

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



DOMAINE SEINCE ET
TECHNOLOGIE
FILIERE : Génie Civil
OPTION : STRUCTURE

N° :

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: Samir Bensaoucha

Intitulé

**Étude de cas pathologique dans un digue survenue
(Retenue collinaire) à Bouti Sayah-M'sila
(35.764632N 3.535382E)**

Soutenu devant le jury composé de:

Khemissa Mohemed	Université de M'sila	Président
Ahemed Amour	Université de M'sila	Rapporteur
Oudzendja Djamel	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents, mes frères et sœurs

A mes amis, mes proches et à toute personne ayant collaborée à ce travail.

REMERCIEMENT

JE REMERCIE :

*En premier lieu Allah pour tout ce qu'il
m'a Donne et m'a procuré.*

En particulier notre encadreur :

MR : AMOUR AHMED.

Mes parents, pour leurs sacrifices.

*Et la direction du département de génie
civil*

Université Mohamed Boudiaf m'sila.

*Mes remerciements à tous mes
enseignants.*

Sommaire

Dédicace	
Remerciement.....	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé.....	

Chapitre I :

Généralité sur la pathologie ruptures et risque

Introduction générale.....	1
I-1 introduction.....	3
I-2 causes de rupture des barrages.....	4
I-2-1 problèmes techniques	4
I-2-2 causes naturelles.....	4
I-3 types de rupture.....	4
I-4 les mécanismes de rupture des ouvrages en remblai.....	5
I-4-1 l'érosion externe.....	6
I-4-1-1 l'affouillement.....	6
I-4-1-2 courant et chocs de corps flottants.....	8
I-4-1-3 la surverse.....	9
I-4-1-4 exemple de cas de surverse.....	9
I-4-1-5 le mécanisme de glissement.....	11
I-5 les mécanismes d'érosion interne.....	14

I-5-1 exemple de cas d'érosion interne.....	16
I 5-2 synthèses.....	16
I -6 Typologie de l'érosion et de la dispersion.....	17
I -6-1 Typologie de l'érosion interne.....	17
I -6-1-1 les phénomènes d'arrachement.....	18
I -6-1-1-1 l'entraînement.....	18
I -6-1-1-2 l'érosion régressive.....	18
I -6-1-1-3 la condition de boulangerie.....	19
I -6-1-1-4 la dissolution.....	20
I -6-1-1-5 la défloculation.....	20
I -6-1-1-6 l'ex solution.....	20
I -6-1-2 les phénomènes de transport.....	20
I -6 -1-2-1 le renard hydraulique.....	20
I -6-1-2-2 la suffusion.....	21
I -7 diagnostics d'un ouvrage.....	22
I- 7-1 définition du diagnostic.....	22
I -8 diagnostic et analyse de risque des ouvrages de génie civil.....	22
I -9 la reconnaissance géotechnique.....	24
I -9-1 principe et objectif de la reconnaissance géotechnique.....	24
I -9-2 méthodes géotechniques privilégiées pour le diagnostic des digues.....	25
I -10 Essais in situ.....	25
I -10-1 Choix des méthodes et critères d'implantation des reconnaissances.....	25
I -11 conclusion.....	26

Chapitre II :
Description de l'ouvrage

II-1 Introduction.....	27
II-2 situation topographie et contexte géologique.....	27
II-2-1 topographie.....	27
II-2-2 contexte géologique.....	27
II-3 choix de site du barrage	27
II-3-1 situation dans l'espace.....	27
II-3-2 localisation de l'axe de la retenue.....	28
II-4 présentation de l'ouvrage.....	30
II-5 historique de l'ouvrage.....	31
II-6 conclusion.....	32

Chapitre III:

Constat des désordres

III -1 Introduction.....	33
III -2 nature du sinistre.....	34
III -3 description des dégâts.....	34
III -3-1 conclusion des dégâts.....	38
III -4 conclusion	40

Chapitre IV :

Étude hydrogéologique et géotechnique du terrain.

IV-1 Introduction.....	41
IV-2 les essais d'identification de sol.....	41
IV-2-1 analyse granulométrique (NF p 94-056)....	41
IV-2-1-1 discussions des résultats de l'essai	42
IV-2-1-2 L'analyse de résultat.....	43
IV-3 L'essai mécanique	44
IV-3-1 essai de cisaillement direct (NF p 94-071) :.....	44
IV-3-1-1 résultats des essais de cisaillement à la boîte.....	46
IV-3-1-2 interprétation	51
IV -4 Conclusion	51

Chapitre V :

Analyse des désordres

V -1- introduction.....	53
V -2- cause de la rupture	53
V -2-1 La conception technique de l'ouvrage.....	53
V -2-2- l'étude de la partie géotechnique: (cause principale).....	54
V-3 conclusion du diagnostic	57
V-4 conclusion et recommandations.....	57
Conclusion générale.....	58

Liste des figures

Chapitre I :

Généralité sur la pathologie ruptures et risque

Figure (I-1) Les quatre mécanismes de rupture des ouvrages en remblai Schéma extrait de (Lepetit, 2002).....	5
Figure (I.2) Le Mécanisme de l'affouillement (Mériaux et Al, 2001).....	7
Figure(I.3) Mécanisme de rupture par surverse (Mériaux et Al, 2001).....	11
Figure (I.4) Le mécanisme de glissement coté val en situation de crue (Mériaux et Al 2001).....	12
Figure(I.5)Le mécanisme de glissement coté fleuve lors de la décrue (Mériaux et Al, 2001).....	13
Figure(I.6) Érosion interne par renard et par suffusion (CFGB ,1997).....	14
Figure (I.7) Mécanisme de renard hydraulique dans une digue (Mériaux et Al, 2001).....	15
Figure(I.8) Renard autour d'une canalisation traversant la digue.....	16
Figure (I.9) Le phénomène d'entraînement (T.L.Pham 2008).....	18
Figure (I.10) le phénomène d'érosion régressive (T.L.Pham 2008).....	19
Figure (I.11) phénomène de boulangerie (Bendahmane Fateh, 2005).....	19
Figure (I.12) Phénomène de renard (T.L.Pham 2008).....	21
Figure (I.13) Renard dans un Barrage ; (Lautrin; 2002).....	21
Figure (I.14) Phénomène de suffusion; (T.L.Pham 2008).....	22
Figure (I.15) Diagnostic, évaluation de l'état /performance et analyse de risque (Zwingelstein,95).....	24

Chapitre II :

Description de l'ouvrage

Figure (II.1) Image satellite prise le 30 juillet 2009,(Source Google Earth).....	28
---	----

Figure (II.2) Position de la digue sur la Carte d'Algérie fuseau NI 31-XXII-2Ouest.....	29
Figure (II.3) Vue générale Digue Ouled Ali ben Daoud (maâch).....	30
Figure(II.4) coté amont de la digue.....	30
Figure(II.5) coté avale de la digue.....	31

Chapitre III :

Constat des désordres

Figure (III.1) Image satellite prise le 12 avril 2016,(Source Google Earth).....	33
Figure(III.2) Etat d'oued après la crue	34
Figure(III.3) Le mur du barrage nord fissuré et décalé vers le bas après les inondations.....	35
Figure(III.4) Le mur du barrage nord fissuré et décalé vers le bas après les inondations.....	36
Figure(III.5) Scène montre la disparition de la rive nord du barrage après les inondations....	36
Figure (III.6) Paysage montre l'érosion de l'eau vers le bas.....	37
Figure (III.7) L'Écoulement scène montre de l'vers le bas d'Eau.....	37
Figure(III.8) déplacement d'une grande partie du mur de soutènement due au crues.....	38
Figure (IV.9) Etat de rive nord de digue après la crue.....	39
Figure (IV.10) Scène montre l'absence le renforcement sur le béton armé.....	39

Chapitre IV :

Etude hydrogéologique et géotechnique du terrain.

Figure(IV.1) : Série des tamis sur la tamiseuse.....	41
Figure (IV.2) : Courbe granulométrique de sol.....	43
Figure (IV.03) : Appareille de cisaillement direct.....	44
Figure (IV.04) :Schéma de la boîte de cisaillement.....	45
Figure(IV.5) contrainte déformation 1.....	48
Figure(IV.6) courbe intrinsèque 01.....	48
Figure(IV.7) contrainte déformation 2.....	49

Figure(IV.8) courbe intrinsèque 02.....	49
Figure(IV.9) contrainte déformation 03.....	50
Figure(IV.10) courbe intrinsèque 03.....	50

Chapitre V:

Analyse des désordres

Figure (V.1) Paysage montre La faiblesse de la qualité des matériaux utilisés dans la construction.....	54
Figure (V.2) Des scènes montrant l'absence des renforcements sur le béton armé.....	55
Figure (V.3) Phénomène d'érosion externe de sol des rives d'oued.....	56
Figure (V.4) Phénomène d'érosion des rives d'oued après la crue.....	56

Liste des tableaux

Chapitre I :

Généralité sur la pathologie ruptures et risque

Tableau (I.1) Recensement des incidents liés à l'érosion interne (CFGB 1997).....	16
---	----

Chapitre II :

Description de l'ouvrage

Tableau(I.2) Les coordonnées Lambert.....	28
Tableau(I.1) Les coordonnées UTM fuseau(31).....	28

Chapitre IV :

Étude hydrogéologique et géotechnique du terrain.

Tableaux (II-1) : récapitulatif des résultats des essais de l'analyse granulométrique.....	42
Tableau (II.2) : résultats de l'essai de cisaillement du sol brut, versus du Pression vertical (0.5bar).....	46
Tableau (II.3): résultats de l'essai de cisaillement du sol brut, versus du Pression vertical (1bar).....	47
Tableau (II.4) : résultats de l'essai de cisaillement du sol brut, versus du Pression vertical (2bar).....	47
Tableaux (II-5): résultats des essais de cisaillement de l'échantillon 1, 2 et 3.....	51

ملخص

الخبرة في المنشآت هو مجال يستند الى فهم عميق لسلوك المنشآت الهيدروليكية.

في هذا العمل قمنا بدراسة الحالة الباثولوجية تم من خلا له إجراء بحث حرصنا فيه الى جمع اكبر كم من المعلومات وذلك لمعرفة الاسباب الحقيقية وراء الإ نهيارات غير اننا لم نرود با المعلومات الكافية حول هذا السد (المخططات .الملف التقني) للأ سباب إدارية.

في حالة بلدية بوطي السايح (دوار علي بن داود) ولاية المسيلة سجلنا حالة عطبية تتمثل في انهيار جزء من سد في مدة زمنية قصيرة جدا نتيجة فيضان واد معاش في هذه المذكرة قمنا بتحليل الأسباب وتقديم الحلول.

فيما يخص المعطيات الخاصة با المشروع لم تكن مبنية على التقرير الجيوتقني الذي يحتوي على اربع حفر استطلاع, واختبارات تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية.

الكلمات المفتاحية : با ثولوجيا- سد - فحص - خبرة – تدهور- تحليل

Résumé

L'expertise des ouvrages est une discipline qui se base sur une profonde connaissance sur le comportement des ouvrages hydrauliques.

Dans ce travail, nous avons étudié la situation pathologique dans laquelle a été faite une recherche qui on a pris les soins de collectionner la plus grande quantité d'informations et cela pour connaître les véritables raisons derrière ces désordres, mais part que nous n'avons pas été suffisamment fourni d'informations sur ce Barrage par rapport aux (les plans –dossier technique) pour des causes administratives.

Dans le cas de notre étude, la digue de la commune Bouti Sayah (wilaya de M'sila) on a enregistré une situation de destruction d'une partie du barrage dans une très courte période de temps, suite à l'inondation de Oued Maach en date du 21 et 22 septembre 2007. Dans ce mémoire, on a essayé de donner un diagnostic détaillé des causes et dégâts produits et on a préconisé une solution convenable.

Concernant les données relatives au site, on s'est basé pas sur un rapport géotechnique contenant quatre sondages carottés ainsi que des essais d'identification physiques et mécaniques.

Les mots clés: pathologie de l'ouvrage, digue, diagnostique, dégradation du béton, analyse, contrôle, expertise,

Abstract

The expertise of the Works is a discipline That is based on a profound know ledge on the behavior of structures.

In this work, we studied the pathological situation in which a research was carried out that took care to collect the greatest amount of information and that to know the real reasons behind this falls, Information on this Dam in relation to (the plans - technical file) for administrative purposes.

In the case of Bouti Sayah (wilaya of M'sila), there was a corruption situation which saw the collapse of part of the dam in a very short period of time following the flooding of Oued Maach in The date of 21st and 22nd September 2007. In this memoir, we tried to give a detailed diagnosis of the causes and damage end products and find a suitable solution.

With respect to site data, a geotechnical report containing four core drill holes as well as physical and mechanical identification tests was used.

Keywords: pathology of the work, diagnosis, analyses, barrage

Introduction générale

Les digues sont des structures constituées d'éléments physiques assemblés en vue de répondre à une fonction pratique, Mais il y a plusieurs problèmes apparaissent sur les composants des digues et gêner leurs fonctions. Dans la plupart des cas, les causes sont à rechercher dans un défaut dans les matériaux ou dans la structure. L'erreur humaine est quant à elle systématiquement présente, soit du fait d'un défaut de conception, soit au niveau de la réalisation, soit enfin dans un défaut de suivi ou d'alerte.

Le débit d'oued est une des principales causes de destruction de plusieurs barrages dans le monde. On Algérie la plupart des barrages sont dégradés et effondrais sous l'effet des crues d'oued, on prend comme exemple le digue oued(Maach) Commune Bouti sayah Wilaya de M'sila.

Dans notre cas d'étude, on va traiter le problème de destruction de la digue de Ouled Ali Ben D'oued commune Boutis Sayah Wilaya de M'sila, qui ont été réalisés et détruits par les crues pendant 21 septembre 2007 et 22 septembre 2007, ont causé d'importants dégâts à l'ouvrage. Mais le déplacement du grand mur de soutènement s'est produit pendant la crue, d'où on a constaté les dégâts par la cause.

L'objectif de notre mémoire, faire une étude du cas pathologique rencontré (destruction de digue) au oued maach à Commune Boutis Sayah, donner un diagnostic détaillé des causes et trouver une solution convenable. Pour atteindre l'objectif visé, le travail est partagé suivant le plan ci-dessous:

- **Le premier chapitre** : consiste en un rappel d'un certain nombre de mécanismes de ruptures des ouvrages en remblais, les causes et les phénomènes intervenant, modifiant ou aggravant la rupture des barrages. Il nous permet aussi de voir l'ensemble des typologies liées à l'érosion interne, ainsi que les méthodes liées au diagnostic des digues et aux phases d'études préalables pour la recherche d'indices, les reconnaissances géotechniques et in-situ avec l'appareillage nécessaire à ces.
- **Le deuxième chapitre** : une présentation de la zone d'étude par un aperçu sur la topographie, et géologie.
- **Le troisième chapitre** : traite le constat des désordres subis par la retenue d'eau.
-

- **Le quatrième chapitre :** regroupe l'ensemble des essais expérimentaux effectués sur un échantillon de sol et présente l'ensemble des résultats et leurs interprétations.
- Enfin **Le cinquième chapitre:** traite les causes de rupture de la digue, et analyse les dégâts et propose des solutions pour la bonne tenue du digue.

Chapitre I :

Généralité sur la pathologie ruptures et risque

I-1 Introduction

Les digues en remblai peuvent être affectées par un ensemble de désordres, perte d'étanchéité, glissement, érosion..., qui influe sur leur performance et leurs composants. La performance est définie comme étant l'aptitude d'un composant à remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu. Son évaluation représente par conséquent un enjeu fort à la fois pour les propriétaires, les exploitants, les bureaux d'études et les ingénieurs chargés du contrôle de ces ouvrages. Actuellement, l'évaluation de la performance est principalement menée lors de revues détaillées conduites par des ingénieurs expérimentés, sans que toutefois la démarche mise en œuvre soit entièrement formalisée. Ceci pose des problèmes dans le cas de départ à de mutation par exemple. Il est donc important de valoriser ces connaissances en les capitalisant et en les transmettant à des ingénieurs débutants amenés à réaliser des expertises, ces connaissances arrivant en complément de leurs connaissances théoriques. Nous nous proposons de fournir des outils permettant de faciliter la capitalisation et la transmission de ces connaissances. Ces connaissances portent sur deux champs : la connaissance de résolution du problème c'est-à-dire l'évaluation de la performance proprement dite et la connaissance du domaine c'est-à-dire les connaissances qui concernent les désordres qui peuvent affecter les ouvrages. Cette double proposition s'inscrit dans la lignée de ce que l'on attend des systèmes à base de connaissances (Jones et al., 2002, Studer et al., 1998).[1]

Les digues subissent parfois des ruptures s'expliquant par de multiples facteurs (phénomènes géologiques, physiques). Cela a des conséquences parfois catastrophiques non-seulement au niveau environnemental mais aussi sur les populations habitants près du barrage. Il est donc important de prévenir au maximum le risque de rupture et pour cela il est important de comprendre ce qui entraîne ces ruptures.

I-2 Causes de rupture des barrages [1]

Les causes de rupture d'ouvrage peuvent être de différents ordres

I-2-1 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 les matériaux. Le type de barrage, utilisés, la nature des fondations ainsi que l'âge de l'ouvrage vont avoir une influence sur l'apparition ces problèmes. Cependant, l'évolution des techniques de construction rend les barrages modernes beaucoup plus sûrs.

I-2-2 Causes naturelles

Peuvent également être à l'origine de rupture de barrage. Il en est ainsi des crues exceptionnelles, d'intensité supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages évacuateurs, appelée crue de projet. Le niveau de sécurité retenue généralement compris entre la crue millénaire et la crue déca millénaire. Les barrages en remblai ne supportent pas la submersion et sont donc plus vulnérables aux débordements. La phase de chantier pour les barrages en construction est une période sensible aux risques de crue, car les ouvrages d'évacuation ne sont pas encore opérationnels. Les glissements de terrains, soient de l'ouvrage lui-même dans le cas de barrages en remblai, soit des terrains entourant la retenue sont également une cause de rupture. L'ouvrage peut être déstabilisé par un glissement (barrage de Mal passet, 1959) ou bien submergé par la vague engendrée par un glissement en amont de la retenue (barrage du Vajont, 1963). Enfin les séismes peuvent causer des dommages mineurs à ne pas négliger (déformations, tassements, fissures, etc.). Les ruptures de barrages dues aux séismes sont d'ailleurs très rares

I-3-Types de rupture [1]

Le risque de rupture brusque et inopinée est considéré comme très faible, voire nul. La situation de rupture paraît plutôt liée à une évolution plus ou moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage susceptible d'être détectée par la surveillance et l'auscultation. Les barrages en remblai peuvent être touchés par une rupture progressive, causée par un phénomène d'érosion externe ou interne. L'érosion externe est engendrée par des circulations d'eau, même peu importantes sur la crête des barrages. Le mécanisme d'érosion s'amorce à partir du bord aval de la crête et progresse jusqu'à ce qu'une brèche soit ouverte. Le phénomène peut durer quelques minutes à quelques heures selon la taille des matériaux, leur cohésion, le revêtement de la crête, la hauteur de l'eau

qui des matériaux, leur cohésion, le revêtement de la crête, la hauteur de l'eau qui L'érosion interne correspond à l'entraînement des matériaux au sein du corps de l'ouvrage ou de sa fondation. Elle est provoquée par des percolations excessives à travers l'ouvrage. Le conduit de fuite s'agrandit par érosion jusqu'à provoquer l'effondrement de la structure. Les barrages en maçonnerie ou en béton sont menacés par une rupture instantanée partielle ou totale, produite par renversement ou par glissement d'un ou plusieurs plots.

I-4 Les mécanismes de rupture des ouvrages en remblai

Pour les ouvrages hydrauliques en remblai, quatre mécanismes de rupture sont classiquement Considérés: l'érosion externe, l'érosion interne, l'instabilité externe et la liquéfaction. ces mécanismes sont largement documentés dans la littérature technique, notamment celle des barrages (ICOLD, 1993) [2]

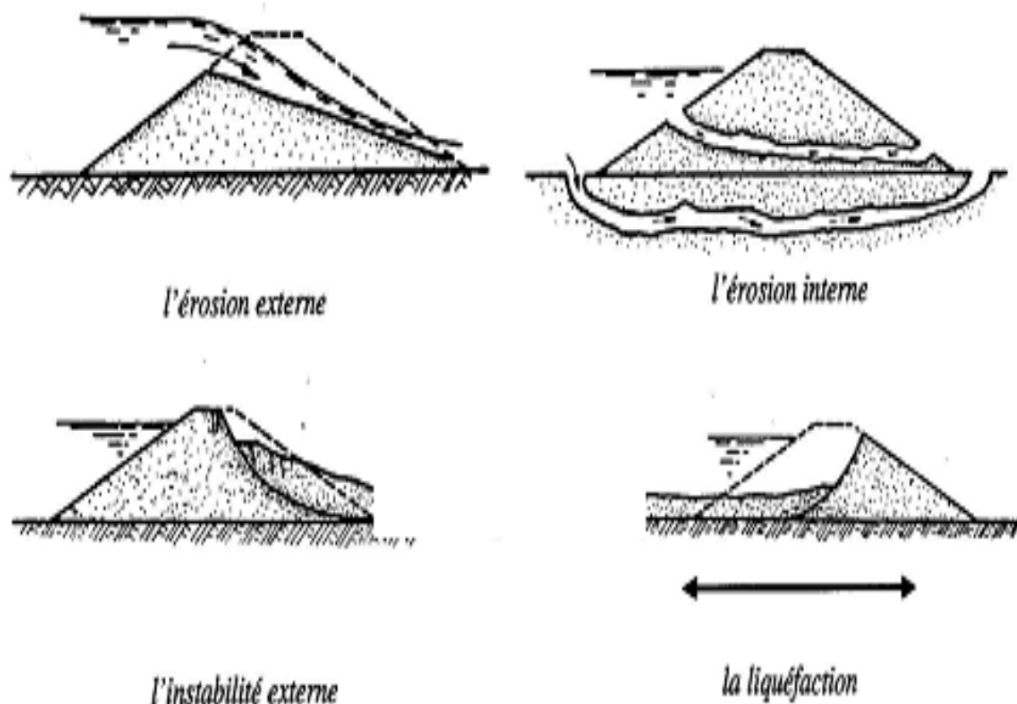


Figure (I-1) Les quatre mécanismes de rupture des ouvrages en remblai.

Schéma extrait de (Lepetit,2002)

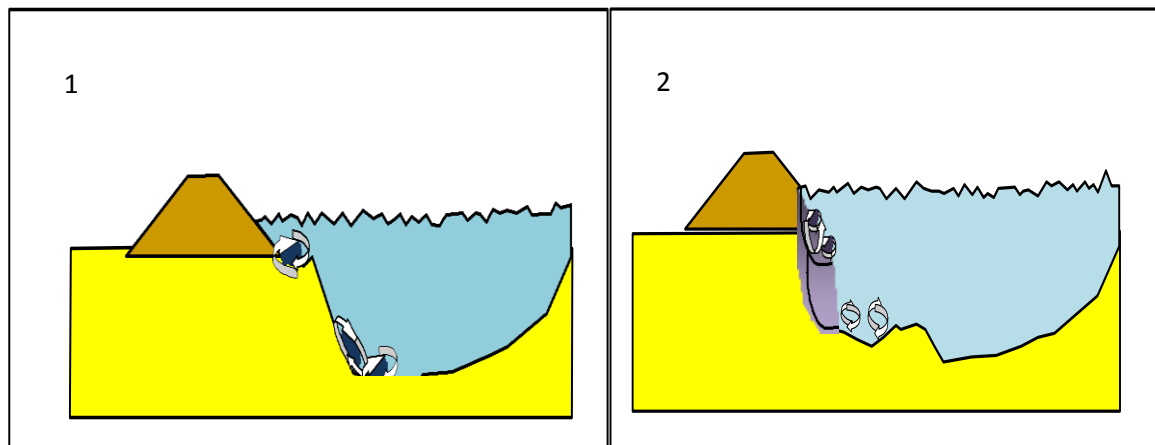
I-4-1 L'érosion externe

Le mécanisme de rupture par érosion externe correspond à l'arrachement des particules constituant la digue par le courant de la rivière qui peut éroder la digue jusqu'à sa rupture. D'autres phénomènes, tel que le ruissellement des eaux de pluies, peuvent également être à l'origine de l'érosion externe. Les talus des digues côté fleuve, ainsi que ceux des berges qui parfois jouxtent directement la digue, subissent en crue les effets des courants hydrauliques qui peuvent provoquer des érosions à la base des talus.

I-4-1-1 L'affouillement

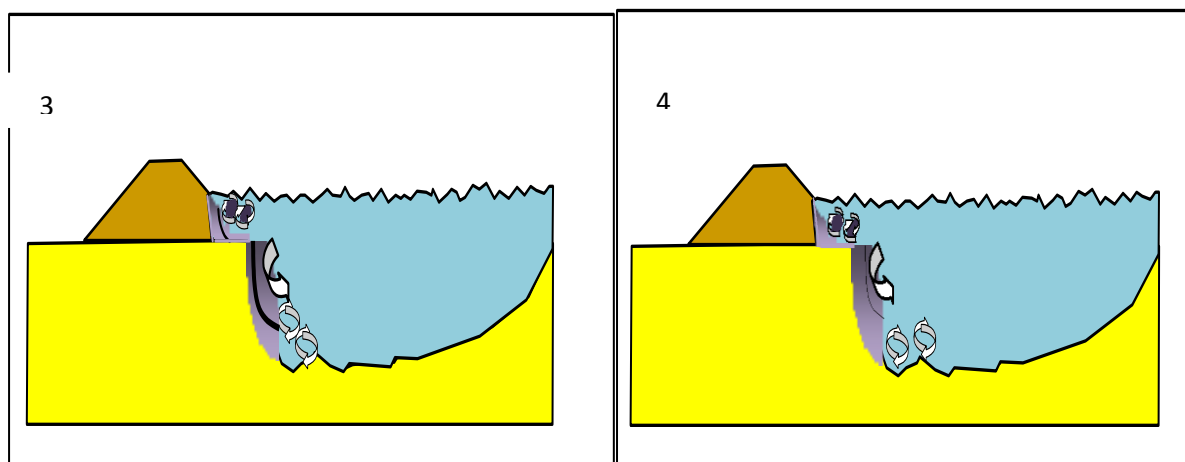
L'affouillement correspond à l'érosion externe du pied de la berge, puis à l'érosion externe du corps de digue si celle-ci est proche de la berge. C'est la vitesse importante de l'eau (aggravée éventuellement par la fragilité des berges, l'absence de protection ou d'ancrage des berges) qui provoquent l'érosion en pied.

Il en résulte un raidissement de la pente locale qui, associé à l'affaiblissement des caractéristiques mécaniques (du fait de la saturation des matériaux), entraîne alors des glissements favorisant à leur tour les perturbations hydrauliques (tourbillons) et les érosions. Par glissements successifs du talus côté fleuve de la digue et/ou de la berge, le mécanisme débouche à l'ouverture d'une brèche dans le corps de digue. Les facteurs de sensibilité au mécanisme d'affouillement sont de trois ordres (Mérieux et al, 2001)



1
La vitesse importante de l'eau et la vulnérabilité sont la source d'érosion en pied

2
le pied des berg se dégrade des glissements de mas des berges se produisent dans les matériaux saturés



3
Les crues successives aggravent le phénomène
Le pied de digue se dégrade

4
La berge verticale est très instable
Les matériaux saturés glissent par pans entraînant la digue

Figure (I.2) Le Mécanisme de l'affouillement (Mériaux et Al, 2001)

-la vitesse moyenne de l'eau le long du talus de digue, qui est liée à la distance

de la digue par rapport au lit mineur ou de la berge. De ce point de vue, les digues en bord immédiat du lit mineur (et surplombant directement la berge) sont particulièrement exposées, ainsi que les digues situées dans des zones de rétrécissement du lit majeur

- les perturbations hydrauliques locales pouvant entraîner des courants et tourbillons avec des vitesses locales plus élevées que la vitesse moyenne du tronçon . Ainsi des arbres, des piles ou toute construction sur le talus côté fleuve des digues sont la source de telles discontinuités hydrauliques. Il en va de même pour des courbes prononcées dans l'axe de la digue.

- la nature et état de la protection du talus de la digue côté fleuve : un pierrée en bon état est réputé pouvoir résister à une vitesse moyenne de 4 m/s, alors qu'un talus simplement enherbé ne supportera pas des vitesses dépassant 1,5 m/s .Le changement de nature de la protection (passage d'une zone de perré à une zone enherbée) constitue aussi un fort facteur de fragilité.

I -4-1-2 Courant et chocs de corps flottants

Les digues de protection contre les inondations sont rarement en eau et par conséquent le mécanisme d'érosion externe lié au courant et aux chocs de corps flottants est peu fréquent. Toutefois lors des crues, elles sont susceptibles d'être érodées par ce mécanisme, et ce même si les digues sont éloignées de la rivière (Degoutte, 2003).

Si le talus côté fleuve de la digue est boisé, l'érosion externe est possible par des tourbillons autour des troncs d'arbres, favorisant alors le mécanisme de glissement ou le développement d'un renard hydraulique. En période de crue, la rivière charrie de nombreux corps flottants, comme des troncs d'arbres par exemple. Ces corps flottants peuvent heurter les digues et causer des désordres significatifs pouvant entraîner la rupture de la digue.

I -4-1-3 La surverse

La surverse est un mécanisme de rupture par submersion: durant la crue, l'eau déborde au-dessus de la digue provoquant l'écoulement d'une lame d'eau par-dessus l'ouvrage et conduit généralement et rapidement à la brèche par érosion régressive du talus côté aval protégé, puis de la crête.

L'érosion subie lors de la surverse se déroule en deux phases:

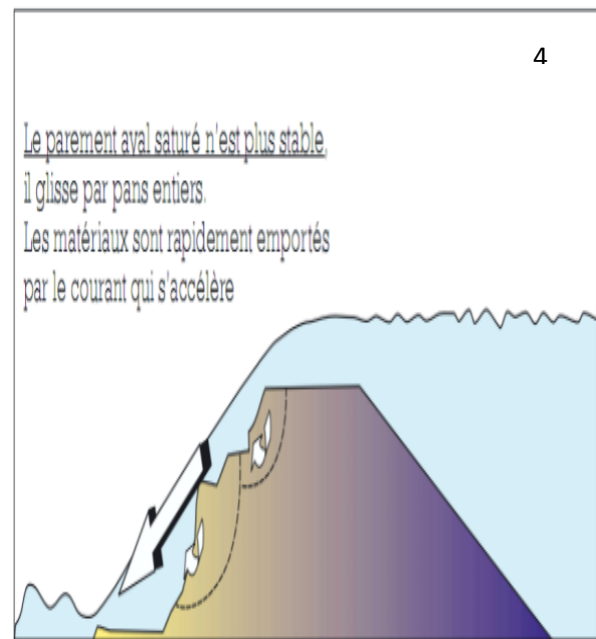
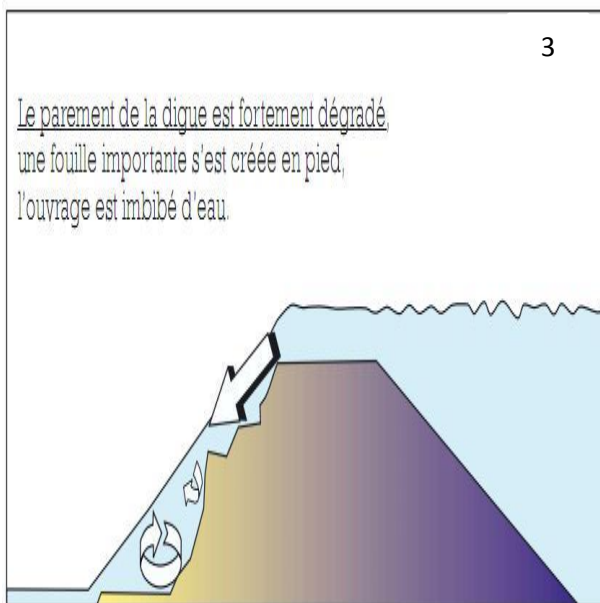
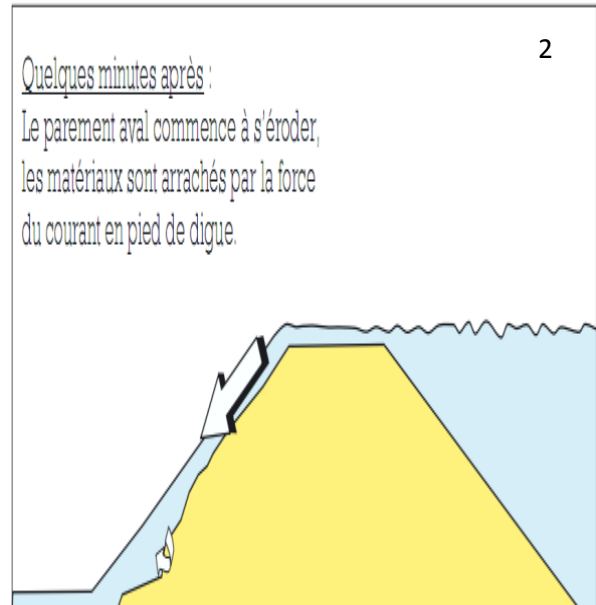
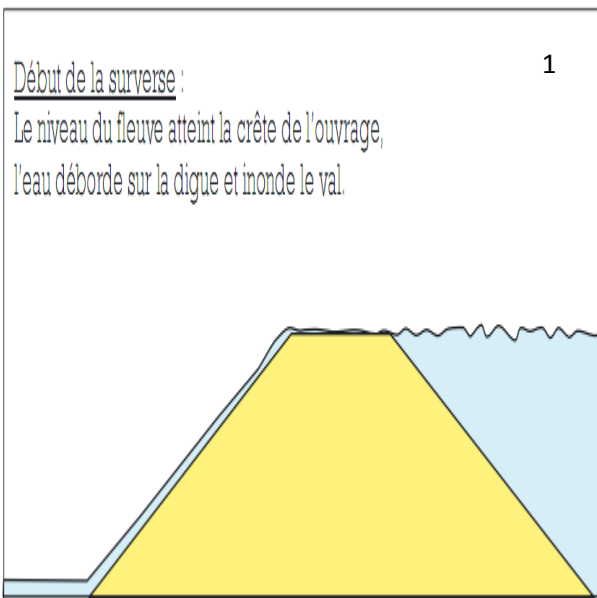
- ✓ Une phase d'érosion progressive: l'eau s'écoulant par-dessus des digues, érode la digue ;
- ✓ Une phase de basculement: le profil en travers de la digue ne résiste plus à la poussée de l'eau.
- ✓ Les connaissances techniques actuelles ne permettent pas d'évaluer précisément la durée de résistance d'une digue à la surverse, et par précaution, les ingénieurs considèrent que les digues en terre ne supportent pas les débordements d'eau (Gignoux, 2000). On peut cependant avancer quelques éléments qualitatifs permettant de nuancer cet argument (Mériaux et al., 2001):
- ✓ le caractère localement plus ou moins sableux des matériaux constitutifs des remblais et l'hétérogénéité dans la compacité sont des facteurs qui aggravent la sensibilité des digues à la surverse ;
- ✓ un profil en long irrégulier de la crête de digue, avec présence de points bas dus à des défauts de nivellement ou à des tassements différentiels induit une concentration locale des débits de surverse ;
- ✓ a contrario, une digue bien compactée, présentant un profil en long régulier, avec des talus bien enherbés et une crête revêtue est probablement susceptible de supporter des surverses de quelques centimètres (voire plus), limitées dans le temps.

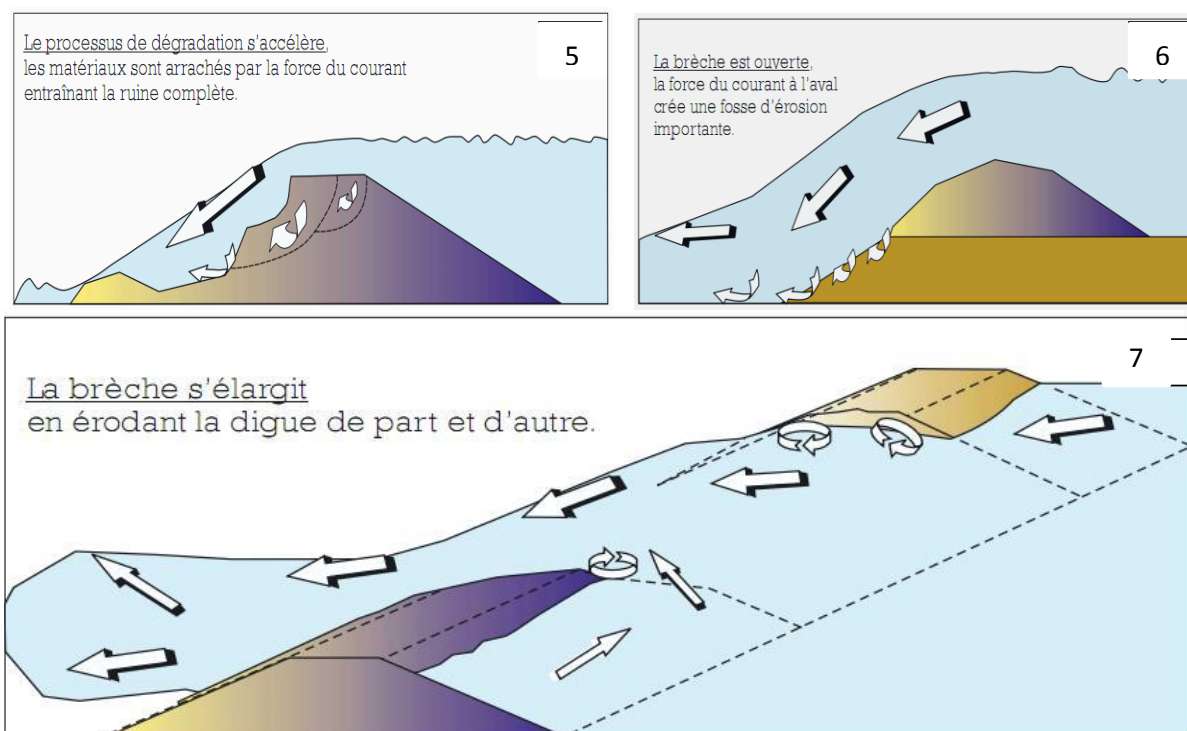
I -4-1-4 Exemple de cas de surverse

Ce mécanisme est à l'origine des principales ruptures, ayant affecté les digues de protection contre les de protection contre les inondations.

Dans plus des deux tiers des cas de surverse, on a pu identifier un point bas sur le profil en long de la digue qui a induit la concentration des débits.

Des surélévations de la ligne d'eau sur la rive concave des courbes du fleuve, ou encore en amont de ponts ou seuils obstrués par des embâcles, peuvent également être à l'origine des surverses recensées .La figure ci-dessus illustre la rupture d'une digue de protection contre les inondations par mécanisme de survers





Figure(I.3) Mécanisme de rupture par surverse (Mériaux et Al, 2001)

I -4-1-5 Le mécanisme de glissement

Il existe deux mécanismes de glissement :

- le glissement du talus côté aval, se produisant le plus souvent durant la crue
- le glissement du talus côté fleuve, se produisant lors de la décrue.

a) Le glissement côté aval en situation de crue

Ce mécanisme se produit lorsque trois facteurs sont réunis :

Un profil de digue étroit avec pentes de talus fortes (pentes supérieures à 0,65) ;

Une piézométrie élevée dans la digue liée l'absence de drainage et/ou à la présence de couches hétérogènes ;

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 (Mériaux et al, 2001) .La figure illustre ce mécanisme :

La saturation du remblai et la raideur du talus
Provoquent des ruptures de masse par glissement du talus

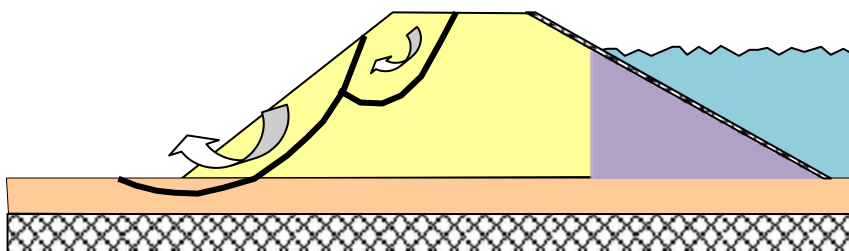


Figure (I.4) Le mécanisme de glissement coté aval en situation de crue
(Mériaux et Al 2001)

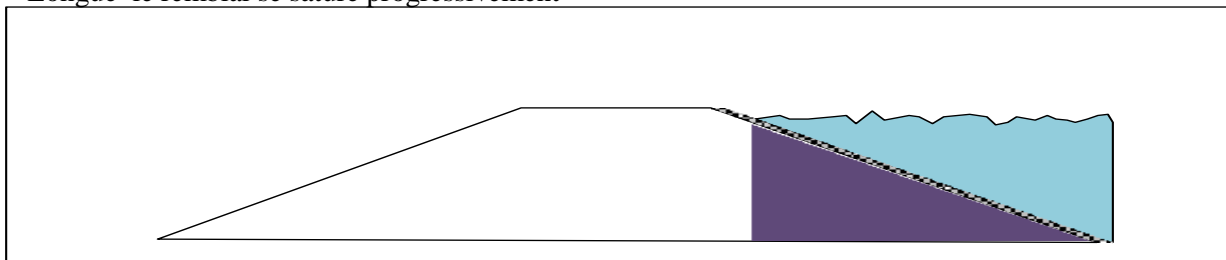
b) Le glissement côté fleuve lors de la décrue

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 (Goutx et al, 2004). Le débit dérivé dans le déversoir croît, ce qui provoque une décrue dans le fleuve pouvant alors provoquer des glissements de talus côté fleuve (Mériaux et al, 2001)

Mécanisme de la rupture

Avec l'augmentation du niveau d'eau amont et son maintien à une cote élevée lors d'une crue
Longue le remblai se sature progressivement

Au cours de la décrue

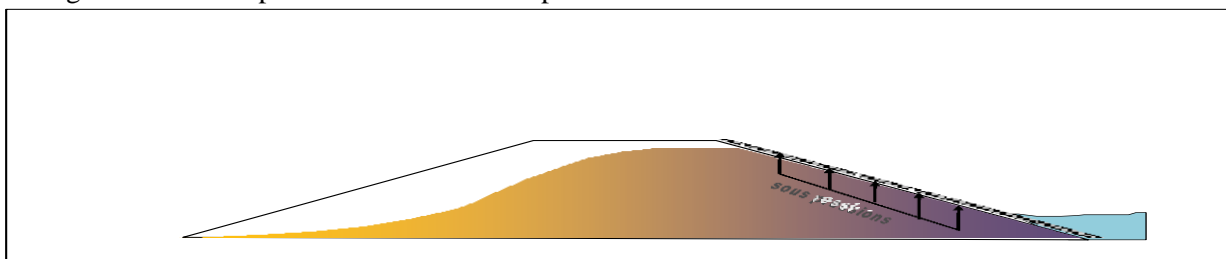
L'abaissement du niveau d'eau est relativement rapide.

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

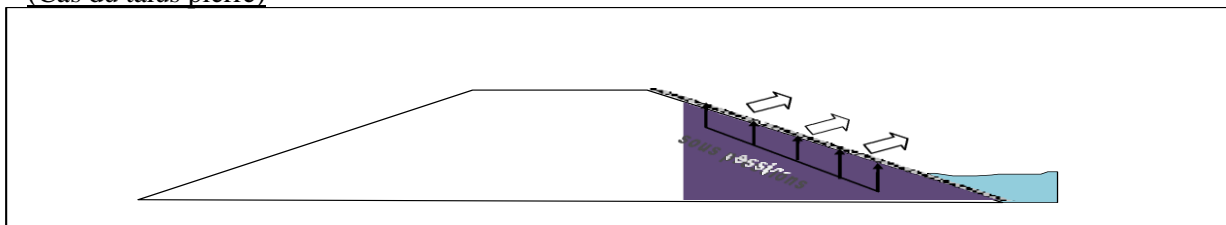
L'eau qui sature le remblai altère les caractéristiques mécaniques du massif

Et engendre des sous pressions au niveau des parements s'il est mal drainé

Les sous pressions entraînent

Le décollement et même l'arrachage des pierres de parement

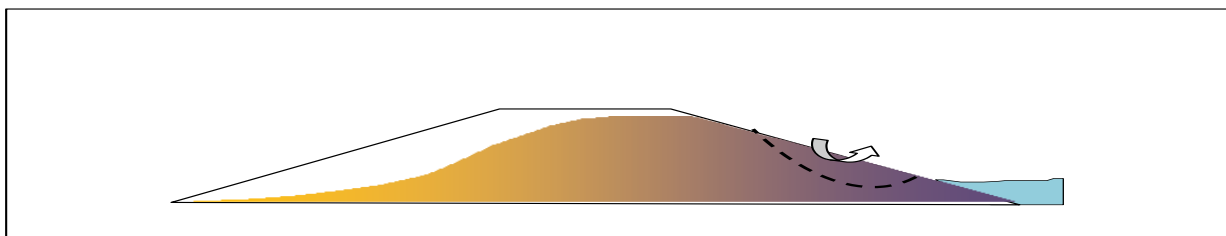
(Cas du talus pierré)

La saturation du remblai

Amoindrit les caractéristiques mécaniques du massif

Et peut provoquer une rupture de masse par glissement circulaire

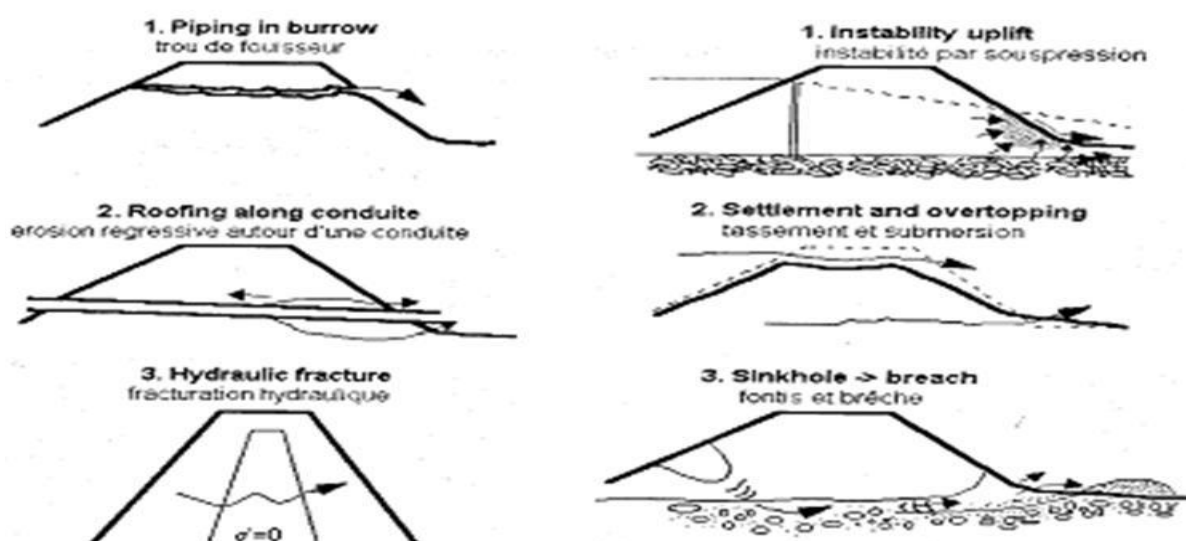
(Cas du talus amont naturel)



Figure(I.5) Le mécanisme de glissement coté fleuve lors de la décrue (Mériaux et Al, 2001)

I-5 Les mécanismes d'érosion interne

L'érosion interne est la première source d'incidents sur les ouvrages hydrauliques en terre (CFGB, 1997) [2].



transport des particules soient assurées afin que l'érosion soit entretenue. La nature de l'érosion interne est définie comme l'entraînement vers l'aval des particules constitutives du remblai, ou de la fondation, sous l'action d'un écoulement provenant de la retenue, pour les barrages, ou des écoulements liés à la crue pour les digues. Pour que l'érosion interne se développe, deux phénomènes doivent avoir lieu modes de distinguables. Pour entraîner la rupture, il faut aussi que les conditions du transport conduit à distinguer deux mécanismes d'érosion interne: le renard hydraulique et suffusion. Les vitesses de l'écoulement sont fortes dans le mécanisme de renard hydraulique et peu être élevées dans le mécanisme de suffusion. Le mécanisme de renard est le plus dangereux et le plus rapide: c'est celui qui entraîne le plus souvent la rupture des digues. Des facteurs tels que l'absence de filtre aval, la présence de terriers d'animaux, la présence de conduite traversant ou de racines d'arbres favorise le développement d'un mécanisme de rupture par renard sur les digues .

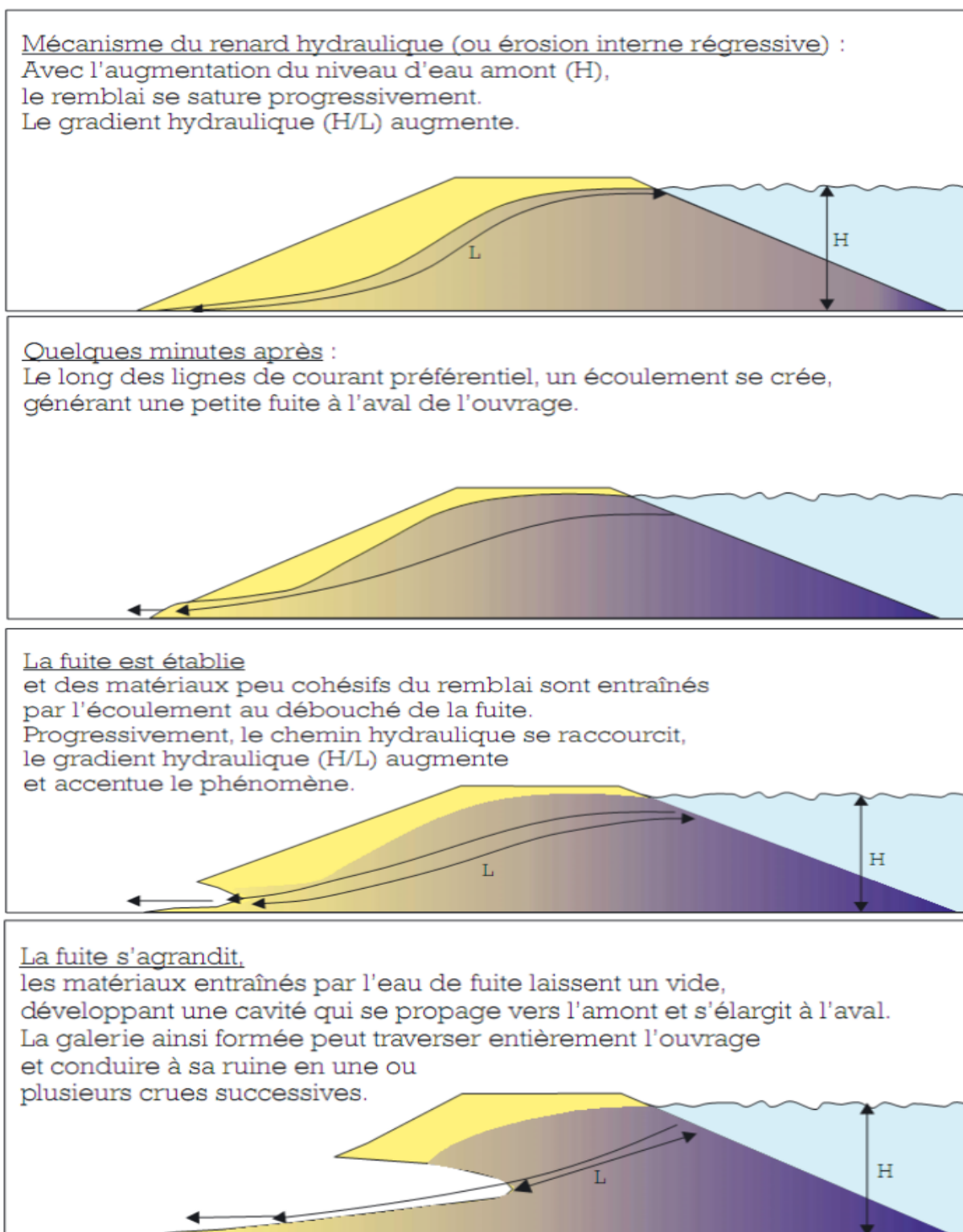


Figure (I.7) Mécanisme de renard hydraulique dans une digue (Mériaux et al, 2001)

I-5-1 Exemple de cas d'érosion interne

En France, entre 1970 et 1997, 71 manifestations d'érosion interne ont été répertoriées (Tab .3.1) sur l'ensemble des ouvrages en remblai (digues et barrages), parmi lesquelles les accidents les plus nombreux concernent les digues de protection contre les inondations et les digues d'aménagements hydroélectriques

71	23 Renards	16 Levé de protection contre les crues 01 Digue d'aménagement hydroélectrique 06 Petits barrages agricoles
	48 Suffusions	36 Digue d'aménagement hydroélectrique 04 Petits barrages 08 Grands barrages

Tableau (I.1). Recensement des incidents liés à l'érosion interne (CFGB 1997)

La figure ci-dessous illustre un cas de rupture de digue lié au mécanisme d'érosion interne, s'étant développé autour d'une canalisation et débouchant sur un renard hydraulique



Figure(I.8) Renard autour d'une canalisation traversant la digue

I-5-2 Synthèse

Nous nous sommes efforcés dans ce chapitre de définir précisément la terminologie relative aux mécanismes de rupture affectant les digues. Par ailleurs, nous avons présenté

les mécanismes de rupture que peuvent subir les digues de protection contre les inondations. Nous avons vu que les digues subissent des mécanismes de rupture similaires aux autres ouvrages hydrauliques en remblai.

Il existe quatre mécanismes de rupture des digues de protection contre les inondations: la surverse, l'érosion interne, l'érosion externe et le glissement. Parmi ces mécanismes, la surverse et l'érosion interne sont les mécanismes les plus fréquemment observés et présentant des cinétiques rapides.

I-6 Typologie de l'érosion et de la dispersion

L'étude plus précise des phénomènes conduisant à la rupture d'ouvrages en terre soumis à une charge hydraulique nécessite au préalable une classification des phénomènes et une définition du vocabulaire. En effet, l'adéquation entre le vocabulaire utilisé, les phénomènes observés sont dépendants de la formation de l'observateur. Nous nous limiterons ici à présenter une typologie des érosions afin de mieux définir le domaine d'application des essais que nous décrirons dans les paragraphes suivants.

I-6-1 Typologie de l'érosion interne

Les mécanismes responsables de l'érosion interne sont complexes et dépendent de plusieurs paramètres qui peuvent être couplés. D'une manière générale, la terminologie employée pour l'érosion interne est variable et dépend des disciplines et des chercheurs, ce qui est caractéristique d'un domaine scientifique interdisciplinaire. Selon le comité français des grands barrages (Fry et al 1997) et selon (Lautrin 2002.) [3]

L'érosion interne ne se développe que si les deux conditions sont réunies:

l'arrachement des particules et leur transport. L'expérience de terrain de (Fry et al 1997) permet aux auteurs de distinguer six phénomènes d'arrachement (entraînement, érosion régressive, débouillage, bouillonnement, dissolution et défloculation) et deux phénomènes de transport (suffusion et renard) néanmoins d'autres phénomènes d'érosion ont été recensés (exsolution et auto-filtration) par Lafleur (1989), Tomlinson et Vaid (2000) et Garner et Sobkowicz (2002)

I-6-1-1 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 (CFGB, 1997). [3]

I-6-1-1-1 L'entraînement

L'entraînement (phénomène purement mécanique) se produit lors d'un détachement de particules des parois d'une conduite ou des pores dans le sens de l'écoulement. Lors d'un écoulement le fluide exerce des contraintes de cisaillement dues au frottement fluide-grain. (Fig 1.10) Si ces contraintes dépassent le seuil critique, il y a arrachement, phénomène favorisé par l'existence des chemins préférentiels, la diminution de la cohésion entre les grains et la vitesse d'écoulement dans les pores.

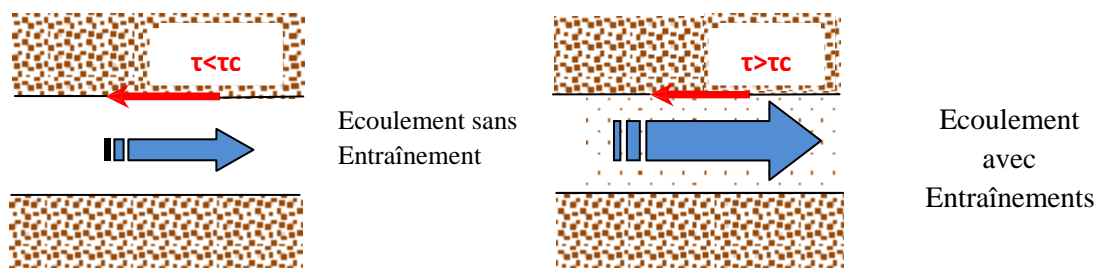


Figure (I.9) Le phénomène d'entrainement (T.L.Pham 2008)

I-6-1-1-2 L'érosion régressive

L'érosion régressive est le phénomène d'arrachement des particules de sol une à une en aval, 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. Les particules sont progressivement évacuées par écoulement. Ceci déstabilise la structure du sol et augmente le gradient hydraulique localement ce qui provoque une augmentation de la vitesse d'écoulement, donc une amplification du phénomène d'érosion. Pour les sols homogènes ce phénomène se développe sans limite jusqu'à l'effondrement du sol.

(Figure (I.10)).

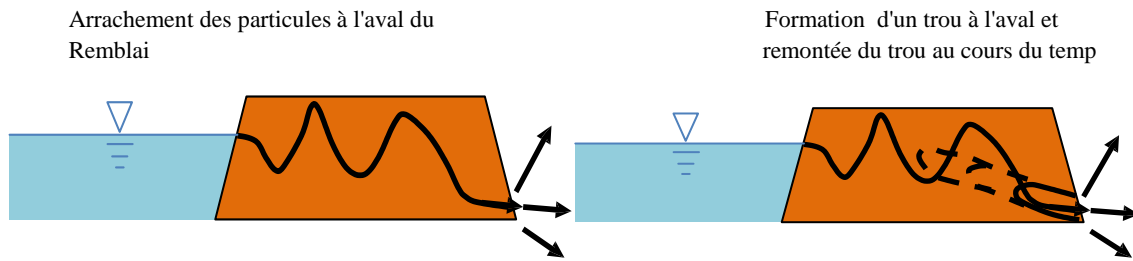


Figure (I.10) le phénomène d'érosion régressive (T.L.Pham 2008)

I -6-1-1-3 La condition de boullance [4]

La boullance 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 (I.11)

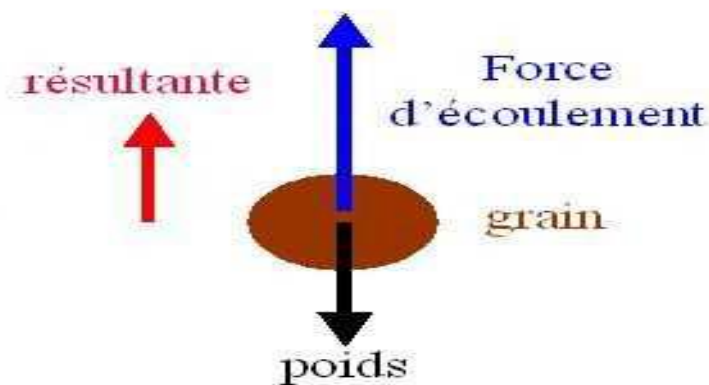


Figure (I.11) phénomène de boullance (Bendahmane Fateh, 2005)

I -6-1-1-4 La dissolution

Ce phénomène correspond à la transformation d'un état solide en état liquide d'une partie des constituants sous une action thermique ou chimique. Ce phénomène se traduit par une augmentation de porosité, donc de perméabilité qui peut favoriser l'apparition du phénomène d'érosion interne. Ainsi, lors des constructions des ouvrages en terre en altitude, il existe souvent des dépôts de glace dont la dissolution provoque le déclenchement du phénomène de renard (Garner et Sobkowics; 2002).

I -6-1-1-5 La défloculation

La défloculation est un processus physico-chimique, qui tend à disperser les plaquettes d'argile, et à engendrer une diminution de la taille des agglomérats des particules d'argile, facilitant ainsi leur migration lors d'un écoulement. Ce phénomène dépend de l'équilibre ionique entre le fluide et l'argile.

I -6-1-1-6 L'exsolution

L'exsolution correspond à l'expulsion de l'air piégé dans les ouvrages, lors de la mise en eau. Cet air piégé et comprimé est transporté par l'écoulement.

Les expériences de Garner et Sobkowics, (2002) montrent que l'exsolution peut provoquer le phénomène de renard.

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.

I -6-1-2 Les phénomènes de transport [1]

I -6 -1-2-1 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. Le long de ce chemin se trouvent des points faibles affectés par des phénomènes d'érosion (érosion régressive ou boulangerie). 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. Figure (I.12) et (Figure (I. 13))

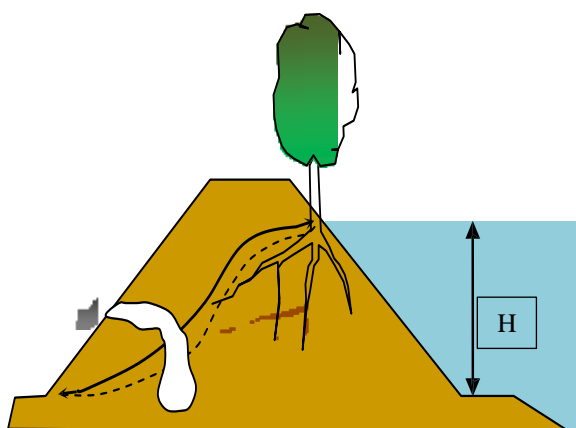


Figure (I.12) Phénomène de renard:
(T.L.Pham 2008)



Figure (I.13) Renard dans un Barrage:
(Lautrin; 2002)

I -6-1-2-2 La suffusion

La suffusion est un phénomène de migration des petites particules à travers le squelette constitutif d'un sol (Skempton et Brogan, 1994). Il en résulte une redistribution des fines dans le sol qui s'apparente à une migration massive des particules fines.

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 Figure (I.14)

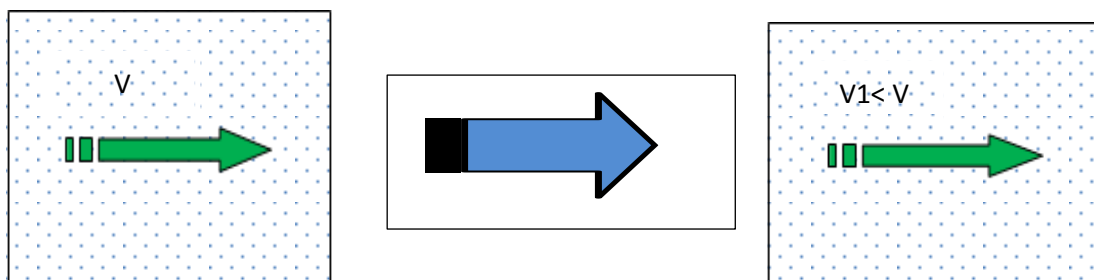


Figure (I.14) Phénomène de suffusion; (T.L.Pham 2008)

I 7 Diagnostics d'un ouvrage [5]

I – 7-1 Définition du diagnostic

Par définition le diagnostic d'un ouvrage en génie civil consiste à :

- déterminer le niveau de sécurité de l'ouvrage, relever ses points de faiblesse, ses défauts et ses dysfonctionnements ;
- définir judicieusement les travaux qui permettent de remédier aux insuffisances constatées

I-8 Diagnostic et analyse de risque des ouvrages de génie civil [6]

La Sûreté de Fonctionnement est « la Science des Défaillances, incluant leur connaissance, leur évaluation, leur prévision et leur maîtrise » (Villemeur, 1988) , Elle propose depuis de nombreuses années dans le milieu industriel des méthodes pour identifier, analyser, et gérer les risques (Peyras, 2003). Ces méthodes vont permettre de réaliser le diagnostic, évaluer l'état, analyser la sûreté et les risques de défaillance d'un système. Elles commencent à être utilisées dans le contexte des ouvrages de génie civil. Le diagnostic d'un ouvrage est « l'identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test » (AFNOR,2001). On recherche dans le passé de l'ouvrage sur lequel on produit le diagnostic les mécanismes de dégradation qui ont conduit à son état actuel, au moment de son évaluation. L'évaluation de l'état d'un ouvrage consiste à déterminer, à un instant donné de sa vie (généralement à l'instant présent), sa condition structurelle (l'état des dégradations). La recherche des conditions de réalisation des fonctions de l'ouvrage est l'étape suivante qui vise alors à évaluer sa performance.

Le risque est « une mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable, et une mesure de ses effets ou conséquences » (Villemeur, 1988). Pour un gestionnaire d'ouvrages, analyser

Les risques que représente son parc d'ouvrage, est primordial pour adapter les actions de maintenance à entreprendre. L'analyse de risques est l'activité qui consiste à répondre aux trois questions suivantes (Kaplan, 1997):

- ✚ qu'est-ce qui peut conduire à des situations de danger ?
- ✚ quelles sont les chances que ces situations se produisent?
- ✚ si elles se produisent, à quelles conséquences doit-on s'attendre ?

La sûreté de fonctionnement correspond à l'aptitude d'une entité à accomplir une ou plusieurs fonctions requises, dans des conditions données. Elle est caractérisée par différents concepts, notamment la fiabilité et la durabilité, définis par la norme (AFNOR, 1988):

la fiabilité, qui correspond à l'aptitude de l'ouvrage à assurer ses fonctions, dans des conditions données, pendant une période de temps donnée.

la durabilité, qui correspond à l'aptitude à demeurer en état d'accomplir ses fonctions, dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint. Les concepts de diagnostic, d'évaluation de l'état et de la performance, et d'analyse de risques sont synthétisés avec leur temporalité dans la (figure 1.15) Pour établir le diagnostic d'un ouvrage, évaluer son état et sa performance, ou encore analyser les risques (évaluer sa sûreté de fonctionnement), deux familles d'approches sont possibles (Peyras et al., 2004), (Zwingelstein, 1995) .

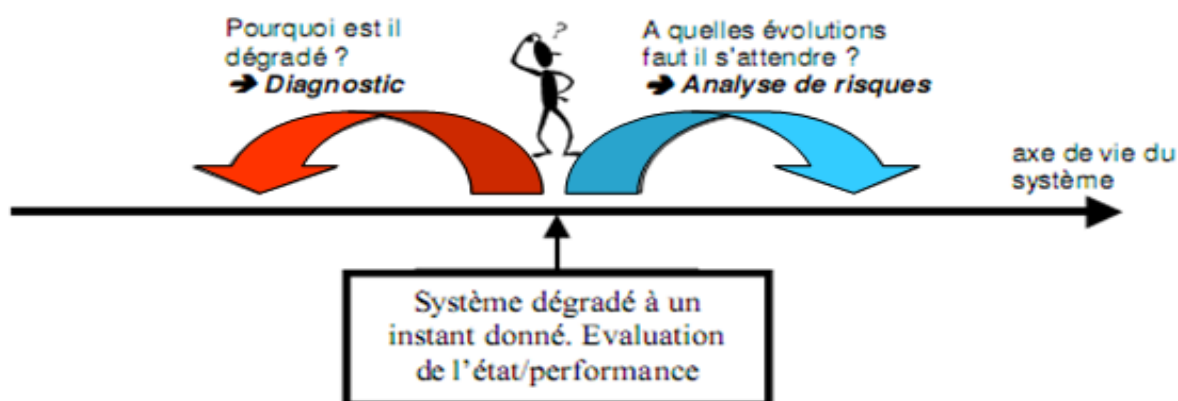


Figure (I.15) Diagnostic, évaluation de l'état /performance et analyse de risque (Zwingelstein,95)

I -9-1 Principe et objectif de la reconnaissance géotechnique

La notion de rendement optimal pour la reconnaissance géotechnique implique la possibilité d'effectuer des essais de caractérisation des sols in situ et/ou de prélever des échantillons de matériaux dans l'ouvrage, afin d'en tirer des informations précises. Ils comprennent essentiellement des forages destructifs ou carottés, des essais pénétrométriques, de perméabilité et de cisaillement, et éventuellement des sondages à la pelle mécanique. L'objectif de la campagne de reconnaissance géotechnique est de caractériser ponctuellement les défauts de perméabilité et/ou de compacité, et les contacts entre les différentes couches. Ces données doivent, en outre, servir d'étalonnage aux résultats des mesures géophysiques. Elles permettent ainsi d'enrichir l'interprétation des données recueillies et d'affiner le modèle géophysique et géotechnique de l'ouvrage. Elles peuvent aussi donner lieu à des nouvelles investigations géophysiques locales comme le panneau électrique ou la sismique réfraction.

I -9-2 Méthodes géotechniques privilégiées pour le diagnostic des digues

Les essais pénétrométriques sont aisés et rapides à mettre en œuvre. Ils apportent une information immédiate sur les positions des interfaces entre couches, et donnent une approche qualitative des caractéristiques mécaniques des sols. Les sondages à la pelle mécanique permettent de reconnaître la nature et la succession des couches de matériaux, sur une tranche de hauteur variable du corps de digue. Ils permettent également la collecte d'échantillons de sol remanié pour caractérisation en laboratoire de mécanique des sols. Les essais de perméabilité exigent un temps d'intervention plus long et le matériel d'essais est plus encombrant, mais les informations qu'ils apportent sont importantes pour le diagnostic de la digue. certains essais sont systématiquement accompagné d'enregistrement de paramètres, tels que la vitesse d'avancement du forage dans le sol, qui permettent de déduire certaines propriétés mécaniques (compacité en particulier). Les forages mécaniques destructifs permettent d'extraire des matériaux en place, et d'en vérifier de visu la nature. Ils permettent, en outre, de prélever des échantillons remaniés pour des essais ultérieurs en laboratoire de mécanique des sols.

Les forages mécaniques carottés permettent de prélever des échantillons intacts, les carottes, directement dans l'ouvrage. ces échantillons sont ensuite préparés pour des analyses plus complètes en laboratoire. L'essai au phicomètre est un des seuls essais (avec

le scissomètre) qui permet de mesurer, dans un forage, la contrainte de cisaillement des matériaux en place, y compris pour des matériaux que les forages carottés ne peuvent prélever.

I -10 Essais in situ [1]

I -10-1 Choix des méthodes et critères d'implantation des reconnaissances

L'implantation des essais géotechniques peut être réalisée selon un programme de reconnaissance systématique. Mais il est conseillé, après concertation entre le géophysicien et le géotechnicien, de la réaliser en fonction des résultats des études préalables, en particulier ceux des méthodes géophysiques, lesquels ont théoriquement permis de déterminer des zones plus ou moins hétérogènes dont les caractéristiques méritent d'être mieux définies par la géotechnique. L'expérience des interpréteurs permet alors d'extrapoler les résultats des essais locaux entièrement ou pour partie au reste de la digue.

Il permet aussi de déterminer les zones d'implantation des méthodes géophysiques locales (en particulier pour les profils transversaux réalisés avec le panneau électrique), différentes de celles définies par les méthodes géophysiques à grand rendement.

La vérification locale de paramètres géotechniques apporte immédiatement une richesse supplémentaire au diagnostic. C'est aussi une étape indispensable pour interpréter les mesures géophysiques.

Essais pénétrométriques : PANDA Norme XP P 94-105

Essais pénétrométriques : Pénétromètre dynamique lourd (LCPC)

I -11 Conclusions

L'érosion interne est l'une des principales causes de rupture d'ouvrages en terre. La compréhension de ce phénomène nécessite une étude approfondie des interactions eau-sol. Un écoulement hydraulique peut en effet induire une migration de particules, ce qui provoque une modification des propriétés mécaniques et hydrauliques. La perméabilité des ouvrages en terre peut ainsi être localement considérablement modifiée, d'où des pertes d'étanchéité ou des surpressions interstitielles.

La modification progressive de la structure du matériau peut être à l'origine de la rupture. Les mécanismes responsables de ces désordres sont complexes car ils mettent en jeu de nombreux phénomènes indépendants dont l'étude est interdisciplinaire car placée à la frontière hydraulique – géotechnique. L'érosion interne ne se développe que si deux conditions se réunissent: L'arrachement des particules et leurs transports. Ainsi, la méthodologie générale de diagnostic de digue, est en particulier la méthodologie préconisée pour la mise en œuvre et l'interprétation de méthodes géophysiques et géotechniques adaptées. On expose, dans une première partie, le contexte de l'étude, et décrit substantiellement les principales caractéristiques des digues concernées. Une description synthétique des études préliminaires nécessaires au diagnostic est ensuite présentée. Il s'agit de l'étude historique, de l'étude géologique, de l'inspection visuelle, de la topographie et de l'analyse: morphodynamique

Chapitre II :

Description de l'ouvrage

II-1 Introduction

Dans la région environnante de Ouled Ali Ben Daoud Commune de Bouti Sayah Wilaya de M' sila.

L'agriculture non irriguée est dominante et la réalisation d'une digue dans cette région conséquences de participer au développement notable de la production agricole.

La retenue collinaire d'Ouled Ali ben Daoud d'une digue de dérivation tend à satisfaire les besoins de la région en matière d'eau d'irrigation.

II-2 Situation topographie et contexte géologique

II-2-1 Topographie [7]

Le terrain relativement plat sur une colline de faible pente ne présente aucune risque d'instabilité.

II-2-2 Contexte géologique

La géologie de la région est représentée essentiellement par :

- Des Blocs et Caillaux enrobé dans une matrice en tuf.
- La partie sommitale caractérisée par les argiles quaternaires (terrain végétale). [7]

II-3 Choix de site du barrage

II-3-1 Situation dans l'espace

La digue d'Ouled Ali Ben D'oued (maach) se trouve dans la Commune de Bouti Sayah Daïra de Sidi Aissa Wilaya de M'sila.

Elle est située à environ 117 km au nord Est de la ville de M'sila et à 20 Km au sud-ouest du village de Bouti Sayah dont les coordonnées Lambert de l'axe sont les suivantes: (voire le tableau I-1)

II-3-2 Localisation de la retenue :

- Dans la projection local : Nord Sahara 1959m

	X(m)	Y(m)
Site	576 000	274 000

Tableau(II.1) Les coordonnées Lambert

- Dans la projection Universal Mercator : Nord Sahara 1959

	X	Y
Site	548 000	3958 000

Tableau(II.2) Les coordonnées UTM fuseau (31).

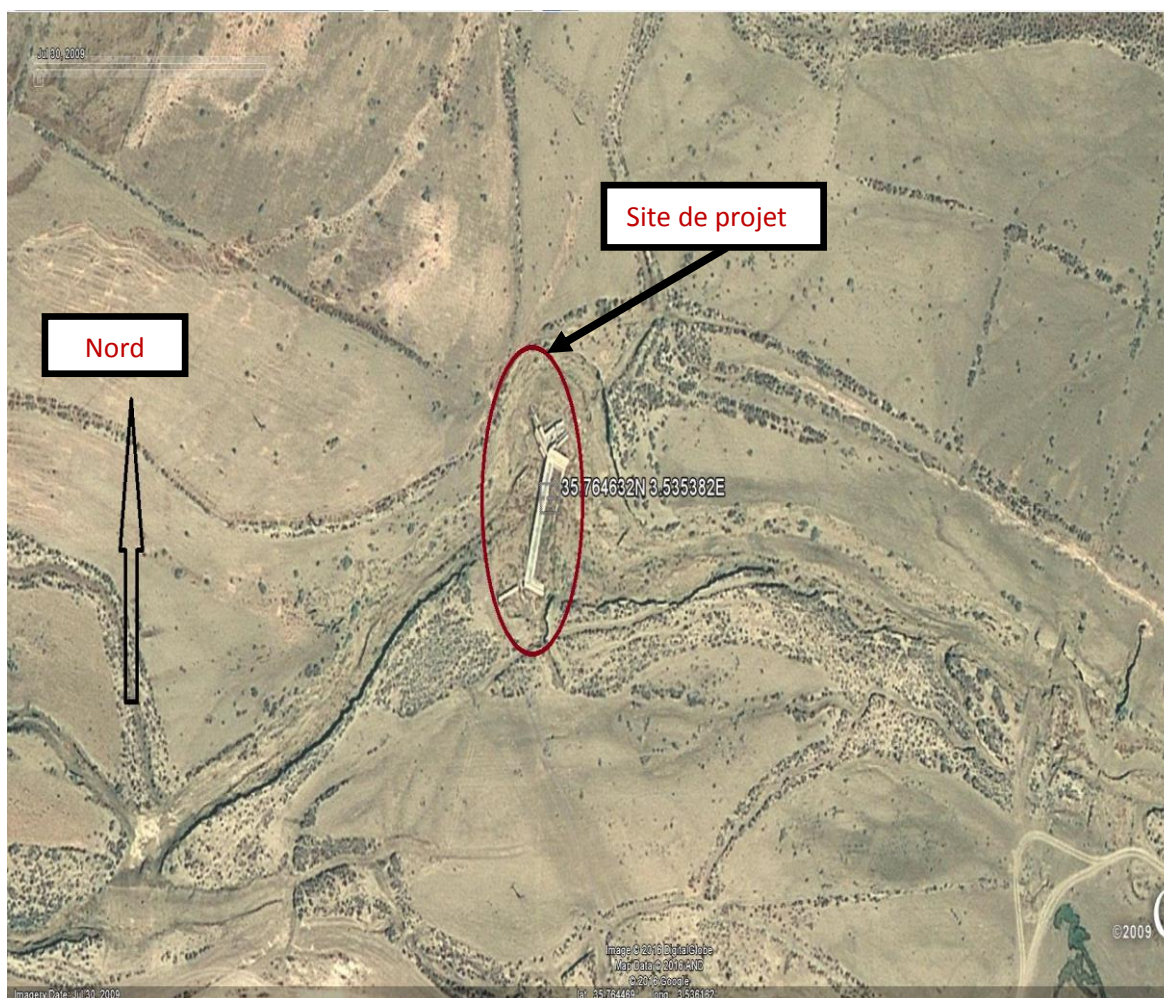


Figure (II.1) Image satellite prise le 30 juillet 2009,(Source Google Earth).

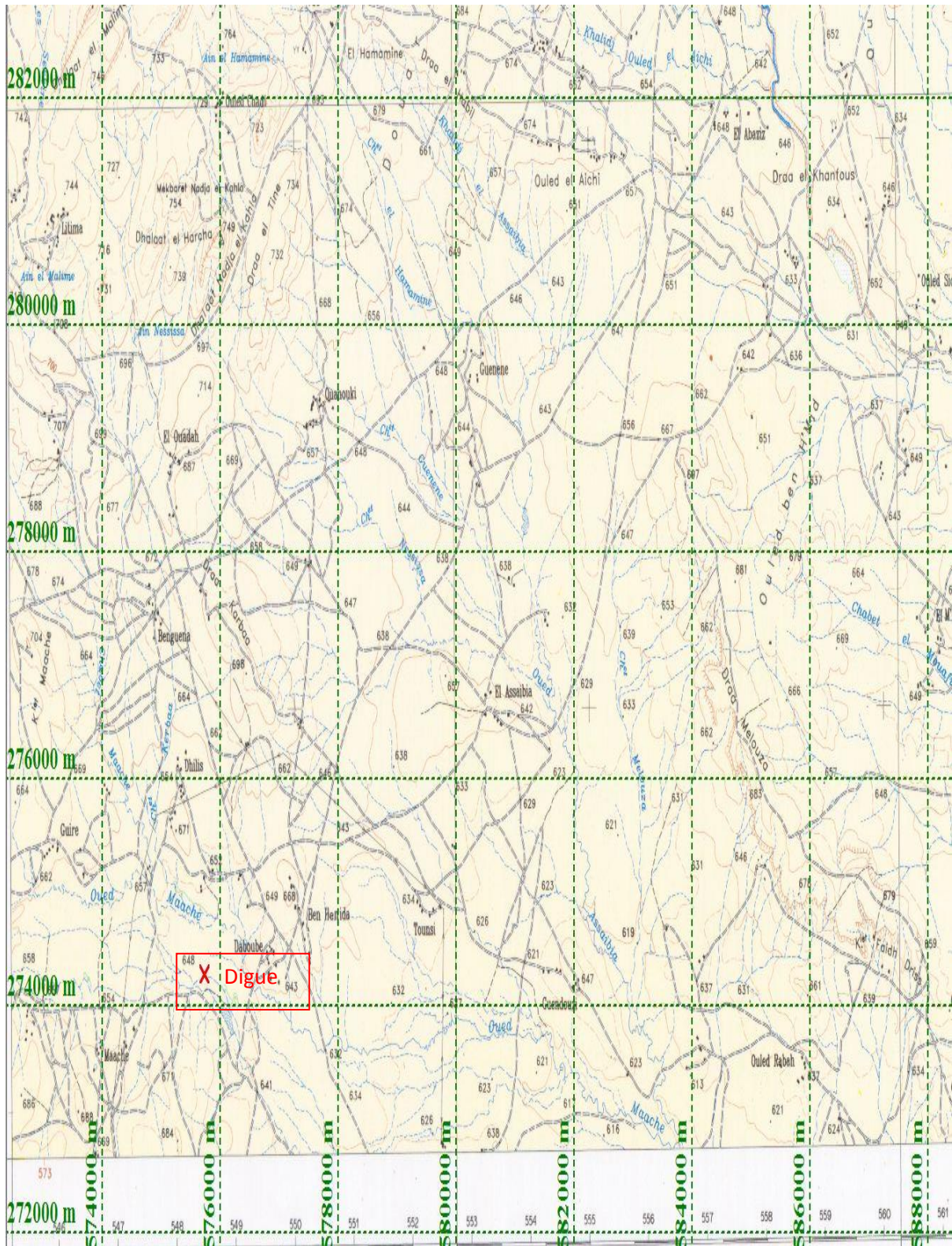


Figure (II.2) Position de la digue sur la Carte d'Algérie fuseau NI 31-XXII-2Ouest.

II-4 Présentation de l'ouvrage



Figure (II.3) Vue générale Digue Ouled Ali ben Daoud(maâch)



Figure(II.4) coté amont de la digue



Figure(II.5) coté aval de la digue

II-5 Historique de l'ouvrage [8]

Cette idée est venue dans le cadre de la lutte contre la désertification et le Fonds de développement n ° :1139 Steppe de 05/12/2004, pour répondre aux besoins agricoles région, en particulier pendant les périodes de sécheresse.

A été lancé l'étude réelle. 05/12/2004 projet par l'équipe locale HCDS Haut-Commissariat au Développement de la Steppe de la wilaya da Djelfa et confié la tâche à la grande joie bureau.

Les travaux sont commencé le 26/06/2006 par une entreprise de Réalisation privée. Le travail est arrêté à 21/09/2007 sans l'accueil temporaire en raison des inondations qui ont causé des pertes matérielles.

II-6 Conclusion

La Réalisation de Sed à Bouti Sayah dans la localité de maach au lieu-dit Ced Sbisseb en utilisant le gabionnage au moyen de pierres sèches, de grillage en fil de fer galvanisé et béton armé pour la réalisation du voile. D'une longueur de 48m. Le ced présente deux embouches de part et d'autre appelées canal protégeant les rives d'éventuelles précipitations diluviennes.

Chapitre III :

Constat des désordres

III-1 Introduction

La direction de HCDS Haut-Commissariat au Développement de la Steppe de la Wilaya da Djelfa réalisé une digue sur Sed Sbisseb au lieu dit Ouled Ali Ben Daoud Commune Bouti Sayah Wilaya de M'Sila pur assurer une circulation en tout temps. Mais la digue ont pas puent résister sous les pluies torrentielles de la crue du 21 septembre 2007 et 22 septembre 2007. Dans ce chapitre on va présenter une description du site ainsi que la digue ; puis on expose aussi les dommages et les dégâts occasionnés lors des crues.



Figure (III.1) Image satellite prise le 12 avril 2016,(Source Google Earth).

III -2 Nature du dégât [8]

Ce sont d'intenses pluies diluviennes du 21/09/2007 et 22/09/2007 qui se sont abattues sur la région de Bouti Sayahet les régions avoisinantes qui sont à l'origine du préjudice, suite à ce flot l'ouvrage a été envahi par les eaux de l'oued en démolissant les deux chenaux de part et d'autre de l'ouvrage ainsi qu'une partie de la digue.



Figure(III.2) Etat d'oued après la crue

III -2-1 Description des dégâts [8]

Suite aux précipitations torrentielles du 21/09/2007 et 22/09/2007, l'ouvrage Ced Sbisseb a subi des dégâts dans sa structure, le dommage a touché les deux canaux installés de part et d'autre de l'ouvrage destinés à amortir la force des flots lorsqu'il y a débordement de l'eau et à protéger les rives.

Ces deux canaux sont en gabions revêtus avec du béton dosé à 350kg/m^3 . Notons que la digue de 48m de longueur n'a pas pu contenir la force des eaux suite à leur débit important. Suite à ces flots le débit était tel que le débordement a affecté les deux canaux installés aux extrémités de l'ouvrage, ouvrant ainsi des brèches favorisant l'érosion des deux rives.

Suite à ces flots le débit tel que le débordement a affecté les deux canaux installés aux extrémités De l'ouvrage ouvrant ainsi des brèches favorisant l'érosion des deux rives.

La partie nord de la rive a été emportée sur une distance de 70m du ced

- ✚ Canal et gabion nord endommagée par les eaux
- ✚ Canal et gabion sud endommagée par les eaux
- ✚ Réalisation ensevelie par la boue en amont et aval
- ✚ Matériel emporté par les flots
- ✚ Matériel endommagé par les flots



Figure(III.3) Le mur du barrage nord fissuré et décalé vers le bas après les inondations



Figure(III.4) Le mur du barrage nord fissuré et décalé vers le bas après les inondations



Figure(III.5) Scène montre la disparition de la rive nord du barrage après les inondations



Figure (III.6) Paysage montre l'érosion de l'eau vers le bas



Figure (III.7) L'Écoulement scène montre de l'vers le bas d'Eau



Figure(III.8) déplacement d'une grande partie du mur de soutènement due au crues

III -2-2 dégâts constaté

- l'érosion des rives d'oued
- le déplacement du mur de soutènement (voir la figure III-8et figure III-3)



Figure (III.9) Etat de rive nord de digue après la crue



Figure (III.10) Scène montre l'absence le renforcement sur le béton armé

III -4 conclusion

à la fin cette description des désordres dans l'ouvrage, on a constaté que la cause principale de la détérioration de la digue est le ravalement de la crue d'oued provoqué par les pluies torrentielles, ainsi le dommage Principal Produit dans le cas est le déplacement total du mur nord aussi l'érosion des rives d'oued qui était cause principal dans Collapses.

Chapitre IV :

Etude hydrogéologique et géotechnique du terrain.

IV-1 Introduction

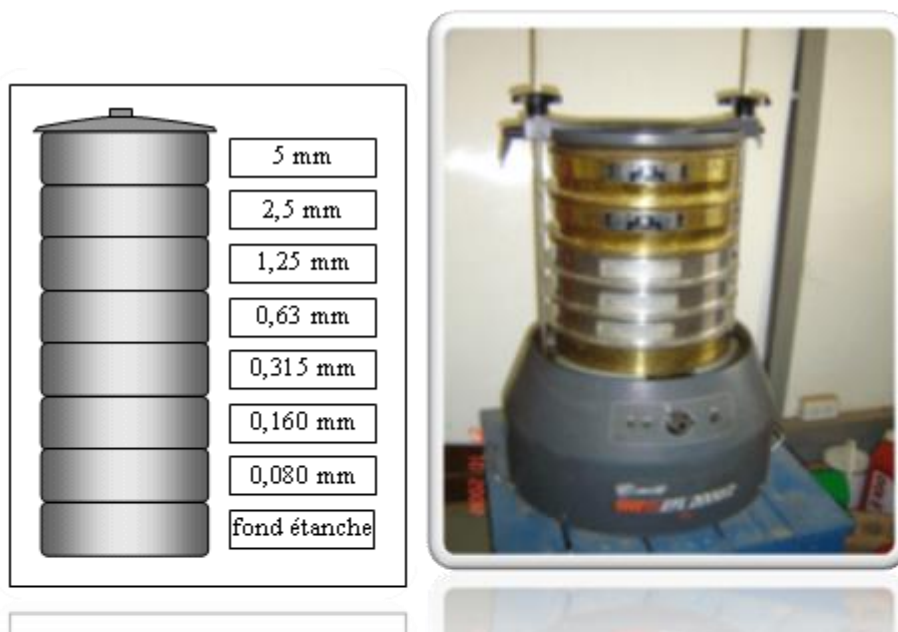
Le programme expérimental à été réalisé dans des essais et qui sont : le laboratoire du Génie civil de l'université de m'sila.un seule essai identification de sol (essai analyse granulométrique), Et un seule essai du mécanique (cisaillement).

IV -2 Les essais d'identification de sol

IV -2-1 Analyse granulométrique

Elle a pour but de déterminer la distribution des particules qui forment le squelette des sols en vue de leur classification.

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série des tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse (figure2-2)



Figure(IV.1) : Série des tamis sur la tamiseuse

a) But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 5mm, à l'exclusion des fillers.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

b) Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

IV -2-1-1 Discussions des résultats de l'essai

Le tableau (IV-1) résume la récapitulation des trois essais de l'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Tamisât(%)			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
5	98	100	97.9	98.63
2.5	82.9	83	82.9	82.93
1.25	64	64.5	65	64.33
0.63	42.9	42.8	43	42.9
0.315	20.25	20.20	20.3	20.25
0.160	9.15	9.25	9.20	9.20
0.08	2.8	3.15	2.64	2.86

Tableaux (IV-1) : récapitulatif des résultats des essais de l'analyse granulométrique

IV-2-1-2 L'analyse de résultat :

Traçage de la courbe granulométrique.

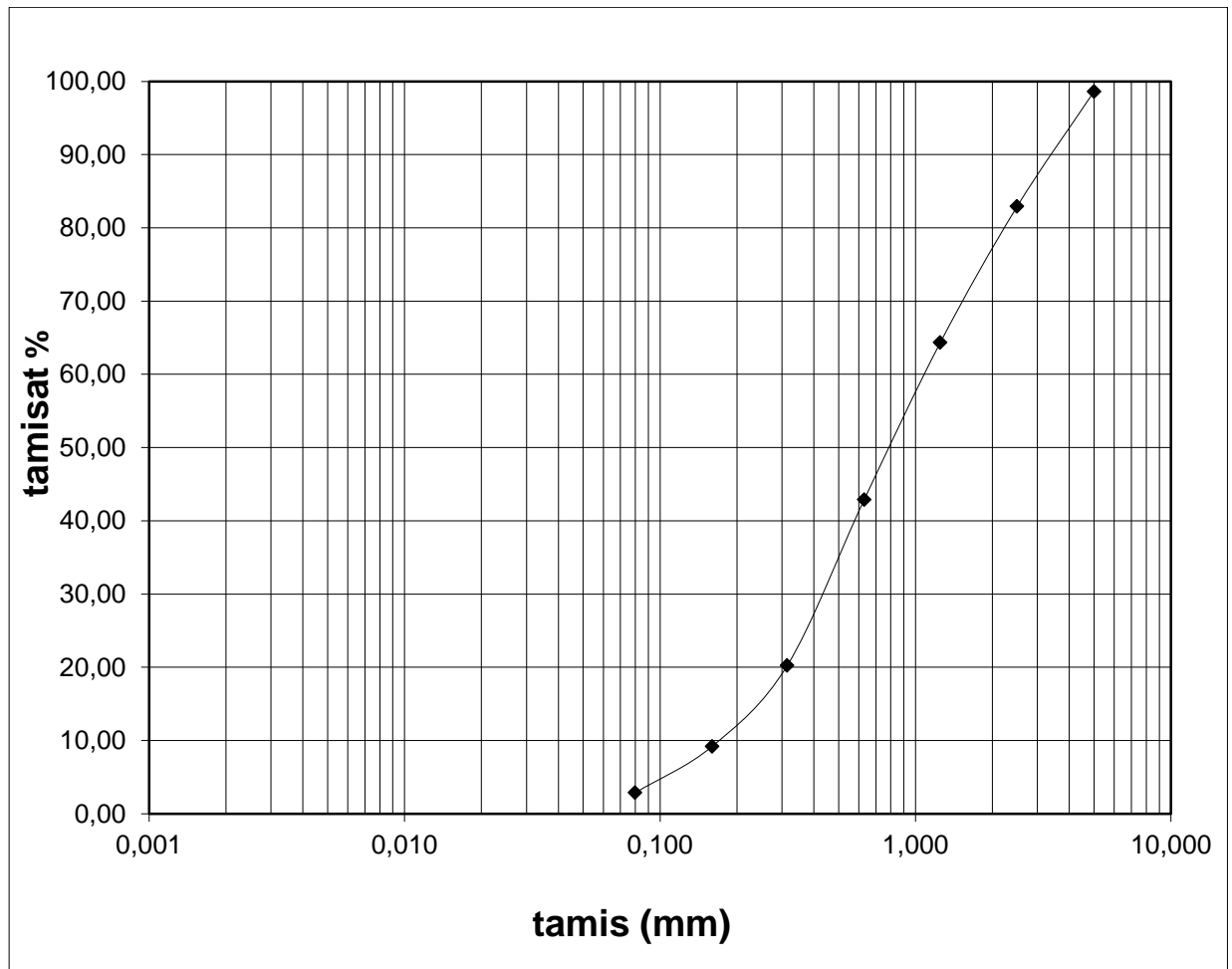


Figure (IV.2) : Courbe granulométrique de sol

$$Cu = d_{60} / d_{10} = 6.11 \rightarrow Cu > 4$$

$$Cc = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} = 1.42 \rightarrow Cc < 1 \text{ et } Cc > 3$$

Alors on trouve que le sol est : **grave propre bien graduée**

IV-3 L'essai mécanique

IV-3-1 Essai de cisaillement direct (NF P 94-071) :

a-But de l'essai

Il s'agit de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol en procédant au cisaillement rectiligne d'un échantillon sous charge constante. L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne ϕ et sa cohésion C . Ces valeurs servent entre autre à déterminer la contrainte admissible par le sol dans le cas de fondations superficielles et la poussée du sol sur un mur de soutènement.



Figure (IV.03) : Appareil de cisaillement direct.

b-Matériel utilisé

L'échantillon de sol à étudier est placé entre deux demi-boite qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre. Un piston permet d'exercer sur le sol une contrainte normale σ déterminée.

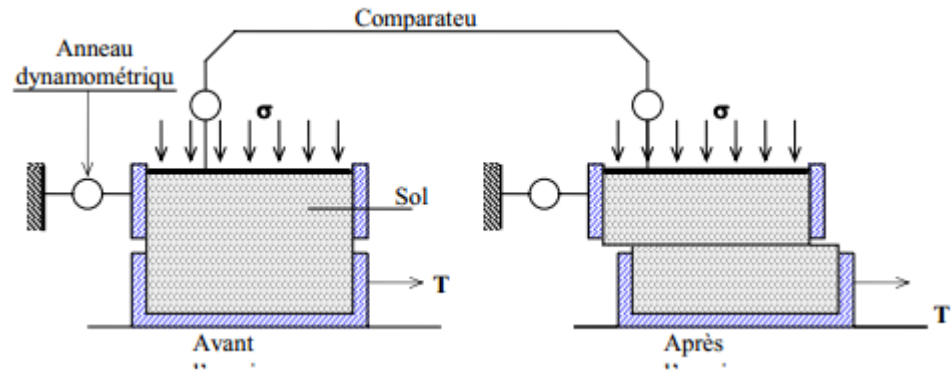


Figure (IV.04) Schéma de la boîte de cisaillement

La demi-boîte inférieure est entraînée horizontalement à vitesse constante. La force totale de cisaillement F est mesurée à l'aide d'un anneau dynamométrique fixé à la demi-boîte supérieure.

Un comparateur mesure la déformation verticale de l'échantillon.

L'échantillon subit donc un cisaillement direct et rectiligne suivant un plan imposé sur lequel on exerce une contrainte normale déterminée.

c-principe de l'essai

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans un bâti de cisaillement de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes est un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

L'essai consiste à :

- Applique sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant durant la durée de l'essai ($\sigma = N/s$),
- Produire, après consolidation de l'éprouvette sous l'effort (N), un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi-boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif δl à vitesse constante,
- Mesurer l'effort (T) correspondant ($\tau = T/s$).

Le sol est ensuite versé dans le moule de boîte de cisaillement puis compacté à l'aide de la dame de compactage.

e-Mise en place de la boîte sur la machine

- Placer l'étrier de charge sur le piston de la boîte,

- Placer le comparateur vertical et le mettre à zéro,
- Monter l'anneau dynamométrique sur la machine, le relier à la boîte et compenser les jeux en mettant l'anneau légèrement en traction et en ramenant lentement le comparateur de l'anneau au zéro,
- Appliquer sur l'éprouvette la charge désirée, en principe : 0.5 - 1 – 2-bar.
- Désolidariser les deux demi-boîtes en enlevant les goupilles,
- Mettre en route à la vitesse désirée. 1 mm / min.

f-Lectures

Lire, à intervalles réguliers les indications du comparateur de l'anneau, du comparateur de déplacement horizontal et du comparateur vertical.

IV-3-1-1 Résultats des essais de cisaillement à la boîte

L'objectif de cette partie expérimentale, en premier, est la détermination des paramètres de résistance au cisaillement du sol et qui sont l'angle de frottement interne et la cohésion.

- Le tableau regroupe les résultats d'essai de résistance au cisaillement sur le sol brut

Pression vertical σ (bar)	0.5		
Les essais	Essai 01	Essai 02	Essai 03
résistance au cisaillement (bar)	0.83	0.81	0.59
Φ (degré)	42		
Cohésion (bar)	0.17		

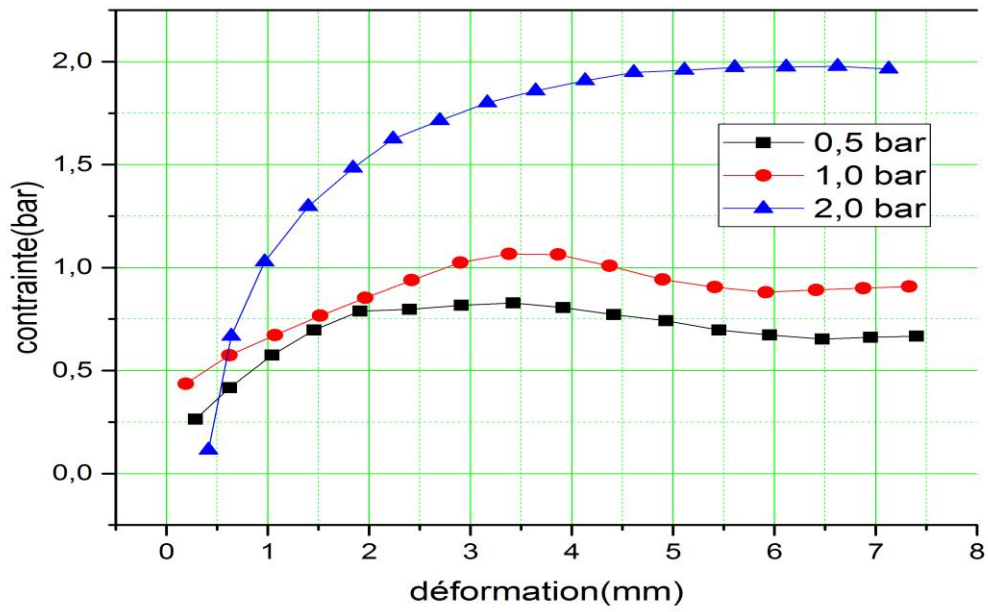
Tableau (IV.2) : résultats de l'essai de cisaillement du sol brut, versus du Pression vertical (0.5bar)

Pression vertical σ (bar)	1		
Les essais	Essai 01	Essai 02	Essai 03
résistance au cisaillement (bar)	1.07	1.74	1.4
Φ (degré)	44.49		
cohésion (bar)	0.31		

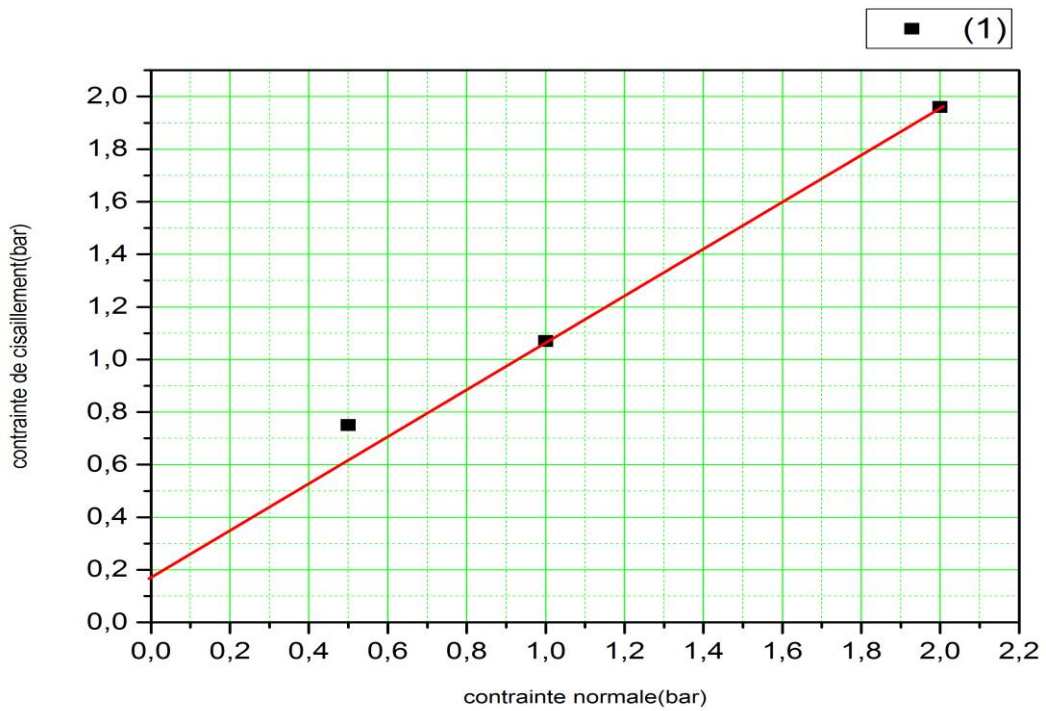
Tableau (IV.3): résultats de l'essai de cisaillement du sol brut, versus du Pression vertical (1bar)

Pression vertical σ (bar)	2		
Les essais	Essai 01	Essai 02	Essai 03
Résistance au cisaillement (bar)	1.98	2.34	1.97
Φ (degré)	42.76		
Cohésion (bar)	0.14		

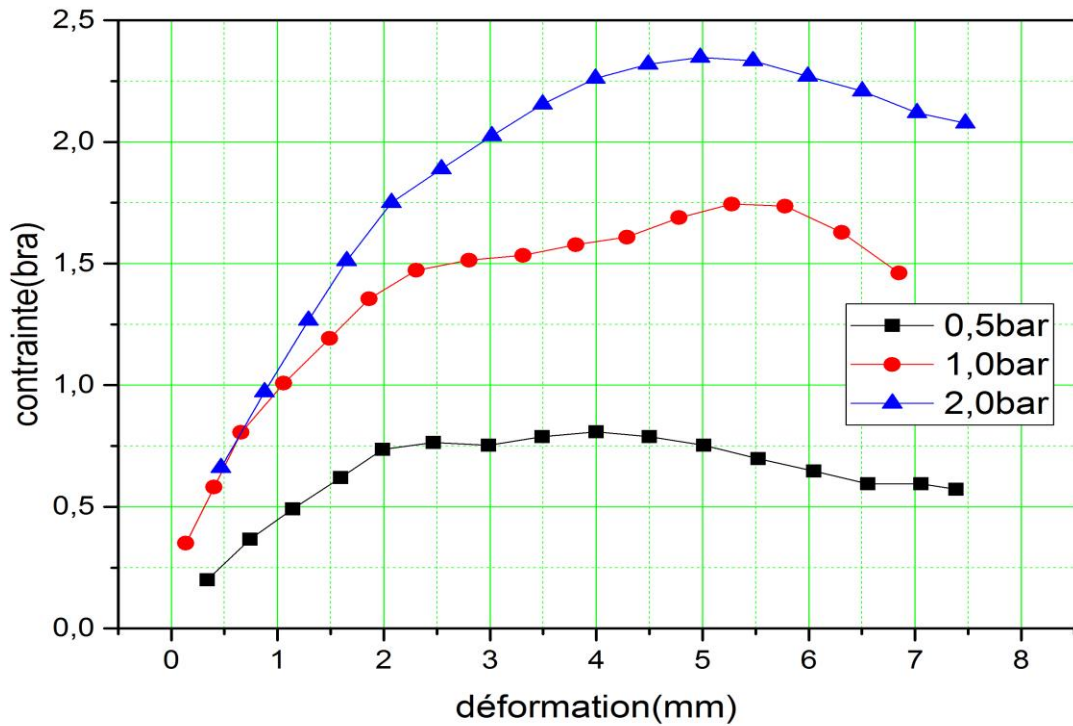
Tableau (IV.4) : résultats de l'essai de cisaillement du sol brut, versus du Pression vertical (2bar)



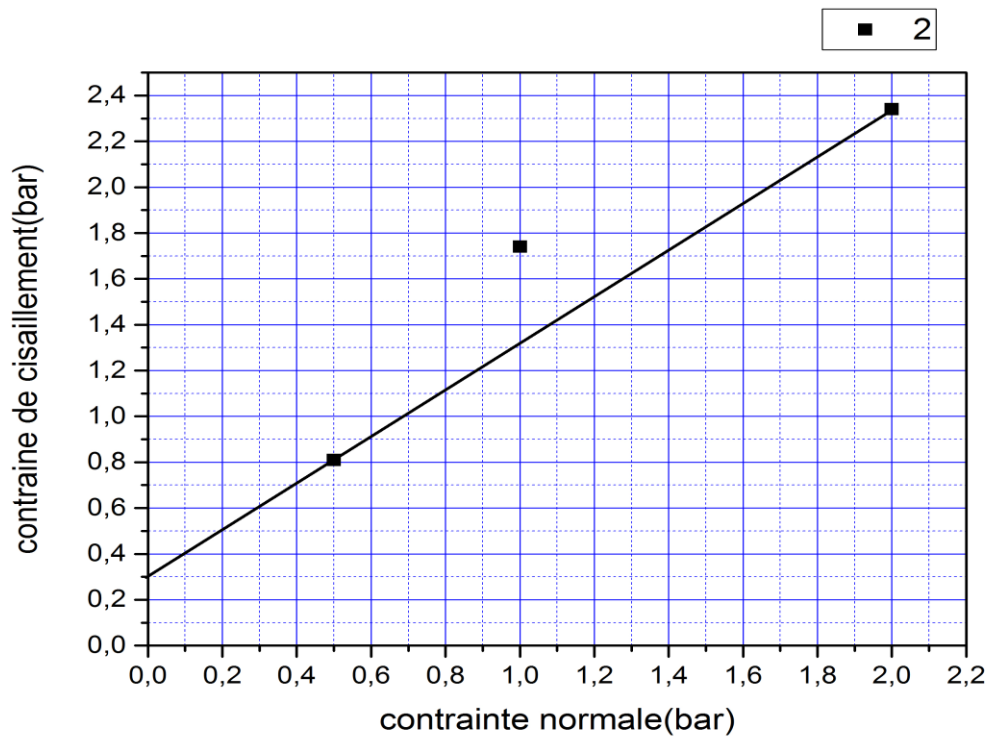
Figure(IV.5) contrainte déformation 1



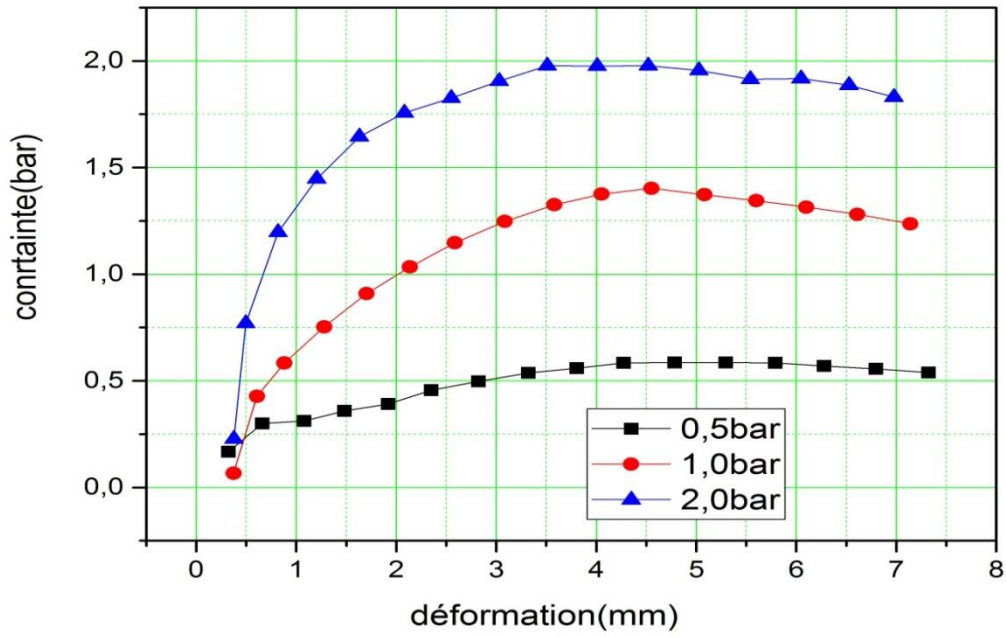
Figure(IV.6) courbe intrinsèque 01



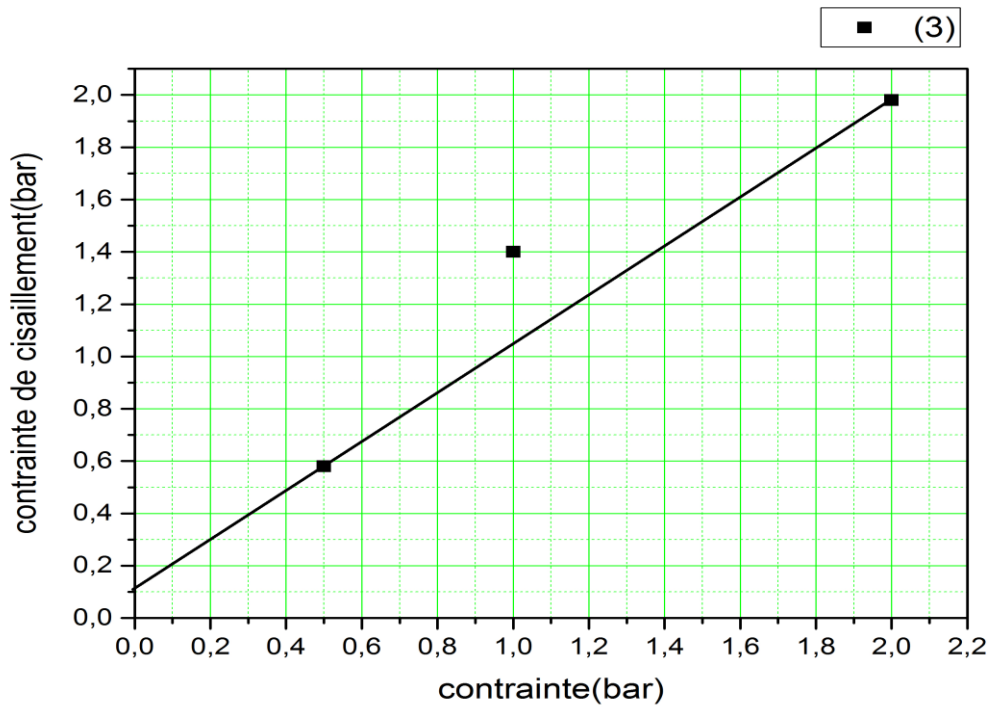
Figure(IV.7) contrainte déformation 2



Figure(IV.8) courbe intrinsèque 02



Figure(IV.9) contrainte déformation 03



Figure(IV.10) courbe intrinsèque 03

N°	Φ (degré)	C (bar)	$\sigma = 0.5$ bar	$\sigma = 1$ bar	$\sigma = 2$ bar
			Contrainte de cisaillement τ (bar)		
1	42	0.17	0.8	1.07	1.97
2	44	0.31	0.81	1.74	2.34
3	42	0.14	0.59	1.4	1.98

Tableaux (IV-5) résultats des essais de cisaillement de l'échantillon 1, 2 et 03

IV-3-1-2 Interprétation

On considérant le tableaux (IV-5) on remarque au que la résistance de cisaillement est augmentée quand la pression verticale est augmentée de (σ) :

$$\sigma = 0.5 \text{ bar} \longrightarrow \tau = 0.81 \text{ bar}$$

$$\sigma = 1 \text{ bar} \longrightarrow \tau = 1.74 \text{ bar}$$

$$\sigma = 2 \text{ bar} \longrightarrow \tau = 2.34 \text{ bar}$$

IV-4 Conclusion

Finalement, nous avons préparé quelque essai géotechnique afin de connaître les propriétés physiques et mécaniques des sols, et qui ont été parmi les causes principales des effondrements.

Chapitre V:

Analyse des désordres

V -1 Introduction

Le débit d'oued est la cause principale de rupture dans la plupart des digues dans le monde. Pour notre cas on soupçonne trois causes principales de destruction :

1. la première est liée à la conception technique de l'ouvrage.
2. la deuxième c'est et l'étude de la partie géotechnique.
3. la troisième est les causes naturelles.

Dans ce chapitre on va présenter une analyse des cause et dégâts survenues aux une digue détruits par les crues, à la fin proposera des solutions afin d'éviter ce problème une autre fois.

V -2 Cause de la rupture de digue :

Les causes de rupture d'ouvrage peuvent être de différents ordres

V -2-1 La conception technique de l'ouvrage

Est les causes principales suivantes:

- ✚ Des erreurs dans la conception de la structure: La conception du barrage n'est pas perpendiculaire à la rivière
- ✚ La mauvaise de la qualité des matériaux utilisés dans la construction (figure v-1)
- ✚ absence les renforcements sur le béton armé (figure v-2)
- ✚ 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 mal veilla

V -2-2 L'étude de la partie géotechnique: (cause principale)

- Absence dans l'étude géotechnique: concernant les données relatives au site, on s'est ne base pas sur un rapport géotechnique contenant quatre sondages carottés ainsi que des essais d'identification physiques et mécanique



Figure (V.1) Paysage montre La faiblesse de la qualité des matériaux utilisés dans la construction



Figure (V.2) Des scènes montrant l'absence des renforcements sur le béton armé

V-2-3 Causes naturelles

- ✚ La nature de sol : l'effet de l'interaction sol-structure
- ✚ La force d'eau : le débit d'oued n'est pas constant et basée sur la crue et la chute de pluie torrentielle
- ✚ Le phénomène d'érosion



Figure (V.4) Phénomène d'érosion externe de sol des rives d'oued



Figure (V.5) Phénomène d'érosion des rives d'oued après la crue

V-3 Conclusion du diagnostic :

La rupture de la digue est due certainement à la combinaison des paramètres suivants:

- ✚ absence le renforcement sur le béton armé
- ✚ absence du système de protection de la rive d'oued.
- ✚ le mal choix du HCDS de la variante correspondante proposée par le bureau d'étude.
- ✚ -mal estimation des dimensions du gabarit et l'insuffisant de la protection des rives d'oued par les murs de soutènement.
- ✚ Absence de l'étude géotechnique et hydrogéologique de terrain

V-4 Conclusion et recommandations:

A la fin de l'analyse des cause de rupture de l'ouvrage on a conclu que le mal choix du HCDS de la variante correspondante proposée par le bureau d'étude, aussi la mal estimation des dimensions du gabarit et l'insuffisant de la protection des rives d'oued par le mur de soutènement, tout ça a contribué à la destruction de l'ouvrage. Après ce diagnostic, on a proposé des solutions pour assurer une durée de vie suffisante à l'ouvrage correspondant, avec une protection suffisante des rives d'oued.

- ❖ Augmenter le gabarit de la digue pour passer un débit important
- ❖ Renforce le mur de soutènement: pour une hauteur de 4m avec des fondations plus Profond et béton
Pour la protection des rives d'oued et afin de limiter le phénomène d'érosion on a proposé des solutions suivantes:
- ❖ Etudier la possibilité de réaliser des systèmes de protection des rives d'oued contre le phénomène d'érosion provoqué par les crues d'oued (figure v-4)
- ❖ Le gabion est un meilleure solution pour la protection des rives d'oued que les murs de Soutènement, car c'est économique et facile a réalisé, par exemple: renforce par gabions sur une distance de 500m et de 4m de hauteur au minimum
- ❖ Renforcement par gabion: sur une distance de 500m et 4m de hauteur au minimum pour le rive droite seulement

Conclusions générales

Le débit d'oued est une des principales causes de destruction de plusieurs digues dans le monde. La destruction de l'ouvrage d'oued (maach) lieu Ouled Ali Ben Daoud (Bouti Sayah) est devenue un sujet incontournable.

Dans ce mémoire et après une étude bibliographique détaillée sur la digue et après un exposé des actions et désordre qui peut subir la digue. On a présenté une expertise sur quelques digue dégradé sur la région de (M'sila).

Dans notre étude on essayé d'étudier les causes principal de la destruction de la digue de maach et faire une analyse complète sur les dégâts survenus lors des crues pour les l'ouvrage et extraire les dégâts afin de limiter le risque des crues d'oued maach une autre fois et assuré une circulation en tout temps entre les rives.

On a conclu pour les causes principales comme suit:

- Mal estimation du débit d'oued et l'insuffisant des les systèmes de protection du rives les principales causes de la destruction de la digue maach
- Le mal choix du HCDS de la variante correspondante proposée par le bureau d'étude.
- Mal estimation des dimensions du gabarit et l'insuffisant de la protection des rives d'oued par les murs de soutènement.
- Absence la renforcement sur le béton armé
- Absence de la fondation

On a proposé comme solutions pour assurer une durée de vie suffisante à l'ouvrage

- 1/ Renforce le mur de soutènement par le beton arme
- 2/ étudier la possibilité de réaliser des systèmes de protection des rives d'oued contre le phénomène d'érosion provoqué par les crues d'oued (figure v-4)

En fin on peut dire que l'expertise des ouvrages est une discipline qui se base sur une. profonde connaissance sur le comportement des matériaux, c'est donc un art qui mérite la même valeur que de celui de construire.et il doit être intégré dans la formation de l'ingénieur pour que ce dernier puisse reconnaître et éviter les défauts touchants les structures.

Références bibliographiques

[1] **KEDDOURI Ahmed**;,2011, etude des pathologies de la digue de oued kreirech wilaya de Djelfa, mémoire de magister de université Abou Baker Belkaide- Tlemcen

[2] **BAGHZIM HASSIBA**: étude numérique de la conception des barrages en terre Mémoire de Magister en génie civil, Université Mohamed Khider– Biskra

[3] **TUAN LONG PHAM**. Érosion et dispersion des sols argileux par un fluide, Thèse de Doctorat Ecole des Ponts Paris Tech, 2008. Français.

[4] **BENDAHMANE FATEH**,2005, Influence des interactions mécaniques, eau-sol sur l'érosion interne, Thèse de Doctorat Université de Nantes

.

[5] **CYRILLE FAUCHARD**, Patrice MÉRIAUX: Méthodes géophysiques et géotechniques pour le diagnostic des digues de protection contre les crues Guide pour la mise en œuvre et L'interprétation

[6] **SERRE DAMIEN**, 2005, Évaluation de la performance des digues de protection contre les inondations modélisation de critères de décision dans un système d'information géographique, Thèse De Doctorat de l'Université de Marne-La-Vallée.

[7] CTH DE M'SILA

[8] **NADJI MOSTEFA**: risques industriels &Automobile

Introduction générale

Chapitre II

Description de l'ouvrage

Chapitre IV

Etude hydrogéologique et géotechnique du terrain

Chapitre V

Analyse des désordres

Chapitre III

Constat des désordres

Chapitre I

Généralité sur la pathologie rupture et risque

Conclusion générale