforts moteurs engendrés par la gravité et l'eau souterraine ou par les travaux. Leur dynamique répond naturellement aux lois de la mécanique. Dans la pratique, les choses sont très complexes, du fait des incertitudes sûres (H. BAGHZIM, 2005) :

- Les conditions initiales ;
- Les propriétés mécaniques des terrains ;
- Les conditions hydrauliques

Nature et géologie du terrain

La nature des matériaux constituant le talus peut constituer un élément principal d'appréciation de la capacité à résister au glissement particulièrement les argiles qui présentent des propriétés très défavorables (impermeable, gonflables, fragiles, réactives à certains agent chimiques). Ainsi le cadre de la géologie du terrain, les éléments en liaison avec la stabilité au glissement, doivent être soigneusement identifiés. (J.M. DURAND et al, 1999).

Actions de l'eau

L'eau a une grande influence sur l'équilibre du terrain qu'elle traverse qu'elle soit superficielle ou souterraine. Elle peut engendrer de grands désordres dans les ouvrages construits par l'homme. Les eaux de surface par leur ruissellement lent ou rapide provoquent des érosions dont l'étendue est parfois dramatique pour l'équilibre des sols.

Pour les barrages en terre, ce problème peut être ressentie de deux manières soit par envasement de la retenue si le bassin versant est sujet à de fortes érosion, soit par érosion distales de la digue surtout l'aval s'il est mal protégé. La présence de l'eau au repos ou en mouvement dans un terrain et traduit par la modification de ses caractéristiques mécaniques et de l'apparition des pressions interstitielles.

Ainsi pour apprécier la stabilité au glissement il est très important de déterminer la ligne de saturation et il est nécessaire de faire les calculs avec les caractéristiques mécaniques du matériau correspondant tout en tenant compte des pressions interstitielles. (J.M. DURAND et al, 1999).

Actions mécaniques extérieures

Par actions mécaniques extérieures on désigne tout changement de l'état d'équilibre par suppression de support ou rajout de surcharge sur le talus. Ce chargement peut se faire par un événement naturel tel que l'érosion par l'eau ou par le vent ou encore par les séismes ou les volcans. Mais il peut être la conséquence directe de travaux effectués par l'homme, tel que la construction sur les talus ou le soutirage de matériaux à son pied. (J.M. DURAND et al, 1999).

1.2. Mécanisme de l'érosion interne et développement de phénomène renards

Origines du phénomène d'érosion

Les événements initiateurs du phénomène d'érosion peuvent agir soit en affaiblissant la résistance mécanique de la structure, soit en dégradant son étanchéité par l'augmentation de la perméabilité locale ou globale de l'ouvrage.

Ainsi, les origines du phénomène d'érosion se classent en deux groupes. Le premier cumule tous les éléments qui affaiblissent la résistance à l'érosion et le deuxième tient compte des percolations excessives, se produisant lorsque l'imperméabilité de la structure est dégradée.

Les deux conditions qui assurent un bon fonctionnement de l'ouvrage de retenue se trouvent dans une relation d'interdépendance. Ainsi, si l'étanchéité du système est perdue, implicitement la résistance mécanique est elle aussi affectée, car l'augmentation locale de la perméabilité conduit à la dégradation de la structure (R. MOUICI, 2010).

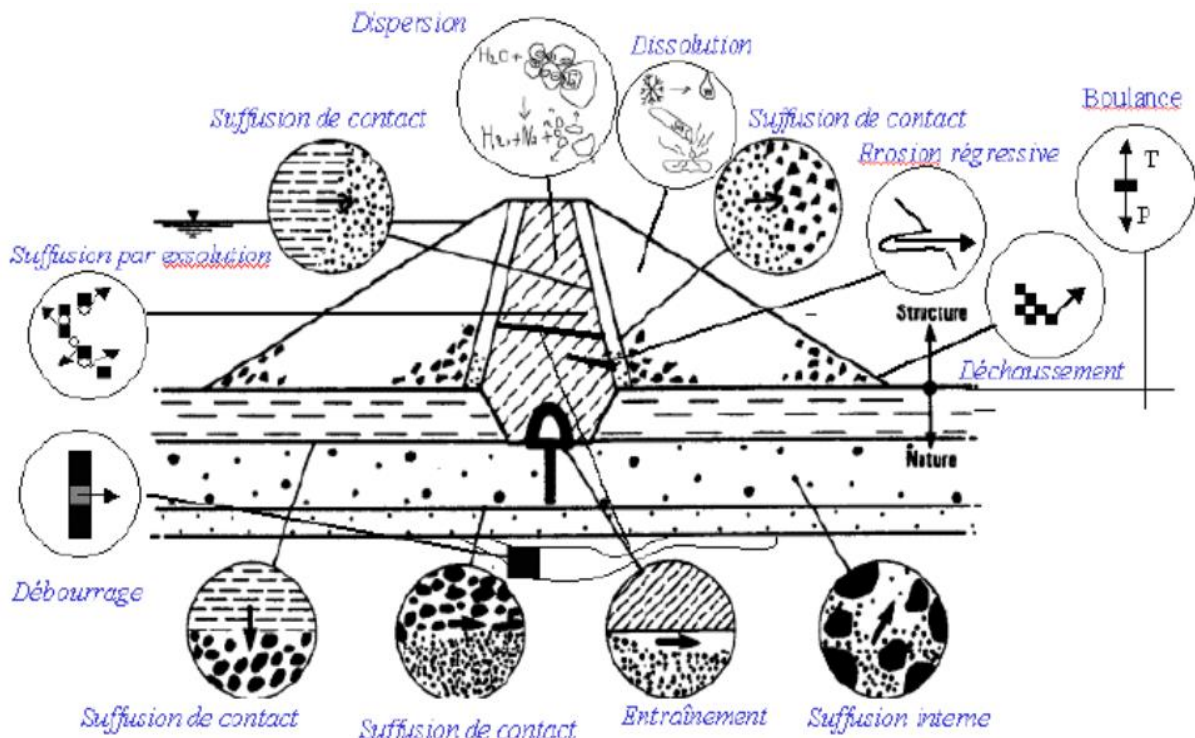


Figure N°11 : Schéma représentatif des divers phénomènes initiateurs de l'érosion dans un barrage (SHULER et Brauns 1996, cité par Blais, 2004)

Le Schéma si dessus (Figure N°11) illustre les divers phénomènes initiateurs de l'érosion dans un barrage (adapté de Schuler et Brauns 1996, cité par Blais, 2004), dont Les diverses conditions de déclenchement de l'érosion interne peuvent se combiner entre elles dans un incident et être difficilement distinguées Mais elles ne sont pas suffisantes pour entraîner la rupture, il faut aussi que les conditions du transport des particules soient assurées, pour que l'érosion soit entretenue (R. MOUICI, 2010).

L'érosion interne

L'érosion interne se développe s'il y a la combinaison de deux phénomènes : l'arrachement des particules et leur transport (R. MOUICI, 2010).

Les phénomènes d'arrachement

Les phénomènes d'arrachement conduisent à la déstabilisation d'une particule ou d'un groupe de particules, sous l'action d'une force mécanique (ou d'autres natures). On en distingue six : l'entraînement, l'érosion régressive, le débouillage, la boullance, la dissolution, la défloculation (R. MOUICI, 2010)

L'entraînement

L'entraînement est défini comme le détachement des particules des parois d'une conduite, sous l'effet de l'écoulement d'un fluide (Figure N°12). Ce phénomène a lieu à partir d'une valeur seuil de la contrainte de cisaillement appliquée par le fluide sur la paroi. Celle-ci dépend de la vitesse du fluide ainsi que de la résistance du sol à cette sollicitation (R. MOUICI,2010)

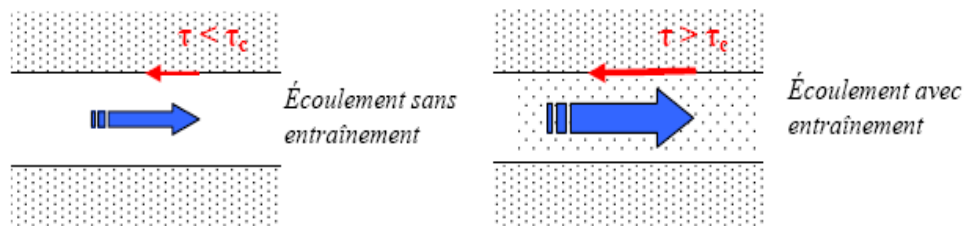


Figure N°12 : Phénomène d'entraînement (R. Mouici,2010)

L'érosion régressive

L'érosion régressive est le phénomène d'arrachement des particules de sol une à une, sous l'effet de la pression du fluide qui percole à travers le remblai. Ce processus apparaît d'abord à l'aval de l'ouvrage pour se propager ensuite vers l'amont (Figure N°13). Il y a alors formation d'un renard hydraulique (R. MOUICI,2010)

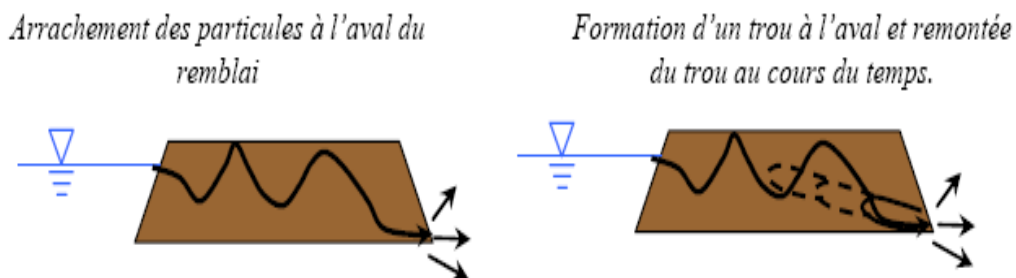


Figure N°13 : Phénomène d'érosion régressive (R. MOUICI,2010)

Le renard hydraulique

Le renard hydraulique apparaît dans un ouvrage de génie civil lorsque l'écoulement d'eau à travers celui-ci se fait selon un chemin préférentiel (Figure 14). Le long de ce chemin se trouvent des points faibles affectés par des phénomènes d'érosion (érosion régressive ou boulanges). Si ces points faibles ne sont pas entourés par des zones stables limitant leur expansion, il y a alors formation d'un trou continu de l'aval vers l'amont, la vitesse d'écoulement à travers l'ouvrage augmente et accélère ainsi le processus de ruine en cours (R. MOUICI,2010).

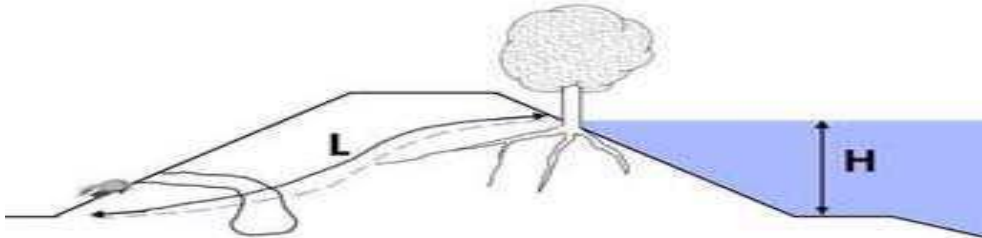


Figure N° 14 : Phénomène de renard (R. MOUICI,2010)

Le déboufrage

Le déboufrage correspond à l'arrachement brutal d'un volume de sol déséquilibré par l'action de la poussée de l'eau à l'intérieur d'un massif rocheux. Ce phénomène se produit lorsqu'une fissure ou un conduit karstique est rempli de matériau argileux et que l'arrivée soudaine de l'eau provoque le déplacement de l'ensemble du matériau. Il en résulte l'apparition d'une cavité ou un élargissement ponctuel du conduit (Figure N°15), (R. MOUICI,2010).

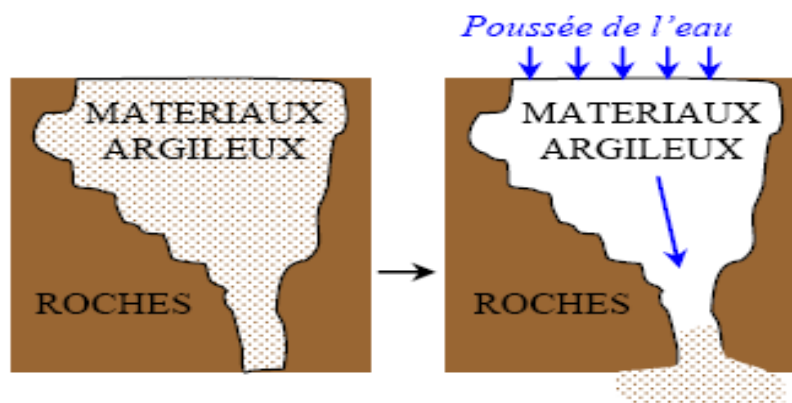
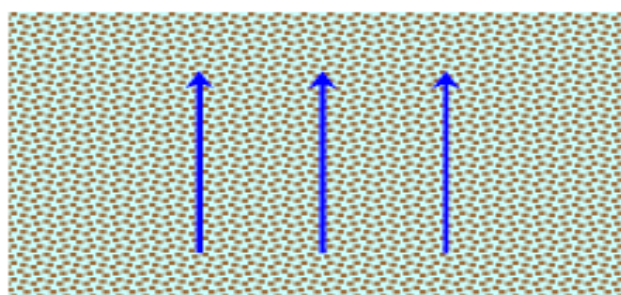


Figure N° 15 : Phénomène de déboufrage (R. MOUICI, 2010).

Le phénomène de boulanges

La boulanges est un phénomène qui apparaît principalement dans les sols pulvérulents, lorsque le gradient hydraulique dû à un écoulement d'eau est vertical ascendant. Il s'agit d'un phénomène d'instabilité générale. Sous l'influence de l'écoulement, le sol vient à se comporter

comme un liquide. En effet, lorsque la pression de l'eau sur le sol est suffisante pour compenser le poids déjaugé des particules, la contrainte effective entre grains s'annule et les particules de sol flottent dans une phase liquide continue (Figure N°16), (R. MOUICI, 2010).



Flottaison des grains de sol sous gradient hydraulique vertical ascendant

Figure N°16 : Phénomène de boulangerie (R. MOUICI, 2010).

La dissolution

La dissolution, contrairement aux processus précédents, n'est pas un phénomène d'arrachement mécanique mais chimique. Elle correspond à la transformation par réaction chimique ou thermique d'un élément constitutif des particules de sol. En modifiant la composition des grains, la dissolution provoque l'altération des caractéristiques mécaniques du sol et peut être un facteur de déclenchement de l'érosion interne (R. MOUICI, 2010).

La défloculation

La défloculation est un phénomène de désagrégation des agglomérats de particules ou de feuillets d'argile. Par action à la fois chimique et mécanique, elle favorise leur déplacement, donc leur dispersion (R. MOUICI, 2010).

Les phénomènes de transport

La suffusion

La suffusion est un phénomène de migration des petites particules à travers le squelette constitutif d'un sol. Il en résulte une redistribution des fines dans le sol qui s'apparente à une migration massive des particules fines, (Figure N° 17) (R. MOUICI, 2010).

- La suffusion peut être un élément déclencheur de l'érosion régressive à l'aval de l'ouvrage, la migration des fines permettant à l'eau de s'écouler plus rapidement. Le phénomène d'érosion régressive peut ensuite remonter jusqu'à l'amont, comme vu précédemment, et favoriser la création d'un renard.

- L'entraînement des matériaux peut également se faire en tête de remblai, créant ainsi un affaissement de la crête et pouvant aboutir en période de crue à l'immersion du remblai.
- Enfin, la migration des particules fines accroît le risque de colmatage et en conséquence les pressions interstitielles peuvent augmenter en un point localisé du remblai. Si ce point est à l'aval, il va se former une zone instable qui menacera l'ouvrage de ruine (R. MOUICI, 2010).

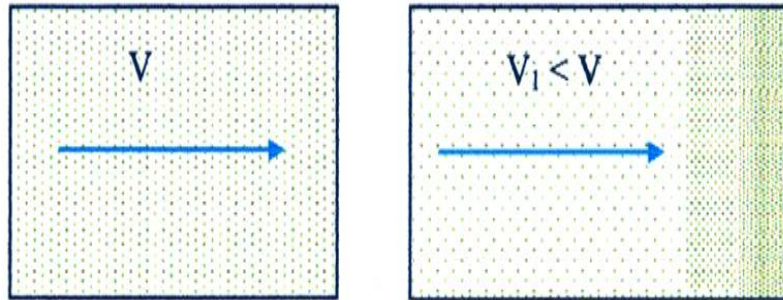


Figure N°17 : Phénomène de suffusion (R. MOUICI, 2010).

La dispersion du sol

La dispersion du sol exprime la possibilité pour les particules constituant le matériau de défloculer. Dans la zone affectée par la défloculation, le matériau se transforme en une suspension colloïdale de particules très fines dispersées dans l'eau (R. MOUICI, 2010).

**Le Tableau N°1 : Synthèse de quelques ouvrages en terre ayant des problèmes avec l'érosion
(R. MOUICI, 2010).**

Digue et barrages	Composition du sol			Limite d'Atterberg		Classification (USCS)
	% Sable	% Limon	% Argile	W L (%)	Ip (%)	
L.M.C. Boggy Creek(EU)	17	31	52	51	28	CL-CH
U.C. Boggy Creek(EU)	29	41	29	28	12	CL
Potaco-cawa Y-31-a-3(EU)	0	92	8	27	0	ML
Potaco-cawa Y-31-a-13(EU)	0	78	22	46	19	CL
Big-Sand Y-32-3 (EU)	29	56	15	32	16	CL
Big-Sand Y-32-4 (EU)	0	74	26	46	23	CL
Polucia Y-33a-1 (EU)	7	79	14	37	15	CL
Abiaca Y-34-10 (EU)	0	86	14	42	17	CL
Abiaca Y-34-10 (EU)	12	76	12	31	11	CL
Black Y-36-21 (EU)	0	82	18	41	16	CL
Black Y-36-37 (EU)	17	69	14	29	9	CL
Black Y-36-39 (EU)	2	82	16	31	8	CL
cardinal (Australie)	62	19	19	37	18	SC
Auckland nouvelle (zeland)				36	11	CL
La Prade(France)	50	35	15	40	18	CL
Les Ouches (France)	70	20	10			
Le Buget (France)	20	50	30			
New Orleans S1 (EU)	10	90		65	43	CH
New Orleans S2 (EU)	33	67		49	32	CL
New Orleans S3 (EU)	9	91		54	35	CL-CH

EU : Etats-Unis, CL : Argile plastique, CH : Argile très plastique, SM Sable limoneux, SC : Sable argileux ;

La composition granulométrique est obtenue par les normes NFP 94-065 Analyse granulométrique : Méthode par sédimentation (AFNOR, 1999) ;

La plasticité est définie par l'indice de plasticité $I_p = W_L - W_p$ avec : W_L limite de liquidité, W_p limite de plasticité

Ces limites sont déterminées selon la norme NFP 94-065 : reconnaissances – détermination des limites d'Atterberg

Limite de liquidités à la coupelle, limite de plasticité au rouleau.

1.2.1. Etude des infiltrations dans un barrage en terre

Les infiltrations dans les barrages en terre doivent être abordées sous trois angles différents où on devait aboutir à :

1. La ligne de saturation du massif du barrage, qui est en pratique confondue avec la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique de l'eau au sein du massif est nulle. Cette dernière est appelée ligne phréatique et représente le niveau de la surface libre dans le corps du barrage. La bonne connaissance de cette ligne est capitale pour pouvoir effectuer les calculs de stabilité de la digue ;

2. La pression de l'eau interstitielle dans le massif, qui peut être déterminée à partir d'un réseau de lignes équipotentielles, c'est-à-dire de lignes reliant les points d'égal potentiel hydraulique au sein du barrage et des fondations. Une augmentation de cette pression peut être dangereuse pour la stabilité, elle peut être notamment la cause d'apparition du phénomène de renards ;

3. Le débit de fuite dû aux infiltrations, qui peut s'obtenir à partir du réseau de lignes de courant. Ces lignes de courant représentent théoriquement la trajectoire de l'eau à travers le barrage. Si ce débit est trop important, le barrage ne fait pas son office, il faut alors augmenter la taille des parties imperméables du corps de digue (ROLLEY.R et al,1974).

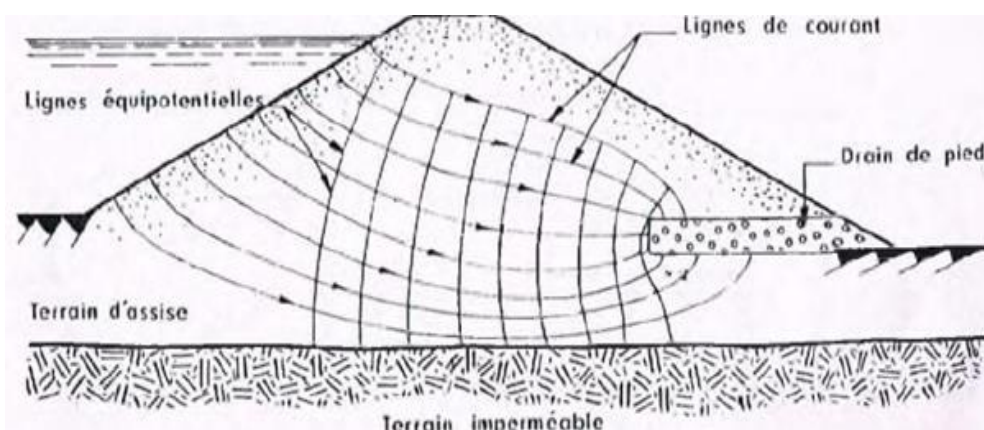


Figure N°18 : Trajectoire de l'eau à travers le barrage. (ROLLEY.R et al,1974).

L'étude de l'infiltration peut aussi se faire par calcul numérique sur ordinateur, par analogie électrique, ou par une méthode simplifiée basée sur approximations et des propriétés graphiques du réseau d'écoulement (ROLLEY.R et al,1974) ;

Méthodes graphiques

Méthodes simplifiées telles que la méthode de Kozeny qui utilise des approximations et des propriétés graphiques du réseau d'écoulement) ;

Méthodes analogiques

Méthodes électriques et magnétiques (pour des cas simples) ;

Méthodes de simulation numérique

(Outil mathématique qui peut s'adapter avec des cas complexes). (In technique des barrages en aménagement rural).

IV. CONCLUSION

Les barrages en terre sont très vulnérables à plusieurs phénomènes dont certains sont naturel ; et en relation avec les conditions géologiques, hydrogéologiques, géotechniques, hydrologiques et géotechniques ;

La mise en place d'un remblai peut générer, par hétérogénéité des matériaux constituant des infiltrations qui peuvent être fatales à l'ouvrages ; d'où la nécessité de les détecter avant qu'ils ne deviennent incontrôlables.

La détection précoce de ces phénomènes nécessite la mise en place d'un dispositif dit d'auscultation.

Chapitre II : AUSCULTATION DES BARRAGES EN TERRE

II.1. Introduction

L'auscultation est la garantie de la sécurité et de la longévité de nos barrages, un examen minutieux et approfondi du comportement mécanique et hydraulique d'un barrage et de ces ouvrages annexes ;

Assurer la sécurité d'un barrage est primordial. La surveillance des barrages et ces organes annexes, nécessite un système d'exploitation particulier, dont le processus inclus trois types d'actions :

1. Les inspections visuelles ;
2. Les vérifications et essais des organes d'exploitation et de sécurité ;
3. L'auscultation de l'ouvrage : du barrage en lui-même, mais aussi de sa fondation, de ses organes et de son environnement immédiat ; à l'aide de moyens topographiques ou d'instruments de mesure.

Ces activités sont complémentaires, et doivent être planifiées et coordonnées. Leur contenu doit être défini et justifié afin de couvrir au mieux les évolutions comportementales dues au vieillissement de l'ouvrage. Le processus de surveillance doit évoluer dans le temps en fonction des résultats d'analyse des données collectées. Le système d'auscultation doit être complété par les inspections visuelles et les tests des organes hydromécaniques.

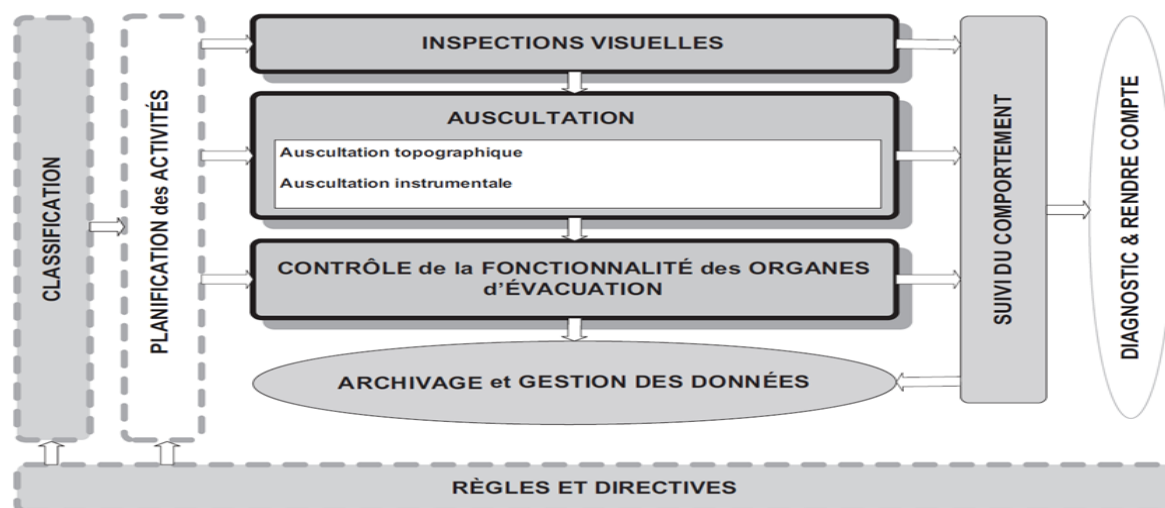


Figure N°19 : Surveillance des barrages (CIGB (in www.roctest.com))

L'objectif de l'auscultation se base sur deux points principaux ;

1. Types d'auscultation
2. Nature des Phénomènes mesurés

II. TYPES D'AUSCULTATION

L'auscultation est basée sur la mesure de paramètres physiques et le suivi de leur évolution. Les mesures physiques sont réalisées sur l'ouvrage, ses fondations, ou son environnement (bassin versant par exemple).

L'auscultation permet de mesurer :

- Le comportement hydraulique (débits, pressions),
- Le comportement mécanique (déplacement, déformations).

On peut distinguer deux types d'auscultation, réalisées à des fréquences et par des intervenants différents :

1. L'auscultation générale au moyen d'équipements fixes installés dans le barrage ou d'appareils de mesure mobiles est réalisée à des fréquences de l'ordre de la semaine ;
2. L'auscultation topographique (topométrie, nivellement, etc.) nécessitant des points de repères fixes. Sa fréquence est généralement annuelle.

Par ailleurs, l'auscultation peut viser deux objectifs différents :

1. L'auscultation à court terme permet de détecter des évolutions à court terme du comportement ou de l'état de l'ouvrage et de mettre en œuvre des mesures appropriées en cas de dérive dangereuse.
2. L'auscultation à long terme vise à détecter les évolutions lentes de l'état de l'ouvrage en vue de maintenir la sécurité dans le temps et éventuellement d'initier des analyses approfondies et des travaux de confortement.

Un même dispositif d'auscultation peut éventuellement être utilisé pour des objectifs court terme et long terme.

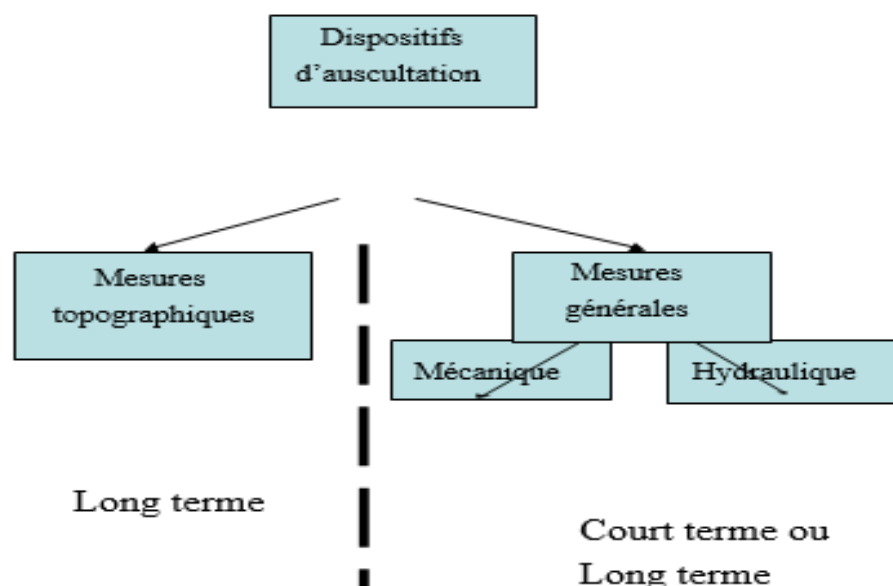


Figure N° 20 : Typologie des dispositifs d'auscultation (In DRA-91 ,2012)

L'auscultation peut intervenir dans différentes phases du cycle de vie d'un barrage :

- Lors de la construction ou de travaux.
- Lors du premier remplissage
- En phase de jeunesse de l'ouvrage (5 premières années de l'ouvrage).

En phase de vie utile qui correspond à l'exploitation en régime normal de l'ouvrage. Au cours de cette phase, des phénomènes de vieillissement peuvent dégrader l'ouvrage ou ses appuis (après les 5 premières années de l'ouvrage).

- Suite à un événement externe particulier ou au cours de cet événement (séisme, crue, gel important) ;
- Lors de travaux ou de vidanges décennales.
- Lors des phases transitoires, chaque détérioration suite une mauvaise conception ou à des défauts dans la réalisation des travaux doivent être renforcées soit par :
 - L'augmentation de la fréquence des mesures.
 - Fixation des seuils d'alerte sur les mesures effectuées pendant cette période d'auscultation renforcée. Une augmentation de la fréquence des mesures peut également être décidée afin d'engranger plus d'informations sur le comportement d'un ouvrage dans des conditions d'exploitation plus rarement observées (suivi d'un ouvrage hors d'eau, par exemple). (In DRA-91 ,2012)

III. NATURE DES PHENOMENES MESURES

Les principaux phénomènes susceptibles de conduire à des désordres, voire à des ruptures, sont globalement de quatre types :

- Des tassements de la crête du remblai entraînant une diminution de la revanche, ce qui limite la sécurité du barrage vis à vis du risque de surverse ;
- Des pressions interstitielles excessives apparaissant lors de la construction du remblai ou lors de la première mise en eau, et qui peuvent remettre en cause les hypothèses adoptées lors du projet pour justifier la stabilité ;
- Un colmatage du système de drainage entraînant une montée de la piézométrie, qui peut, à terme, atteindre le talus aval et mettre en danger la stabilité du remblai ;
- L'existence de circulations d'eau à travers le remblai ou la fondation, non contrôlées par le système de filtration et de drainage, et pouvant, par leur aggravation progressive, conduire à de l'érosion interne et à un mécanisme de renard.

Il est bien entendu impossible de donner des règles strictes pour la conception des dispositifs d'auscultation des petits barrages. Ce qui suit doit être considéré comme des recommandations, à adapter au cas particulier que constitue chaque ouvrage.

Pour un barrage neuf, le dispositif d'auscultation doit être prévu dès l'avant-projet et mis en place pendant la construction. Il a vocation à évoluer, certains appareils pouvant être abandonnés délibérément au bout de plusieurs années et d'autres pouvant être ajoutés en cas de désordre révélé notamment par l'observation visuelle.

Des instruments peuvent aussi être installés sur des barrages anciens qui n'en ont pas été pourvus à l'origine.

Dans tous les cas, le dispositif d'auscultation d'un barrage doit être conçu en se posant les deux questions suivantes :

1. Quels sont les mécanismes potentiels de vieillissement de l'ouvrage ?
2. Par quelles grandeurs physiques se traduisent ces mécanismes et comment les mesurer ?

1. Les tassements

Contrôlés à l'aide d'un dispositif topographique constitué de bornes de nivellement placées en crête de remblai (risberme aval) tous les 20 à 30 m dans le sens de rive à rive, et de piliers d'observation placés sur les rives dans des zones non susceptibles d'être affectées par des mouvements. Les levés topographiques sont faits en altimétrie uniquement, à l'aide d'un niveau.

2. La piézométrie

Observée soit par des piézomètres, soit par des cellules de pression interstitielle. Un dispositif idéal comprend, des profils amont aval équipés de cellules permettant l'interprétation physique de l'évolution de la saturation et, un profil rive à rive sur le parement ou la risberme aval équipé de piézomètres à crépines longues pour détecter l'apparition d'une zone de fuite. Si le barrage est doté d'un système de drainage des fondations, il convient d'en contrôler l'efficacité par des cellules ou des piézomètres, disposés de part et d'autre du système de drainage.

3. Les débits de drainage et fuites

Contrôlés par des dispositifs simples de mesure des débits. Les drains du barrage débouchent dans un collecteur aménagé à cet effet. Il est intéressant de séparer les zones de mesure pour faciliter l'analyse des résultats (rive droite - rive gauche, seuils de mesure intermédiaires pour des barrages de grande longueur). De même, les éventuels puits de décompression en pied aval

d'un barrage en terre doivent si possible être équipés pour mesurer les débits interceptés. En cas d'augmentation anormale de débit, des mesures de teneurs en éléments fins peuvent renseigner sur un mécanisme éventuel d'érosion interne. Dans cette optique, la conservation d'un échantillon témoin des matériaux constitutifs du drain est donc préconisée, afin de pouvoir le comparer avec les éventuels dépôts aux exutoires des drains. (in Colloque CFBR ,2012).

Les paramètres mesurés sur le corps du barrage en terre et ses fondations doivent être représentatifs et adaptés aux particularités de l'ouvrage (type, matériaux, hauteur, fondations, environnement), pour juger de son évolution dans le temps. Les paramètres mesurés doivent être définis en fonction des phénomènes évolutifs mesurables susceptibles d'être à l'origine d'un scénario d'accident. Les mesures doivent prendre en compte l'historique de l'ouvrage.

Tableau N°2 : Paramètres significatifs pour le suivi des ouvrages remblais et de leurs fondations. (in B093, Vieillessement des barrages et des ouvrages annexes, 1994)

Barrage en remblais	Fondations
Déformations du corps du barrage	Déformations , Mouvements des appuis
Mouvements particuliers (liaison avec une structure béton)	Mouvement particuliers (fissures, diaclase)
Température dans le corps du barrage pour détecter les percolations	Température dans la fondation pour détecter les percolations
Pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique	Pressions interstitielles Sous-pression en profondeur Niveaux piézométriques Niveau de la nappe phréatique
Débits d'infiltration et de drainage	Débits d'infiltration, de drainage et de résurgence (sources)
Analyse chimique des eaux de percolation Turbidité	Analyse chimique des eaux de percolation Turbidité

III. LE SYSTEMES D'AUSCULTATION

L'auscultation est un système technique et organisationnel. Il ne se limite pas à un appareil de mesure mais intègre la réalisation des mesures (manuelle ou automatique).

La qualification, l'installation et la maintenance des appareils de mesure, l'enregistrement et le traitement des données, l'analyse des résultats et la prise de décision. Les dispositifs techniques et humains sont interdépendants et impliqués dans chacun des éléments constituant le système d'auscultation (Figure N°21).

Un dispositif d'auscultation nécessite pour être efficace la mise en place d'une organisation adéquate et un personnel compétent pour effectuer les mesures et analyser les résultats. Pour se traduire mieux les mécanismes susceptibles de conduire à des désordres, voire à des ruptures. (in DRA-91 ,2012

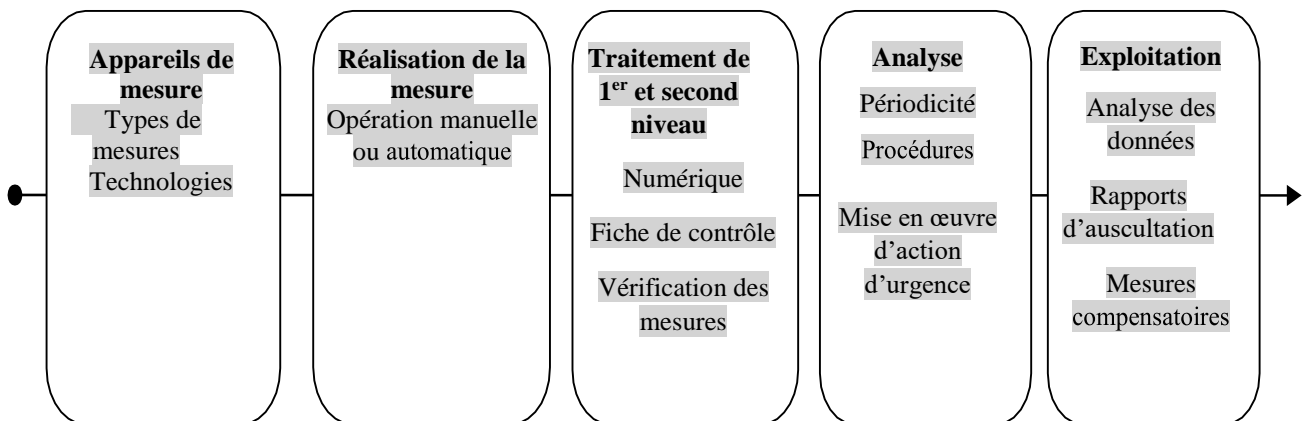


Figure N°21 : Diagramme d'un système d'auscultation (in DRA-91 ,2012)

1. Grandeurs physiques mesurées

L'auscultation mise en place par les exploitants est partielle. En effet, il n'est pas possible d'instrumenter chaque point du barrage et de sa fondation. Par ailleurs, seuls quelques paramètres sont accessibles à la mesure et représentatifs du fonctionnement de l'ouvrage.

L'implantation d'un dispositif de mesure doit correspondre à la surveillance d'une grandeur physique déterminée. Le choix de l'appareil et sa localisation doivent donc être justifiés en fonction d'un objectif d'auscultation, différents types de grandeurs physiques sont mesurés :

Paramètres géométriques

- Déformation locales ;
- Déplacements relatifs d'un point par rapport à un autre ;

- Déplacements "absolus" (en réalité, relatifs par rapport à un référentiel plus large).

Paramètres hydrauliques :

- Hauteurs d'eau (cote de retenue, pluviométrie) ;
- Pressions d'eau ;
- Débits.

Autres paramètres

Températures ;
Concentrations, turbidité.

La mesure peut être locale (par exemple une pression interstitielle) ou globale (débit de fuite mesuré en sortie de galerie). Dans le deuxième cas, la mesure intègre le comportement du barrage sur une partie importante, voire sur la totalité de l'ouvrage. Ceci permet d'avoir une vue synthétique de ce comportement.

2. Les appareils de mesure

Les appareils utilisés pour réaliser l'auscultation sont des appareils de mesures et non de détection : bien que certains d'entre eux puissent déclencher une alarme sur franchissement de seuil, leur fonction première est de réaliser des mesures précises d'une grandeur physique. Deux types de phénomènes sont auscultés :

1. Les mouvements et déformations ;
2. Les infiltrations et pressions.

Les appareils de mesure ci- dessous sont fréquemment utilisés :

Paramètres géométriques

- Pendules directs et inverses,
- Extensomètres,
- Clinomètres,
- Fils invariants,
- Fissuromètres,
- Repères de planimétrie et nivellement.

Paramètres hydrauliques

- Piézomètres,
- Débits de fuite,
- Fibre optique.

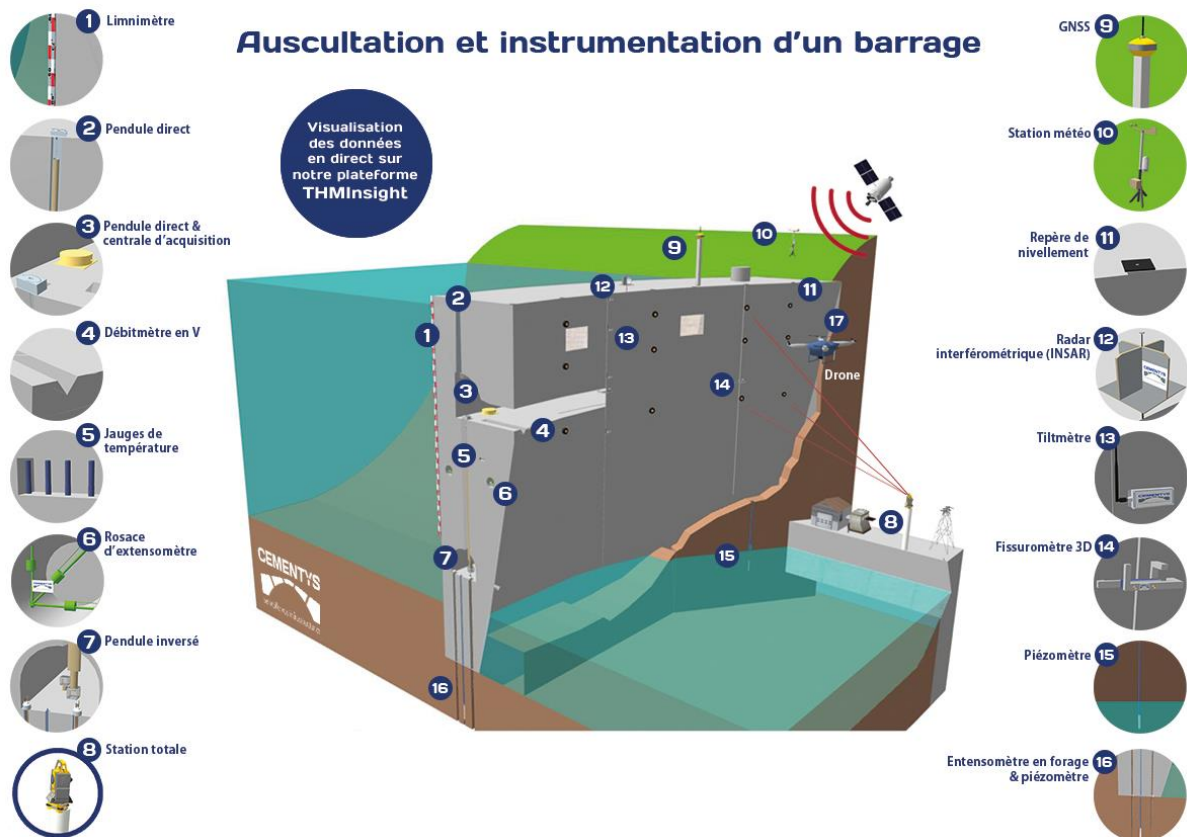


Figure N°22 : Auscultation et instrumentation d'un barrage (in cementys .com)

Différentes activités doivent permettre de garantir l'adéquation des appareils de mesures et leur pérennité dans le temps.

Spécification des appareils de mesure

Les principaux paramètres à prendre en compte sont :

- La métrologie (incertitude maximale acceptable),
- La gamme de mesure adaptée aux valeurs minimum et maximum prévues,
- La robustesse et la durée de vie,
- L'adaptation aux conditions environnementales,
- La maintenabilité,
- La compatibilité avec l'existant.

Qualification des appareils de mesure

Les spécifications des appareils de mesure doivent être vérifiées en qualification. La qualification d'appareils peut reposer sur des essais en laboratoire. Certains dispositifs peuvent être considérés comme éprouvés par l'usage s'il existe un retour d'expérience suffisant chez l'exploitant ou dans la profession. C'est le cas par exemple pour les pendules et les tables de visée qui sont des dispositifs simples, précis et éprouvés.

Procédures d'installation

Lors de l'installation, les constantes du phénomène mesuré doivent être relevées afin de pouvoir calibrer le traitement des données et l'interprétation des résultats.

Contrôles périodiques

Des contrôles périodiques doivent être planifiés en fonction de la technologie de l'appareil, de sa sensibilité à des agressions et de la probabilité de dérives. Les tests réalisés doivent être fonctionnels et métrologiques afin de s'assurer que la précision de mesure reste constante dans le temps ou de caractériser les dérives.

3. Réalisation et transmission des mesures

Mesure manuelle

Les mesures ne sont pas réalisées en continu : les acquisitions de mesure sont normalement planifiées et peuvent être commandées manuellement. (in DRA,2012).

La Télémessure

La télémessure est en général réalisée par des automates et réseaux standards, généralement RTC, qui ne sont pas conçus à des fins de sécurité. Elle nécessite la mise en œuvre de technologies complexes au sens des référentiels d'évaluation des barrières techniques de sécurité (Oméga 10) et des normes de sécurité fonctionnelle (CEI 61508, CEI 61511), (in Colloque CFBR, 2012) ;

La télémessure possède des avantages d'un système de télémessure par rapport aune saisie manuelle sont bien connus :

- Souplesse des interrogations dont les fréquences sont programmables et s'adaptent aux circonstances particulières d'exploitation
- Qualité des mesures affranchies des aléas et erreurs humaines
- Rapidité des transmissions des données permettant des analyses et des diagnostics plus sûres

Mais ces avantages ne doivent pas faire oublier deux principes fondamentaux, en libérant de la tâche fastidieuse de saisie manuelle, la télémessure ne dispense pas pour autant les surveillants de l'ouvrage d'effectuer les visites périodiques d'inspection devenues obligations, elle doit être un facteur d'amélioration de la qualité d'inspection pour la mise a bien l'ouvrage avec une réserve de sécurité. (Soudoud, 2017)

Traitement des mesures

Le traitement de premier niveau doit être réalisé immédiatement après la tournée de mesure afin de détecter les mesures anormales et valider les mesures avant transmission. En cas de mesure jugée anormale, elle peut être vérifiée sur site.

Après validation, certaines grandeurs mesurées sont intégrées directement par le maître d'ouvrage au travers du rapport d'exploitation. Il s'agit d'un examen brut des résultats de l'auscultation et ne reprend qu'une partie des mesures. On peut considérer qu'il s'agit du traitement de second niveau :

- Anomalies, interventions sur le dispositif de mesure ;
- Cote, et données météorologiques ;
- Mesures représentatives d'un comportement d'ensemble (ex : débit cumulées de certains drains) ;
- Mesures sélectionnées pour un comportement particulier visible par simple lecture des mesures brutes.

Le rapport d'auscultation, dont la rédaction doit obligatoirement être faite par un organisme agréé, intègre lui l'analyse statistique des mesures d'auscultation pour chaque appareil et constitue l'aboutissement du traitement des mesures. On peut considérer qu'il s'agit d'un traitement de troisième niveau. Ce dernier rapport constitue un catalogue complet des résultats d'auscultation sur une longue période et intègre l'analyse et l'interprétation du comportement de l'ouvrage, par un spécialiste. La définition de plages de variation attendues des mesures permet d'améliorer et de faciliter les traitements de 1^{er} et 2nd niveaux. Ces plages peuvent être évaluées à partir de l'historique de l'ouvrage.

Analyse des données

Une fois relevées, les mesures physiques réalisées doivent être converties en grandeurs représentatives de l'état de l'ouvrage. Par exemple, une fréquence mesurée sur une cellule électrique doit être convertie en niveau piézométrique. C'est l'objectif de l'analyse des données et de la réalisation du rapport d'auscultation.

Par ailleurs, les mesures brutes obtenues par le biais de ce premier traitement doivent être converties en mesures corrigées, en tenant compte des paramètres extérieurs influençant la mesure. Les variations des mesures d'auscultation sont en effet corrélées à des facteurs climatiques ou liées à l'exploitation de l'ouvrage. Ainsi, parmi les phénomènes à prendre en compte, on trouve notamment :

- Le niveau de la retenue au moment de la mesure,
- La date de la mesure,
- La température extérieure,
- La pluviométrie,
- La température de l'eau,
- La cote de la retenue au cours des mois précédents,
- L'ensoleillement,
- Les erreurs de mesures.

4. Interprétation et exploitation des résultats

4. 1 Interprétation des résultats

- Une bonne interprétation des résultats d'auscultation nécessite :
- Une connaissance précise des caractéristiques du barrage et de sa fondation ; (emplacement du voile d'étanchéité, du voile de drainage, du zonage du remblai...) ;
- Une bonne perception du mode de fonctionnement de l'ouvrage ;
- Un dispositif d'auscultation adapté et suffisant ;
- Un choix des grandeurs caractéristiques et significatives du comportement ;
- Un examen des courbes d'effets réversibles et des courbes à conditions identiques ;
- Une liaison entre grandeurs mesurées et observations visuelles.

Toute évolution anormale d'une des grandeurs mesurées doit se traduire par une réaction de l'exploitant.

Pour pouvoir être analysées, les mesures effectuées sur un barrage doivent être rattachées à un ou plusieurs phénomènes physiques définis. Par exemple, les mesures ci-dessous peuvent correspondre à différents phénomènes :

Déplacements

- Déformation globale du barrage et de ses fondations sous la poussée hydrostatique de la retenue,
- Tassements de construction pour les remblais meubles,
- Glissement de la structure sur sa fondation,
- Dilatation thermique de la structure,
- Ouverture de joints ou de fissures,
- Déformations internes :
- Contraintes fortes dans la structure,
- Gonflement du béton.
- Détérioration d'un joint d'étanchéité ou d'un point singulier de l'étanchéité,
- Perméabilité de l'écran d'étanchéité,
- Milieu poreux ou fissuré.

Pressions

- Effets du voile d'étanchéité, évolution des perméabilités,
- Migration des matériaux dans un barrage en terre,
- Imperméabilisation du fond de la retenue par les sédiments.

4.2 Exploitation des résultats

Exploitation des résultats de l'auscultation à court terme

Les systèmes d'auscultation court-terme doivent permettre de détecter rapidement des dérives potentiellement dangereuses, de réaliser un diagnostic et si nécessaire de mettre en œuvre rapidement les actions adéquates. Pour ce type d'auscultation, le traitement de premier niveau réalisé par l'exploitant doit permettre de détecter une dérive dangereuse. L'exploitant doit prendre une décision en fonction de l'évolution ;

- Resserrer les mesures ;
- Faire intervenir rapidement un bureau d'étude ou une cellule de crise ;
- Faire intervenir une entreprise pour mettre fin au désordre ;

Par exemple, sur un barrage remblai, on peut détecter l'arrivée d'eau chargée dans les drains. On cherchera à identifier la source et la cinétique en première en fonction des résultats, un confortement pourra être réalisé pour stopper l'entraînement de matériau. (in DRA-91 ,2012)

Exploitation des résultats de l'auscultation à long terme

Les conclusions des analyses ont synthétisées dans les rapports d'auscultation dont la fréquence dépend de la classe de l'ouvrage (2 ans pour la classe A, 5 ans pour les classes B et C). Lorsqu'une dérive est constatée, l'objectif sera de déterminer la cause précise afin de proposer des actions correctives (renforcement de l'auscultation, au moyen d'appareils supplémentaires ou du resserrement des intervalles de mesures ; des analyses en laboratoires de la qualité du béton ou des eaux de percolation par exemple)

VI. CONCLUSION

La surveillance des barrages, nécessite un dispositif particulier, ainsi qu'une organisation adéquate, efficace, et un personnel compétent, pour mieux suivre l'évolution comportementale de l'ouvrage dans le temps, et proposer des solutions et des travaux de renforcements et de correction, en temps réel, pour assurer la pérennité du barrage.

Chapitre III : PRESENTATION DU BARRAGE D'OURKISS

I. CADRE GENERAL

Le barrage d'Ourkiss, (à l'origine Tellizerdane) a été mis en exploitation en Avril 2013, après une durée de réalisation de six ans. L'étude d'Avant-Projet a été faite par le bureau d'étude serbe (NIHMAN SHAND), sa réalisation a été confiée à une entreprise serbe (HIDROTECKNIKA), un bureau d'étude serbe (ENERGOPROJECT) et un assistant technique français (BCOEM).

Son volume de stockage est de 65 Mm³ et sa fonction principale consiste à fournir des quantités d'eau potable à partir de la station de traitement, située au pied du barrage, aux habitants des villes de la Willaya d'Oum El Bouaghi, et l'irrigation de terres agricoles de la ville de Chemora située dans la Willaya de Batna.

Le volume d'eau disponible est réparti à environ 16% pour l'usage d'alimentation en eau potable (AEP) et 84% pour l'irrigation. Sa mise en eau, a été faite à partir du transfert du Barrage de Béni Haroun, via la station de Ain Kercha, au mois de juillet 2016.

La retenue du barrage n'a pas connu de niveau critique, jusqu'à ce jour.



Photos N12 : barrage d'Ourkiss, W. d'Oum El Bouaghi

1. Situation géographique

Le barrage d'Ourkiss est situé dans la Wilaya d'Oum El Bouaghi, à environ 25 Km au Sud-Est de la ville de Ain Fakroun, A l'aval du confluent des Oueds El Kébir et Ourkiss, dans une gorge, à travers Djebel Oum Kechrid Le long de la route qui rejoint les localités de Ain Fakroun et Boughrara.

La zone d'étude est comprise dans la gamme des coordonnées (en prenons le point ST02 une référence) suivantes :

X = 313 Km - 316 Km, Y = 3972 Km-3974 Km et Z= 870 m

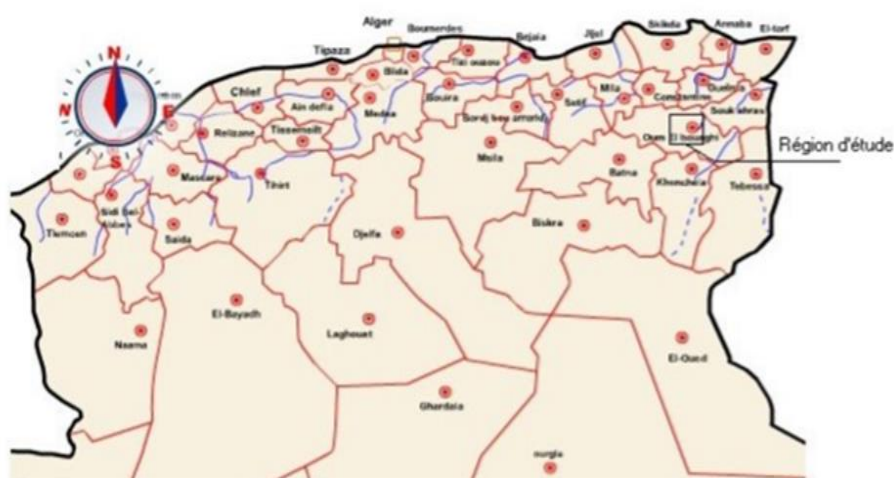


Figure N°23 : Situation géographique du barrage d'Ourkiss (Mémoire de synthèse site du barrage d'Ourkiss, 2003).

2. Objectif du barrage

Le barrage est destiné au transfert et à légalisation des eaux dans le cadre du système Oued d'Athmania, qui fait partie du système régional du transfert des eaux de Beni Haroun.

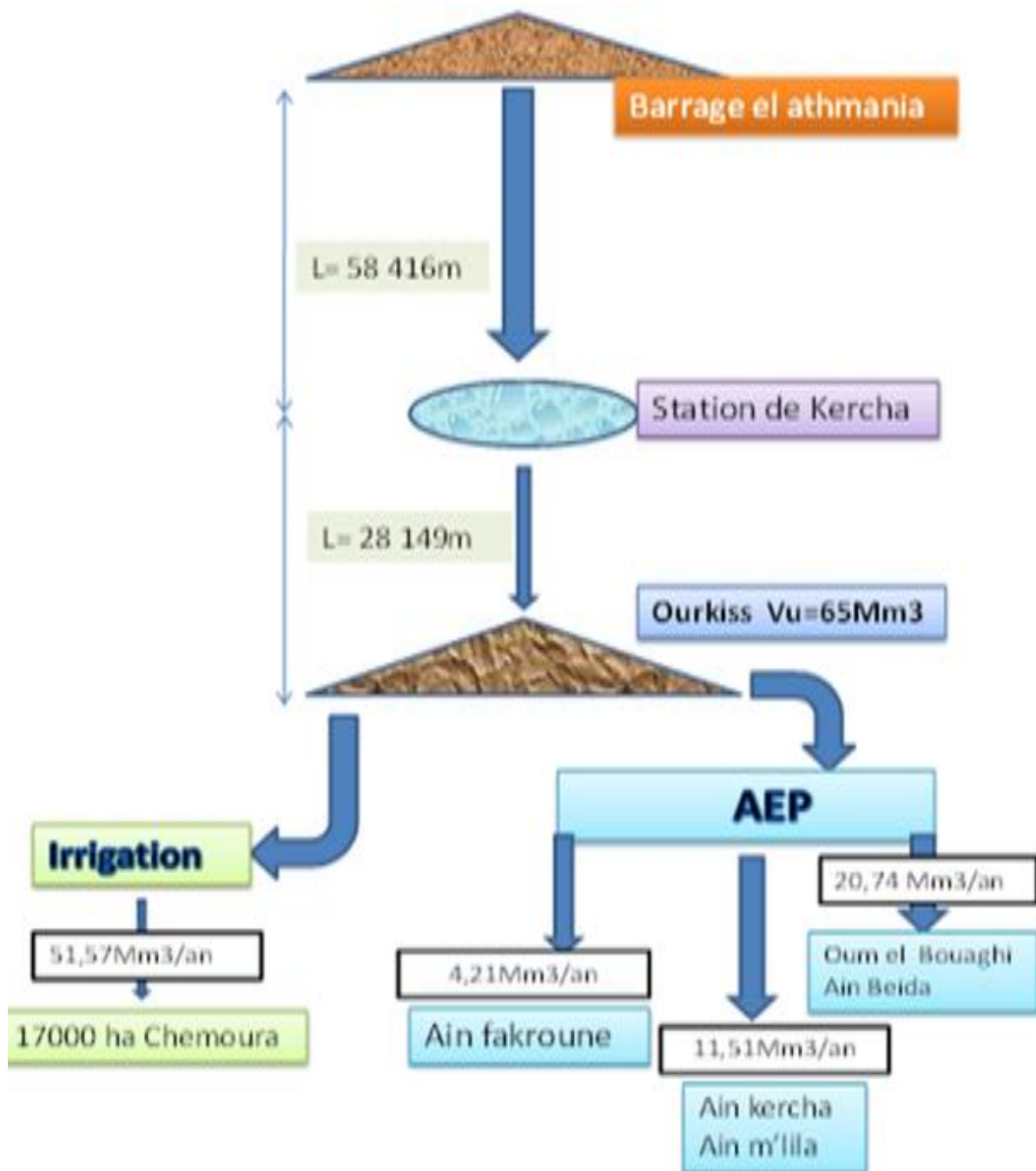


Figure N°24 : Objectif du barrage Ourkiss (Présentation du barrage d'Ourkiss, 2011).

CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES ET AUTRES PARAMETRES DU BARRAGE D'OURKISS ET SA RETENUE :

Ces caractéristiques sont représentées dans le tableau N° : 3 ;

Tableau N°3 : Caractéristiques hydrologiques et autres paramètres du barrage d'Ourkiss et sa retenue

Type du barrage	En terre
La digue	En remblais avec noyau argileux et protection en Rip rap
Hauteur de la digue	40m
Longueur de la crête	407m
Largeur de la crête	8m
Largeur au pied maximale du profil	216m
Déversoir type latéral ; implanté en rive gauche	saut de ski
Longueur du déversoir	35m
Capacité initiale	64.00Hm ³
Capacité maximal	69.10Hm ³
Longueur du coursier (section trapézoïdale) et le Saut de Ski	190m
Niveau du seuil	951,60m
Débit maximal	350 m ³ /s
Cote retenue normale (RN)	951.60 m NGA
Volume mort	4.10Hm ³
Capacité utile	65Hm ³
Bassin versant	62km ²
Altitude des plus hautes eaux(PHE)	953.85m NGA
Cote de la crête du barrage	954.50m NGA
Précipitation moyenne annuelle	400mm
Apport moyen naturel annuel	3Hm ³
Evapotranspiration moyenne annuelle	1 300 mm
Vitesse du vent moyenne mensuelle	3,6 m/s
Volume régularisé	100Mm ³

II. LES APPORTS NATURELS ET VOLUME REGULARISE

Tandis que le barrage d'Ourkiss est un barrage d'équilibrage, son propre apport n'est pas important comparé au volume d'eau reçu par transfert. Le volume régularisé est approximativement égal au volume d'eau transféré au barrage, et l'apport naturel dans le barrage est en grand partie annulé par l'évaporation de la surface de la retenue.

III. LE TAPIS ETANCHE

Le site présente un déficit des conditions d'étanchéité, ce qui nous a obligé à l'amélioration de la zone d'assise et ce par de la mise en place d'un tapis étanche en complexe géosynthétique géotextile de type HPDE (polyéthylène de haute densité), d'une épaisseur de 2.5 mm, surtout qu'une solution moins onéreuse n'a pas pu être mise en place (le terrain présente des vides karstiques, et l'injection de coulis de ciment s'est avéré très couteux vu que les vides sont importants).



Photos N13 : Fractures ouvertes, karstifiées avec des concrétions calcaire (Présentation du barrage d'Ourkiss,2011).



Photos N° 14 : Fractures, karstifiées dans les calcaires dolomitiques de la surface de la zone du barrage (Mémoire de synthèse site du barrage d'Ourkiss, 2003)



Photos N° 15 : Matériaux argileux, extrait de la zone d'emprunt, caractérisée la présence de carbonate ($CaCO_3$) (Présentation du barrage d'ourkiss, 2011).

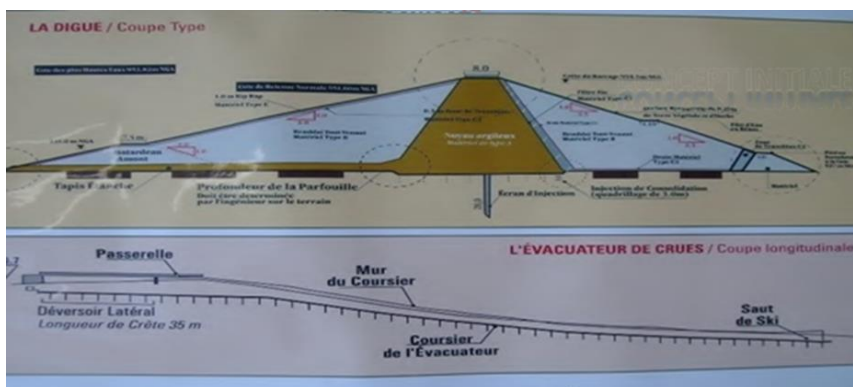


Figure N°25 : digue principale et coupe en travers du barrage d'Ourkiss (Présentation du barrage d'Ourkiss,2011).

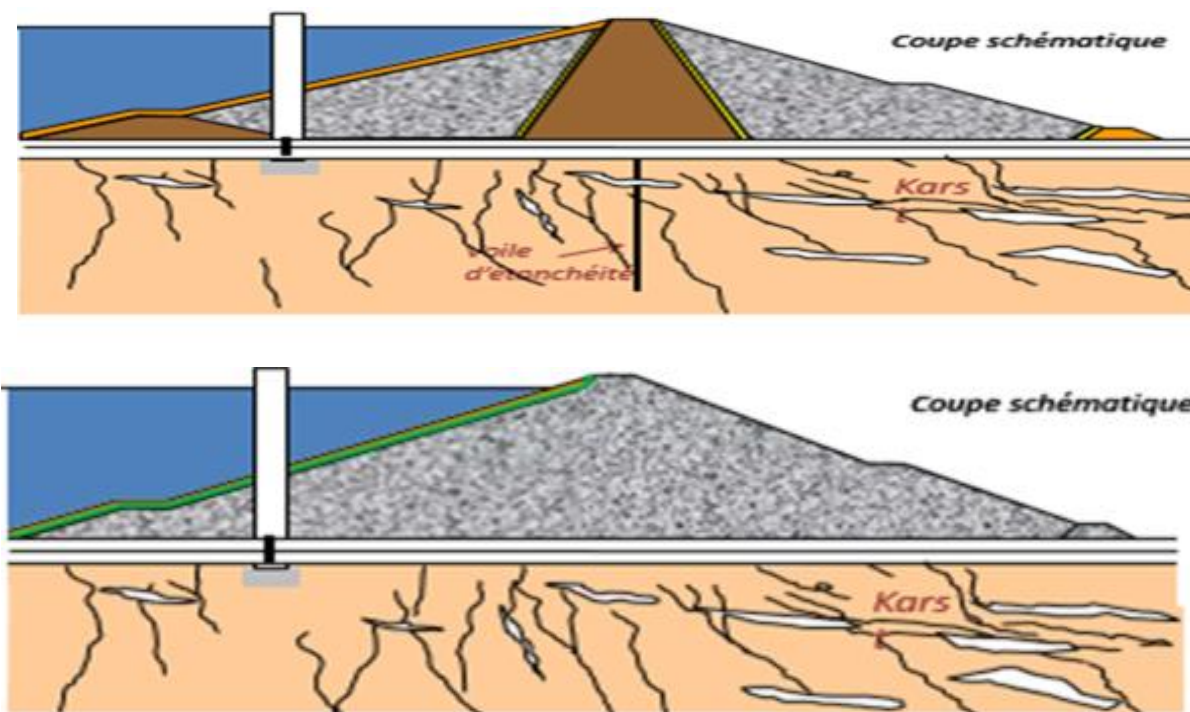


Figure N°26 : Renforcement de la conception par la géo membrane du tapis étanche (Présentation du barrage d'Ourkiss,2011).



Photos N° 16 : Pose de la géo membrane et géotextile depuis la crête la digue du barrage d'Ourkiss (Présentation du barrage d'Ourkiss,2011).



Photos N° 17 : Contrôle des joints de la géo membrane, par l'air comprimé (Présentation du barrage d'Ourkiss, 2011).

III. STABILITE DE LA DIGUE

Tableau N°4 : Résultats de l'analyse de la stabilité (Mémoire de synthèse, site du barrage d'Ourkiss, 2003)

Etat	catégorie	Minimum FDS	
		Désiré	Obtenu
Aval :			
Retenue pleine	Habituel	1.50	1.96
Retenue pleine+ SM	Inhabituel	1.25	1.66
Retenue pleine + SBO	Extrême	1.00	1.37
Amont :			
Retenue pleine	Habituel	1.50	1.84
Abaissement rapide	Inhabituel	1.25	1.32
Retenue pleine + SBO	Inhabituel	1.25	1.51
Retenue pleine + SMC	Extrême	1.00	1.06

(SMC) Séisme Maximal Crédible, (SBO) le Séisme de Base Opérationnel.

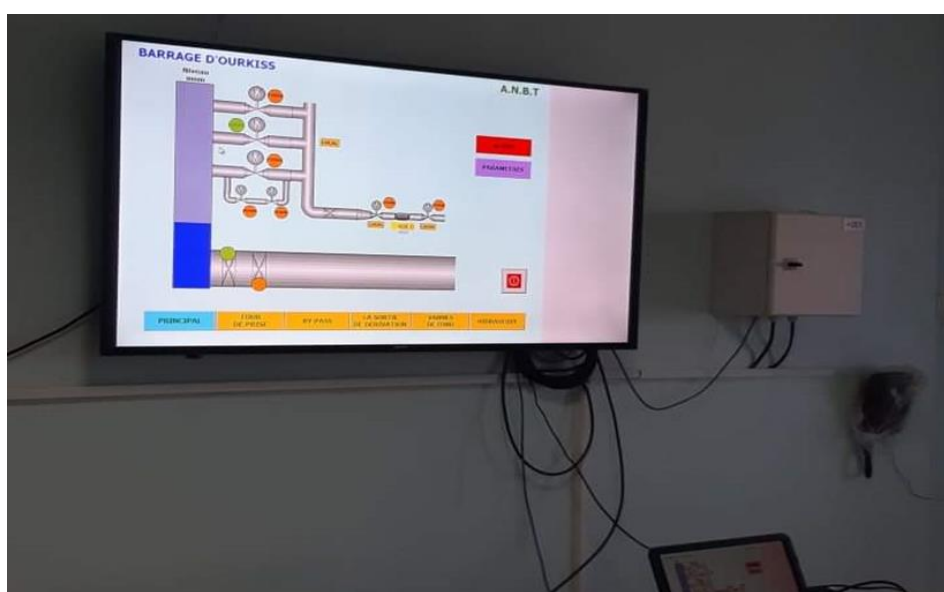
D'après les résultats obtenus, comparés à ceux des coefficients admissibles de stabilité, on remarque d'après les résultats obtenus ci-dessus, que les Facteurs de Sécurité sont satisfaisant.

Chapitre IV : AUSCULTATION DU BARRAGE D'OURKISS

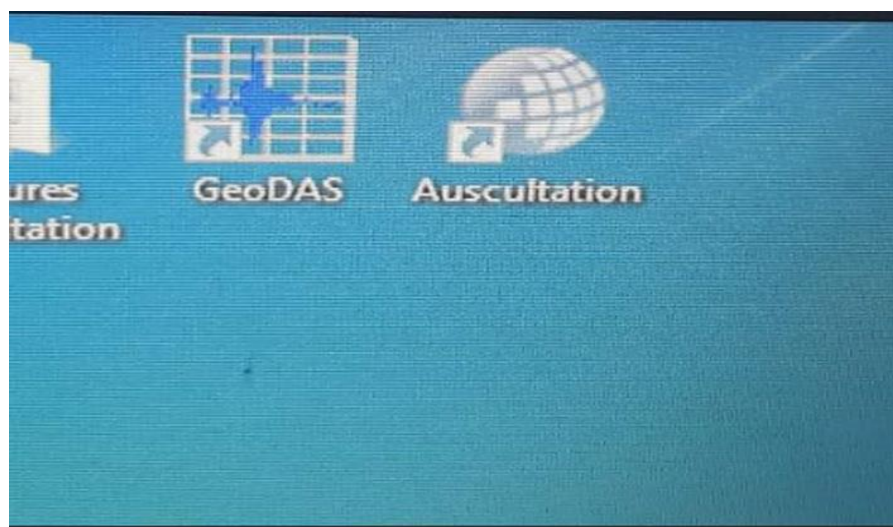
I. INTRODUCTION

Le barrage d'Ourkiss est doté d'un dispositif d'auscultation basé sur la mesure des paramètres physiques (Pression interstitielle et totale, niveau piézométrique, débit de fuite, température et hauteur d'eau, pluviométrie, déplacements horizontaux, verticaux et déformations du noyau), et le suivi de leur évolution comportemental en fonction du temps ;

Les mesures d'auscultation sont soit réalisées manuellement par l'exploitant du barrage lors des tournées d'inspection, soit mesurées et enregistrées automatiquement à distance par télégestion au niveau du bâtiment de commande ; Aussi des campagnes de mesures topographiques sont menées, pour suivre le comportement mécanique du barrage.



Photos N° 18 : Télégestion des enregistrements au niveau du réseau standard (Bâtiment de commande) du barrage d'Ourkiss.



Photos N° 19 : Traitement numérique des enregistrements télégesté du barrage d'Ourkiss par le logiciel GeoDas.

II. PRESENTATION GENERAL DU DISPOSITIF D'AUSCULTATION DU BARRAGE D'OURKISS

Les différents types de matériels d'auscultation ainsi que leur implantation ont été définis en prenant en compte d'une part les conditions géologiques du site du barrage d'Ourkiss, et d'autre part, les conclusions issues de l'étude de stabilité du barrage. L'auscultation comprend toutes les mesures de déplacement, de pressions totales et d'interstitielles, de nappe phréatique et de débit de fuite du barrage.

L'ensemble des dispositifs d'auscultation est disposé essentiellement suivant 04 profils perpendiculaires à l'axe du barrage :

- Deux profils en rive gauche, espacés régulièrement le long de l'axe.
- Un profil en fond de vallée, correspondant au profil de plus grande hauteur,
- Un profil à mi-hauteur de l'appui rive droite,

De plus, un jeu de cellules des prises des pressions totales et des cellules des prises des pressions interstitielles, est installé autour de la conduite sur l'axe du barrage.



Photos N° 20 : Raccordement des appareils de mesures à l'aide des câbles au bâtiment de commande.

Le dispositif est récapitulé dans le tableau N°5 ci-après ;

Tableau N°5 : dispositif d'auscultation du barrage d'Ourkiss.

Type d'appareillage	Nombre
Poutre topographique sur le barrage et la tour de prise	20
Mesures des déplacements horizontaux sur le terrain autour du barrage	6 repères sur des poteaux en béton
Mesures des déplacements verticaux	6 repères + 3 poteaux
Sismographes (accélérographes)	2
Echelle limnimétrique	1
Sonde de mesure limnimétrique	1 Installé dans la tour de prise dans un tuyau de 200 mm de diamètre
Jaugeur de débit de fuite	1
Cellule de prise des pressions interstitielles	13
Cellule de prise des pressions totales	5
Piézomètre	6

III. TYPE D'AUSCULTATION DU BARRAGE D'OURKISS

Le système d'auscultation du barrage et de la retenue d'Ourkiss comprend les types d'auscultations et de mesures suivant :

1. Auscultations géotechniques

L'auscultation géotechnique du barrage et de la retenue d'Ourkiss comprend les types d'auscultations et de mesures suivant :

- Mesures des pressions interstitielles au moyen de cellules interstitielles mises en place dans le corps du barrage, au niveau du tapis étanche amont, et dans la fondation du barrage ;
- Mesures des pressions totales au moyen de cellules totales installées au niveau du raccordement du corps du barrage et la galerie de dérivation ;
- Mesures du niveau des eaux souterraines au moyen de piézomètres ouverts repartis sur les flancs (gauche et droite) et à l'aval du barrage ;
- Mesures du volume des eaux de percolation au moyen d'un déversoir triangulaire Thompson à l'aval du barrage ;

1.1. Cellule de mesure des pressions interstitielles

Cellules de types TELEMAT destinées pour mesurer les pressions interstitielles dans le corps du barrage, et le niveau d'eau souterraine dans le tapis de drainage amont, ainsi que dans le rocher des fondations du barrage ; Il est mis en place 13 cellules interstitielles au total, notamment :

- Cinq (5) Cellules (CPI-01 à CPI-05) sont mises en place en amont du barrage, dans la cuvette, en dessous du tapis étanche.
- Une (1) Cellules (CPI-07, CPI-08, et CP-I10, CPI-011), sont mises en place dans le corps du barrage en remblais, dans le tapis de drainage au niveau des fondations du barrage.
- Trois (3) Cellules (CPI-06, CPI-09, et CPI-012) sont mises en place dans les forages dans les rocher de fondation du barrage.
- Une (1) Cellule (CPI-13) est mise en place dans la galerie de dérivation.

Les cellules de pression interstitielles mises en place dans le corps du barrage en remblais, sont réparties dans 3 profils d'auscultation : PK232, PK308 et PK382.

Les cellules sont raccordées au moyen des câbles au bâtiment de commande, dans laquelle la lecture des résultats, est effectuées.



Photos N° 21 : Raccordement des Cellules des pressions interstitielles du barrage d'Ourkiss.

Tableau N°6 : Résultats de quelques mesures des pressions interstitielles du barrage d'Ourkiss

Date	CPI 1	CPI 2	CPI 3	CPI 4	CPI 5	CPI 6	CPI 7	CPI 8	CPI 9	CPI 10	CPI 11	CPI 12	CPI 13
23/09/2017	1 038,80	1 030,80	1 009,60	1 046,60	1 035,00	1 024,00	973,80	989,00	998,60	1 049,20	1 022,10	1 066,00	1 051,00
07/12/2016	NAN	1024,799	1009,93	1041,49	1018,268	1015,896	974,428	987,075	995,299	1077,87	1013,17	1061,39	1045,28
22/12/2016	NAN	1 024,12	1 009,16	1 041,40	1 017,90	1 015,77	974,23	988,34	994,88	1 077,74	1 012,88	1 061,31	1 045,03
31/05/2017	1 027,60	1 017,70	1 009,20	1 042,20	1 015,50	1 012,70	970,70	983,60	995,30	1 076,40	1 011,80	1 060,10	1 043,80
27/06/2017	1 028,50	1 018,00	1 009,60	1 041,60	1 015,90	1 013,40	971,20	983,50	995,60	1 076,70	1 011,10	1 060,40	1 044,50
26/07/2017	1 029,60	1 018,00	1 009,80	1 039,20	1 016,30	1 013,40	971,80	983,50	996,20	1 076,70	1 011,80	1 060,10	1 045,00
30/08/2017	1 030,10	1 018,40	1 009,90	1 038,80	1 016,40	1 013,50	972,50	983,60	996,20	1 077,00	1 012,50	1 060,00	1 045,00
27/09/2017	1 030,40	1 018,50	1 010,20	1 039,80	1 016,90	1 013,40	972,80	983,60	996,00	1 077,00	1 012,10	1 059,70	1 044,80
29/10/2017	1 029,60	1 018,40	1 010,20	1 040,70	1 016,90	1 013,50	972,30	983,40	996,20	1 077,20	1 011,80	1 059,50	1 044,20
24/11/2017	1 028,50	1 018,10	1 010,30	1 040,40	1 016,40	1 013,50	971,80	983,00	996,40	1 077,20	1 011,30	1 059,10	1 043,80
25/12/2017	1 027,30	1 018,00	1 009,90	1 041,40	1 015,20	1 013,20	970,30	982,90	996,00	1 076,70	1 010,70	1 058,60	1 043,00
22/01/2018	1 027,10	1 018,40	1 009,60	1 040,50	1 015,00	1 013,50	969,80	982,20	996,10	1 076,60	1 010,60	1 058,80	1 042,60
24/02/2018	1 027,60	1 018,80	1 009,80	1 042,20	1 015,20	1 013,60	969,50	981,90	997,30	1 076,90	1 010,60	1 059,50	1 043,00
19/03/2018	1 027,60	1 018,80	1 009,50	1 041,90	1 014,90	1 013,80	969,70	981,80	997,20	1 076,60	1 010,90	1 059,40	1 042,90

1.2. Cellules pour les mesures des pressions totales

Cirque (5) Cellules de type TELEMAT, de mesure des pressions totales exercées sur les murs de la galerie dérivation, sont mises en place au niveau de l'axe du barrage.

Ces cellules sont raccordées au moyen des câbles au bâtiment de commande, dans laquelle la lecture des résultats, est effectuées.



Photos N° 22 : Raccordement des Cellules des pressions totales du barrage d'Ourkiss

Tableau N°7 : Résultats de quelques mesures des pressions totales du barrage d'Ourkiss

Date	Cote de plan d'eau	T0actual	CPT 1	T0actual I	CPT 2	T0actual	CPT3	T0actual	CPT 4	T0actual	CPT 5
07/12/2016	932,50	11,07	2 007,87	10,22	2 001,21	13,20	1 883,82	11,17	1 928,02	12,13	2 010,25
09/05/2016		11,47	2 004,40	11,49	1 995,00	11,47	1 879,50	10,31	1 937,20	10,00	2 009,10
22/05/2016		12,16	2 005,30	11,03	1 997,70	12,00	1 880,10	12,00	1 925,20	11,17	2 007,40
29/05/2016		12,16	2 005,30	11,07	1 997,70	12,16	1 879,10	12,16	1 924,20	17,22	2 006,40
30/05/2016		12,13	2 004,20	12,11	1 997,10	12,01	1 879,60	12,11	1 926,70	22,40	2 007,50
06/06/2016		12,11	2 004,30	11,49	1 997,60	11,47	1 879,10	12,45	1 926,20	12,04	2 007,90
13/06/2016		12,18	2 004,70	12,17	1 997,10	12,18	1 878,60	12,17	1 924,00	12,17	2 008,00
20/06/2017		12,12	2 004,50	12,17	1 997,60	12,14	1 878,50	12,18	1 926,50	12,17	2 008,10
02/08/2016	931,00		2 004,70		1 996,60		1 879,10		1 924,20		2 009,10
18/09/2016	931,42	12,70	2 005,30	12,18	1 993,40	12,17	1 878,10	11,13	1 923,20	12,00	2 008,60

1.3. Piézomètres

La structure piézométrique de tuyaux galvanisés 51mm (2") est installée dans les forages exécutés ; la position des parties pleines, et des intervalles perforés des tuyaux, sont déterminées en fonction du profil lithologique.



Photos N° 23 : Piézomètre P1 du barrage d'Ourkiss.

Les niveaux des eaux souterraines sur les flancs du barrage et dans la zone aval, sont observés au moyen de six (6) piézomètres ouvert.

Les piézomètres de PR-10 à PR-12, de 120 m de profondeur, sont mis en place sur les flancs du barrage, en prolongement de l'axe du barrage.

Les piézomètres P-1 à P-4, d'une profondeur allant de 70 à 115 m, sont mis en place en aval du barrage. Les parties actives (perforées) de tous les piézomètres se trouvent dans la roche mère (calcaires et dolomies)

Les niveaux piezométrique sont mesuré à l'aide d'une sonde hydroelectrique de mesure de niveau, sonneur ,dés que son capteur atteint l'eau (photos N°22);



Photos N°24 : Lcture de niveau d'eau du piezomètre PR12, à l'aide d'une sonde hydroelectrique de mesure de niveau.

Tableau N°8 : Résultats de quelques mesures de niveau dans les piézomètres du barrage d'Ourkiss.

R 12		P 4		P 3		P 2		P 1		R 10	
25/10/2007		08/06/2008		28/05/2008		25/05/2007		23/07/2007		04/11/2007	
839,92		824,13		823,62		849,57		863,77		843,21	
959,92		939,13		923,62		919,57		943,77		963,21	
961,06		940,13		924,62		920,57		944,86		964,21	
Lecture(m)	Niveau d'eau (m)	Lecture(m)	Niveau d'eau (m)	Lecture(m)	Niveau d'eau (m)	Lecture(m)	Niveau d'eau (m)	Lecture(m)	Niveau d'eau (m)	Lecture(m)	Niveau d'eau (m)
109,17	851,89	88,67	851,46	62,47	862,15	67,03	853,54	76,14	868,72	114,92	849,29
bouché		95,00	845,13	63	861,62	fermé		75,00	869,86	117,35	846,86
bouché		95,00	845,13	63	861,62	fermé		75,00	869,86	117,35	846,86
bouché		95,40	844,73	63	861,62	fermé		75,00	869,86	117,33	846,89
114,60	846,46	96,00	844,13	63,00	861,62	67,65	852,92	71,90	872,96	117,33	846,88
114,60	846,46	96,00	844,13	62,70	861,92	67,60	852,97	76,40	868,46	117,50	846,71
0,00	961,06	0,00	940,13	0,00	924,62	0,00	920,57	0,00	944,86	0,00	964,21

1.4. Dispositifs pour les mesures des eaux percolées

Les eaux percolées à travers le barrage, sont mesurées au moyen d'un dispositif de mesures des eaux percolées, c'est un déversoir triangulaire type Thompson de capacité de 50 lit/sec, avec un tuyau de drainage sur sa sortie, déposé dans le canal de drainage à l'aval du barrage (Figure N°20).



Photos N° 25 : Dispositif de drainage du barrage d'Ourkiss.

Il est prévu que la lecture de la quantité des eaux percolées est automatique, dans la salle d'auscultation dans le bâtiment de commande.

Tableau N°9 : Résultats de quelques enregistrements de la quantité des eaux percolées du barrage d'Ourkiss.

h= hauteur d'eau mesurée en mm				<u>mars-21</u>
q = débit en lit/min		L0 = 7500 LINEAR UNITS		
L = k (f ² / 100)				
DH= CF (L1 - L0) CF = - 0,042862mm				
PLAQUE DEVERSANTE				
Date	Cote de plan d'eau	H (mm)	Q(L/min)	Observation
22/12/2016	933,66	6,00	0,34	Lecture 0 avec PC
30/10/2017	943,80	13,00	1,94	ESSAI AVEC DCMEI
12/12/2017	944,71	20,00	5,34	
22/01/2018	944,69	8,00	0,64	
24/02/2018	944,64	6,00	0,34	
23/03/2018	944,60	9,00	0,83	

2. Auscultations topographiques

Dans le cadre du programme d'observation technique du barrage d'Ourkiss, l'étude d'observation géodésique du barrage est définie ;

- La disposition des points d'observation du barrage ;
- La méthode d'observation ;
- L'instrumentation et outils d'observation ;
- La disposition des points micro-trigonométriques avec le plan d'observation et le réseau de nivellement avec le plan de nivellement ;
- Le contrôle de qualité des mesures sur le terrain ;
- Le traitement numérique des mesures réalisées pour les réseaux trigonométriques et de nivellement ;
- La méthode de détermination des points stables dans le réseau micro technique des observations de contrôle ;
- Le contenu du mémoire technique des observations de contrôle ;
- L'aperçu numérique et graphique des déformations des points observés au niveau du barrage.

Le levé géodésique zéro a été réalisé en novembre 2013, Rapport de mesures topographique, les mesures ZERO, contient les données sur les mesures de terrain pour le réseau micro-trigonométrique et de nivellement, et des points observés au niveau du barrage.

Le calcul des coordonnées définitives pour le réseau micro-trigonométrique, et des points observés a été fait dans le réseau de coordonnées local.

Le système de coordonnées local est défini par l'axe X parallèle à l'axe Y, le sens positif de l'axe Y est en amont, alors qu'est le sens positif de l'axe X est le flanc droit, en regardant vers amont.

Le système de coordonnées local a été adopté pour le calcul des coordonnées du réseau micro trigonométrique, et pour l'observation des points au niveau du barrage.

Le système de coordonnées local a été adopté d'un aperçu simple, et claire des futures déformations des points de barrage et leur interprétation.

Vingt (20) repères ont été mis en place au niveau du barrage et de la tour de prise, pour l'auscultation topographique des déplacements horizontaux, et verticaux du barrage et de la tour de prise, dont :

- Huit (8) repères du coté amont de la crête du barrage ;
- Huit (8) repères du coté aval de la crête du barrage ;
- Trois (3) repères sur l'accotement aval ;
- Un (1) repère à la tour de prise d'eau.

Pour les mesures des déplacements horizontaux sur le terrain autour du barrage, il est matérialisé un réseau micro trigonométrique. Ce réseau contient six (6) repères sur des poteaux en béton, dont quatre (4) en rive gauche (repères PIII, PIV, PV et PVI), et deux (2) en rive droite (repères PI et PII) :

Pour les mesures des déplacements verticaux, il est formé un réseau du nivellement contenant six (6) repères + trois (3) poteaux du réseau trigonométrique avec les repères : (R-1 ; R-2 ; R-5 ; R-6 ; R-7 ; R-8 ; RPI ; RPIV ; RPVI-1) installés, notamment en rive droite.

Les mesures avec le nivellement précis devraient être réalisées en respectant les instructions suivantes :

- Réaliser des mesures avant-arrière ;
- Visée de longueur jusqu'au 30m ;
- Réaliser les mesures depuis le milieu ;
- Réaliser les mesures lors des images tranquilles ;
- Contrôler et rectifier les niveaux et le matériel immédiatement avant de réaliser les mesures ;
- Nombre de stations entre les repères devrait être paire, si possible ;

- Lectures de la latte de niveau ne s'effectue pas au-dessous du 0.30 m.
- Réaliser les mesures avant- arrière ;
- Instrument – de précision de seconde ou un autre correspondant électronique avec compensateur ;
- Hauteur de l'instrument et signal – mesurer au millimètre (pour la fiabilité mesurer trois fois).

3. Mesures sismiques

Deux (2) accélérographes sont installés dans la crête du barrage, pour suivre le comportement dynamique du corps du barrage, et de ses fondations, au séisme.



Photos N° 26 : Raccordement des deux (2) accélérographes du barrage d'Ourkiss au niveau du bâtiment de commande.



Photos N° 27 : Accélérographe du barrage d'Ourkiss (crête du barrage).

4. Mesures hydrométéorologiques

- Mesures des oscillations du niveau d'eau de la retenue au moyen d'une échelle limnimétrique et d'un télémnimètre ;
- Mesure de la température de l'eau de la retenue au moyen des thermomètres installés au niveau de la tour de prise ;
- Mesure de la température et de l'humidité de l'air, de la quantité de précipitation, de la vitesse du vent et de la qualité d'évaporation au moyen de station météorologique automatique ;
- Mesure manuelle de l'évaporation à l'aide d'un bac d'évaporation, (photos N°18), installé au niveau du barrage.



Photos N°28 : Bac d'évaporation du barrage d'Ourkiss.

IV. CONCLUSION

La surveillance des barrages, nécessite un dispositif particulier, ainsi qu'une organisation adéquate, efficace, et un personnel compétent, pour mieux suivre l'évolution comportementale de l'ouvrage dans le temps, et proposer des solutions et des travaux de renforcements et de correction, en temps réel, pour assurer la pérennité du barrage.

L'auscultation du barrage d'Ourkiss comprend tout un dispositif qui permet le suivi quotidien et automatique ou instantané des plusieurs phénomènes. Ce dispositif est dispersé au côté amont, dans le corps du barrage, au niveau de la digue, et au côté aval ;

Ceux du côté amont ont pour objectif :

- La mesure des déplacements horizontaux : Huit (8) poutres du coté amont de la crête du barrage.
- La mesure du déplacement vertical : Un (1) repère à la tour de prise d'eau.
- Le suivi du niveau d'eau : Un (1) échelle limnimétrique.
- La mesure la température d'eau : Une (1) Sonde de mesure limnimétrique est installé dans la tour de prise dans un tuyau de 200 mm de diamètre pour

Ceux du côté aval ont pour objectif :

- La mesure de débit des eaux percolées à l'aval du barrage : Un (1) Jaugeur de débit de fuite
- La mesure des déplacements verticaux : Huit (8) repères du côté aval de la crête du barrage.
- La mesure des déplacements verticaux : Trois (3) repères sur l'accotement aval.

Dans le corps du barrage

- La mesure des pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique : Treize (13) Cellule de prise des pressions interstitielles
- La mesure des pressions totales exercées sur les murs de la galerie dérivation : Cinq (5) Cellule de prise des pressions totales.
- La mesure des niveaux piézométriques de la nappe phréatique : Six (6) Piézomètre.

Au niveau de la digue :

- Pour suivre le comportement dynamique du corps du barrage, et de ses fondations, au séisme : 2 Sismographes (accélérographes) sont installés dans la crête du barrage

CONCLUSION GENERALE & RECOMMANDATIONS

Les barrages en terre sont très vulnérables à plusieurs phénomènes dont certains sont naturel ; et en relation avec les conditions géologiques, hydrogéologiques, hydrologiques et géotechniques ;

La mise en place d'un remblai peut générer, par hétérogénéité des matériaux constituants des infiltrations qui peuvent être fatales à l'ouvrage ; d'où la nécessité de les détecter avant qu'ils ne deviennent incontrôlables. La détection précoce de ces phénomènes nécessite la mise en place d'un dispositif dit d'auscultation.

L'auscultation du barrage d'Ourkiss comprend tout un dispositif qui permet le suivi quotidien et automatique ou instantané des plusieurs phénomènes. Ce dispositif est dispersé au côté amont, au côté aval, dans le corps du barrage et au niveau de la digue ;

Ceux du côté amont ont pour objectif :

- La mesure des déplacements horizontaux : (Huit) 8 poutres du coté amont de la crête du barrage.
- La mesure du déplacement vertical : Un (1) repère à la tour de prise d'eau.
- Le suivi du niveau d'eau : Un (1) échelle limnimétrique.
- La mesure la température d'eau : Une (1) Sonde de mesure limnimétrique est installé dans la tour de prise dans un tuyau de 200 mm de diamètre pour

Ceux du côté aval ont pour objectif :

- La mesure de débit des eaux percolées à l'aval du barrage : Un (1) Jaugeur de débit de fuite
- La mesure des déplacements verticaux : Huit (8) repères du côté aval de la crête du barrage.
- La mesure des déplacements verticaux : Trois (3) repères sur l'accotement aval.

Dans le corps du barrage

- La mesure des pressions interstitielles dans le corps du barrage en remblai et niveau piézométrique : Treize (13) Cellule de prise des pressions interstitielles
- La mesure des pressions totales exercées sur les murs de la galerie dérivation : Cinq (5) Cellule de prise des pressions totales.
- La mesure des niveaux piézométriques de la nappe phréatique : Six (6) Piézomètre.

Au niveau de la digue :

- Pour suivre le comportement dynamique du corps du barrage, et de ses fondations, au séisme : Deux (2) Sismographes (accélérographes) sont installés dans la crête du barrage.

On note que des Tassomètres au niveau de la digue peuvent être très utiles pour surveiller les tassements et soulèvements souterrains de couches situées sous des remblais.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANTON et al, Anton.S et Pougatsch.H, Les barrages- du projet a la mise en service, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), école polytechnique fédérale de Lausanne, 714p, 2011.
- [2] B093, Vieillissement des barrages et des ouvrages annexes - Synthèse et recommandations, 242 pages, 1994.
- [3] H. BAGHZIM, Etude numérique de la conception des barrages en terre, mémoire magister université Mohamed Khider-biskra-Algérie, 2005.
- [4] Colloque CFBR, Chambéry, « Auscultation des barrages et des digues - Pratiques et perspectives, 27-28 Novembre, 2012
- [5] CHERIF et al, CHERIF.S.M et BOUHASSANE.M.C, Etude comparative des barrages a noyau central. Mémoire de Master. Tlemcen : université Abou Baker Belkaid, faculté de technologie, 93p, 2013.
- [6] DRA-91, INERIS- DRA-13-126129-01017CDRA-91 - Maîtrise des Risques Accidentels sur les ouvrages hydrauliques, Opération B.2 Valorisation des dispositifs d'auscultation dans les études de dangers de barrages ,2012.
- [7] J.M. DURAND et al, Jean-Mauris DURAND-Paul ROYET- patrice MERIAUX, technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, imprimé par Jouve, 18, rue Saint-Denis, 75001 paris, avril ,1999.
- [8] LE DELLIU, Patrick LE DELLIU, les barrages, conception et maintenance, E.N.T.P.E presses universitaire de Lyon,2003.
- [9] Les ruptures des barrages, Ministère de l'écologie et du développement durable, France, 2004.
- [10] R. MOUICI, Etude critique du projet du barrage de Koudiat M'Daouer, NE Algérien, Thèse de Magister, U Tébessa, 2010.
- [11] Mémoire de synthèse site du barrage d'Ourkiss, Avant-Projet Détaillé, ANBT/NIHMAN SHAND, 2003.
- [12] A.D. MVONDO MVOGO, Extrait de mémoire de fin d'étude, cycle d'ingénieur en génie civil, Calcul de la stabilité de la digue en terre du barrage TINE -Tunisie, et interprétation des données d'auscultation, réalisé par Alexandre Désiré Mvondo Mvogo ,2012.
- [13] Présentation du barrage d'Ourkiss, Regroupement des Chefs Projet, ANBT, 2011.
- [14] Soudoud, Bulletin périodique d'information de L'ANBT/N°2/Décembre ,2017.
- [15] ROLLEY.R ET al, Technique des barrages en aménagement rural, Ministère de l'agriculture français,1974.

[16] SCHULER et Brauns, cité par Blais, 2004, les diverses conditions de déclenchement de l'érosion interne dans un barrage, 1996.

[17] Teton dam History, Idaho, États-Unis, Bureau of Réclamation, Pacific Northwest Région, 1998

Site Web,

[18] cementys .com

[19] [CFGB, 1997.](#)

[20] CIGB , Commission Internationale Des Grands Barrages., www.roctest.com , (2010).

[21] Corse, Photos Irstea-G2DR.

[22] docplayer.fr

[23] fr.slideshare.net , <https://fr.slideshare.net>

[24] opodoran.canalblog.com.

[25] Photo site www.industrie.gouv.fr

[26] Photos Irstea-G2DR.

[27] postesdeoehenalgerie.blogspot.com

[28] settah.canalblog.com

[29] www.planete-tp.com.