

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Optimisation de la largeur en crête des petits barrages et retenues collinaires.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0011-18

APA Citation (توثيق APA):

Amara, Fatma (2018). Optimisation de la largeur en crête des petits barrages et retenues collinaires [Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'AMENAGEMENT ET GENIE HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Aménagement et Ouvrages Hydrotechniques

THEME

**Optimisation de la largeur en crête
des petits barrages et retenues
collinaires**

PRÉSENTÉ PAR :

AMARA Fatma

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
B.TOUAIBIA	Professeur	Président
A.ZEROUAL	Maître de Conférences (B)	Membre
M.D.BENSALAH	Maître Assistant (A)	Membre
M.KAHLERRAS	Maître Assistante (A)	Membre
B.BENLAOUKLI	Maître de Conférences (A)	Promoteur

Session - 2018

Dédicaces

A l'âme de mon grand père Qui a toujours été l'étoile de mon ciel,

Que dieu l'accueille en son vaste paradis.

A mes chers parents, pour leurs sacrifices et leur soutien moral et matériel

dont ils ont fait preuve pour que je réussisse tout le long de ma vie et mes

études.

A ma très cher grand mère, et mes sœurs, les deux kahina , lynda

et à mon unique frère lounis .

A mes oncles et mes tantes, cousins et cousines et à toute ma famille.

A mon meilleur ami Amine

A

Toute la famille de l'ENSH

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Dieu tout puissant qui m'a donné la force de continuer et d'achever ce travail.

Je remercie fortement mon promoteur **M^r B.BENLAOUKLI** de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

Mes vifs remerciements à **Mr ZEROUAL** pour son aide, ses conseils et sa disponibilité durant toute la période de mon projet.

Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

ملخص

يقدر عرض قمة السدود الصغيرة باستعمال الصيغ المختلفة التي تعتمد بشكل رئيسي على ارتفاع السد ، هذه الصيغ في معظم الحالات تعطي نتائج بفروق كبيرة ، مما يؤدي الى عدم اتفاق صاحب المشروع ، المهندسين ، وفريق الانجاز .

هذا العمل يهدف إلى اعداد نهج متقارب , عن طريق حساب على سدود صغيرة في المنطقة الشمالية للجزائر ، يستند في البداية على صيغ تجريبية ، مما سمح لنا بتحديد العديد من العلاقات الرياضية. بعد تحليل مقارن و ذلك استنادا على معايير مختلفة لإيجاد علاقة تساعد في توجيه قرارات المديرين من اجل اختيار عرض القمة المثالي.

كلمات رئيسية : عرض قمة , السدود الصغيرة , نهج , العلاقات الرياضية

Résumé

La largeur en crête des petits barrages est estimée par les différentes formules existantes qui dépendent essentiellement de la hauteur de la retenue. Ces formules dans la plupart des cas donnent des résultats controversés, mettant le maître de l'ouvrage, les ingénieurs chargés d'étude, et l'équipe réalisatrice en désaccord. Ce travail a pour objectif l'élaboration d'une approche consensuelle en effectuant un code de calcul sur un échantillon de barrages dans la partie nord de l'Algérie, en se basant initialement sur des formules empiriques. Ceci a permis de dégager plusieurs relations mathématiques. Une analyse comparative appuyée sur différents paramètres significatifs a permis de définir une relation optimale afin de guider les responsables impliqués dans le domaine dans la prise de décision relative au choix de la dimension de la largeur en crête.

Mots clés : Largeur en crête, petits barrages, Approche, relation optimale

Abstract

The crest width of the small dams is estimated by the different existing formulas which mainly depend on the height of the reservoir. In most cases, these formulas give controversial results which lead to a disagree between the project owner, the engineers and the designers. This study aims to develop a consensual approach by performing a calculation code on small dams in northern part of Algeria, initially based on empirical formulas, which let to identify several mathematical relationships. A comparative analysis based on various significant parameters allowed defining an optimal relation to guide managers' decisions to choose the crest width dimension.

Key words: Crest width, Small dams, Approach, Optimal relation

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Barrages en terre	
Introduction	2
I.Historique.....	2
II.Utilité des barrages	4
III. Différents types de barrages	5
III.1 Barrages en béton	5
III.2 Barrages en remblai	5
IV. Types de barrage en terre	6
IV.1 Barrage Homogène.....	6
IV.2 Barrage à noyau	7
IV.2.1 Barrage à noyau central.....	7
IV.2.2 Barrage à noyau incliné.....	8
IV.2.3 Barrage à diaphragme.....	8
IV.3 Barrage à masque	8
V. Exigences de la conception d'un barrage en terre Sur le plan technique	9
VI.Avantages et inconvénients des barrages en terre :.....	9
VI.1 Avantages.....	9
VI.2 Inconvénients	9
VII. Définition du profil general des barrages en Terre	10
VII.1 Hauteur du Barrage.....	10
VII.2 Niveau Normal de Retenue	10
VII.3 Niveau des plus Hautes Eaux	10
VII.4 Revanche.....	10
VII.5 Pente des talus	10
VIII. Drains et filtres du barrage en terre	11
VIII.1 Rôle des drains et filtres	11
VIII.2 Constitution des drains et filtres	12
VIII.3 Types des drains dans un barrage en terre.....	12
VIII.3.1 Drain cheminé (vertical).....	13
VIII.3.2 Tapis drainant aval	13
VIII.3.3 Prisme de drainage	13

X. Largeur en crête	13
X.1 Construction de la crête du barrage	15
X.2 Protection de la crête	16

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

I.Présentation du nord algérien	18
Introduction	18
I.1 Situation géographique.....	18
I.1.1 Tell et hauts plateaux.....	18
I.2 Climat	19
I.2.1 ZONE 1	19
I.2.2 ZONE 2	20
I.3 Rivieres	20
I.4 Hydrographie.....	20
II. Données de base.....	21
II.1 Introduction.....	21
Conclusion	22

Chapitre III : Elaboration des modèles mathématiques par Excel et TableCurve

Introduction	23
I. Présentation des paramètres servant à l'identification de la formule optimale.....	23
I.1 Coefficient de détermination (R^2)	23
I.2 Erreur standard	23
I.2.1 Etapes à suivre :.....	24
II. Calcul des largeurs en crête des barrages de l'échantillon par les différentes formules empiriques	25
III.Elaboration des modèles par Excel	26
III.1 Exponentielle	27
III.2 Puissance	27
III.3 Polynomiale	27
III.4 Linéaire.....	27
IV. Elaboration des modèles par TableCurve à partir de la courbe moyenne IV.1	
TableCurve 2D.	28
IV.2 Utilité.....	28
IV.3 Première étape	28
IV.4 Deuxième étape	29

Chapitre IV : Analyse et interprétation des résultats

Introduction	32
I.Récapitulatif et interprétation des résultats	32
I.1 Formalisations mathématiques des courbes de tendance élaborées par le logiciel Excel. 32	
I.2 Interprétation.....	32
I.3 Formalisations mathématiques des courbes de tendance élaborées par TableCurve.....	33
I.4 Interprétation.....	33
II. Analyse comparative entre les deux modèles retenus	33
III. Validation du modèle choisi.....	34
Conclusion.....	35
Conclusion générale	36
Références bibliographiques	37

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux rôles des barrages.....	4
Tableau I.2 : Valeurs indicatives des fruits de talus (valeurs devront être vérifiées par calcul de stabilité)	13
Tableau I.3 : Dimension de la largeur de la crête en fonction des catégories de la route. ...	17
Tableau II.1 : Principales caractéristiques de l'échantillon.....	24
Tableau III.1 : Largeurs en crête des barrages de l'échantillon	28
Tableau III.2 : Récapitulatif des des paramètres des équations obtenues à l'aide de TbaleCurve	37
Tableau IV.1 : Relations des modèles élaborés par le logiciel TableCurve.....	39
Tableau IV.2 : Echantillon de la validation.....	40
Tableau IV.3 : Validation du modèle	40

Liste des figures

Figure I.1 : Catégories des barrages en remblai	6
Figure I.2 : Profil barrage Homogène	7
Figure I.3 : Digue à noyau central étanche.....	7
Figure I.4 : Digue à noyau incliné.....	8
Figure I.5 : Digue à diaphragme.....	8
Figure I.6 : Digue avec masque étanche	9
Figure I.7 : Digue homogène équipée de dispositifs de drainage	13
Figure I.8 : Types de drainage des digues en terre.....	14
Figure I.9 : Profil general d'un barrage en terre.....	15
Figure I.10 : Exemples d'installations de construction de protection	16
Figure I.11 : Exemple de la route sur la crête du barrage	18
Figure II.1: Les zones climatiques de l'Algérie	21
Figure II.2 : Carte de situation des barrages et retenues de l'échantillon	24
Figure III.1 : Courbes $b=f(Hr)$ de l'échantillon selon les différentes formules	28
Figure III.2 : Limites de la plage des largeurs en crête	29
Figure III.3 : Courbe de tendance exponentielle	31
Figure III.4 : Courbe de tendance puissance	32
Figure III.5 : Courbe de tendance polynomiale.....	32
Figure III.6 : Courbe de tendance linéaire.....	33
Figure III.7 : Courbe de tendance Logarithmique.....	34
Figure III.8 : Courbe de détermination de la largeur en crête (Courbe moyenne).....	35
Figure III.9 : Ajustement des données par équation simple	35
Figure III.10 : Ajustement des données par équation polynomiale.....	36
Figure III.11 : Ajustement des données par équation rationnelle	36
Figure III.12 : Ajustement des données par équation première dérivée.....	37
Figure IV.1 : Courbe de tendance puissance.....	39

Introduction générale

Les barrages sont des constructions particulières de point de vu technique et économique, cela justifie certainement les hautes exigences imposées en ce qui concerne l'étude du projet, la conception et l'exploitation. En effet le choix du type de barrage nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs, citant la forme de la vallée (morphologie), la géologie, les conditions climatiques, la sismicité et la disponibilité des matériaux de construction , en vue de choisir la variante la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité, et en minimisant les impacts causés par l'ouvrage.

Il existe deux grandes familles de barrages, ceux construits en béton et ceux construits en remblai (terre ou enrochement). Les barrages en remblais sont constitués de matériaux locaux meubles, qu'ils soient très fins (argile) ou très grossiers (enrochements). Cette famille regroupe cependant plusieurs catégories. Les différences proviennent des types de matériaux utilisés, et de dispositif d'étanchéité.

La conception et le dimensionnement de ce type d'ouvrage est un enchainement d'études et de planifications. Pour les petits barrages, les études préalables à l'établissement des avant-projets sommaires(A.P.S) et des avant-projets détaillés(A.P.D), souvent confondues en une seule série effectuée au niveau de l'A.P.D. En somme, quel que soit le type d'ouvrage envisagé, on ne perdra pas de vue l'objectif principal de ces études pour en établir le contenu : implanter définitivement l'axe de la digue, et dimensionner de façon précise et technico-économique le barrage et ses annexes (pentes des talus, crête, hauteur, dispositifs d'étanchéité).

À cet effet, ce travail est consacré à la recherche d'une relation optimale de la largeur en crête en fonction de la hauteur du barrage. Il faut noter que dans la plupart des cas le concepteur opte pour la valeur maximale parmi celles obtenues par les expressions empiriques existantes afin d'éviter tout risque, et assurer la sécurité de l'ouvrage vis-à-vis la rupture, mais cela ne respecte pas les aspects économiques, ce qui met en désaccord le maitre de l'ouvrage et les concepteurs.

Pour ce faire on va élaborer une approche consensuelle à partir d'un code de calcul sur un échantillon des barrages dans la partie nord de l'Algérie, en se basant initialement sur les formules empiriques d'estimation de la dimension du couronnement des petits barrages et retenues colinéaires.



CHAPITRE I

Introduction : Un barrage est un ouvrage artificiel retenant de l'eau. Il peut être installé sur un cours d'eau pour en bloquer les écoulements et élever le niveau d'eau en amont de l'ouvrage, ou de manière à fermer une cuvette naturelle dans le but de retenir les eaux de pluie et de ruissellement. Les barrages peuvent être constitués de matériaux durs (autrefois en maçonnerie, aujourd'hui en béton), ou en matériaux meubles (terre, enrochements).

I. Historique

Les premiers barrages sont nés avec les premières civilisations de l'antiquité, en particulier dans la vallée du Nil, Mésopotamie, en Chine et en Asie du Sud. Ce sont certainement les traces de ces anciennes civilisations que les archéologues retrouvent facilement.

Le XX^{ème} siècle a été marqué pour un taux très élevé de construction de barrages sur la planète, la plupart concentrés dans les pays les plus industrialisés. Selon le rythme de la croissance démographique et du développement économique, on a assisté à un accroissement de la construction des barrages dans le monde. À la fin du XX^{ème} siècle, le total de retenues a atteint les 45 000, distribuées sur plus de 140 pays. Actuellement, près de la moitié des grands fleuves du monde comptent au moins un grand barrage. L'apogée de la construction de ces ouvrages remonte aux années 1960 et 1970, époque à laquelle ils étaient considérés comme un symbole de développement économique, de progrès technologique et de modernisation. C'est à cette époque que la plus partie des barrages a été construite dans les pays d'Amérique du Nord, d'Asie et d'Europe, tandis que les pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Océanie présentaient un taux linéaire de croissance.

Après les pays du nord de la Méditerranée, ceux d'Afrique du Nord et du Proche-Orient se sont lancés dans une politique de construction de petits barrages. Les objectifs de ces aménagements sont essentiellement la gestion et la conservation des eaux et des sols avec la protection des infrastructures en aval, en particulier en Afrique du Nord, celles des grands barrages contre une sédimentation trop rapide. Le développement des petits barrages a suivi des chemins et des objectifs différents. Le premier trait commun est une volonté politique de développer ce type d'aménagement dans les années à venir. L'évolution des capacités de stockage des petits barrages a été étudiée à travers un modèle d'estimation et de simulation des transports solides. Ces études ont permis de mieux

comprendre les phénomènes d'envasement en relation avec l'érosion des sols sur les bassins-versants (Alberge et *als*, 2004).

La réalisation de nouveaux barrages et retenues collinaires à travers le territoire de l'Algérie est retenue dans le cadre du programme du secteur de l'hydraulique au titre de la période quinquennale 2010-2014. Pour ce faire, des études sont prévues afin de déterminer la faisabilité de plus d'une quarantaine de petits barrages et retenues collinaires dans l'objectif évident de combler le déficit enregistré en ce qui concerne l'irrigation agricole et l'alimentation en eau potable des populations .

Le manque d'expérience dans de telles études a engendré un investissement colossal dans les travaux de conception. Pour remédier à cette situation, les bureaux d'études algériens ont développé leur propre méthodologie d'étude. Contrairement aux grands barrages, les petits barrages et retenues collinaires ont été considérés différemment vu leurs particularités. La consistance des études a été sensiblement modifiée avec comme résultat des délais de réalisation qui sont passés de 12 à 6 mois se répercutant aussi sur le coût global, qui est passé de 2 500 000 à 1 200 000 DA , sans pour autant affecter la qualité et la fiabilité de l'étude. Cette réduction a été obtenue grâce à la normalisation de certaines études et à la rationalisation des tâches, comme l'étude hydrologique, les reconnaissances géologiques et géotechniques (sondages, fouilles, essais en laboratoire), le dimensionnement hydraulique des ouvrages, le calcul de génie civil des ouvrages en béton armé et les pièces dessinées (Benlaoukli et Touaïbia, 2004).

II. Utilité des barrages : Les barrages jouent deux rôles principaux celui d'une part de stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoins vitaux et économiques des populations (eau potable, irrigation, fourniture d'énergie, navigation), et celui d'autre part, de protection contre des effets destructeurs de l'eau (maîtrise des crues, rétention de sédiments, protection contre les avalanches). D'autres fonctions assurées par les barrages sont présentées dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Les principaux rôles des barrages

Eau élément vital Stockage de l'eau	Eau élément destructeur Ouvrages de protection
<ul style="list-style-type: none"> - Production d'énergie électrique - Approvisionnement en eau potable et industrielle, protection incendie - Irrigation - Pêche, pisciculture (élément, économique essentiel dans certain pays) - Soutient d'étiage (garantie d'un débit minimal) - Navigation fluviale (garantie d'un tirant d'eau minimal) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bassin de rétention contre les crues (inondation, érosion) - Digue de protection contre les crues - Bassin de rétention de sédiments charriés - Ouvrage de protection contre les avalanches - Régulation des lacs - Rétention des glaces en pays nordiques

Source (Anton et *als*, 2011)

Certains de ces objectifs peuvent être complémentaires sur un même ouvrage. D'autres sont, à priori, opposés : il est, par exemple, impossible d'avoir en même temps une retenue pleine pour fournir une réserve d'eau potable mais aussi une retenue vide pour limiter au maximum l'impact des crues. Notamment, les barrages excréteurs de crue sont des ouvrages conçus spécialement à cette fin avec des dispositions particulières de conception et d'exploitation (Delliou, 2003).

III. Différents types de barrages : Les techniques et les moyens disponibles à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle ne permettaient pas la construction de retenues d'une capacité importante. L'amélioration des techniques et des bétons dans le premier quart du XX^{ème} siècle permet d'envisager la réalisation de retenues plus conséquentes, capables de réguler la production hydro-électrique. La géologie (nature des roches sur lesquelles sera édifié le barrage, les matériaux disponibles sur le site) et la topographie (largeur de la vallée), déterminent le type de barrage à projeter.

Selon la nature du matériau de construction utilisée, on classe les barrages selon deux grandes catégories :

- Les barrages en béton
- Les barrages en remblai

III.1 Barrages en béton

Les barrages en béton se partagent en trois groupes

a. Barrage poids : comme son nom l'indique, résiste à la poussée de l'eau par son propre poids. La plupart des barrages poids sont massifs et pleins avec un profil triangulaire. Le parement aval est vertical ou légèrement incliné, quant au parement amont il est incliné avec un fruit de talus de (75 à 80%) (Anton et *als*, 2011).

b. Barrage voûte : Le barrage est constitué d'un mur en béton arqué. La poussée de l'eau est reportée sur les flancs de la vallée. Le barrage a parfois une double courbure verticale et horizontale. Lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies, il permet d'économiser un volume de béton important.

c. Barrage à contreforts : résiste à la poussée de l'eau par son poids propre, mais un certain nombre de dispositions permettent de diminuer le volume de béton par rapport au barrage poids. Ces contreforts conduisent les efforts jusqu'aux fondations, qui doivent être de qualité permettant des sollicitations élevées, et sont des éléments stabilisateurs de l'ouvrage.

III.2 Barrages en remblai : Il s'agit d'ouvrages de grand volume dont la construction a été rendue possible par l'emploi des engins modernes de terrassement et de manutention. On choisit ce type d'ouvrage lorsque la vallée est trop large et lorsqu'on trouve les matériaux sur place ou à faible distance. Ce type de barrage constitué de terre ou

d'enrochements comporte généralement un noyau central d'argile qui assure l'étanchéité. Dans certains ouvrages, l'étanchéité est assurée par un masque amont en béton ou une géomembrane interne. Cette technique a également été utilisée pour la construction de retenues de moyenne capacité.

On distingue deux catégories de barrage en remblai :

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

La figure I.1 représente les sous types de barrage, pour les deux catégories de barrages en remblai en fonction du matériau de construction, et du dispositif d'étanchéité.

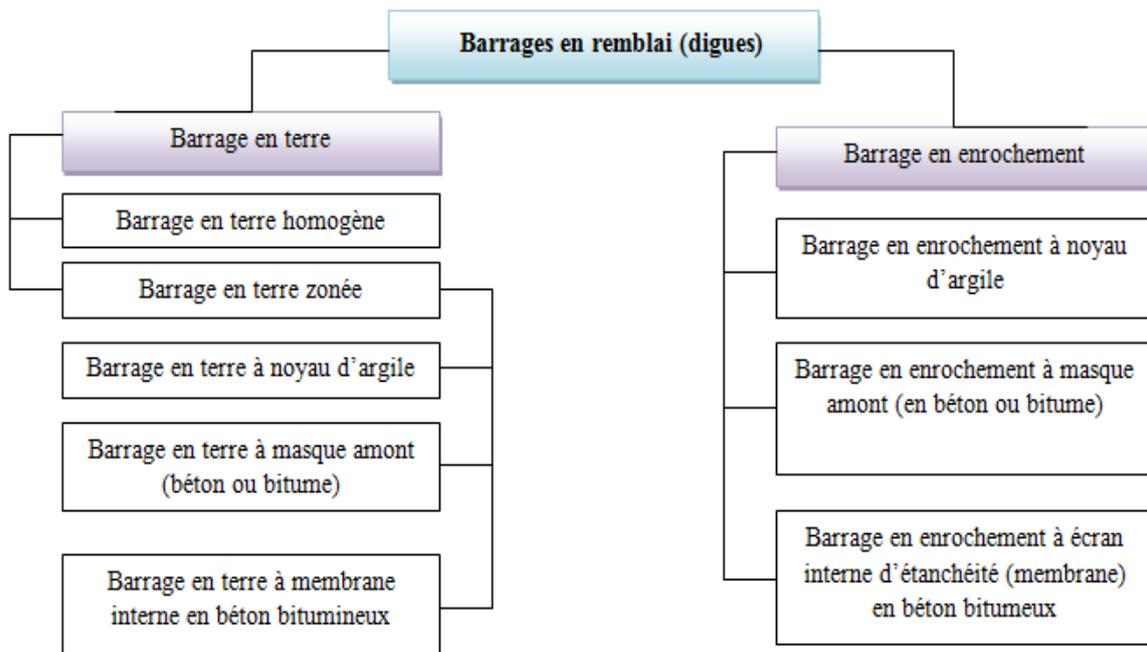


Figure I.1 : Catégories des barrages en remblai (Anton et *als*, 2011)

Dans notre travail on va s'intéresser qu'aux barrages en terre :

IV. Types de barrage en terre : Il existe trois types de barrages en terre, les ouvrages en terre homogènes, ceux à noyaux étanches et ceux à masques amont, qui diffèrent en fonction des matériaux utilisés et de la méthode utilisée pour assurer l'étanchéité du barrage.

IV.1 Barrage Homogène : utilisé en cas d'existence de grande quantité de sol pratiquement imperméable qui est le plus souvent argileux remplissant simultanément les

deux fonctions d'écran et de masse. Ce matériau doit présenter des caractéristiques permettent de garantir une étanchéité suffisante et une stabilité du remblai. La figure I.2 représente le profil général d'un barrage homogène.

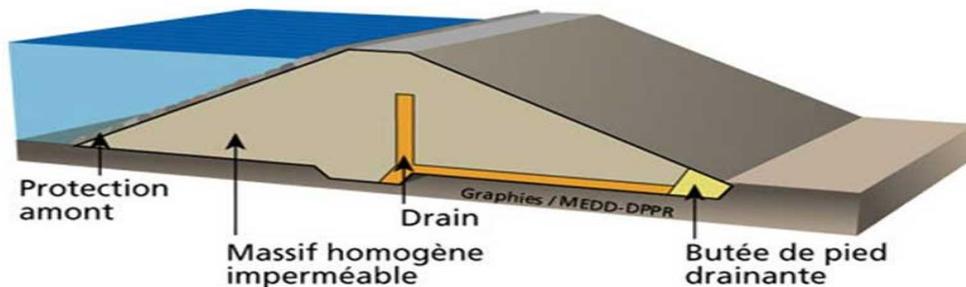


Figure I.2 : Profil du barrage homogène

IV.2 Barrage à noyau : Dans le cas où la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage. Dans ce cas les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelques sortes séparées. D'une part, la résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, d'autre part l'imperméabilité est assurée par le noyau central constitué de terre, la plus imperméable possible (argile) . La stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges.

IV.2.1 Barrage à noyau central : dont le profil est présenté par la figure I.3. Le noyau est constitué d'un sol imperméable ou peu perméable pour assurer l'étanchéité par contre la stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges (Cherif et *al*, 2013).

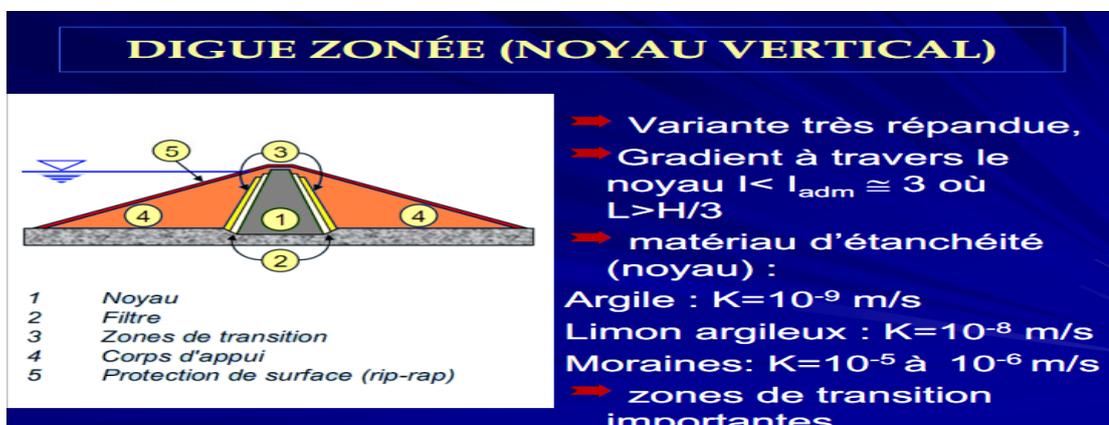


Figure I.3 : Digue à noyau central étanche (Benkaci, 2014)

IV.2.2 Barrage à noyau incliné : présenter par la figure I.4, dans ce cas le noyau est déplacé vers l'amont. Les surfaces potentielles de glissement traversent le noyau et la pente du parement amont est donc plus douce pour garantir la stabilité. La masse du corps d'appuis aval augmente également ce qui représente un certain avantage pour le barrage (Cherif, et al, 2013).

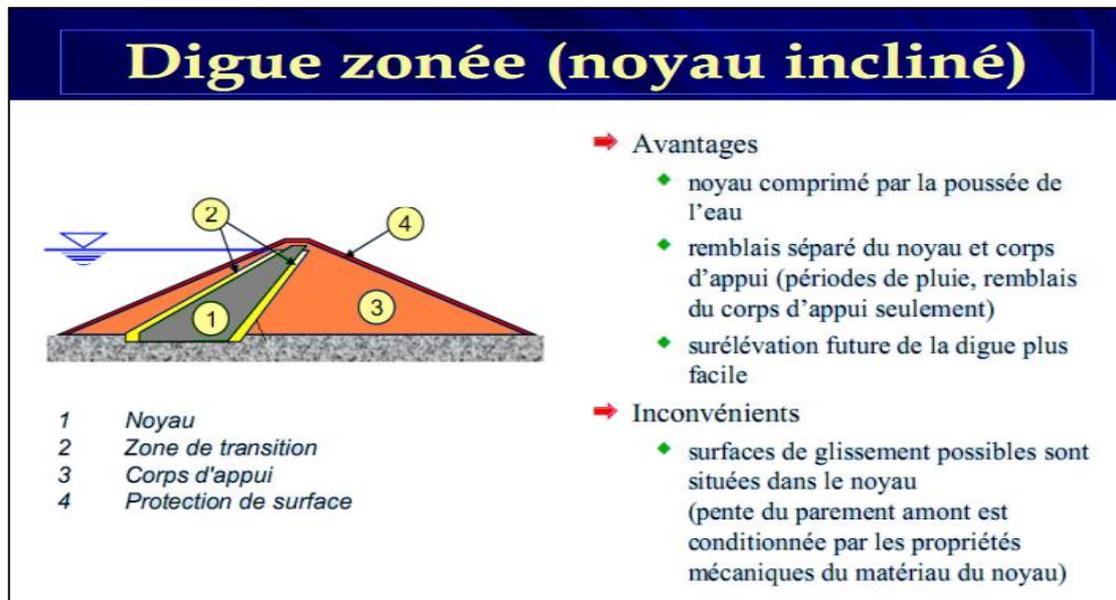


Figure I.4 : Digue à noyau incliné (Benkaci, 2014)

IV.2.3 Barrage à diaphragme

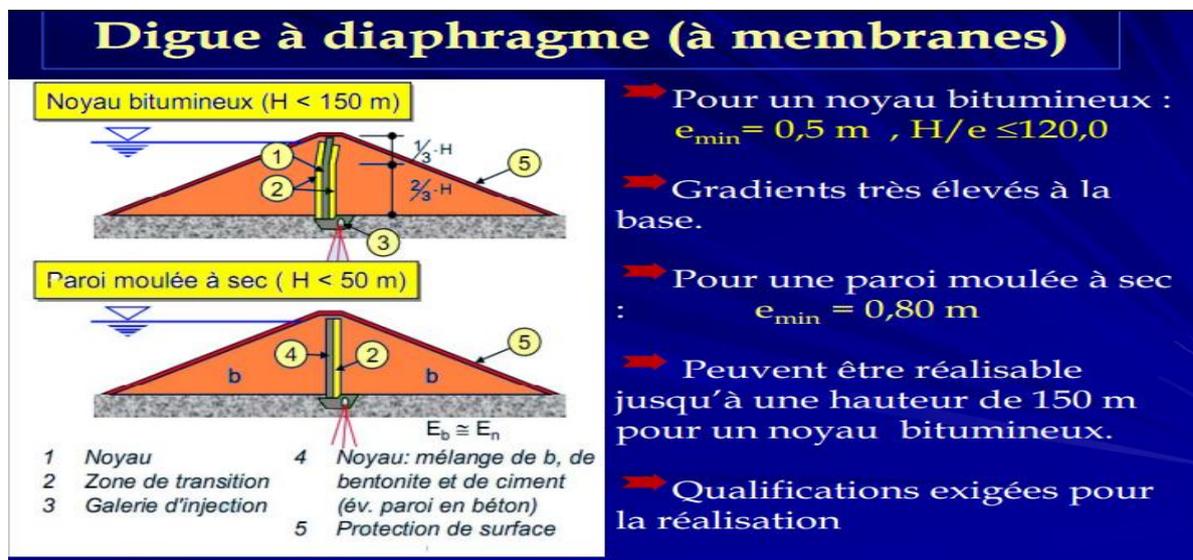


Figure I.5 : Digue à diaphragme (Benkaci, 2014)

IV.3 Barrage à masque : Sur des sites particuliers où aucune terre imperméable n'est disponible et où seuls les enrochements sont dominants, Le corps du barrage est donc construit avec un matériau quelconque pour autant qu'il soit peu déformable et pouvant

assurer la stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage. Le masque qui assure l'étanchéité peut être en béton, en produits bitumineux ou en géo-membrane. 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. Ses éléments sont montrés sur la figure I.6 (Messaid, 2009).

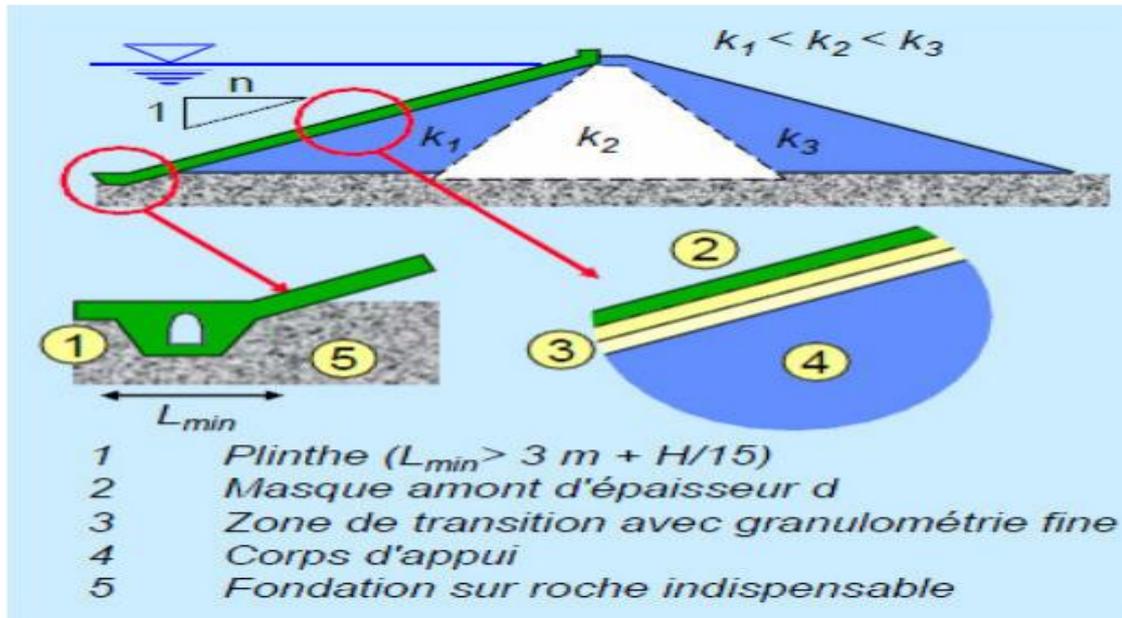


Figure I.6 : Digue avec masque étanche (Benkaci, 2014)

V. Exigences de la conception d'un barrage en terre sur le plan technique : la conception d'un barrage en terre répond à deux exigences principales : (Heragmi, 2009)

- ✚ L'étanchéité.
- ✚ La stabilité de l'ouvrage.

VI. Avantages et inconvénients des barrages en terre :

VI.1 Avantages

- Utilisation des matériaux locaux pour la construction du barrage.
- Ils s'adaptent à peu près à n'importe quelle fondation.
- Structure très peu sensible aux tassements et au séisme.
- Contraintes très faibles sur le sol de fondation.
- Excavations limitées.

VI.2 Inconvénients

- Impossibilité de conduire le débit de crue à travers l'ouvrage.

- Gradient hydraulique important sous la fondation de la plinthe.(cas barrage en masque)
- Disponibilité de matériau argileux en grande quantité à proximité du site. (à noyau)
- Mise en place du noyau argileux impossible lors de conditions météorologiques défavorables. (à noyau).

VII. Définition du profil général des barrages en terre

VII.1 Hauteur du Barrage : La hauteur totale de la digue est égale à la hauteur normale de la retenue des eaux, majorée de la charge maximale au-dessus du seuil du déversoir et de la revanche.

VII.2 Niveau Normal de Retenue : La hauteur normale de la retenue est calculée compte tenue de la capacité utile à stoker, de volume mort, éventuellement prévue en fond de la retenue pour emmagasiner les dépôts, et de la tranche correspondant aux pertes par évaporation et par infiltration.

VII.3 Niveau des plus Hautes Eaux : La charge maximale au – dessus du réservoir de crue dépend des caractéristiques de l'évacuateur de crues définies en fonction de l'hydrologie du bassin versant et du laminage de crue de la retenue. On appelle niveau des plus hautes eaux le niveau normal de la retenue majoré de la charge sur le déversoir de crue.

VII.4 Revanche : En raison de la vulnérabilité d'un barrage en remblai en cas de submersion, il est primordial de prévoir une revanche qui, par définition, correspond à la distance verticale mesurée entre le niveau maximal d'exploitation et celui du couronnement (après la consolidation).la détermination de la revanche doit tenir compte d'une combinaison raisonnable des différents effets suivants :

- Le dysfonctionnement des organes de décharge mobiles.
- La hauteur maximale des vagues provoquées par le vent extrême considéré.
- Le déferlement des vagues à la surface du parement amont.
- Le supplément de sécurité (en cas d'avalanches, tremblements de terre, rupture des glaciers) (Anton et *als*, 2011).

VII.5 Pente des Talus : elle doit assurer la stabilité statique de ces talus. C'est à dire que les talus sont fixés par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. En ce qui concerne le massif, pour déterminer la pente des parements on se

donne en général à des valeurs qui paraissent optimales, compte tenu de la nature des matériaux, et on vérifie par un calcul de stabilité. On prend le fruit du talus constant pour des digues de hauteur égale ou inférieure à 10 m. Pour celles de hauteur supérieure à 10m, il est nécessaire de les élaborer avec des fruits variables ; la plus grande valeur à la semelle et la plus petite à la crête.

Tableau I.2 : Valeurs indicatives des fruits de talus (valeurs devront être vérifiées par calcul de stabilité).

Hauteur de la digue (barrage)	Type de barrage (m)	Fruit des talus	
		Amont (m ₁)	Aval (m ₂)
H < 5m	-Homogène	2.5	2
	-zoné	2	2
5 ≤ H < 10 m	- Homogène granulométrie étendue	2	2
	- Homogène à fort % d'argile	2.5	2.5
	- zoné	2	2.5
10 ≤ H < 20 m	- Homogène granulométrie étendue	2.5	2.5
	- Homogène à fort % d'argile	3	2.5
	- zoné	2	3
H ≥ 20	- Homogène granulométrie étendue	3	2.5
	- zoné	3	3

Source :(Belokonev, 1981)

VIII. Drains et filtres du barrage en terre

VIII.1 Rôle des drains et filtres : Du fait de la charge hydraulique à l'amont du barrage, l'eau s'infiltré progressivement dans le massif même du barrage et dans ses fondations, bien que le choix des matériaux de construction et de l'implantation de l'ouvrage aient été fait de manière à limiter les débits d'infiltration.

- **Drain :** est un organe qui évacue les eaux provenant d'une infiltration à travers un massif ou d'un ressuyage.
- **Filtre :** est un organe destiné à bloquer la migration des particules fines éventuellement entraînées par la circulation de l'eau dans un massif.

La capacité des drains doit être suffisante pour leur permettre d'absorber les débits provenant non seulement de la percolation normale à travers le noyau et la fondation, mais

aussi les fuites accidentelles pouvant provenir d'une fissuration du noyau (créée par fracturation hydraulique ou tassement différentiel), ou d'un collage imparfait entre le noyau et sa fondation ou tout autre organe.

Il faut protéger les drains par des filtres, pour empêcher le sol de se déplacer : si on plaçait les drains directement au contact des matériaux à granulométrie fine comme un barrage en terre avec noyau (ou certaines fondations), l'eau en écoulement entraînerait les particules fines à travers les vides inter-granulaires du drain et l'on obtiendrait une érosion interne nommée renard.

VIII.2 Constitution des drains et filtres

✚ Les drains sont constitués, soit de graviers perméables, soit d'éléments de tuyaux en béton poreux ou en plastique perforé également entourés d'une couche de graviers.

✚ Les filtres sont constitués des couches successives des matériaux perméables, de granulométries de plus en plus fines assurant la transition entre le drain et les éléments fins des terres drainées. Dans un filtre, chaque couche doit jouer le rôle de filtre vis-à-vis de la précédente dans le sens de l'écoulement de l'eau (Rolley et al, 1977).

VIII.3 Types des drains dans un barrage en terre : La construction des barrages en terre exige dans la plus part des temps la construction des dispositifs de drainage afin d'évacuer les eaux infiltrées et de protéger le talus aval contre les sous pressions et l'érosion. Le rôle d'un drain est d'éviter la surface de suintement et avoir un débit minimum, les différents types de drains sont présentés sur la figure I.8 (Femmam et al, 2014).

Le choix du type de drain dépend de plusieurs facteurs tels que :

- La hauteur du barrage.
- La perméabilité de la fondation.
- La disponibilité du matériau.
- Le coût du matériau.

Comme la plupart des ouvrages, les dispositifs de drainage nécessitent un entretien régulier qui, s'il n'est pas réalisé, peut leur enlever toute efficacité.

VIII.3.1 Drain cheminé (vertical): Placé verticalement au centre de la digue, constitué d'un rideau d'une largeur minimale de 1 mètre en matériau grossier dont la granularité est choisie de manière à ce que les conditions de filtre soient réalisées.

VIII.3.2 Tapis drainant aval : qui couvre la moitié aval de la fondation et sert d'exutoire au drain cheminée (et de drain vis à vis des eaux présentes en fondation).

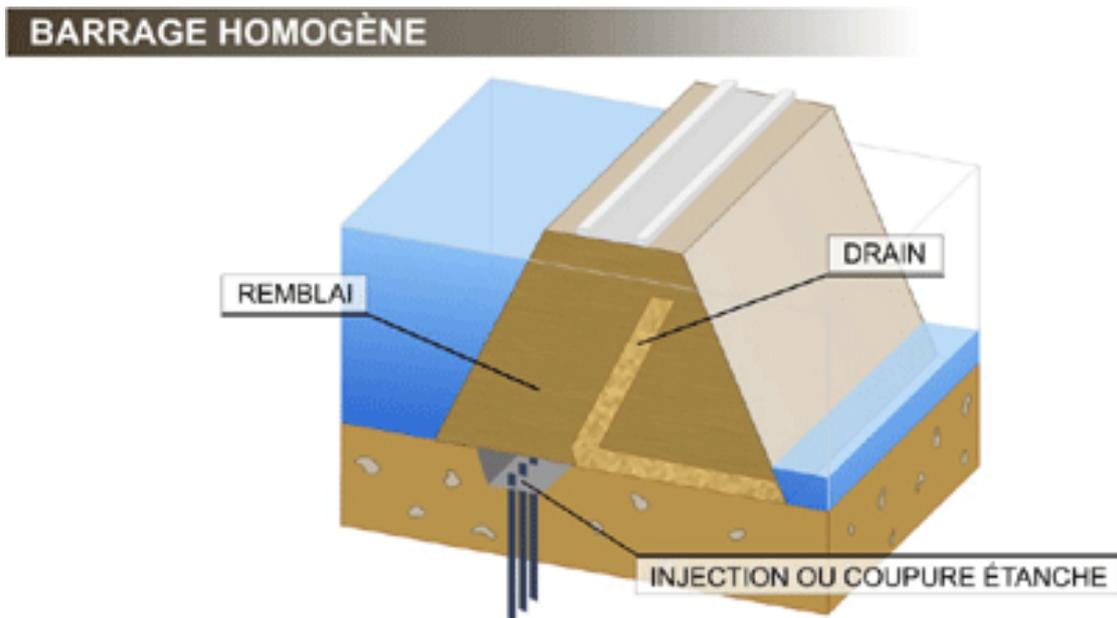


Figure I.7 : Digue homogène équipée de dispositifs de drainage

VIII.3.3 Prisme de drainage : Les prismes sont les éléments les plus utilisés pour le drainage. Dans sa partie centrale, ils sont construits en pierres et on place un filtre à l'envers au niveau de la zone de contact du remblai et sa fondation. Sa situation est particulière dans la partie du remblai qui passe par la voie de l'oued. Sa hauteur minimale est fonction du niveau d'eau dans le talus en aval et sa stabilité dépend des critères du concepteur. On peut calculer sa hauteur selon $0.2 H$ où H est la hauteur du barrage. La largeur du prisme dans sa partie supérieure (berme) doit être de 3 m pour qu'il puisse être placé et compacté avec les engins de compactage (Rodriguez et *al*, 2004).

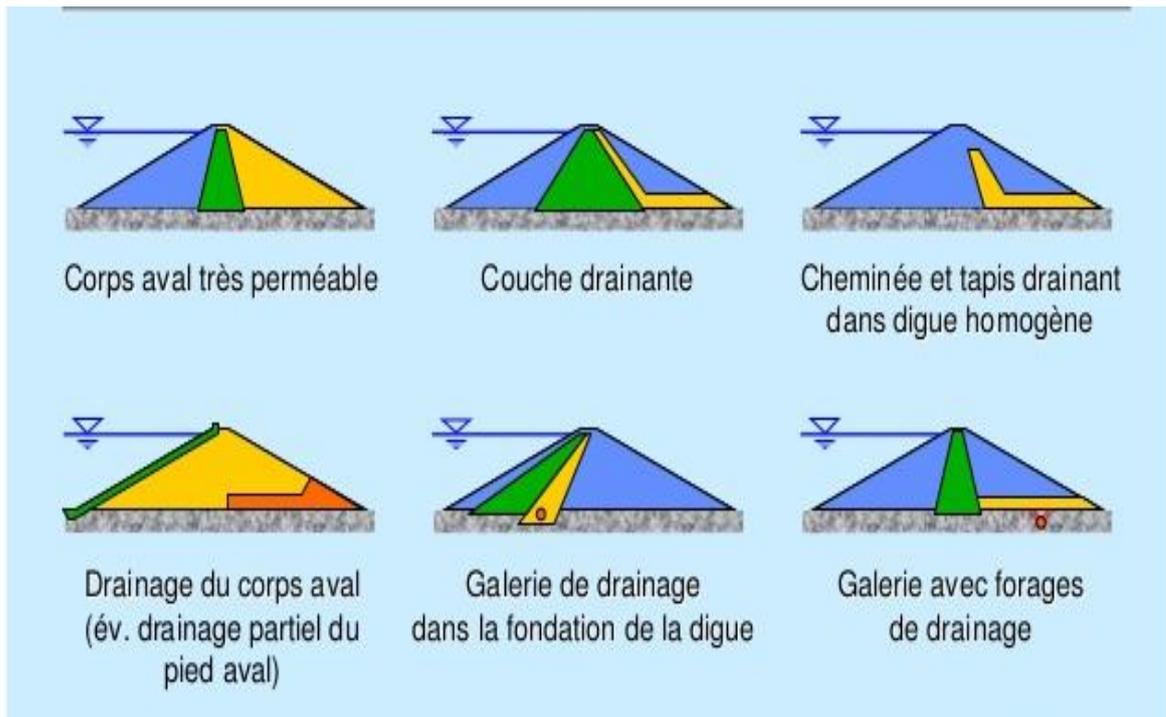


Figure I.8 : Types de drainage des digues en terre (Benkaci, 2014)

IX. Largeur en crête : elle doit assurer la sécurité suffisante contre tout risque de submersion par les vagues au cas où la revanche serait faible. Elle dépend de plusieurs facteurs notamment de la longueur minimum du chemin d'infiltration qui assure un gradient hydraulique suffisamment faible à travers le barrage lorsque le réservoir est plein (Rolley et *al* , 1977).

Généralement pour les petits barrages, la largeur en crête est égale ou supérieure à 3 m, et pour des digues de plus de 9 m de haut on adopte souvent comme largeur en crête 1/3 de la hauteur de la digue.

L'épaisseur de la crête est en général déterminée par l'une des formules suivantes où H_r est la hauteur du remblai en mètres :

a. Formule de Knappen (Rolley , 1977)

$$b = 1.65 * \sqrt{H_r} \quad (I.1)$$

b. Formule de Preece (Poste et *al*, 1953)

$$b = (1.1 * \sqrt{H_r}) + 1 \quad (I.2)$$

c. Formule Simplifié (Rolley , 1977)

$$b = 3.60 \times \sqrt[3]{H_r} - 3 \tag{I.3}$$

d. Formule pratique

$$b = \frac{5}{3} \times \sqrt{H_r} \tag{I.4}$$

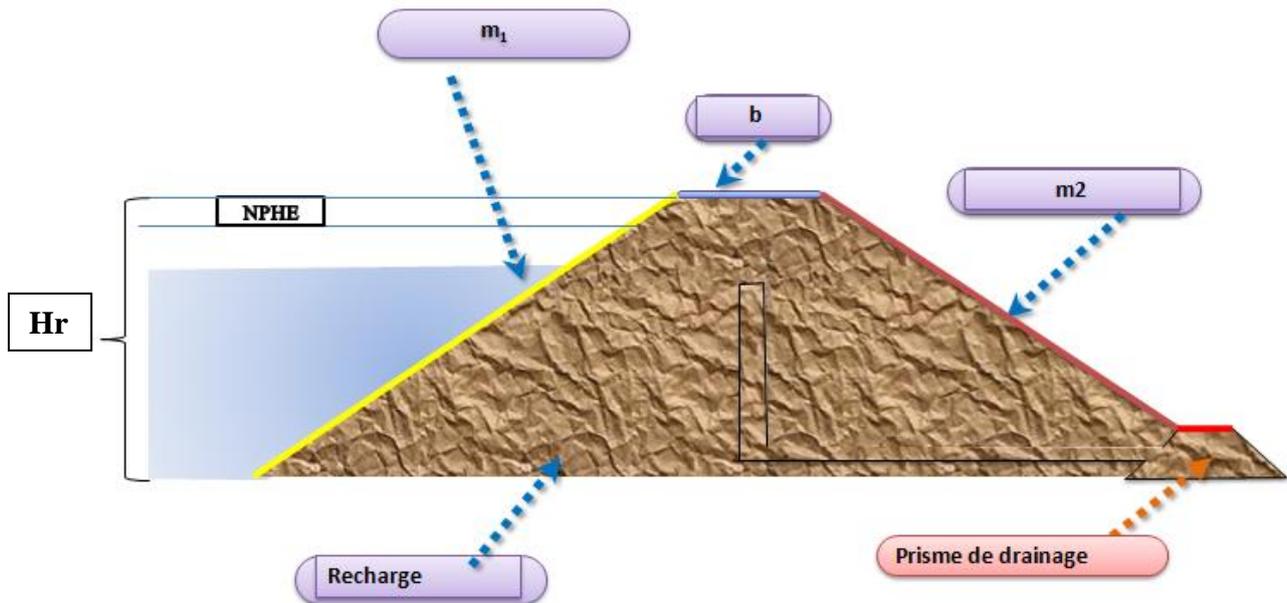


Figure I.9 : Profil général d'un barrages en terre

X.1 Construction de la crête du barrage

Si on prévoit le passage routier il faudra projeter une route automobile en remblai de largeur selon la catégorie de la route (tableau I.3).

Tableau I.3 : Dimension de la largeur de la crête en fonction des catégories de la route.

Paramètres	Catégorie de la route				
	I	II	III	IV	V
Largeur de la crête b (m)	>=27.5	15	12	12	8
Largeur de la partie de passage	>=15	7.5	7.0	7.0	4.5
Largeur du bas-coté , a1(m)	3.75	3.75	3.75	2.5	1.75

Source : (Belokonev, 1981)

On construit la route de section transversale avec une pente bilatérale ou unilatérale pour la dérivation des eaux de ruissèlement. On prévoit des barrières de garde route, des poteaux, des parapets, des murs bas pour la prévention de la descente du transport du remblai.

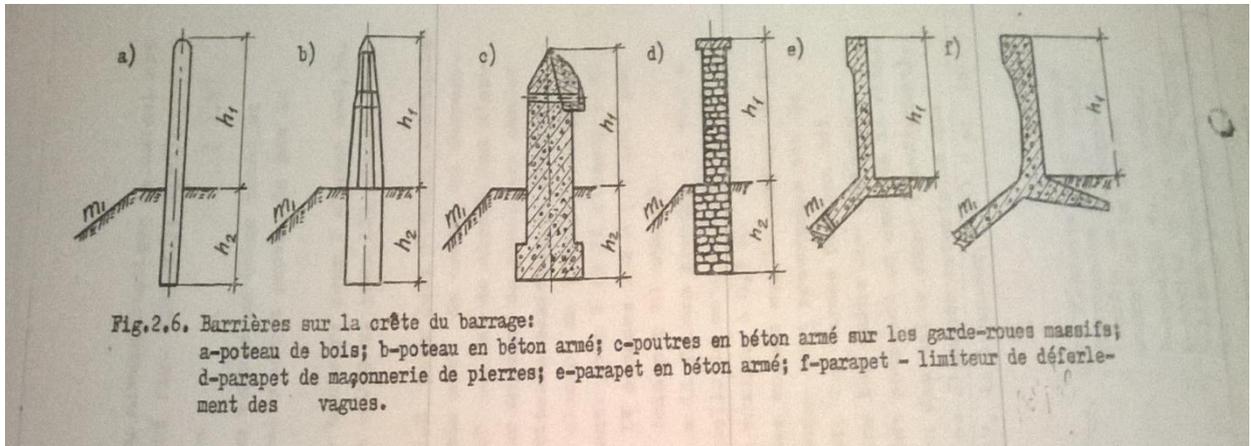


Figure I.10 : Exemples d’installations de construction de protection
 (Belokonev, 1981)

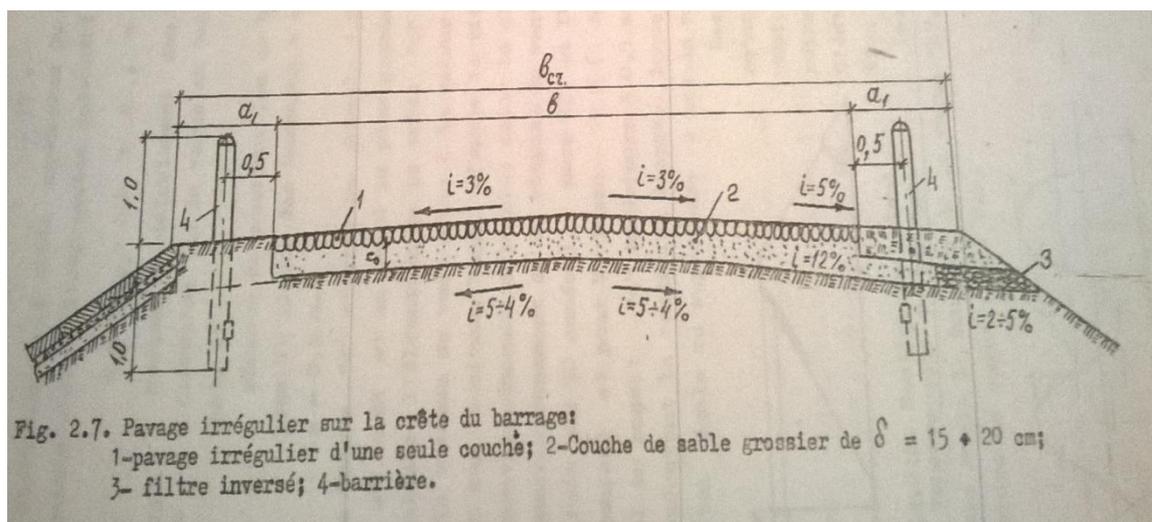


Figure I.11 : Exemple de la route sur la crête du barrage (Belokonev, 1981)

X.2 Protection de la crête

La crête doit être constituée d’une couche de matériaux insensibles à l’eau, méthodiquement compactés. Pour un barrage zoné, on s’attachera à prévoir une épaisseur de recouvrement suffisante du plafond du noyau par les matériaux de la couche de crête, l’objectif étant de circonscrire tout risque de dessiccation du sommet du noyau qui pourrait nuire à son étanchéité ultérieure (par apparition de fentes de retrait).

Il convient de profiler soigneusement la crête afin d'empêcher toute stagnation des eaux (infiltrations dans le corps du remblai) et d'éviter leur concentration. On préconise, en ce sens, d'adopter un devers amont uniforme de 3 à 4% qui permet d'évacuer les eaux de pluie vers le parement amont. A défaut, on retient un profil en toit avec des pentes régulières de 3 à 4% vers l'amont et l'aval.

En cas de tassement localisé du remblai ou de formation d'ornières, il faut procéder à une remise en forme rapide du profile de la crête. L'adjonction d'une murette de bord de crête peut améliorer la bonne tenue de cette dernière : étalement de la lame d'eau ruisselant depuis la crête, protection (provisoire) de la crête contre une éventuelle érosion régressive du talus aval (Durand et *als*, 1999).



CHAPITRE II

I. Présentation du nord Algérien

Introduction : dans la première partie de ce chapitre, on va donner un aperçu général sur la zone d'étude du Nord Algérien de point de vue climatique, géologique et hydrologique.

I.1 Situation géographique

Le Nord de l'Algérie est délimité par :

- au sud, l'Atlas saharien, une chaîne de montagnes d'origine alpine.
- au centre, des plates-formes comme la Meseta oranaise à l'ouest et le môle d'Ain Regada à l'est.
- dans la partie septentrionale, l'Atlas tellien est une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Des bassins néogènes tardifs comme le Chélif et le Hodna se sont installés sur ces nappes.

Le relief du Nord est constitué de deux grands ensembles :

I.1.1 Tell et hauts plateaux

a. Atlas Tellien

C'est une étroite bande côtière de 1 200 km de long et de 100 à 200 km de large. Elle est délimitée au Sud par une chaîne de montagne, plus ou moins parallèle au littoral, et qui s'étend de la région de Tlemcen à l'Ouest, à la frontière tunisienne à l'Est.

Cet ensemble est constitué de plaines fertiles (comme celle de la Mitidja au sud d'Alger) où se concentrent la majorité de la population algérienne, de vallées et d'une succession de monts (l'Atlas tellien) qui dépassent régulièrement les 2 000 m à l'Est, notamment en Kabylie où on trouve les sommets du massif du Djurdjura.

b. Hauts plateaux

Après avoir franchi l'Atlas tellien, on entre dans un grand ensemble de plaines et de hauts plateaux semi-arides qui courent en diagonale depuis la frontière marocaine jusqu'au nord-est de l'Algérie. Ces steppes sont délimitées au Sud par une barrière montagneuse (l'Atlas saharien) qui n'est en fait que le prolongement en Algérie du Haut-Atlas marocain. D'Ouest en Est se succèdent les monts des Ksour, des Ouled-Naïl, des Zibans et des Aurès qui culminent à plus de 2 300 m.

I.2 Climat

L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type **méditerranéen** et englobe principalement le littoral (zone 1 sur la carte). Entre l'atlas tellien et l'atlas saharien où culminent les hauts plateaux, le climat est de type **continental** avec des étés chauds et sec et des hivers humides et frais (zone 2).

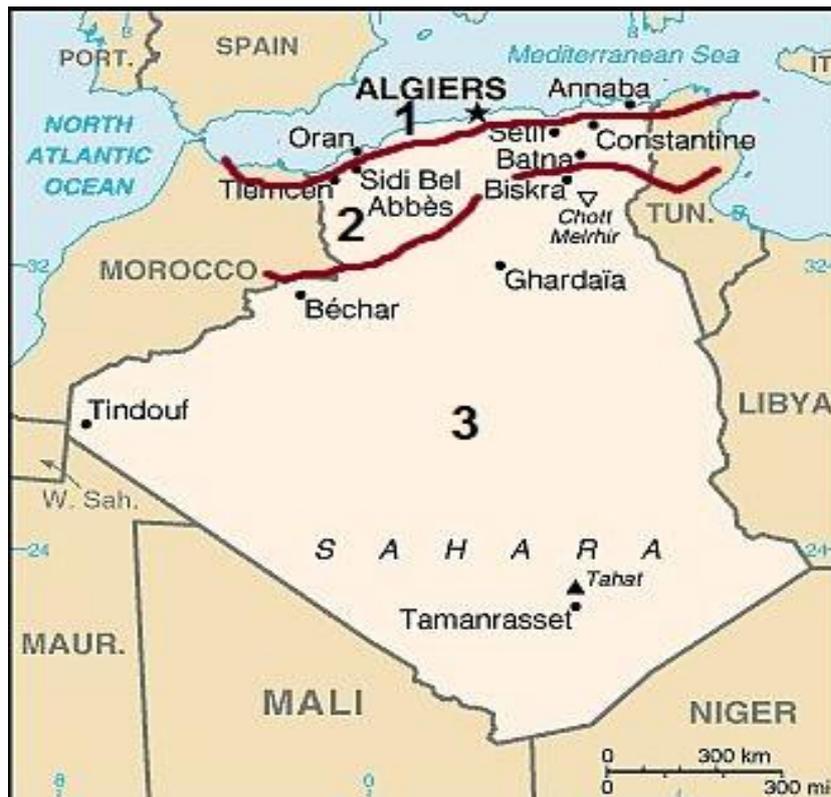


Figure II.1: Les zones climatiques de l'Algérie (climatsetvoyages.com)

I.2.1 ZONE 1

Sur la côte et dans l'**Atlas Tellien** : les gelées sont très rares en hiver et les étés sont chauds. Les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. (Relever les quantités qui tombent en moyenne à Alger.) Ces pluies sont plus abondantes à l'Ouest qu'à l'Est : la Kabylie, assez élevée, peu découpée, retient mieux l'humidité. Cependant l'influence du désert se fait sentir jusque sur la côte par l'action du «*sirocco* », vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord. Ce vent chargé de sable élève la température et dessèche la végétation.

Les températures sur la côte sont uniformes: la moyenne quotidienne en janvier est d'environ 11/12 degrés, celle d'août (qui est quoique légèrement le mois le plus chaud) de 19/30 degrés.

I.2.2 ZONE 2

Sur les **Hautes Plaines** et dans l'Atlas Saharien. C'est de cette région que l'on peut dire que « l'Algérie est un pays froid où le soleil est chaud ». La température descend souvent au-dessous de 0 degré en hiver notamment dans le Tell oriental et dans les hautes plaines constantinoises. En été, elle dépasse 30 et même 40 degrés. Les pluies sont rares, sur les Hautes Plaines d'Oranie moins élevées et moins accidentées que celles du Constantinois ou les pluies sont abondantes. Les vents humides sont, en effet, arrêtés, à l'Ouest, par les hauteurs de l'Atlas Tellien.

I.3 Rivières

Les rivières, qui descendent de l'Atlas Tellien vers la mer, sont courtes et ont une forte pente. Le manque d'eau, aggravé par la rareté des forêts, les transforme en torrents : ce sont les «oueds». Ces oueds roulent beaucoup d'eau, mélangée de terre, au moment des crues, dues aux pluies. Pendant la majeure partie de l'année ce ne sont que des filets d'eau, qui coulent péniblement, au milieu d'un lit de cailloux. Telles sont la Tafna, la Macta et ses deux affluents, le Sig et l'Habra, l'Isser, la Soummam, la Seybouse. Le Chélif, formé de deux cours d'eau venant l'un de l'Ouarsenis et l'autre du Djebel-Amour, garde aussi l'allure d'un torrent, malgré ses 600 kilomètres de longueur.

Les eaux coulant dans les Hautes Plaines et sur les pentes de l'Atlas Saharien ne parviennent pas à la mer. Elles s'accumulent dans des dépressions où elles forment des chotts salés (Tarraire et *al*).

I.4 Hydrographie

Au nord de la ligne de crête de l'Atlas, le nord algérien, couvre d'ouest en est, 4 grandes régions (bassins) hydrographiques :

Région1 : Oranais-Chott chergui (bassins hydrographiques 16, 04, 11,08)

Région2 : Chellif-Zahrez (bassins hydrographiques 01,17 et la côte de Ténès 02A)

Région 3 : Algérois-Soummam-Hodna (bassins hydrographiques 02B,09,05et 15)

Région4 : Constantinois-Seybouse-Mellegue (bassins hydrographiques 03, 07, 10,14 et 12)

II. Données de base

II.1 Introduction : Toute étude d'optimisation a besoin d'un ensemble de données de départ. Dans cette deuxième partie, on fera une présentation générale des retenues qui vont être prises en compte dans nos calculs d'optimisation.

Un échantillon de 17 ouvrages (retenues collinaires, petits et moyens barrages) situés dans les wilayas présentées sur la figure II.2, dont les hauteurs varient de 6 à 28 m ont fait l'objet de notre étude. Les caractéristiques de chaque retenues sont résumées dans le tableau II.1.



Figure II.2 : Carte de situation des barrages et les retenues de l'échantillon

Tableau II.1 : Principales caractéristiques de l'échantillon (Benlaoukli et Touaibia, 2004).

Nom du barrage	Localité	Type de barrage	Hauteur du barrage Hr (m)
Kolla	A.Temouchent	Homogène	19.6
Hammam	A.Temouchent	Zoné	24.3
Kreireche	Djelfa	Zoné	13.6
Zoubia	Djelfa	Zoné	15.5
Fezara	Annaba	Homogène	10.2
Ain Sfa	Souk Ahras	Zoné	16.6
Mdaourouch	Souk Ahras	Zoné	15.7
Khellil	B.Bou Arreridj	Zoné	16.8
Lemroudj	Setif	Homogène	13.5
Megrounet	Tiaret	Homogène	9.0
Saf Saf	Mascara	Zoné	28.0
Chouiret	Bouira	Homogène	15.0
O.Hamla	Oum Bouaghi	Homogène	6.0
Taoura	Souk Ahras	Homogène	14.8
El Anacer	Setif	Zoné	19.2
Beni Hammad	Tiaret	Zoné	12.5
Boutigaoun	Ouargla	Zoné	14

Conclusion

Cet échantillon nous servira pour une étude comparative, en utilisant quatre formules connues reliant la largeur en crête à la hauteur du remblai, à savoir : **Knappen**, **Preece**, **Simplifiée**, **Pratique** et trouver un consensus entre elles.



CHAPITRE III

Introduction

Dans cette partie on va établir différents modèles, sur la base des quatre formules empiriques fondamentales de l'estimation de la largeur en crête des barrages en terre. Ces modèles seront tirées à l'aide de logiciel TABLE CURVE et Excel sous forme d'équations mathématiques, où la variable X représente la hauteur de la retenue et Y la largeur en crête.

I. Présentation des paramètres servant à l'identification de la formule optimale

I.1 Coefficient de détermination (R^2) : Le coefficient de détermination (R^2) mesure l'adéquation entre un modèle issu d'une régression linéaire simple ou multiple et les données observées qui ont permis de l'établir.

Soit (y_i) une valeur prise par une observation que l'on cherche à expliquer. Cette valeur (y_i) peut être décomposée en deux parties : une part expliquée par le modèle et une part résiduelle due à des erreurs de mesure, par exemple.

La dispersion de l'ensemble des observations se décompose donc en variance expliquée par la régression et en variance résiduelle (MSE), inexpliquée. La variance totale est la somme des deux.

I.2 Erreur standard : elle indique les fluctuations des mesures dans un échantillon de données. C'est l'écart-type divisé par la racine carrée de la taille de l'échantillon de données. L'écart-type indique la dispersion des données de l'échantillon à partir de la moyenne de l'échantillon. L'erreur standard est inversement proportionnelle à la taille de l'échantillon .

I.3.1 Etapes à suivre :

1. Calculez la moyenne de l'échantillon de données. La moyenne est celle des valeurs de l'échantillon.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^N X}{N} \quad (\text{III.2})$$

2. Soustrayez la moyenne de l'échantillon de chaque mesure et élevez la valeur obtenue au carré.

$$(X_i - \bar{X})^2 \quad (\text{III.3})$$

3. Trouvez la déviation totale des mesures par rapport à la moyenne de l'échantillon.

$$\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2 \quad (\text{III.4})$$

4. Trouvez l'écart-type.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (\text{III.5})$$

5. Calculez l'erreur standard.

$$S_{err} = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (\text{III.6})$$

II. Calcul des largeurs en crête des barrages de l'échantillon par les différentes formules empiriques

Un échantillon de 17 ouvrages (retenues collinaires, petits et moyens barrages), d'une hauteur variant de 6 à 28 m ont fait l'objet de notre étude. Et afin de dégager des équations qui donnent des dimensions de la largeur en crête optimale, on a divisé notre échantillon en deux, 70% pour l'élaboration du chaque modèle, dans notre cas ça sera douze barrages, et les cinq barrages restants vont servir à la validation du modèle choisi.

Tableau III.1 : Largeurs en crête des barrages de l'échantillon

Nom du barrage	Hr (m)	Knappen	Preece	Pratique	Simplifiée	Moyenne extrême	valeur retenue
O.Hamla	6	4.04	3.69	4.08	3.54	3.89	4
Fezara	10.2	5.27	4.51	5.32	4.81	4.92	5
Beni Hammad	12.5	5.83	4.89	5.89	5.35	5.39	6
Lemroudj	13.5	6.06	5.04	6.12	5.57	5.58	6
Boutigaoun	14	6.17	5.12	6.24	5.68	5.68	6
Chouiret	15	6.39	5.26	6.45	5.88	5.86	6
Zoubia	15.5	6.50	5.33	6.56	5.98	5.95	7
Mdaourouch	15.7	6.54	5.36	6.60	6.01	5.98	7
Ain Sfa	16.6	6.72	5.48	6.79	6.18	6.14	7
Khellil	16.8	6.76	5.51	6.83	6.22	6.17	7
Kolla	19.6	7.30	5.87	7.38	6.71	6.62	7
Saf Saf	28	8.73	6.82	8.82	7.93	7.82	9

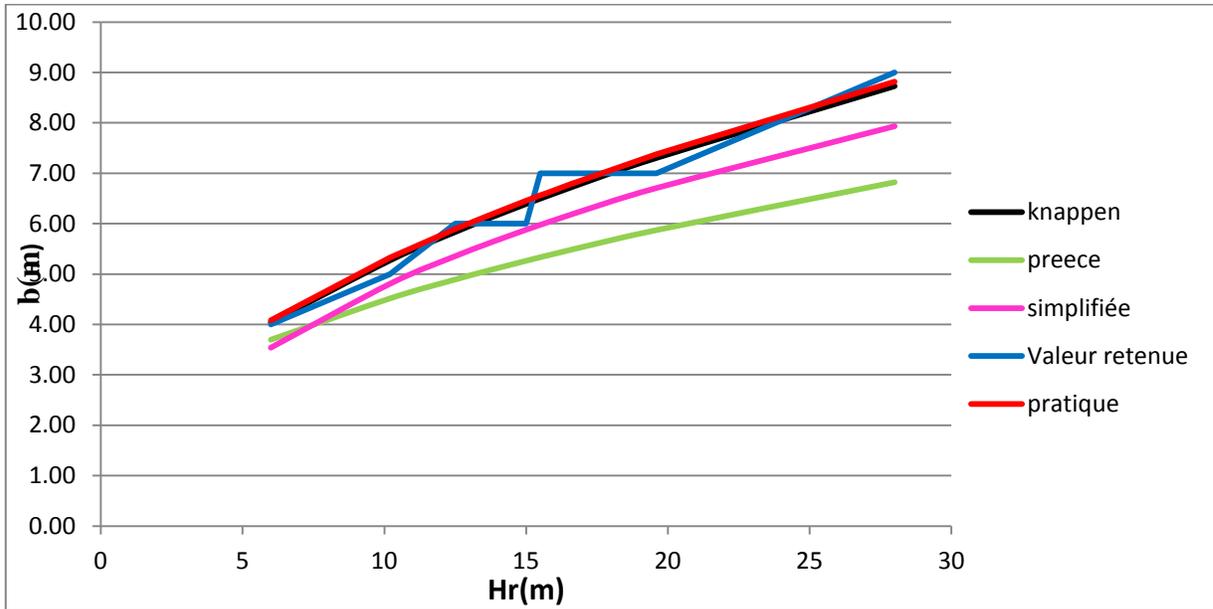


Figure III.1 : Courbe $b=f(H_r)$ de l'échantillon selon les différentes formules

A partir de la **figure III.1** on déduit que les deux formules qui donnent des largeurs en crête extrêmes maximales et minimales sont respectivement les formules **Pratique** et **Preece**, ce qui nous permet de tracer la courbe moyenne qui devra être exploitée comme donnée de base pour l'élaboration des différents modèles sur Table Curve et Excel .

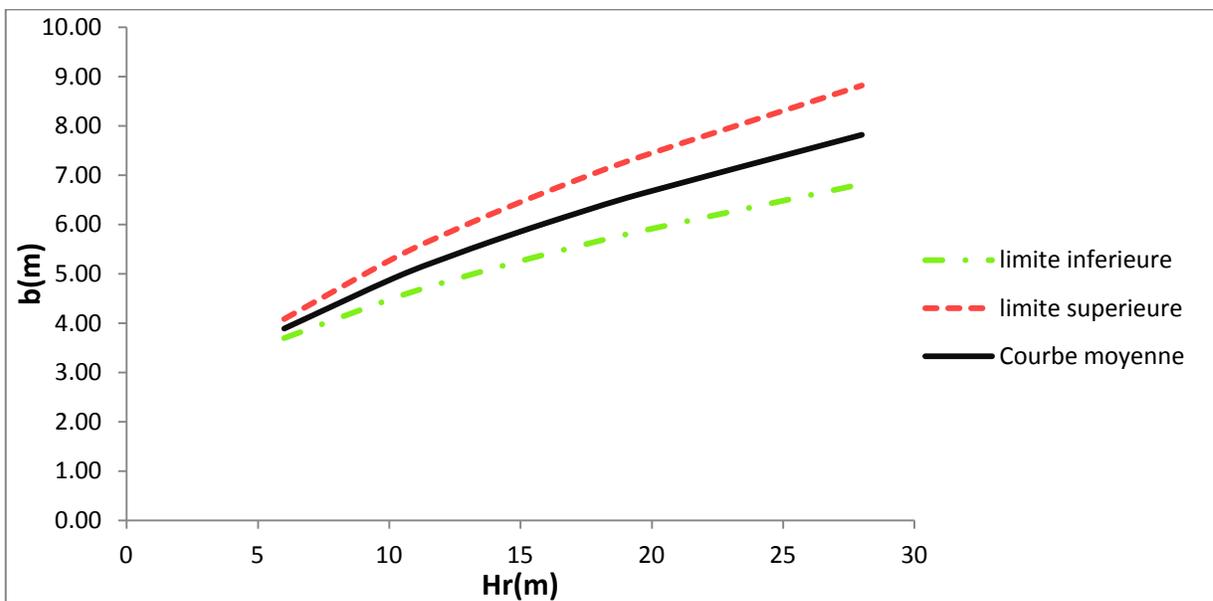


Figure III.2 : Limites de la plage des largeurs en crête

III. Elaboration des modèles par Excel : Des modèles mathématiques sont obtenus à partir des tendances sur Excel : exponentiel, puissance, polynomiale, et linéaire, donnant des coefficients de détermination R^2 significatifs expliquant 92% à 99% de la variation totale.

III.1 Exponentielle : Une courbe de tendance exponentielle est utile lorsque les valeurs des données augmentent ou diminuent plus rapidement. Pour des données contenant des valeurs nulles ou négatives, on ne peut pas opter à ce type de tendance.

III.2 Puissance : Une courbe de tendance puissance est adaptée aux ensembles de données qui comparent les mesures qui augmentent à un taux spécifique.

III.3 Polynomiale : Une courbe de tendance polynomiale est généralement utilisée pour représenter des fluctuations de données. L'ordre de la courbe polynomiale peut être déterminé par le nombre de fluctuations dans les données ou le nombre de courbures (bosses et creux) de la courbe. Une courbe polynomiale d'ordre 2 possède une seule bosse ou un seul creux.

III.4 Linéaire : Ce type de courbe de tendance est utile pour créer une ligne droite la mieux adaptée à l'ensemble de données. La courbe de tendance linéaire représente généralement une augmentation ou diminution à un rythme constant.

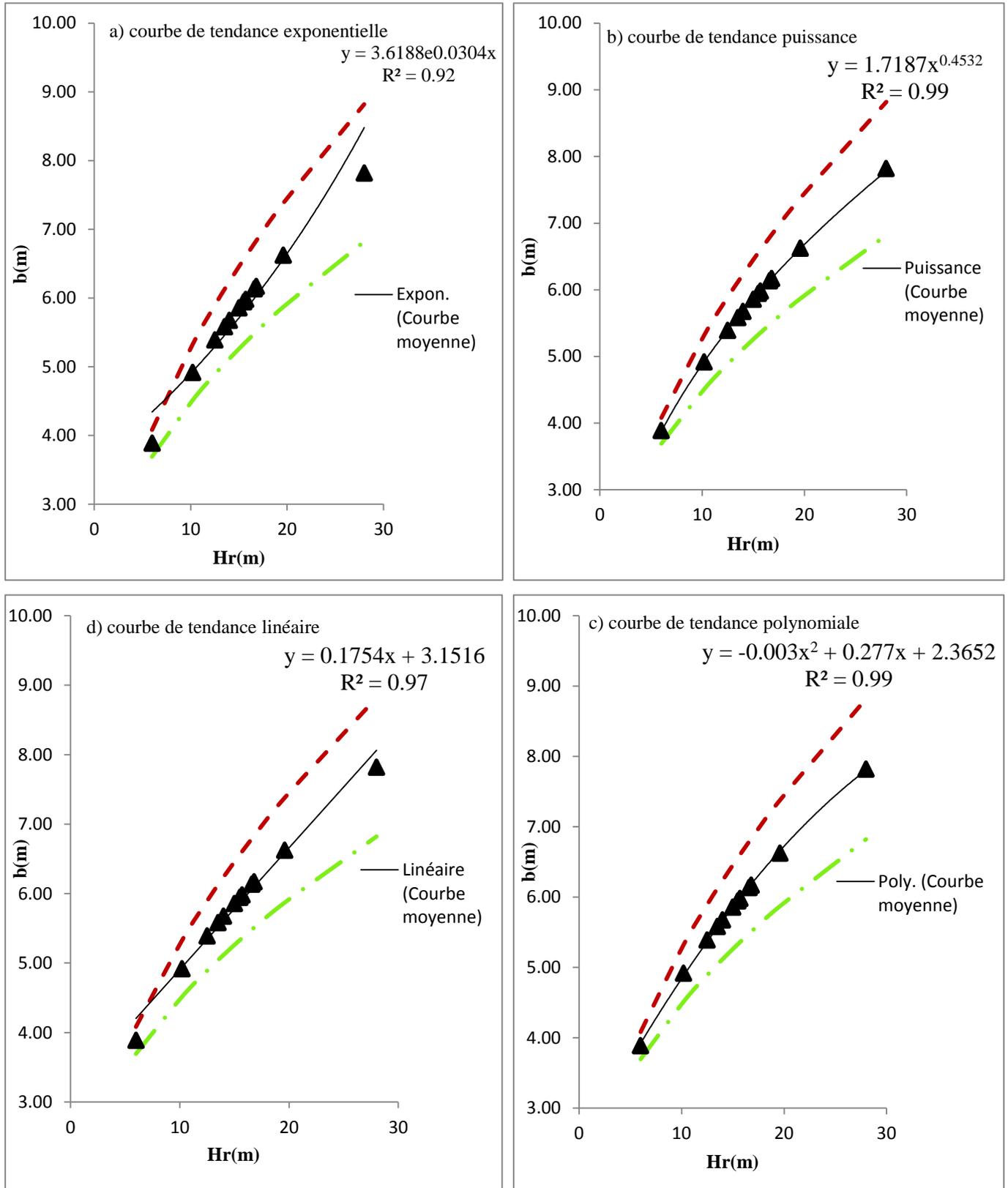


Figure III.3 : Courbes de tendance et leurs équations.

IV. Elaboration des modèles par TableCurve à partir de la courbe moyenne

IV.1 TableCurve 2D : est un progiciel qui permet aux ingénieurs et aux scientifiques d'automatiser le processus d'ajustement des courbes linéaire et non linéaire et, en une seule étape de traitement, adapte et classe instantanément plus de 3 600 équations fréquemment rencontrées permettant aux utilisateurs de trouver facilement le modèle qui offre l'ajustement idéal.

IV.2 Utilité

- Ajuster les équations définies par l'utilisateur.
- Modéliser précisément des ensembles de données exotiques.
- Revoir graphiquement les résultats d'ajustement de courbe.
- Extrapoler avec précision tout ensemble de données.
- Gérer efficacement les ensembles de données complexes.
- Comparer des modèles à l'aide d'informations numériques significatives.
- Trouvez rapidement les meilleures équations qui décrivent les données.

IV.3 Première étape : Tracer la courbe moyenne sur TableCurve ($b=f(Hr)$)

Figure III.4 : Courbe de détermination de la largeur en crête (Courbe moyenne)

IV.4 Deuxième étape : Choisir les différents modèles (équations) donnant une largeur en crête optimale, le choix est basé sur les facteurs d'erreur (R^2 , erreur standard)

a. Equation simple $Y = a + b x^{0.5}$



Figure III.5 : Ajustement des données par équation simple

b. Equation polynomiale $Y = a + b (\ln x)^2 + c \ln x$



Figure III.6 : Ajustement des données par équation polynomiale

c. Equation rationnelle

$$Y = \frac{(a + c x)}{(1 + b x + d x^2)}$$

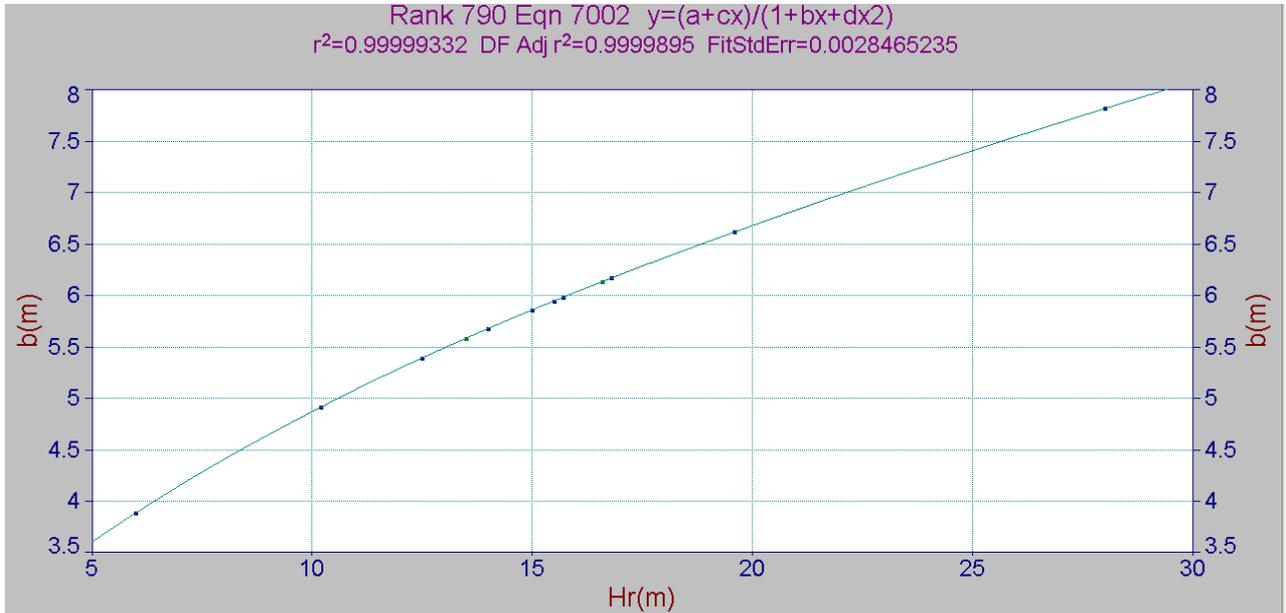


Figure III.7 : Ajustement des données par équation rationnelle

d) Equation première dérivée $Y = a + b(\ln x)^2$

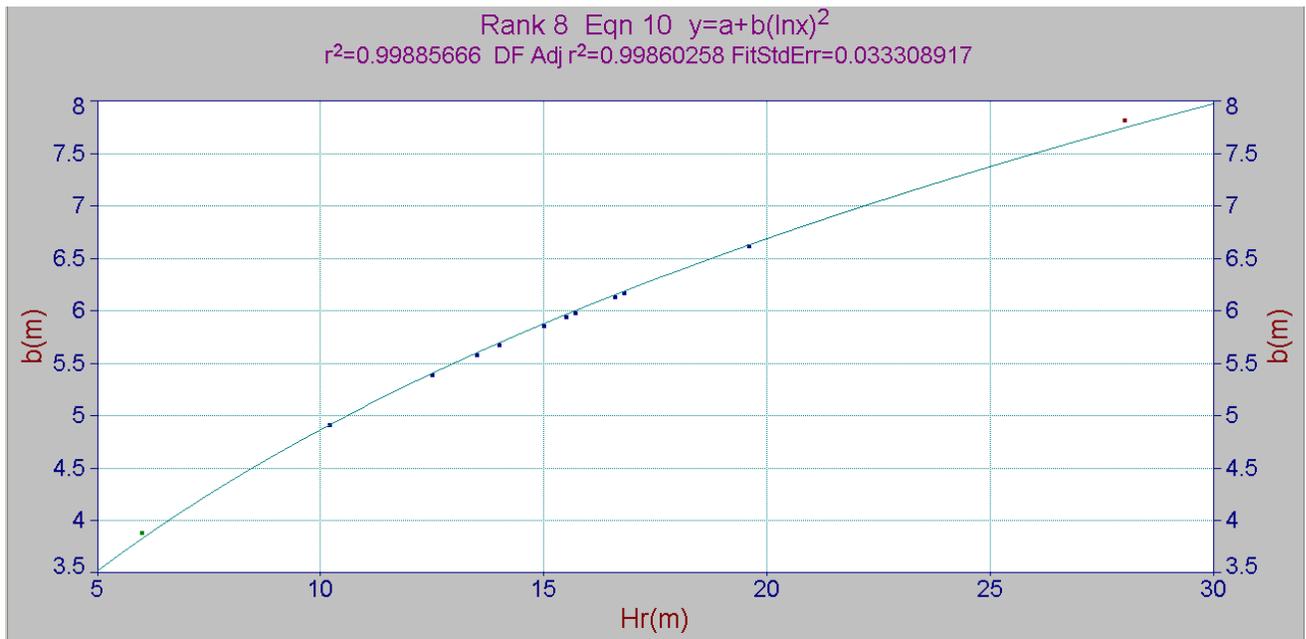


Figure III.8 : Ajustement des données par équation première dérivée

Tableau III.2 : Récapitulatif des des paramètres des équations obtenues à l'aide de TbleCurve

Equation	Paramètres de l'équation				R ²	Erreur standard
	a	b	c	d		
Simple	0.5041	1.3825			0.99	0.20%
Polynomiale	3.1440	0.6361	- 0.7196		0.99	0.90%
Rationnelle	1.7983	0.0504	0.5371	-0.00033	0.99	0.28%
Première dérivée	2.2371	0.4963			0.99	3.33%



CHAPITRE IV

Introduction

Ce chapitre aura pour objectif la présentation des résultats obtenus préalablement, et de procéder à une analyse statistique et comparative dans le but de faire ressortir un modèle performant, d'une formulation mathématique optimisant la dimension de la largeur en crête des petits barrages et retenues collinaires.

I. Récapitulatif et interprétation des résultats

I.1 Formalisations mathématiques des courbes de tendance élaborées par le logiciel Excel

A partir de la table de Fisher le coefficient de détermination critique (R^2 critique) est : 0.50 pour ($\alpha = 0.05$ et degré de liberté pour notre cas $d.d = N-1 = 15-1 = 14$)

- | | | |
|----|------------------------------------|--|
| a. | $b = 3.6188e^{0.0304Hr}$ | $(R^2 = 0.92 > R^2_{\text{critique}})$ |
| b. | $b = 1.7187 Hr^{0.4532}$ | $(R^2 = 0.99 > R^2_{\text{critique}})$ |
| c. | $b = 0.003Hr^2 + 0.277Hr + 2.3652$ | $(R^2 = 0.99 > R^2_{\text{critique}})$ |
| d. | $b = 0.1754Hr + 3.1516$ | $(R^2 = 0.97 > R^2_{\text{critique}})$ |

I.2 Interprétation

Ainsi que nous le voyons, cinq formulations mathématiques sont extraites à partir des courbes tendances: exponentiel, puissance, polynomiale, linéaire, et logarithmique. Le critère le plus connu utilisé sur Excel est le coefficient de détermination R^2 , qui correspond à la part de variation expliquée par le modèle de régression. C'est une grandeur qui varie entre 0 et 1. Plus sa valeur est proche de 1, plus la qualité d'ajustement du modèle est bonne.

Pour notre cas de calcul toutes les formulations sont adéquates, car leurs coefficients de détermination, sont supérieurs au coefficient de détermination critique ($R^2 > R^2_{\text{critique}}$).

I.3 Formalisations mathématiques des courbes de tendance élaborées par TableCurve

Tableau IV.1 : Relations des modèles élaborés par le logiciel TableCurve

Equations	R ²	R ² (ajusté)	Erreur standard
$b = 0.50 + 1.38Hr^{0.5}$	0.99 > R ² critique	0.9999	0.27%
$b = 3.14 + 0.64(\ln(Hr))^2 - 0.72\ln x$	0.99 > R ² critique	0.9998	0.94%
$b = \frac{1.80 + 0.541Hr}{1 + 0.05Hr - 0.00033Hr^2}$	0.99 > R ² critique	0.9999	0.28%
$b = 2.24 + 0.50(\ln(Hr))^2$	0.99 > R ² critique	0.9986	3.33%

I.4 Interprétation

Ce logiciel nous a fourni une multitude d'équations possibles, et en s'appuyant sur les deux paramètres (R², R² critique, et l'erreur standard), on a pu sélectionner les quatre modèles qui s'ajustent mieux à nos données, et qui optimisent la largeur en crête, à partir du (tableau IV.1) on constate que R² > R²critique et égale presque 1, ce qui indique que tous les modèles cernés sont performants et adéquats.

II. Analyse comparative entre les deux modèles retenus : Sur la lumière des interprétations précédentes, les relations fonctionnelles obtenues par le logiciel **Excel** sont (exponentielle, puissance, polynomiale, linéaire), et par le logiciel **TableCurve** (simple, polynomiale, rationnelle, et première dérivée).

La sélection de la relation la plus optimale est basée sur le critère de l'erreur quadratique moyenne, calculée pour chaque modèle (tableaux présentés dans l'ANNEXE).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (fi - yi)^2 \quad (IV.1)$$

N = La taille de l'échantillon

fi = La valeur donnée par le modèle

yi = La valeur observée

III. Validation du modèle choisi

Tableau IV.2 : Echantillon de la validation

Nom du barrage	Hr (m)	Knappen	Preece	Pratique	Simplifiée	Moyenne extrême	valeur retenue
Megrounet	9	4.95	4.30	5.00	4.49	4.65	5
Kreireche	13.6	6.08	5.06	6.15	5.59	5.60	6
Taoura	14.8	6.35	5.23	6.41	5.84	5.82	6
El Anacer	19.2	7.23	5.82	7.30	6.64	6.56	7
Hammam	24.3	8.13	6.42	8.22	7.43	7.32	8

Tableau IV.3 : Validation du modèle choisi

Nom du barrage	Hr (m)	Valeur observée	valeur du modele	$(f_i - y_i)^2$
Megrounet	9	4.65	4.65	3E-06
Kreireche	13.6	5.60	5.60	1E-06
Taoura	14.8	5.82	5.82	8E-07
El Anacer	19.2	6.56	6.56	2E-07
Hammam	24.3	7.32	7.32	6E-11
			MSE	0.0000

Conclusion

A travers les interprétations, nous avons pu distinguer le modèle le plus adéquat à notre recherche, ainsi la validation de celui-là a bien assuré le bon choix vu l'écart trop faible entre les données filtrées (qui ne sont pas utilisées dans l'élaboration du modèle), et les résultats obtenus après l'application des règles du modèle.

Cette approche a permis de mettre en évidence une relation fonctionnelle de type Simple, donnant une largeur en crête optimale : $\mathbf{b = 0.50 + 1.38 Hr^{0.5}}$

A l'aide du graphe (Figure IV.2), on peut également définir la largeur en crête optimale. Connaissant la hauteur totale du remblai, partant de l'abscisse et se projetant verticalement jusqu'à l'intersection de la courbe, pour aller ensuite horizontalement vers l'ordonnée, et obtenir de ce fait la largeur en crête optimale. Pour des raisons pratiques, et constructives, on doit arrondir la valeur de « b » vers le chiffre entier le plus proche.



Figure IV.2 : Courbe de détermination de la largeur en crete

Conclusion générale

Les barrages sont parmi les constructions humaine les plus importantes, que ce soit sur le coté réalisation avec une conception très sensible pour assurer sa sécurité vis-a-vis la rupture, ou sur le coté économique vu leurs coût colossal, ce qui implique des exigences particulières dans leurs dimensionnement.

Notre travail s'est intéressé sur la dimension du couronnement des petits barrages, et retenues collinaires, estimée par les expressions empiriques présentent dans la littérature.

Ces formules donnent des résultats avec une grande disparité, mettant les responsables impliqués dans le domaine en désaccord, le plus souvent les concepteurs optent pour la valeur maximale obtenue afin d'éviter tous risque sur l'ouvrage, sans prendre en compte l'aspect économique.

Dans le but d'optimiser cette dimension, et respecter tous les aspects, une approche consensuelle est élaborée, à partir d'un échantillon de barrages et en se basant sur les formules empiriques existantes, à travers laquelle on a pu élaborer différents modèles permettant d'estimer la largeur en crête des barrages optimale.

En s'appuyant sur une multitude de critères et paramètres significatifs, on a opté pour le modèle le plus performant, en mettant en évidence une relation fonctionnelle donnée par : $b = 0.50 + 1.38Hr^{0.5}$, avec une courbe d'estimation de la largeur en crête optimale.

Pour conclure ce travail est très utile en ce qui concerne la recherche, et constituera un outil d'aide quant à l'estimation de la largeur du couronnement des barrages.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alberge.J, Nasri.S , Boufaroua.M, Droubi.A , Merzouk.A, 2004.** *PETITS BARRAGES ET LACS COLLINAIRES, AMENAGEMENTS ORIGINAUX DE CONSERVATION DES EAUX ET DE PROTECTION DES INFRASTRUCTURES AVALES: EXEMPLES DES PETITS BARRAGES EN AFRIQUE DU NORD ET AU PROCHE-ORIENT* . sécheresse n°1 vol. 15 , pp 78-86.
- Anton.S et Pougatsch.H, 2011.** *LES BARRAGES- DU PROJET A LA MISE EN SERVICE*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), école polytechnique fédérale de Lausanne, 714p.
- Baghzim.H. 2015.** *ETUDE NUMERIQUE DE LA CONCEPTION DES BARRAGES EN TERRE* .Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, 120p.
- Belokonev.E, 1981.** *BARRAGES EN MATERIAUX LOCAUX*. Institut d'hydrotechnique et de bonification , TIPASA ,1981. 261 p.
- Benkaci.S , 2014.** *CHAP-6- BARRAGES EN REMBLAIS*. UMMTO (Tizi-Ouzou),103p
- Benlaoukli.B et Touaïbia.B, 2004.** *L'EXPERIENCE ALGERIENNE DANS LE DOMAINE DES ETUDES DE RETENUES COLLINAIRES*. Revue des sciences de l'eau , Journal of Water Science, vol. 17, n° 2, pp. 153-162.
- Cherif.S.M et Bouhassane.M.C, 2013.** *ETUDE COMPARATIVE DES BARRAGES A NOYAU CENTRAL*. Mémoire de Master. Tlemcen : université abou bekr belkaid, faculté de technologie, 93p.
- Delliou. P, 2003.** *LES BARRAGES : CONCEPTION ET MAINTENANCE*. Presses universitaires de Lyon, Vaulx-en-Velin, vol. 1, 270 p.
- Durand.J , Meriaux.P et Royet.P , 1999.** *TECHNIQUE DES PETITS BARRAGES EN AFRIQUE SAHELIENNE ET EQUATORIALE*. Cemagref –ISBN 2- 85362-511-7/1999.
- Femmam.H et Benmebarek.N, 2014.** *EFFETS DES DRAINS SUR LA STABILITE DES BARRAGES EN TERRE*. Courrier du Savoir, 11p.
- Heragmi.A , 2009.** *CHOIX ET CONCEPTION DE L'ORGANE DE L'ETANCHEITE DES BARRAGES EN TERRE BARRAGE EL-AGREM JIJEL*. Diplôme de magister. Annaba, 94p.

Messaid.B, 2009. *ETUDE DE LA POSITION EFFICACE DES DRAINS DANS LES BARRAGES EN TERRE.* Université de Batna, pp. 34-35, vol. 263.

Poste.G et Londe.P , 1953 . *LES BARRAGES EN TERRE COMPACTEE : PRATIQUES AMERICAINES.* Gauthier-Villars , paris, 185p.

Rodriguez.B.A et Rosa.S, 2004. *PROCEDURES METHODOLOGIQUES POUR L'EXECUTION DES ETUDES.* Manuel de conception et projets typiques. La Rosa, Santos , 28 p.

Rolley.R et als , 1977. *TECHNIQUE DES BARRAGES EN AMENAGEMENT RURAL.* Edition Eyrolles. Paris : Ministère de l'agriculture, vol. 1, 325 p.

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

<http://theses.univ-lyon2.fr/documents/getpart.php?id=lyon2.2008.pintomartins_d&part=154362>, 4mars2018

< <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie>>, 5 juin 2018

<http://www.jybaudot.fr/Correl_regress/coeffdeterm.html>, 19 mai 2018

<<https://www.investopedia.com/terms/s/standard-error.asp>>, 4 juin 2018

<http://www.systat.de/TT201509/UDFs_TC-EN.pdf>, 23 mai 2018

< <http://www.nouara-algerie.com/article-programmes-de-realisation-de-plusieurs-barrages-et-retenues-collinaires-44503797.html>> 2 juillet 2018

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE I : Calcul de l'erreur quadratique moyenne pour chaque modèle

Tableau I : Validation du modèle ($b = 1.72 \text{ Hr}^{0.45}$)

Nom du barrage	Hr (m)	Valeur observée	valeur du modele	$(\hat{f}_i - y_i)^2$
Megrounet	9.0000	4.6500	4.6522	0.0000
Kreireche	13.6000	5.6015	5.6094	0.0001
Taoura	14.8000	5.8218	5.8286	0.0000
El Anacer	19.2000	6.5615	6.5583	0.0000
Hammam	24.3000	7.3191	7.2972	0.0005
			MSE	0.0001

Tableau II : Validation du modèle ($b = 0.003\text{Hr}^2 + 0.28\text{Hr} + 2.37$)

Nom du barrage	Hr (m)	Valeur observée	valeur du modele	$(\hat{f}_i - y_i)^2$
Megrounet	9	4.65	5.10	0.2036
Kreireche	13.6	5.60	6.69	1.1790
Taoura	14.8	5.82	7.12	1.6903
El Anacer	19.2	6.56	8.79	4.9642
Hammam	24.3	7.32	10.87	12.5927
			MSE	4.13

Tableau III : Validation du modèle ($b = 3.14 + 0.64(\ln(\text{Hr}))^2 - 0.72\ln x$)

Nom du barrage	Hr (m)	Valeur observée	valeur du modele	$(\hat{f}_i - y_i)^2$
Megrounet	9	4.65	4.63	0.0003
Kreireche	13.6	5.60	5.60	0.0000
Taoura	14.8	5.82	5.82	0.0000
El Anacer	19.2	6.56	6.57	0.0001
Hammam	24.3	7.32	7.32	0.0000
			MSE	0.0001

Tableau IV: Validation du modèle

$$(b = \frac{1.80 + 0.541\text{Hr}}{1 + 0.05\text{Hr} - 0.00033\text{Hr}^2})$$

Nom du barrage	Hr (m)	Valeur observée	valeur du modele	$(\hat{f}_i - y_i)^2$
Megrounet	9	4.65	4.65	4E-06
Kreireche	13.6	5.60	5.60	5E-06
Taoura	14.8	5.82	5.82	5E-06
El Anacer	19.2	6.56	6.56	1E-06
Hammam	24.3	7.32	7.32	1E-05
			MSE	0.0000

ANNEXES

Tableau V: Validation du modèle

$$b = 2.24 + 0.50(\ln(\text{Hr}))^2$$

Nom du barrage	Hr (m)	Valeur observée	valeur du modele	$(f_i - y_i)^2$
Megrounet	9	4.65	4.63	0.0003
Kreireche	13.6	5.60	5.62	0.0003
Taoura	14.8	5.82	5.84	0.0004
El Anacer	19.2	6.56	6.57	0.0001
Hammam	24.3	7.32	7.29	0.0009
			MSE	0.0004

ANNEXE II : Table de Fisher de coefficient de détermination R^2

ν \ α	0,05	0,01	0,001
1	0,9969	0,9999	1,0000
2	0,9500	0,9900	0,9990
3	0,8783	0,9587	0,9912
4	0,8114	0,9172	0,9741
5	0,7545	0,8745	0,9508
6	0,7067	0,8343	0,9249
7	0,6664	0,7976	0,8982
8	0,6319	0,7646	0,8721
9	0,6020	0,7348	0,8471
10	0,5760	0,7079	0,8233
11	0,5529	0,6836	0,8010
12	0,5324	0,6614	0,7800
13	0,5139	0,6411	0,7604
14	0,4973	0,6226	0,7419
15	0,4821	0,6055	0,7247
16	0,4683	0,5897	0,7084
17	0,4556	0,5750	0,6932
18	0,4438	0,5614	0,6788
19	0,4329	0,5487	0,6652
20	0,4227	0,5368	0,6524
21	0,4133	0,5256	0,6402
22	0,4044	0,5151	0,6287
23	0,3961	0,5051	0,8177
24	0,3883	0,4958	0,6073
25	0,3809	0,4869	0,5974
26	0,3740	0,4785	0,5880
27	0,3673	0,4706	0,5790
28	0,3609	0,4629	0,5703
29	0,3550	0,4556	0,5620
30	0,3490	0,4487	0,5541
∞	0,1218	0,1593	0,2018