

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département : Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en Vue de l'Obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Thème :

Les barrages, une solution au manque d'eau : cas du barrage de Bouhamdane (Nord-Est Algérien)

Présenté par : BAKHOUCHE Meriem

Soutenu le : 01/10/ 2020

Devant le jury composé de :

Mme BENACER Leïla

Mr NOUAR Tahar

Mme DJERRAB Muriel

MCB (Université de Guelma)

Professeur (Université de Guelma)

MCB (Université de Guelma)

Présidente

Examineur

Encadreur

Année Universitaire 2019 / 2020

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Au terme de cette étude, je tiens à remercier mon encadreur **Mme DJERRAB Muriel** pour son encadrement et aussi d'être présente avec moi toujours en ligne tout au long de ce projet que j'ai préparé durant le confinement suite à la pandémie du covid-19, et pour tout le plaisir que j'ai eu à travailler avec elle .*

Ainsi qu'aux membres du jury qui ont bien voulu examiner mon travail

*Je remercie **Mr GHRJEB Lassaad** pour son aide précieuse et pour leurs précis conseils et motivations ainsi que sa gentillesse*

*Je remercie **Mr FEHDI Chemseddine** de l'Université de Tebessa pour sa modestie, pour son aide précieuse*

*Je remercie **Mr LAROUSI Beloulou** de l'Université de Annaba pour son aide*

*Je tiens remercier aussi **Mr le directeur de l'ANBT de Guelma** qui a mis à ma disposition toutes les données du barrage de Bouhamdane*

Dédicace

*À mes parents qui ont été toujours là pour moi par leur amour,
encouragement, et leur soutien (moral et financier) durant toute ma vie.*

À mes sœurs Nadia , Yasmine

À mon frère Firas

*À tous ceux qui m'ont ouvert les portes du savoir et qui n'ont jamais été
avares ni de leur temps ni de leurs connaissances pour satisfaire mes
interrogations, je leur serais toujours très reconnaissante*

Résumé

Le besoin d'un pays en ressources hydriques augmente proportionnellement à ses exigences économiques et bien sûr à sa démographie. La mobilisation de l'eau à des fins multiples comme l'AEP, l'irrigation, l'industrie ou la production d'énergie nécessite un stockage au préalable dans des réservoirs comme les retenues collinaires ou les barrages.

Ce travail de Master a pour objet l'étude du barrage de Bouhamdane, localisé dans la wilaya de Guelma, dans le nord-est de l'Algérie. L'Oued Bouhamdane, qui alimente le barrage, fait partie du grand bassin-versant de la Seybouse.

Notre objectif est tout d'abord de quantifier les différentes pertes en eau qui affectent le barrage, qu'elles soient liées directement au fonctionnement du barrage en lui-même, ou à des gaspillages de la ressource au cours de sa distribution (fuites dans les réseaux d'eau potable, techniques d'irrigation inadaptées). Les données utilisées dans le cadre de cette étude, fournies par l'ANBT de Guelma, proviennent du bilan hydraulique du barrage durant une période de 28 ans.

Parmi les principales pertes en eau identifiées en amont, l'évaporation, particulièrement marquée en été, entraîne la perte d'environ 1400 mm/an, soit un total annuel de plus de 5,04 hm³, sur une capacité total maximale de 185 hm³ (en 2004). Les pertes liées à l'envasement sont évaluées à 0,5 % par an (la perte de capacité atteignait 7,8 % en 2004).

La réduction des volumes de pertes en eau représente donc un enjeu majeur qui s'inscrit pleinement dans la politique de développement durable. Pour cela, nous avons donné des solutions possibles pour réduire ces pertes (le dragage de la retenue qui permet de diminuer l'envasement, la végétalisation des berges, la surélévation des digues, l'entretien strict des réseaux d'AEP, le choix de techniques d'irrigation économes en eau).

Mots-clés :

Barrage de Bouhamdane, hydrogéologie, Guelma, bassin versant, pertes en eau, quantification, ANBT

Abstract

A country's need for water resources increases in proportion to its economic requirements and of course to its demography. The mobilization of water for multiple purposes such as drinking water supply, irrigation, industry or energy production requires prior storage in reservoirs such as hill reservoirs or dams.

The purpose of this master's work is to study the Bouhamdane dam, located in the wilaya of Guelma, in the north-east of Algeria. The Oued Bouhamdane, which feeds the dam, is part of the large catchment area of the Seybouse.

Our objective is first of all to quantify the various water losses that affect the dam, whether they are directly linked to the operation of the dam itself, or to the wastage of the resource during its distribution (leaks in the drinking water networks, unsuitable irrigation techniques). The data used for this study, provided by the ANBT of Guelma, comes from the hydraulic balance of the dam over a period of 28 years.

Among the main water losses identified upstream, evaporation, particularly marked in summer, leads to the loss of around 1400 mm / year, i.e. an annual total of more than 5,04 hm³, out of a maximum total capacity of 185 hm³ (in 2004). The losses associated with siltation are estimated at 0.5% per year (the loss of capacity reached 7.8% in 2004).

Reducing the volume of water losses therefore represents a major issue that is fully in line with the sustainable development policy. For this, we have given possible solutions to reduce these losses (the dredging of the reservoir which reduces siltation, the revegetation of the banks, the elevation of the dikes, the strict maintenance of the DWS networks, the choice of water-saving irrigation techniques).

Keywords:

Bouhamdane dam, hydrogeology, Guelma, watershed, water losses, quantification, ANBT

ملخص

تزداد حاجة الدولة إلى الموارد المائية بما يتناسب مع متطلباتها الاقتصادية وبالطبع مع التركيبة السكانية. يتطلب تعبئة المياه لأغراض متعددة مثل إمدادات مياه الشرب أو الري أو الصناعة أو إنتاج الطاقة تخزينًا مسبقًا في الخزانات مثل السد الترابي أو السدود.

تهدف اطروحة الماستر هذه إلى دراسة سد بوحمدان الواقع في ولاية قالمة شمال شرق الجزائر. وادي بوحمدان ، الذي يغذي السد ، هو جزء من منطقة مستجمعات المياه الكبيرة في سيبوس .

يتمثل هدفنا في المقام الأول في تحديد تسريبات المياه المختلفة التي تؤثر على السد ، سواء كانت مرتبطة مباشرة بتشغيل السد نفسه ، أو بهدر المورد أثناء توزيعه (التسريبات في شبكات مياه الشرب وتقنيات الري غير المناسبة). البيانات المستخدمة في هذه الدراسة ، والتي قدمتها وكالة الأنباء الوطنية بولاية قالمة ، تأتي من الفحص الهيدروليكي للسد على مدى 28 عامًا.

من بين الخسائر الرئيسية في المياه التي تم تحديدها في المنبع ، التبخر الذي يؤدي وخاصة في فصل الصيف ، إلى فقدان حوالي 1400 مم / سنة ، أي إجمالي سنوي يزيد عن 5.04 متر مكعب من أصل أقصى سعة إجمالية تبلغ 185 هكتومتر مكعب. (في عام 2004). تقدر الخسائر المرتبطة بتراكم الطمي بنسبة 0.5 ٪ سنويًا (وصلت خسارة السعة إلى 7.8 ٪ في عام 2004).

لذلك ، يمثل الحد من حجم الخسائر من المياه قضية رئيسية تتماشى تمامًا مع سياسة التنمية المستدامة. لهذا ، قدمنا حلولًا ممكنة لتقليل هذه الخسائر (تجريف الخزان الذي يسمح بتقليل الطمي ، تجديد الغطاء النباتي على ضفة النهر ، ورفع السدود ، والصيانة الصارمة لشبكات مياه الشرب ، واختيار تقنيات الري الموفرة للمياه).

الكلمات المفتاحية :

سد بوحمدان ، مستجمعات المياه ، تسريبات المياه ، القياس الكمي ، الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات لولاية قالمة.

Liste des abréviations :

ABHCSM: Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Seybouse-Mellegue

AEP: Alimentation en Eau Potable

AGIRE : Agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau

ANBT: Agence Nationale des Barrages et Transferts

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CIGB : Commission Internationale des Grands Barrages

IRR : Irrigation

ONM : Office National de la Météorologie.

PVC : le polyvinyle de chlorure

Vr: Volume régularisable

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Altitudes moyennes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.	8
Tableau I-2 : Altitudes médianes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.	8
Tableau II-1: Les caractéristiques de la station de mesure de Hammam Debagh.	17
Tableau II-2 : Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).	18
Tableau II-3 : Précipitations moyennes mensuelles à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).	20
Tableau II-4 : Régime saisonnier des précipitations pour la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).	21
Tableau II-5 : Les températures moyennes mensuelles à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).	22
Tableau II-6 : Bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).	25
Tableau II-7 : Détermination des paramètres de la formule du bilan hydrique de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).	28
Tableau III-1 : Répartition des besoins selon la population (source : ABHCSM , 2016).	32
Tableau III-2 : Les superficies irriguées (source : ABHCSM, 2016).	32
Tableau III-3 : Fiche technique du barrage de Bouhamdane (source : ANBT, 2020).	32
Tableau III-4 : Apports liquides mensuels au barrage de Bouhamdane (1991/1992 à 2018/2019).	36
Tableau III-5 : Evolution du taux de remplissage mensuel moyen du barrage de Bouhamdane (1991/1992-2018/2019) (ANBT 2020).	37
Tableau III-6 : Évaporation moyenne mensuelle au Barrage Bouhamdane (1991/1992-2018/2019).	40
Tableau III-7 : Nombre de pertes en eau par bilan des fuites durant la période 2010-2020. .	50
Tableau IV-1 : Evolution annuelle de la demande en eau du barrage de Bouhamdane (2004/2005-2018/2019).Source : ANBT Guelma 2020.	60
Tableau IV-2 : Barrages surélevés en Algérie (Remini, 2008).	62
Tableau IV-3 : Quantification de l'envasement des barrages algériens (Source A.N.B.T, In Zaoui, 2015, modifié).	70

Liste des photos

Liste des photos

<i>Photo III-1 : Barrage Hammam Debagh : évacuateur de crues en puits de section circulaire et protection sur la rive gauche (vue à partir de la digue) (juin 2019).....</i>	<i>31</i>
<i>Photo III-2 : La galerie interne du Barrage Bouhamdane (juin 2019).....</i>	<i>34</i>
<i>Photo III-3 : Bac d'évaporation classe « A » et Colorado installé à proximité de la retenue du barrage de Bouhamdane (Guelma).</i>	<i>39</i>
<i>Photo III-4 : Alimentation des sillons par siphons (source Internet).....</i>	<i>54</i>
<i>Photo III-5 : Irrigation par planches (source Internet).</i>	<i>55</i>
<i>Photo III-6 : Irrigation par aspersion (Hammam Debagh).</i>	<i>55</i>
<i>Photo III-7 : Irrigation au goutte à goutte (Boumahra Ahmed Mars 2020).</i>	<i>56</i>
<i>Photo IV-1 : Pompe hydraulique (source internet).</i>	<i>65</i>
<i>Photo IV-2 : Dragage mécanique (source internet).</i>	<i>66</i>
<i>Photo IV-3 : Dragage à l'Américaine (source internet).</i>	<i>67</i>
<i>Photo IV-4 : Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug) (Marouf, 2018).....</i>	<i>68</i>
<i>Photo IV-5 : Entraînement de la vase en aval (Plaine de la Mactaa) (Marouf, 2018).</i>	<i>68</i>
<i>Photo IV-6 : Drague stationnaire CZ550 dans le barrage de Bouhanifia en 2013/2014 (Zaoui, 2015).....</i>	<i>73</i>

Liste des figures

Liste des Figures

Figure I-1 : Situation géographique de la zone d'étude (Djerrab, 2020).....	5
Figure I-2: Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Bouguera et al, 2017).....	7
Figure I-3: Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Guidoum, 2017). .	10
Figure I-4: Carte géologique locale du Hammam Debagh, simplifiée (Source : Service Géologique de l'Algérie, 1937, modifiée).	12
Figure II-1: Variation interannuelle des précipitations de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).	19
Figure II-2 : Variabilité des précipitations moyennes mensuelles (en mm) à la station du barrage Hammam Debagh. (1991/1992-2016/2017).....	20
Figure II-3 : Pourcentage saisonnier des précipitations pour la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).	21
Figure II-4 : Températures moyennes mensuelles à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).....	22
Figure II-5 : Diagramme pluviothermique à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).....	23
Figure II-6 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite pour la station de Hammam Debagh (1991/92-2016/17).	26
Figure III-1 : Coupe transversale de la digue du barrage de Hammam Debagh (Source ANBT, 1990).	34
Figure III-2: Apports liquides annuels (1991/1992-218/2019) (ANBT2020).	35
Figure III-3: L'évolution mensuelle des apports au barrage de Bouhamdane (1991/1992 à 2018/2019).....	36
Figure III-4 : Evolution annuelle du taux de remplissage du barrage de Bouhamdane en % (1991/1992-2018/2019).....	37
Figure III-5 : Évaporation annuelle au Barrage Bouhamdane (1991/1992-2018/2019).	40
Figure III-6 : Evolution annuelle du volume d'eau évaporée par la retenue (1991/1992-2018/2019).....	41
Figure III-7 : Processus sédimentaires (source internet).	42
Figure III-8 : Mode d'envasement (Benasla, 2015).	43
Figure III-9 : Problèmes posés par la sédimentation.	44
Figure III-10 : Schématisation de la bathymétrie par nivellement (IDRA Environnement SA, 2006).....	45
Figure III-11 : Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre) [https://www.sigetudes.fr/guides-metier/leve-station-totale/].....	45
Figure III-12 : Schématisation de la bathymétrie par échosondeur (IDRA Environnement SA, 2006).....	46
Figure III-13 : Principe de l'échouage sondeur / GPS (Alleaume et al ., 2010).	47
Figure III-14 : Schéma général d'un réseau d'A.E.P (d'après Blindu, 2004).....	48
Figure III-15 : Pertes à l'échelle du service d'eau d'irrigation (Fernandez et Mouliérac, 2010).....	51
Figure III-16 : Irrigation par bassins par un pompage solaire.	53

Liste des figures

<i>Figure IV-1 : Evolution annuelle de la demande en eau du barrage de Hammam Debagh....</i>	<i>61</i>
<i>Figure IV-2 : Dragage hydraulique (source internet).</i>	<i>65</i>
<i>Figure IV-3 : Carte de sensibilité à l'envasement des barrages du nord de l'Algérie (Remini et Hallouche, 2005).</i>	<i>69</i>

Table des matières	
Résumé.....	4
Abstract.....	5
ملخص.....	6
Liste des abréviations :.....	i
Introduction générale	2
I. Cadre général et contexte géologique du barrage de Bouhamdane.....	5
I.1. Cadre général.....	5
I.1.1. Situation géographique.....	5
I.1.2. Le cadre hydrogéologique	5
I.1.3. Aperçu hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.....	6
I.1.4. Aperçu géomorphologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	6
I.2. Contexte géologique du barrage de Bouhamdane	9
I.2.1. Cadre géologique régional.....	9
I.2.2. Description lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane	9
I.2.3. Cadre géologique local	10
II. Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane	17
II.1 Introduction.....	17
II.2. Analyse des données climatiques	17
II.2.1. Les précipitations	17
II.2.2. Les températures	22
II.2.3. Diagramme pluviothermique.....	23
II.2.4. Le bilan hydrique	23
II.2.5. Le ruissellement (R)	27
II.2.6. L'infiltration (I).....	27
II.3. Conclusion.....	28
III. Etat des lieux du barrage de Bouhamdane.....	30
Introduction	30
III.1.Le barrage de Bouhamdane.....	30
III.1.1. Définition	30
III.1.2. Caractéristiques du barrage étudié	32
III.2. Quantifications des pertes et interprétation des résultats	38
III.2.1. Pertes liées à l'évaporation	38
III.2.2. Pertes liées à l'envasement.....	41

Table des matières

III.2.3. Pertes liées aux fuites dans les réseaux d'eau potable.....	47
III.2.4. Pertes liées aux différentes méthodes d'irrigation	50
Conclusion	57
IV. Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau	59
IV.1. Introduction - Bien gérer la problématique de l'eau	59
IV.2. Bénéfices apportés par le barrage	60
IV.2.1. La demande	60
IV.3. Solutions proposées aux pertes en eau.....	61
IV.3.1. Problème de l'envasement des barrages.....	61
IV.3.2. Problème des fuites sur les réseaux d'eau potable	73
IV.4. Conclusion.....	74
Conclusion générale et recommandations	77
Références bibliographiques	80
Articles et ouvrages scientifiques :	80
Sites internet :	82

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est devenue un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable. Certains auteurs affirment en effet qu'elle sera, au troisième millénaire, un enjeu de guerre comme le pétrole l'a été et l'est encore aujourd'hui (Guidoum, 2017 ; Gaagai, 2012).

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'alimentation en eau potable (AEP) pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau se répercute négativement sur les efforts de développement, à l'instar de nombreux pays (Djemai et *al.*, 2017) .

Le travail réalisé dans le cadre de ce Master en Hydrogéologie s'est focalisé sur l'étude du barrage de Bouhamdane, localisé dans la wilaya de Guelma, dans le nord-est de l'Algérie. Compte tenu de la croissance démographique de la ville de Guelma et afin de satisfaire la demande en eau destinée à la potabilité, à l'irrigation ainsi que pour l'industrie, les besoins en eau sont croissants, et donc ce barrage a pour but d'atténuer le déficit en eau de la région. Afin de répondre aux besoins de la population, ce travail s'est donc attaché d'une part à caractériser de façon précise ce barrage, et surtout à quantifier les différentes pertes en eau, liées soit directement au barrage étudié, soit à la défaillance des réseaux d'eau potable ou encore à des méthodes d'irrigation inadaptées.

Cette étude se divise donc en trois chapitres :

- Le premier chapitre est un aperçu global sur la zone d'étude : situation géographique, cadre hydrogéologique et contexte géologique du barrage de Bouhamdane
- Le deuxième chapitre traite la partie hydroclimatologique (les observations ont été faites sur une période de 26 ans pour avoir une idée précise sur le climat de la région de Hammam Debagh),
- Le troisième chapitre débute par une présentation du barrage de Bouhamdane et de ses caractéristiques générales. L'évolution du taux de remplissage avec le temps est également détaillée. Ensuite, les différentes pertes en eau du barrage étudié sont caractérisées et quantifiées dans la mesure du possible (il s'agit des pertes liées à l'évaporation, à l'envasement, aux fuites d'eaux sur les réseaux et à l'irrigation). Les méthodes permettant d'évaluer l'envasement sont détaillées

Introduction générale

- Le quatrième chapitre traite de la problématique des pertes en eau en donnant des solutions possibles pour limiter ces pertes (dragage, végétalisation des berges, surélévation des digues, entretien strict des réseaux d'AEP).

Ce travail se termine par une conclusion générale qui citera brièvement tous les résultats de cette étude et les recommandations.

*Chapitre I : Cadre général et contexte
géologique du barrage Bouhamdane*

I. Cadre général et contexte géologique du barrage de Bouhamdane

I.1. Cadre général

I.1.1. Situation géographique

Le barrage de Bouhamdane (également appelé barrage de Hammam Debagh) est situé au Nord-Est de l'Algérie, dans la partie Ouest de la wilaya de Guelma, à 25 km à l'Ouest du chef-lieu. Il dépend administrativement de la Daïra de Hammam Debagh et de la Commune de Bouhamdane, et il est situé dans Le bassin versant de l'oued Bouhamdane, qui fait partie du grand bassin versant de la Seybouse. Il est alimenté principalement par l'Oued Bouhamdane. Ce bassin s'étend de 6° 55' à 7° 15' de longitude Est, et de 35°15' à 36°70' de latitude Nord. A la station de Medjez Ammar II, le bassin couvre une superficie de l'ordre de 1105 Km. Il est implanté à 3 km à l'amont de la localité de Hammam Debagh.

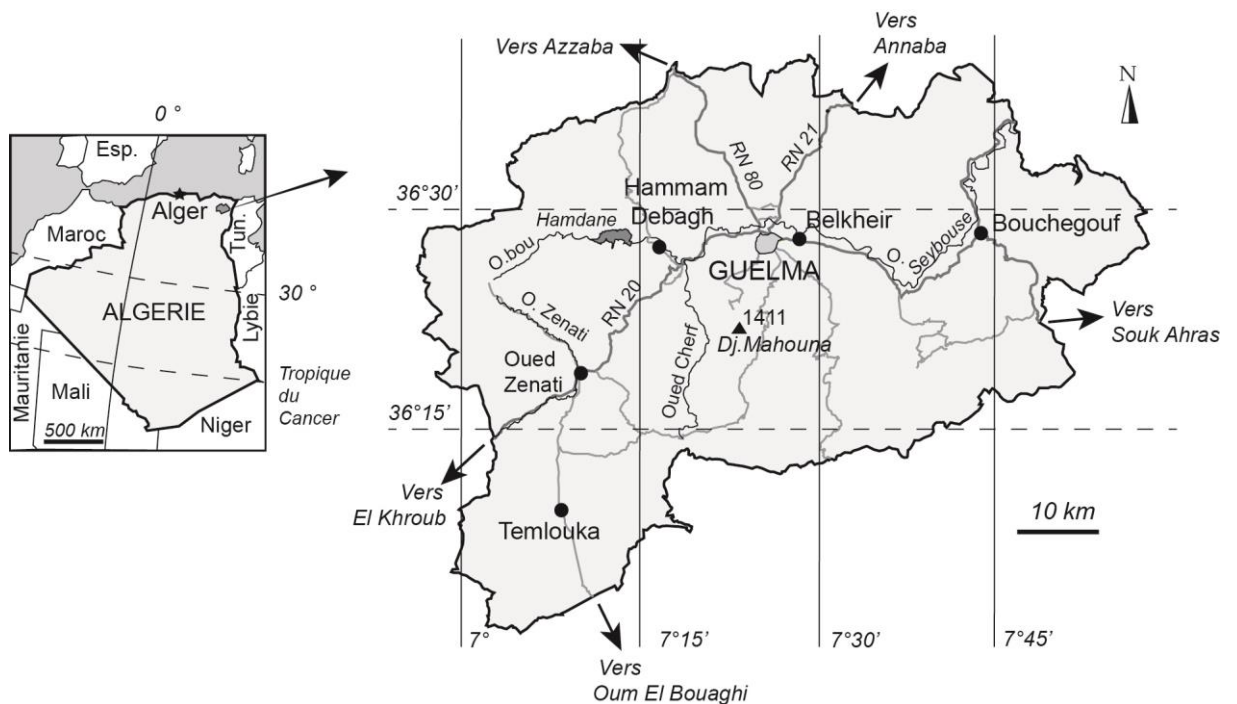


Figure I-1 : Situation géographique de la zone d'étude (Djerrab, 2020).

I.1.2. Le cadre hydrogéologique

Du point de vue hydrogéologique, le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes. Au sud, se trouvent des formations fracturées, indice d'une bonne infiltration donc d'une importante accumulation d'eau souterraine. Sur la rive gauche de la Seybouse, on rencontre des formations pour lesquelles

l'infiltration se fait très difficilement. Au centre, les alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons ...) à forte perméabilité renferment une nappe très importante.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine a permis de distinguer un ensemble du remplissage Mio-Plio-Quaternaire capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique.
- le réservoir de la nappe des graviers, représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile (Bechiri, 2011)

I.1.3. Aperçu hydrographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

I.1.3.1. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

L'Oued Bouhamdane résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Bordj Sabath et l'Oued Zenati, drainant respectivement une superficie de 296.09 Km² et de 592.15Km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Bouhamdane qui reçoit dans sa rive droite l'Oued El Hamira. L'Oued Zenati naît de la confluence de l'Oued El M'leh qui prend sa source à Djebel Oum Settas (1325 m), et Chaâbet Toulfsa qui prend sa source à Kef Deb (1142 m) ; l'Oued Zenati reçoit sur sa rive gauche les Oueds : Bou Skoum, Bemeb, Kalech, Chaâbet ElRassoul, Snoussi ; et sur sa rive droite Chaâbet Gueit et Terba, Oued El Gloub, ChaâbetMrassel.

L'Oued Bordj Sabath résulte aussi de la jonction de deux Oueds : El Aria qui prend sa source à Djebel El Aria (1237 m), Oued El Aria reçoit dans sa rive droite : Oued Tarfà et dans sa rive gauche ; Oued Haoudja et Chaâbet Tamar. Et Oued Dardar qui prend naissance à partir de la confluence de l'Oued El Megroune qui prend sa source à M'zaret Sidi Chagraf (1289 m) et Chaâbet Sekek qui prend sa source à El Hadjar Essafra (1174 m).

I.1.4. Aperçu géomorphologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

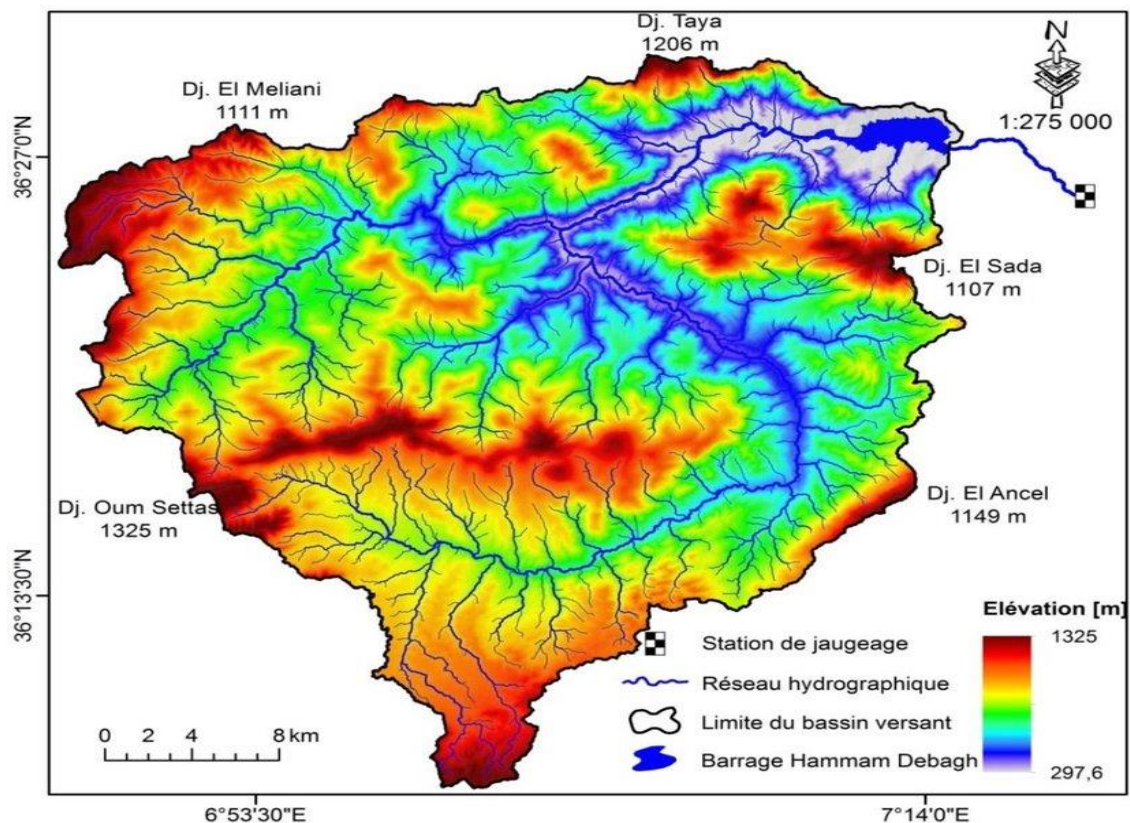
Les variations d'altitude à l'intérieur d'un bassin versant ainsi que son altitude moyenne sont des données essentielles à l'étude de la température, de la précipitation et de la morphologie du bassin.

1.1.4.1. Classe des reliefs

Le but recherché ici, est la détermination de la classe de relief, la hauteur moyenne, la médiane et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes des niveaux.

Le bassin versant de l'Oued Bouhamdane atteint 1289 m à son point culminant au sommet de M'zaret Sidi Chagref au Nord -Ouest, tandis que le point le plus bas correspond à la station du barrage Hammam Debagh située à l'altitude 285 m, donc un dénivelé total de 1004 m. Les altitudes du bassin versant ont été divisées en 5 tranches:

- **1ère Tranche:** 285-500 m: couvrant une superficie de 65.3 km² soit 5.9 % de la surface totale du bassin versant, cette tranche est localisée dans le sous bassin de l'Oued Bouhamdane.
- **2ème Tranche:** 500-700 m : occupant une superficie de 213.09 km² soit 19.28 % de la surface totale. Cette tranche est fréquente dans l'ensemble du bassin,
- **3ème Tranche:** 700-900 m : C'est la tranche dominante, s'étend sur plus de 50 % de sa surface, elle se trouve surtout dans le bassin de l'Oued Zenati, correspondant à la moyenne colline.
- **4ème Tranche:** 900-1100 m : Cette tranche se distribue d'une façon partielle dans le bassin, couvrant une superficie de 246.09 km²
- **5ème Tranche:** 1100-1289 m: C'est la tranche de la plus haute altitude qui est de l'ordre de 1289 m, elle ne représente que 1.55% de la surface totale.



Chapitre I : Cadre général et contexte géologique du barrage de Bouhamdane

1.1.4.2. Les altitudes caractéristiques

1.1.4.2.1. L'altitude moyenne

La valeur de l'altitude moyenne du bassin et des sous bassins peut être calculée par la formule suivante:

$$H_{moy} = \frac{\sum H_i S_i}{S_t}$$

H_{moy}: Altitude moyenne (m)

H_i: Cote moyenne (m)

S_i: Surface partielle, comprise entre deux courbes de niveau (Km²)

S_t: Surface du bassin

Tableau I-1 : Altitudes moyennes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.

Sous Bassins versants	Surface (km ²)	Altitude moyenne (m)
1: Oued Bouhamdane élémentaire	216.76	643.06
2: Oued Zenati	592.15	812.8
3: Oued Bordj Sabath	296.09	871.34
4: L'ensemble de l'Oued Bouhamdane	1105	787.5

Source Mansouri, 2009

1.2.4.2.2. L'altitude médiane

L'altitude médiane correspond à l'altitude au point d'abscisse 50 % de la surface totale du bassin sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné a une pente régulière.

Tableau I-2 : Altitudes médianes du bassin versant de l'Oued Bouhamdane.

Sous Bassins versants	Surface (km ²)	Altitude moyenne (m)
1: Oued Bouhamdane élémentaire	216.76	635
2: Oued Zenati	592.15	820
3: Oued Bordj Sabath	296.09	830
4: L'ensemble de l'Oued Bouhamdane	1105	800

Source Mansouri, 2009

Pour l'ensemble de bassin, l'altitude médiane est supérieure à l'altitude moyenne, ce qui nous renseigne sur l'abondance et la dominance des basses altitudes sur la quasi-totalité du bassin versant.

I.2. Contexte géologique du barrage de Bouhamdane

Les informations proviennent de l'ABHCSM (Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue), de l'A.G.I.R.E (Agence nationale de la gestion intégrée des ressources en eau) (2016). Le rapport sur l'analyse de l'année hydrologique (2015-2016) du barrage Hammam Debagh a aussi été utilisé.

I.2.1. Cadre géologique régional

La zone d'étude fait partie du domaine externe de la chaîne des Maghrébides de l'Algérie orientale. Les terrains qui constituent le sol et le sous-sol sont variés et leurs âges oscillent entre le Trias et le Quaternaire. Du point de vue géomorphologique, la région d'étude correspond à une dépression à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest dans laquelle se sont accumulés des dépôts du Néogène et du Quaternaire.

Ce bassin est adossé au Nord comme au Sud à des reliefs appartenant pour l'essentiel au domaine tellien constitué de marnes et de carbonates d'âge méso-cénozoïque et dont la sédimentation de mer ouverte, s'est effectuée en domaine pélagique (unités telliennes).

Les formations néritiques constantinoises qui représentent la terminaison orientale du domaine, apparaissent à la faveur de fenêtres, à Djebel Debar, à l'Est de Hammam Ouled Ali, à Héliopolis et à Nador. D'Ouest en Est ces formations carbonatées constituent le substratum des nappes telliennes de Guelma.

I.2.2. Description lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

La lithologie dominante du bassin versant de l'Oued Bouhamdane est composée des formations argilo-gréseuses du Numidien. Ces formations affleurent au secteur de l'Oued Zenati, à Djebel Ouahch, et au Sud-ouest de Djebel Taya. Les marnes noires d'âge Paléocène moyen à supérieur, surmontées par une barre de calcaire noir de l'Eocène inférieur, constituent la formation la plus épaisse du bassin, elles affleurent largement alentour de l'Oued Zenati.

Les séries lithologiques de la nappe néritique Constantinoise sont représentées par les Djebels d'Oum Settas et Taya (sur plus de 10 kms d'Ouest en Est et 80 kms du Nord au Sud, la tectonique a dispersé des affleurements des séries néritiques constantinoises en massifs isolés de tailles variables (Vila, 1980). Il s'agit de : calcaires dolomitiques du Barrémien, calcaires massifs graveleux de l'Aptien-Albien, calcaires marneux encroûtés du Vraconien, calcaires massifs et rubanés du Cénomaniens et de calcaires à micro-brèche du Sénonien.

Les formations Mio-pliocène continentales sont discordantes sur toutes les séries antérieures, et sont constituées de conglomérats et d'argile sableuse rouge. Elles sont présentes dans toute la région, mais ne prennent une grande extension que dans la partie nord-ouest du bassin et plus particulièrement dans les forêts de Béni M'Djalel et Soudrata, sur la rive gauche de l'Oued Bouhamdane près de barrage Hammam Debagh, ainsi qu'à Kef Hadjar près de AinAbid.

Les terrains d'âge Sénonien supérieur, avec deux barres calcaires d'âge Campanien et Maastrichtien, sont développés au nord-ouest de l'Oued Zenati sur une bande large de 5 km, qui atteint

Chapitre I : Cadre général et contexte géologique du barrage de Bouhamdane

Ras El Agba. Enfin, les dépôts Quaternaires sont constitués essentiellement d'alluvions des fonds des vallées étagées en différents niveaux de terrasses.

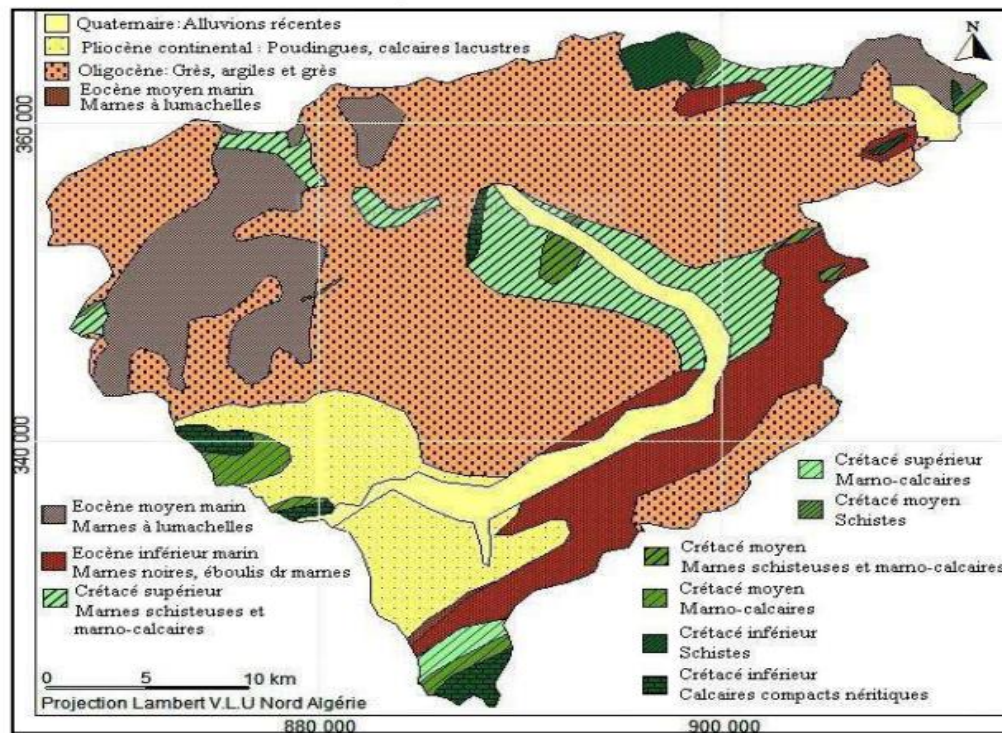


Figure I-3: Carte lithologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane (Guidoum, 2017).

I.2.3. Cadre géologique local

I.2.3.1. Aperçu d'ensemble

La région de Hammam Debagh appartient au Tell-Nappe épitellienne d'après (M Kieken, livre à la mémoire de P. Fallot, tome I-SGF).

Ces nappes résultent d'une poussée vers le Sud de la chaîne du Djebel Debar, du Grar et du Kef-Hahouner où affleure un substratum formé de calcaires crétacés. C'est sur celui-ci qu'ont été charriées les nappes dites telliennes, constituées de marnes noires ou grises intercalées de bancs calcaires appartenant au Crétacé et au Tertiaire. Une autre nappe, dite du Flysch crétacé, recouvre indifféremment les nappes telliennes ou le crétacé "autochtone". Elle est composée de schistes noirs et de puissants bancs de grès, localement de poudingues.

La structure régionale a une direction Est-Ouest, et présente des fractures aussi bien parallèles à l'allure générale que perpendiculaires à celle-ci. Plusieurs de ces fractures sont le siège d'une circulaire géothermal.

Les circulations les plus importantes affleurent à Hammam Debagh, elles semblent en relation avec les circulations d'eau profonde suivant des failles localement minéralisées. Il s'agit d'eaux sulfatées - calciques et chlorées - sodiques, vraisemblablement sans relation directe avec les eaux de surface. Le barrage Hammam Debagh est implanté dans un resserrement de la vallée de l'Oued Bouhamdane qui correspond à un lambeau de la nappe du flysch crétacé, alors que la cuvette se développe dans sa quasi-totalité dans les marnes telliennes et le Crétacé autochtone. Au droit du

barrage, le cours de l'Oued Bouhamdane suit approximativement la charnière faillée d'un pli en chaise très accusé. D'importantes terrasses réparties en plusieurs niveaux recouvrent le substratum, aussi bien en amont qu'en aval du barrage.

II.2.3.2. Lithostratigraphie du barrage Hammam Debagh

Les principales entités stratigraphiques de la région sont :

II.2.3.2.1. Le Crétacé Autochtone

Les affleurements se rencontrent en particulier au Djebel Debar et au Djebel Taya. On trouve :

- des calcaires massifs cristallins (Néocomien),
- des calcaires et calcaires cristallins (Barrémien),
- des calcaires cristallins massifs,
- et enfin des calcaires compacts à orbitolines (Aptien).

II.2.3.2.2. La série des Nappes Telliennes

- marnes schisteuses gris noir, feuilletées assez friables,
- marnes calcaires gris blanc;
- calcaires marneux blanchâtres

II.2.3.2.3. La série du Flysch- Crétacé

- schistes gris noir verdâtres, parfois carbonatés,
- schistes gris noir minces intercalations gréseuses,
- schistes à grains de quartz, particulièrement altérable,
- grès friables gris blancs à jaunes, peu cimentés,
- grès conglomératiques et quartzitiques, en gros blancs.

II.2.3.2.4. Dépôts de grès psammitiques rouges et verts

- On les trouve en affleurement en rive gauche de la cuvette, et relèvent probablement de l'Eocène.

II.2.3.2.5. Dépôts des terrasses

- On trouve quatre niveaux distincts dont les niveaux de base à proximité du barrage. Ces terrasses correspondent à des dépôts relativement récents caractérisés par une épaisseur variable de gravies sableuses qui reposent sous des silts argileux. Ces terrains peuvent contenir des argiles surtout vers leur base, par remontées des produits d'altération des marnes.

II.2.3.3. Géologie de la cuvette du barrage Hammam Debagh

Le fond de cuvette est constitué par des terrasses déjà mentionnées, qui reposent sur des marnes. Les berges de la cuvette sont constituées presque exclusivement de marnes calcaires ou schisteuses. La seule exception se trouve au Nord-Est, où l'on rencontre une formation éocène plus récente de débris des grès psammitiques, rouges et verts, avec des veines de calcite.

L'étanchéité de la cuvette est garantie par la nature du substratum marneux. La hauteur et la faible pente des massifs qui l'entourent imposent des gradients hydrauliques faibles partout.

La structure des formations qui bordent la retenue est assez uniforme et en général favorable à la stabilité, sauf en une localisation de la rive droite. Comme les reliefs sont peu élevés, il n'y a pas lieu de craindre de glissement, brutaux de masses de sol qui pourraient compromettre la sécurité du barrage. Il est certain, du fait des fluctuations du plan d'eau, que des glissements se reproduiront le long des berges et particulièrement en rive gauche à hauteur du dernier méandre.

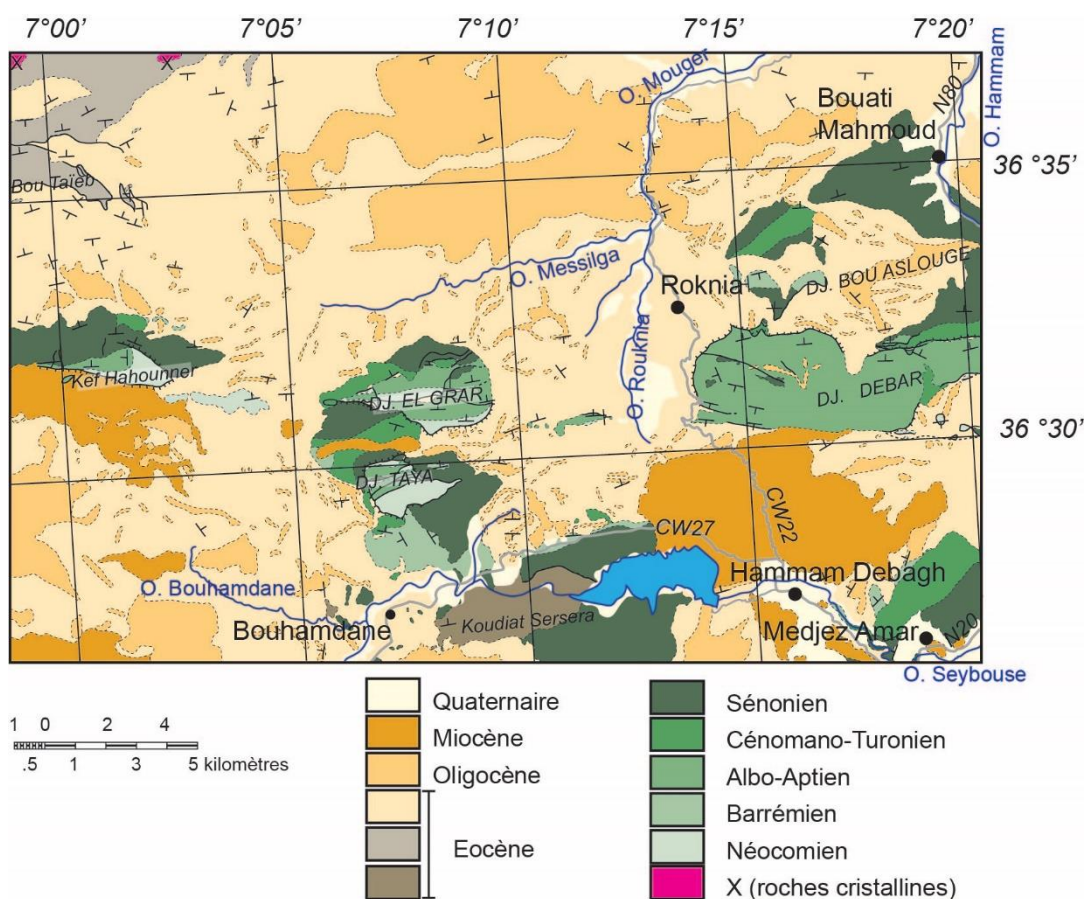


Figure I-4: Carte géologique locale du Hammam Debagh, simplifiée (Source : Service Géologique de l'Algérie, 1937, modifiée).

II.2.3.4. Description géologique du barrage Hammam Debagh

La connaissance de la géologie du barrage s'est affinée au cours du temps, pour simplifier il est possible de caractériser trois périodes : la période de l'avant-projet ; les informations

complémentaires apportées par les reconnaissances en début de chantier et enfin les observations au cours des travaux.

II.2.3.4.1. Etudes d'avant-projet

Les études géologiques du barrage à l'avant-projet décrivent assez précisément la structure du substratum, comme une alternance de grès et schistes qui, en rive gauche, est monoclinale, plonge vers la rive et légèrement vers l'amont. En rive droite, la structure dessine une voûte anticlinale plus complexe. Les corrélations entre les principaux bancs de grès sont établies ainsi que la localisation des failles identifiées. La plus importante suit le lit de l'Oued en divergeant légèrement vers la droite à l'aval.

Les couvertures superficielles consistent en plusieurs niveaux de terrasses à l'amont et un lambeau à l'aval rive gauche.

L'accent est surtout mis sur la présence de nombreux glissements superficiels, essentiellement renseignée par une étude de géophysique, donne une image assez floue. On en retient :

- En rive droite, deux glissements importants (jusqu'à 7 m d'épaisseur) sur les deux principaux éperons entre le niveau de la rivière et la côte 350 ; un autre plus modeste vers la côte 370 sur l'éperon principal, à l'endroit où la crête de la digue rejoint aujourd'hui la route de Taya.
- En rive gauche, trois groupes de glissements d'amont en aval ; le premier groupe est entre le lit de l'oued et la côte 345, juste en amont de la section minimale de la vallée; le second se trouve 300 m plus à l'aval, et le troisième encore 200 m plus à l'aval, sur une face apparemment très régulière du talus rive gauche.

Les caractéristiques mécaniques des formations meubles ou d'altération rocheuse sont déterminées à la suite d'essais de laboratoire. Les angles de frottement effectif varient de 21 à 24 degrés. Des valeurs pratiques pour les terrains en place ou glissés en sont dérivées ; elles s'étalent entre 15 et 35 degrés.

Les recommandations pratiques des géologues sur la base de cette interprétation consistent en:

- une implantation de la digue guidée par le souci d'éviter autant que possible les glissements sous les recharges en rive droite et de profiter de la croupe centra le relativement saine et peu décomprimée, bien qu'elle soit affectée par un gros glissement.
- En rive gauche les glissements ne peuvent être évités. Une réserve importante est faite sur l'existence possible d'une ancienne vallée latérale au sommet de la rive droite ; en fait, l'implantation retenue est tout simplement sur la coupe la plus étroite.
- on prévoit des fouilles sous le noyau de 5 à 8 m en général, avec des approfondissements jusqu'à 14 mètres, avec un critère de vitesse sismique à 1000 m/s ; les terrains glissés ne sont pas systématiquement retirés; précaution spéciales à l'ouverture des fouilles (curage, bétonnage, filtre inversé,...) ;
- un décapage sous la digue limité à 2 mètres systématiques, plus un approfondissement selon l'examen visuel ;
- un enlèvement des silts et sables fins des terrasses amont sous le batardeau pour éviter les effets de la liquéfaction;
- une stabilisation du pied de certains glissements par des remblais.

II.2.3.4.2. Apport des reconnaissances complémentaires

Les nouvelles reconnaissances et interprétations effectuées dans le cadre du début des travaux, faute d'avoir pu être obtenus plus tôt, ont conduit à reconsidérer sous un autre angle plusieurs des aspects importants du barrage. Les conclusions ci-dessous sont extraites d'après Coyne et Bellier (1980):

- **substratum rocheux** : on doit le considérer comme un ensemble à dominance de marnes schisteuses mécaniquement médiocres, et faisant illusion en raison d'une armature de grès durs suffisante pour maintenir un relief accusé, mais instable ; compte tenu de la complexité tectonique et de la rareté des affleurements, la structure de cette armature est incertaine et ne sera jamais parfaitement connue.
Dans ces conditions, il est illusoire de vouloir tenir compte du double rôle mécanique et hydraulique qu'elle peut jouer dans la fondation pour choisir en conséquence l'implantation de la digue. La dominance des marnes schisteuses, l'importance de leur altération superficielle et la présence de surfaces de cisaillement argileuses ne permettent pas de considérer à coup sûr le toit du rocher comme un niveau de fondation présentant toute garantie de sécurité vis-à-vis d'un remblai à fortes pentes.
- **altération superficielle** : d'après ce que l'on a pu voir dans les puits et les galeries, le contact paraît assez bien établi entre les terrains meubles de couverture (éboulis et colluvions) et le substratum en place ; l'altération superficielle pénètre assez profondément dans les schistes qui se délitent en lamelles grises argileuses et se couvrent de colluvions argilo-silteuses jaunes. Sur les versants à faible pente (haut de la rive droite) la couverture semble peu épaisse ; les bancs de grès durs résistent bien à l'altération mais ils sont le plus souvent entraînés par le fauchage des niveaux schisteux qui les entourent ;
- **implantation de la digue** : la géométrie du substratum et des couvertures superficielles ne paraît plus déterminante ; en revanche, il paraît important dans un contexte de forte décompression des versants de ménager à l'aval des appuis une masse suffisante de terrain compacte capable de résister à la poussée hydrostatique. C'est une des raisons pour laquelle l'axe fut alors déplacé à l'amont de la section la plus étroite, jusqu'à la place qu'occupe aujourd'hui le barrage ;
- **niveau de fondation** : optimum à rechercher entre l'approfondissement des fouilles et l'adoucissement des talus ;
- **entrée et sortie des galeries** : si un emplacement jugé satisfaisant a pu être trouvé dans les bancs de grès dur à l'amont du barrage, il n'en était pas de même à la sortie, où l'emplacement prévu à l'avant-projet se trouvait affecté par les glissements les plus aval de la rive gauche, d'autant plus que ceux-ci se révélèrent plus étendus que prévu, à la lumière des nouvelles investigations par tranchées. Ceci conduisit à recommander un déplacement et donc un allongement des galeries. De plus, une grosse recharge aval en remblais dut être projetée pour stabiliser la base des versants.

II.2.3.4.3. Eléments acquis pendant les travaux

Le déroulement des travaux a précisé certains points; les principales conclusions sont les suivantes :

- d'une manière générale, les glissements se sont révélés assez superficiels, à l'exception du grand glissement à l'aval de la rive gauche près des sorties des galeries; dans l'emprise de la digue, on a rencontré au cours des excavations une seule trace de véritable surface de glissement, à la base de la rive gauche sous la trace de coulées d'éboulis plus au moins épais ;
- la structure monoclinale relativement simple de la rive gauche a été confirmée lors du percement des grandes galeries ;
- en ce qui concerne la rive droite au contraire, ni le creusement des galeries d'injection et de drainage, ni la réalisation des voiles correspondants, ne permettent de mettre en évidence une structure cohérente ;
- la totalité des versants se trouve dans un état très voisin de la limite de stabilité, si bien que la moindre modification de l'état naturel, comme par exemple la constitution d'une piste de chantier, a occasionné des mouvements ou des amorces de mouvements.

II.2.3.3. La tectonique de la région de Guelma

La région de Guelma, située entre le littoral et les abords des hauts plateaux se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement à toutes les époques avec le plus d'intensité les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie.

La région qui correspond à la chaîne de l'Atlas tellien et au Tell dont fait partie la chaîne numidique, se trouve extrêmement tordue et on y trouve représentés des exemples d'accidents tectoniques de tous genres.

Selon Dareste de la Chavane. J.C (1910), les effets tectoniques dans la région de Guelma se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intense des plis qui sont en général déversés vers le Sud et le Sud-Est. Ces plis souvent empilés les uns sur les autres, se chevauchent et se recouvrent à la façon d'écaillés imbriquées. Ce phénomène de structure écaillée est fréquent dans la chaîne atlasique. Dans ces plis déversés, les flancs inverses sont le plus souvent supprimés par compression et/ou par étirement.

Les flancs synclinaux s'observent par endroit, dans les zones plus ou moins épargnées par les effets tectoniques. Quant aux voûtes anticlinales, elles sont assez rares et quand elles existent, elles se trouvent plutôt à l'état de brachy-anticlinales ou de dômes, structurés en horst et graben.

*Chapitre II : Les caractéristiques
hydroclimatologiques du barrage
de Bouhamdane*

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

II. Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

II.1 Introduction

L'étude des caractéristiques climatiques d'une région est importante, car la variation des paramètres climatiques a une influence directe sur les réserves des eaux souterraines, de ce fait il est impératif de connaître leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.

L'objectif de l'étude est de connaître la variation des paramètres climatiques, dans le but de calculer le bilan hydrologique annuel. Les précipitations moyennes mensuelles, les températures correspondantes, l'évaporation et le ruissellement sont utilisés pour le calculer.

Pour réaliser notre travail nous avons utilisé les données collectées à la station du barrage Hammam Debagh, qui couvre une période de 26 ans (période allant de 1991 à 2017) ; dont les caractéristiques sont portées dans le tableau suivant :

Tableau II-1: Les caractéristiques de la station de mesure de Hammam Debagh.

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)	Période d'observation
Hammam Debagh	7°15'E	36°27'N	350	1991/92-2016/2017

II.2. Analyse des données climatiques

II.2.1. Les précipitations

Les précipitations permettent la constitution d'un stock d'eau qui va être soumis à plusieurs processus et particulièrement les processus d'évapotranspiration, de ruissellement de surface et de pertes par infiltration (Chaponnière, 2005). Pour cela, toute étude climatologique nécessite une analyse détaillée de ce paramètre, du fait que la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes.

- **Répartition des précipitations annuelles**

Coefficient pluviométrique

Le coefficient pluviométrique correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires ($CP > 1$) des années déficitaires ($CP < 1$).

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

Le coefficient pluviométrique est donné par la formule suivante :

$$CP = \frac{P}{P'}$$

Avec :

CP : coefficient pluviométrique.

P : hauteur des pluies annuelles (mm).

P' : Moyenne annuelle pluviométrique (mm).

La pluviométrie annuelle moyenne de la station de Guelma est 566,80 mm.

Tableau II-2 : Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).

Année	P (mm)	CP	Type d'année
1991/1992	635,40	1,12	Excédentaire
1992/1993	730,50	1,29	Excédentaire
1993/1994	477,40	0,84	Déficitaire
1994/1995	651,80	1,15	Excédentaire
1995/1996	730,30	1,29	Excédentaire
1996/1997	314,80	0,56	Déficitaire
1997/1998	618,10	1,09	Excédentaire
1998/1999	646,70	1,14	Excédentaire
1999/2000	508,80	0,90	Déficitaire
2000/2001	404,80	0,71	Déficitaire
2001/2002	339,40	0,60	Déficitaire
2002/2003	845,20	1,49	Excédentaire
2003/2004	827,90	1,46	Excédentaire
2004/2005	693,60	1,22	Excédentaire
2005/2006	533,77	0,94	Déficitaire
2006/2007	557,30	0,98	Déficitaire
2007/2008	488,20	0,86	Déficitaire
2008/2009	667,70	1,18	Excédentaire
2009/2010	593,60	1,05	Excédentaire
2010/2011	731,40	1,29	Excédentaire
2011/2012	636,00	1,12	Excédentaire
2012/2013	404,60	0,71	Déficitaire

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

2013/2014	485,20	0,86	Déficitaire
2014/2015	612,50	1,08	Excédentaire
2015/2016	405,60	0,72	Déficitaire
2016/2017	196,40	0,35	Déficitaire

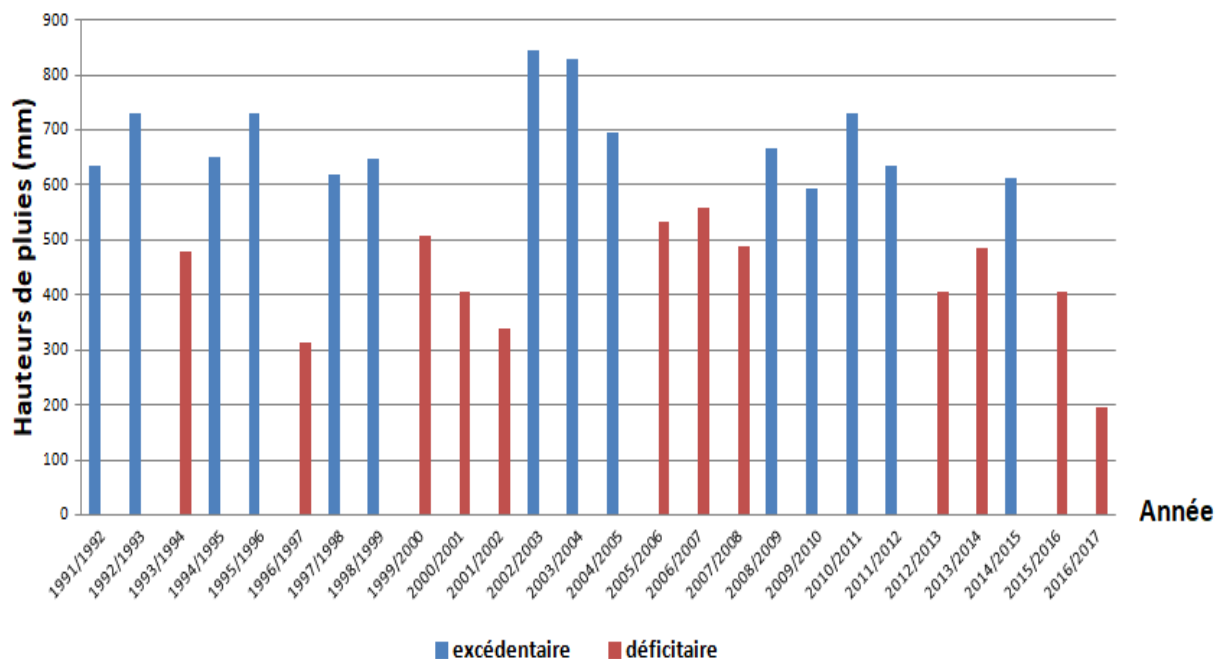


Figure II-1: Variation interannuelle des précipitations de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).

Le tableau II-2 et la figure II-1 montrent une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum de l'ordre de 845,2mm en 2002/2003 et un minimum de 196,4 mm en 2016/2017. La limite de 566 mm (= moyenne des précipitations) permet de différencier les années déficitaires des années excédentaires.

Cette période d'observation de 1991/1992 à 2016/2017 commence par une année excédentaire et se termine par une année déficitaire.

- **Répartition des précipitations mensuelles**

La répartition mensuelle des précipitations, au cours de l'année ainsi que leur variabilité conditionne le régime des cours d'eau et les fluctuations des niveaux piézométriques des nappes phréatiques.

Le tableau qui suit montre cette variabilité pendant une période de 26 ans.

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

Tableau II-3 : Précipitations moyennes mensuelles à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	38,65	40	66,27	79,37	84,16	71,91	60,26	51,21	46,55	14,72	3,69	9,96	566,80

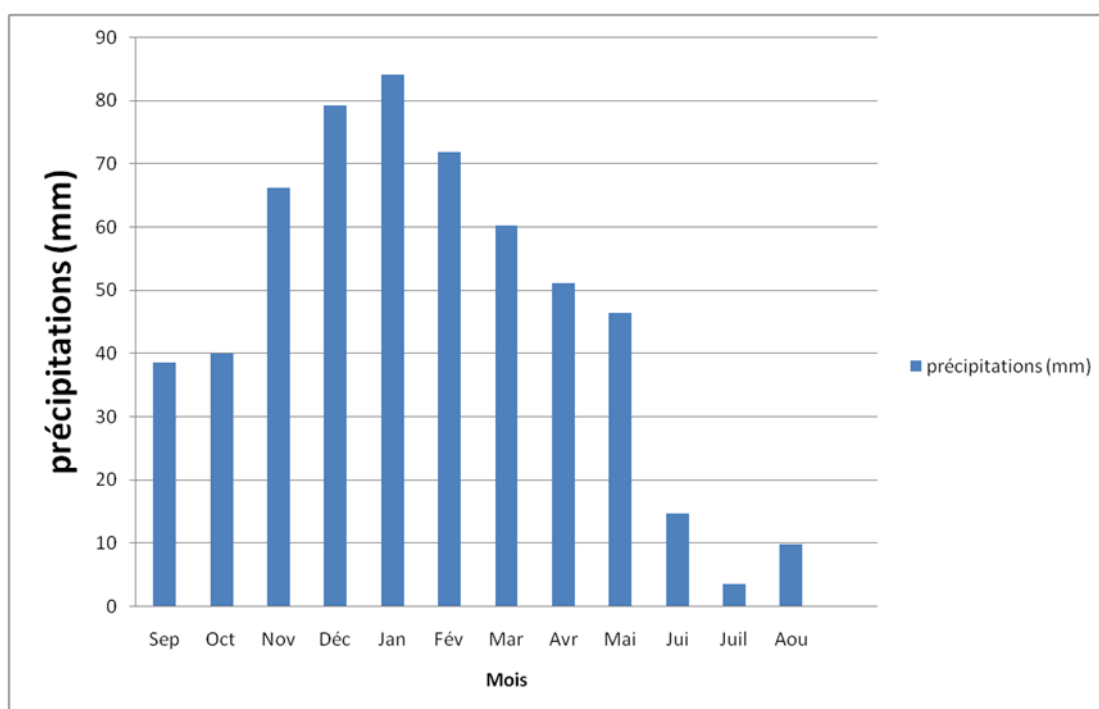


Figure II-2 : Variabilité des précipitations moyennes mensuelles (en mm) à la station du barrage Hammam Debagh. (1991/1992-2016/2017).

D'après la figure II-2, la plus grande valeur de précipitation moyenne mensuelle correspond au mois de janvier (84,6 mm), par contre la plus faible valeur correspond au mois de juillet avec 3,69 mm.

- **Répartition saisonnière des précipitations**

D'après la figure II-3, on remarque que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec un pourcentage de 78,48 % des pluies annuelles. Par contre, l'été est le plus sec avec un pourcentage de 9,45% des pluies annuelles. Le reste des pluies est réparti entre le Printemps et l'Automne.

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

Tableau II-4 : Régime saisonnier des précipitations pour la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).

Mois	P (mm)	Saison	Précipitations saisonnières	
			Total (mm)	%
Septembre	38,65	Automne	144,92	25,56
Octobre	40			
Novembre	66,27			
Décembre	79,37	Hiver	235,45	41,54
Janvier	84,16			
Février	71,91			
Mars	60,26	Printemps	158,02	27,88
Avril	51,21			
Mai	46,55			
Juin	14,72	Eté	28,37	5,002
Juillet	3,69			
Août	9,96			
Total	566,80	-	566,80	100

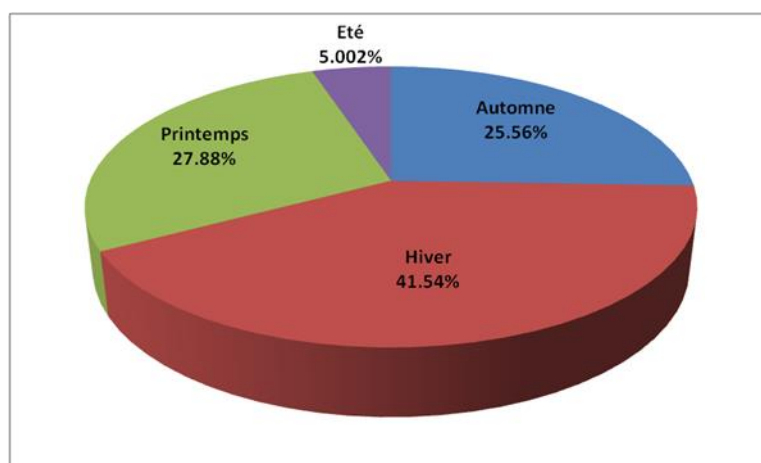


Figure II-3 : Pourcentage saisonnier des précipitations pour la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

II.2.2. Les températures

La température est un facteur essentiel dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologique. Ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

- **Les températures moyennes mensuelles**

D'après le tableau et le graphe suivant (tableau II-5, fig. II-4), on remarque que les mois les plus chauds sont ceux de juillet et d'août avec respectivement des températures de 29,63 et 29,35°C, par contre les mois les plus froids sont les mois de janvier et février avec respectivement des températures de 9,32 et 9,66 °C. La température moyenne annuelle est de 18,69 °C.

Tableau II-5 : Les températures moyennes mensuelles à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T moy (°C)	24,85	20,37	14,16	10,17	9,32	9,66	13,05	16,59	21,15	26,03	29,63	29,35	18,69

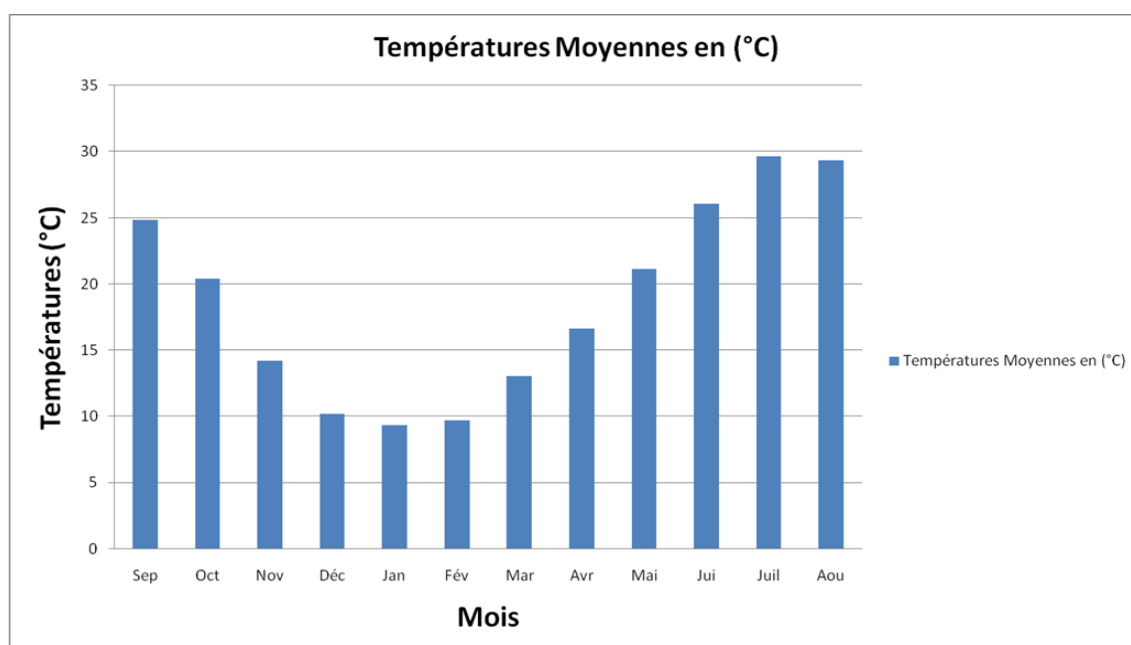


Figure II-4 : Températures moyennes mensuelles à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

II.2.3. Diagramme pluviothermique

Le diagramme pluviothermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.

Le diagramme pluviothermique, illustré dans la figure II-5, fait ressortir deux saisons :

- Une saison sèche qui s'étend entre le mois de Mai et le mois d'Octobre,
- Une saison humide qui commence du début du mois de Novembre et s'étale jusqu'au début d'Avril

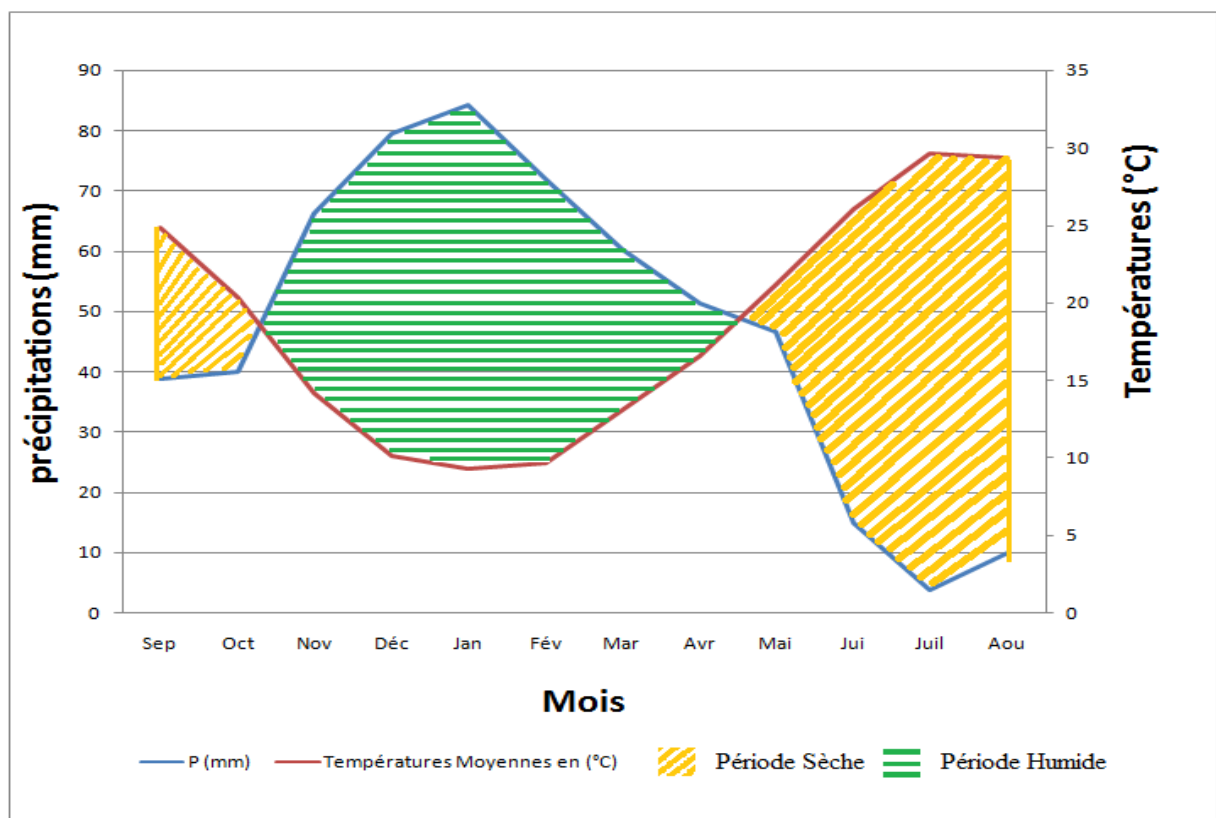


Figure II-5 : Diagramme pluviothermique à la station du barrage Hammam Debagh (1991/1992-2016/2017).

II.2.4. Le bilan hydrique

La méthode du bilan s'applique principalement pour établir la relation entre les apports et les pertes ainsi que pour la connaissance des variations des réserves en eau. Dans cette partie, le bilan d'eau est calculé par l'évaluation de l'évapotranspiration, disposant des données des précipitations et leurs répartitions par une surface d'où on note les paramètres suivants :

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

1. L'infiltration I
2. Le ruissellement R
3. l'évapotranspiration ETP_ETR (Gharbi *et al.*, 2001, 2002)

- **L'évapotranspiration**

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP)
- L'évapotranspiration réelle (ETR)

a. Évapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné. L'ETP est calculée par la formule de C.W. Thornthwaite (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui est donnée par l'expression suivante :

$$ETP(mm) = 16(10T/I)^a \cdot K$$

Avec

ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).

T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i) :

Où $I = \sum i = (T / 5)1,514$ et $a = 0,016 I + 0,5$

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

- si pour un mois $P > ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (PETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à l'égalisation avec ETP . Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation (Nabil, 2008)

Tableau II-6 : Bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).

Mois	paramètres	T°C	I	K	ETPmm	Pmm	RFU	ETRmm	Def	Exc
Sept		24,85	11,3	1,03	105,8	38,65	0	38,65	67,15	0
Oct		20,37	8,4	0,97	68,3	40	0	40	28,3	0
Nov		14,16	4,8	0,86	30,3	66,27	7,67	30,3	0	0
Déc		10,17	2,9	0,81	15,2	79,37	71,84	15,2	0	0
Jan		9,32	2,5	0,87	13,8	84,16	100	13,8	0	70,36
Fév		9,66	2,7	0,85	14,5	71,91	100	14,5	0	57,41
Mars		13,05	4,3	1,03	31,1	60,26	100	31,1	0	29,16
Avr		16,59	6,1	1,10	52,4	51,21	98,81	52,4	0	0
Mai		21,15	8,9	1,21	91,5	46,55	53,86	91,5	0	0
Juin		26,03	12,1	1,22	136,8	14,72	0	68,58	68,22	0
Juill		29,63	14,8	1,24	177,9	3,69	0	3,69	174,21	0
Aout		29,35	14,6	1,16	163,4	9,96	0	9,96	153,44	0
Annuel		18,69	93,4		901	566,61		409,68	491,32	156,93

RFU max =100

Vérification du bilan hydrique :

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EX \quad \longrightarrow \quad 409,68 + 156,93 = 566,61$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA \quad \longrightarrow \quad 409,68 + 491,32 = 901$$

- **Évapotranspiration réelle (ETR)**

Elle correspond à la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique. L'ETR peut être déterminée par :

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

La formule de Turc (1954), qui permet d'évaluer directement l'ETR annuelle à partir de la hauteur annuelle de la pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = P / (0,9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec

ETR: évapotranspiration réelle en mm/an.

P : hauteur annuelle de pluie en mm

L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque

P devient grand $L = 300 + 25t + 0.05t^3$

t : température annuelle en °C.

On a pour la station de Guelma : **P = 566,80 mm, t = 18,69°C**

L = 300 + 25(18.69) + 0.05 (18.69) 3 = 1093.68

Selon la formule de Turc, **ETR= 529,71 mm**

• Représentation graphique du bilan

D'après la figure II-6, on remarque que la valeur de l'évapotranspiration maximale est observée aux mois de Juillet et Août avec 177,9 mm et 163,4 mm respectivement, ce qui produit un déficit agricole étalon de juillet jusqu'à octobre nécessitant une irrigation pour les zones de cultures. Pour le reste des mois, l'évapotranspiration est faible, et ce d'autant que la pluviométrie élevée produit une recharge de la nappe.

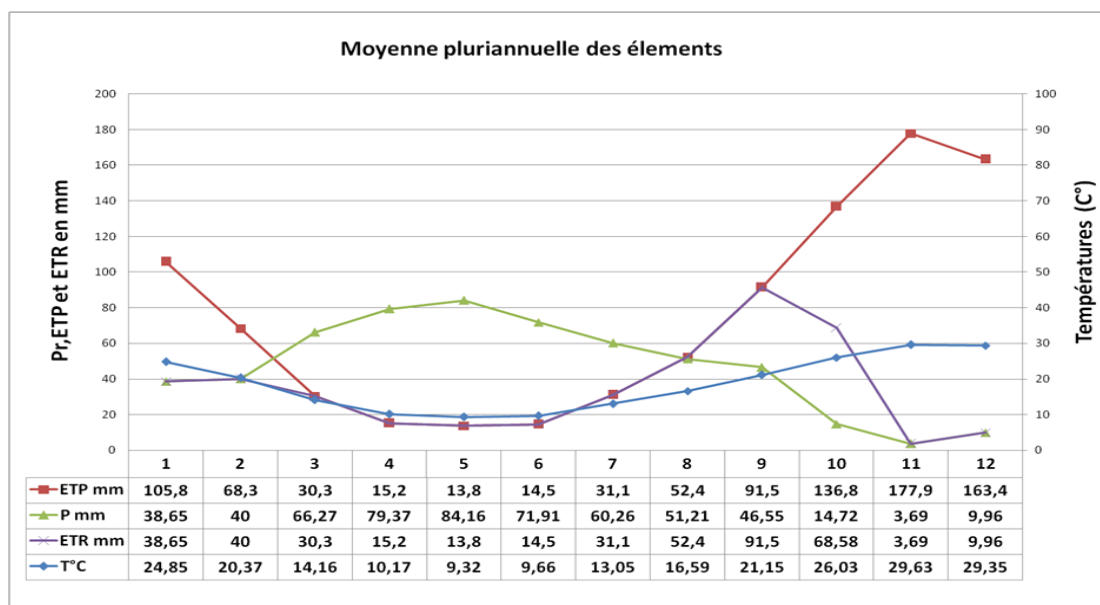


Figure II-6 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite pour la station de Hammam Debagh (1991/92-2016/17).

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

II.2.5. Le ruissellement (R)

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui, au cours d'une précipitation, échappe à l'infiltration et à l'évapotranspiration.

Le ruissellement est calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff, pour les pluies qui sont inférieures à 600mm :

$$R = P^3/3 * (ETP)^2$$

Avec :

R : Ruissellement (mm)

P : Hauteur moyenne annuelle des pluies (mm)

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/an) selon Thornthwaite

On a :

$$P = 566,61 \text{ mm} \quad ETP = 901 \text{ mm}$$

Le ruissellement pour la station de Guelma : **R = 74,69 mm**

II.2.6. L'infiltration (I)

La formule générale du bilan hydrique donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur des grandes périodes.

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : Hauteur moyenne annuelle des pluies (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an)

I : Infiltration (mm/an)

R : Ruissellement (mm).

Donc :

$$I = P - (ETR + R)$$

Chapitre II : Les caractéristiques hydroclimatologiques du barrage de Bouhamdane

Tableau II-7 : Détermination des paramètres de la formule du bilan hydrique de la station du barrage Hammam Debagh (1991/92-2016/17).

Paramètres	P(mm)	R(mm)	ETR(mm)	I(mm)
	566,8	74,69	409,68	82,43

II.3. Conclusion

L'interprétation des données climatiques indique que la région de Guelma est caractérisée par un climat de type méditerranéen, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux ; les précipitations et la température, avec des moyennes annuelles de 566,8 mm et 18,69°C pour la période de (1991/92-2016/17).

L'étude des résultats indique la présence de deux saisons typiques du climat méditerranéen, avec une saison sèche (des mois de mai à octobre) et une autre humide (de novembre à avril).

L'interprétation du bilan hydrique, selon la formule de C.W Thorthwaite, donne une évapotranspiration réelle de l'ordre de 409,68 mm/an.

La formule de Tixerion-Bercaloff donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 74,69mm/an, et l'infiltration a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique à 82,43 mm/an.

Chapitre III :
Etat des lieux du barrage
de Bouhamdane

III. Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Introduction

Dans ce chapitre, et dans le but de déterminer les inconvénients du barrage étudié, nous allons essayer de faire la liste et de quantifier les différentes pertes en eau. Les données utilisées dans le cadre de cette étude proviennent du bilan hydraulique du barrage durant une période de 28 ans, entre l'année 1991 et l'année 2019. Ces données ont été fournies par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) de Guelma. Elles concernent les pertes en eau telles que : l'évaporation, l'envasement, les fuites d'eau, l'irrigation.

Ce chapitre débute par une rapide présentation du type de barrage et de l'objectif de sa construction ainsi que des caractéristiques hydrauliques générales du bassin versant et du barrage.

III.1. Le barrage de Bouhamdane

III.1.1. Définition

Un barrage est un « ouvrage artificiel coupant le lit d'un cours d'eau et servant soit à en assurer la régulation, soit à pourvoir à l'alimentation en eau des villes ou à l'irrigation des cultures, ou bien à produire de l'énergie" et une digue est un "ouvrage destiné à contenir les eaux, à élever leur niveau ou à guider leur cours. ». Il est fabriqué en béton et pierres, et généralement construit dans une gorge du cours d'eau.

III.1.1.1. L'aménagement

L'aménagement comprend les ouvrages suivants :

- Une digue en terre de 93 m de hauteur.
- Deux évacuateurs de crue en puits de section circulaire.
- Une vidange de fond dans laquelle est incorporée la chambre des vannes en souterrain à 50 m à l'aval de l'axe de la digue.
- Une tour de prise verticale encastrée dans le rocher comportant 3 niveaux de prise et reliée à la chambre des vannes par la galerie de prise d'eau principale elle-même incorporée au niveau supérieur de la vidange de fond.
- Une tour de batardage de la vidange de fond dans laquelle est incorporée une prise d'eau auxiliaire elle-même jumelée avec la galerie de prise d'eau principale au niveau supérieur de vidange de fond.
- Un réseau de galeries d'injection et de drainage de la fondation de la digue.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

- Une galerie d'accès de service à la chambre des vannes.

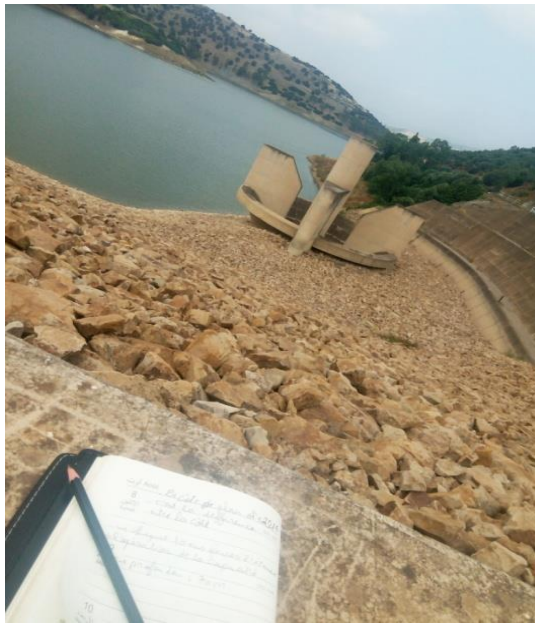


Photo III-1 : Barrage Hammam Debagh : évacuateur de crues en puits de section circulaire et protection sur la rive gauche (vue à partir de la digue) (juin 2019).

III.1.1.2. L'objectif du projet

Les différents objectifs sont (source ANBT, Guelma, 2019) :

- 1/ Irrigation (25.18 hm³) du périmètre Guelma-Bouchegouf (dont la superficie s'étend sur 9.25 ha)
- 2/ Alimentation en eau potable de la ville de Guelma et des centres avoisinants (21.68 hm³).
- 3/ Introduction des cultures intensives et à haut rendement.
- 4/ Maîtrise de la qualité de l'eau et équilibre écologique.
- 5/ Utilisation rationnelle des ressources hydriques pour une meilleure exploitation des terres agricoles.

Le quota alloué pour L'AEP en 2017 était de 14 hm³. Le barrage alimente en eau potable (AEP) les agglomérations de Ain Hassainia, Hammam Debagh, Medjez Amar, Ben Djerrah et Guelma. La population de ces agglomérations est estimée à 162488 habitants selon le recensement de l'année 2008 et se répartie comme désigné dans le tableau suivant :

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Tableau III-1 : Répartition des besoins selon la population (source : ABHCSM¹, 2016).

Agglomération	Population	Besoins (hm ³ /an)
Ain Hassainia	5897	0,32
Hammam Debagh	15 384	0,84
Medjez Amar	3 575	0,2
Ben Djerrah	8 711	0,48
Guelma	128 921	7,1

Pour l'irrigation, le barrage alimente les deux périmètres irrigués Guelma-Boucheougouf d'une part, dont la superficie s'étend sur 13.000 ha, et Drean-Besbès d'autre part dans la wilaya d'El Tarf. Les résultats actuels pour la saison d'irrigation 2016 montrent que le volume prélevé pour l'irrigation avait atteint 20 hm³. Le tableau suivant résume la superficie irrigable, celle irriguée et le taux d'irrigation :

Tableau III-2 : Les superficies irriguées (source : ABHCSM, 2016).

Superficie irrigable (ha)	Superficie irriguée (ha)	Taux d'irrigation (%)
9250	2401	26

III.1.2. Caractéristiques du barrage étudié

Le barrage de Bouhamdane a été construit en 1980 et mis en service en 1987 (année de la mise en eau). Les caractéristiques techniques du barrage et de son bassin versant sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III-3 : Fiche technique du barrage de Bouhamdane (source : ANBT, 2020).

<i>Caractéristiques hydrologiques</i>	
Wilaya	Guelma
Oued	Bouhamdane
Capacité initiale	1988 ~ 200 hm ³
Capacité lors du dernier lever bathymétrique	2004 ~ 185 hm ³
Apport moyen annuel	65 hm ³
Envasement moyen annuel	0,35 hm ³
Bassin versant	
Superficie	1070km ²
Périmètre	142 km

¹ABHCSM = Agence du Bassin Hydrologique du Constantinois – Seybouse – Mellegue

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Longueur	49,3 km
Largeur	21,7 km
Altitude maximale	1282 m
Altitude minimale	295 m
Altitude moyenne	800 m
Indice de pente	0,1
Thalweg	80 km
Principal Pluie	652 mm
Moy annuelle	535000t/an
Caractéristiques du barrage	
Type	En terre avec noyau central
Hauteur	93 m
Longueur	430 m
Largeur en crête	10 m
<i>Côte de retenue Normale (R.N)</i>	360 m
<i>Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)</i>	370,25 m
<i>Déversoirs</i>	Deux (02) déversoirs (seuil libre et corolle avec puits)
Volume Inexploitable	5 hm ³
Volume régularisé	55 hm ³
Volume de la digue	6.500.000 m ³
Débit d'évacuation	2 240 m ³ /s
<i>Vidange de Fond</i>	218 m ³ /s

III.1.2.1 : La digue

Le barrage est une digue en remblai zoné. L'organe d'étanchéité est un noyau central vertical constitué en terre argileuse. Son épaisseur atteint 56 mètres à la base, le gardien hydraulique moyen dans le noyau n'est jamais supérieur à 1,7.

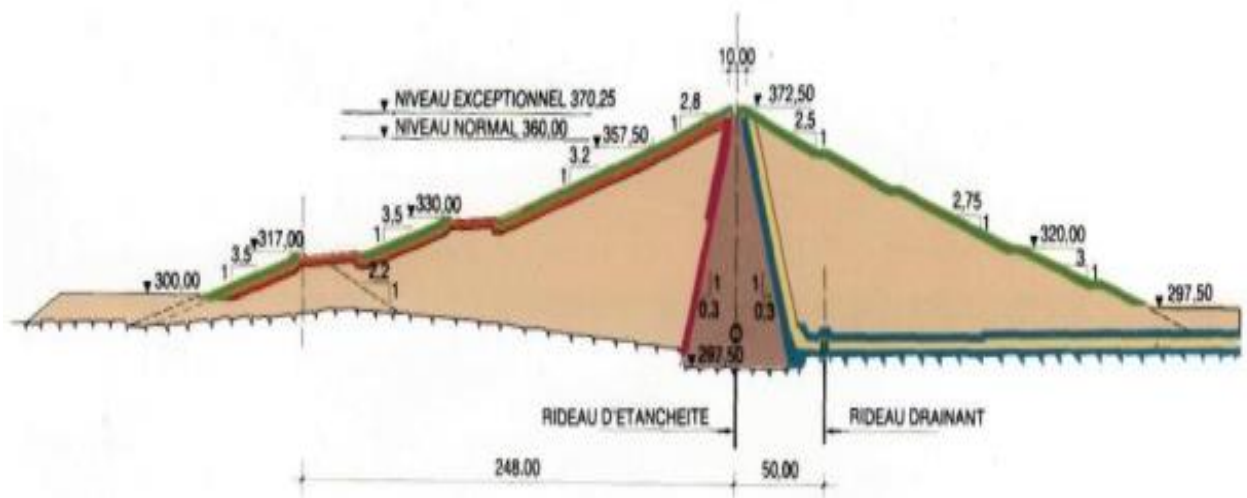
Le noyau est maintenu par des recharges amont et aval constituées en remblai compacté de graves alluviales sableuses et silteuses. Les graves les plus pauvres en fines donc les plus perméables sont utilisées de préférence dans la partie externe de la recharge amont.

Le noyau est isolé des recharges graveleuses par des filtres et drains conçus pour une meilleure résistance aux sollicitations sismiques :

- à l'amont, un filtre à granulométrie fine et homogène, érodable pour pouvoir colmater toute fuite ou fissure dans le noyau

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

- à l'aval, un filtre de protection du noyau et du contact avec la fondation, puis un drain de très forte capacité (épaisseur 5 mètres, perméabilité environ 10-2 m/s)










	Noyau argileux
	Filtre amont
	Filtre aval
	Drains verticaux et horizontaux
	Recharges amont et aval
	Transition
	Rip-Rap protection du parement aval

Figure III-1 : Coupe transversale de la digue du barrage de Hammam Debagh (Source ANBT, 1990).



Photo III-2 : La galerie interne du Barrage Bouhamdane (juin 2019).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

III.1.3.Apports

III.1.3.1. Evolution annuelle des apports liquides

Ils sont présentés en Figure III-2 sous la forme d'apports annuels et calculés par la formule la plus couramment utilisé en Algérie (Formule dite Algérienne ou A.N.R.H) on a trouvé :

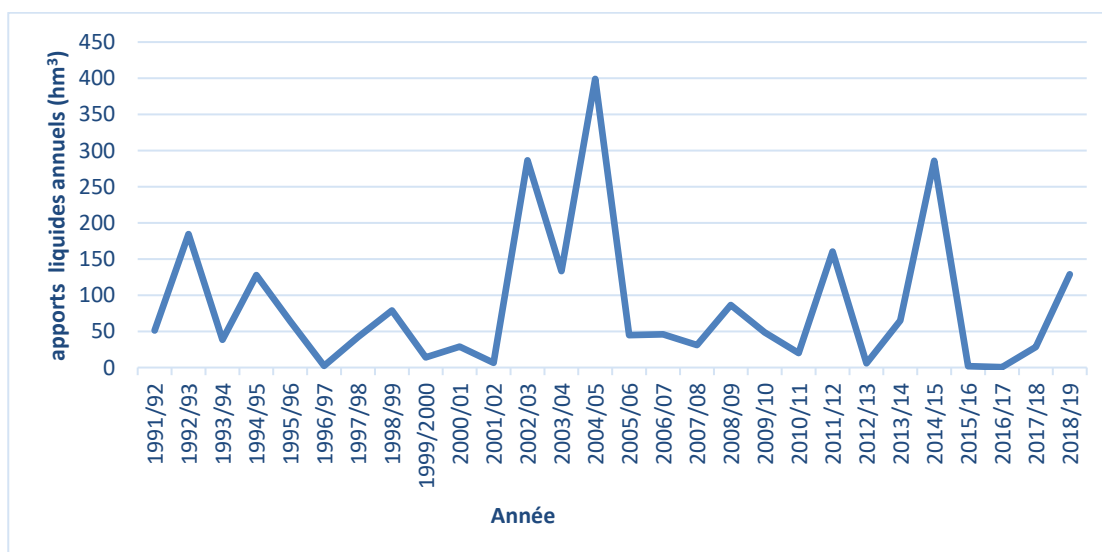


Figure III-2: Apports liquides annuels (1991/1992-218/2019) (ANBT2020).

Sur l'ensemble de la période considérée (1991/1992-2018/2019), l'apport moyen annuel au barrage Hammam Debagh est égal à 92,68 hm³.

A- Les formules d'évaluation des apports liquides

- Formule dite Algérienne

$$Le = \overline{P0} (1 - 10^{-K \times P0^2})$$

Ou :

- Le : lame d'eau écoulée en m
- P0 : Pluie moyenne annuelle en m
- K : coefficient dépendant de la surface du bassin versant
- S : surface du bassin versant en km².
- $K = 0.18 - 0.01 \log_{10}(S)$

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Formule de l'A.N.R.H

$$A_0 = 0.513 \times P_{\text{moy}}^{2.683} \times Dd^{0.5} \times S^{0.842} [10^6 m^3]$$

Ou :

- **P moy** : Précipitation moyenne annuelle [m]
- **S** : Superficie du bassin versant [Km²]
- **Dd** : Densité de drainage [km/km²]
- **A0** : Apport liquide annuel moyenne.

III.1.3.1. Evolution mensuelle des apports liquides

On dispose de l'évolution des apports du bassin versant de l'Oued Bouhamdane pour une période de 28 ans (1991/1992 à 2018/2019).

L'évolution mensuelle des apports se présente comme suit :

Tableau III-4 : Apports liquides mensuels au barrage de Bouhamdane (1991/1992 à 2018/2019).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Total
Volume (Hm ³)	0,3	1,9	6,05	6,72	20,33	24,32	20,57	9,6	2,2	0,4	0,06	0,05	92,68

Source ANBT 2020

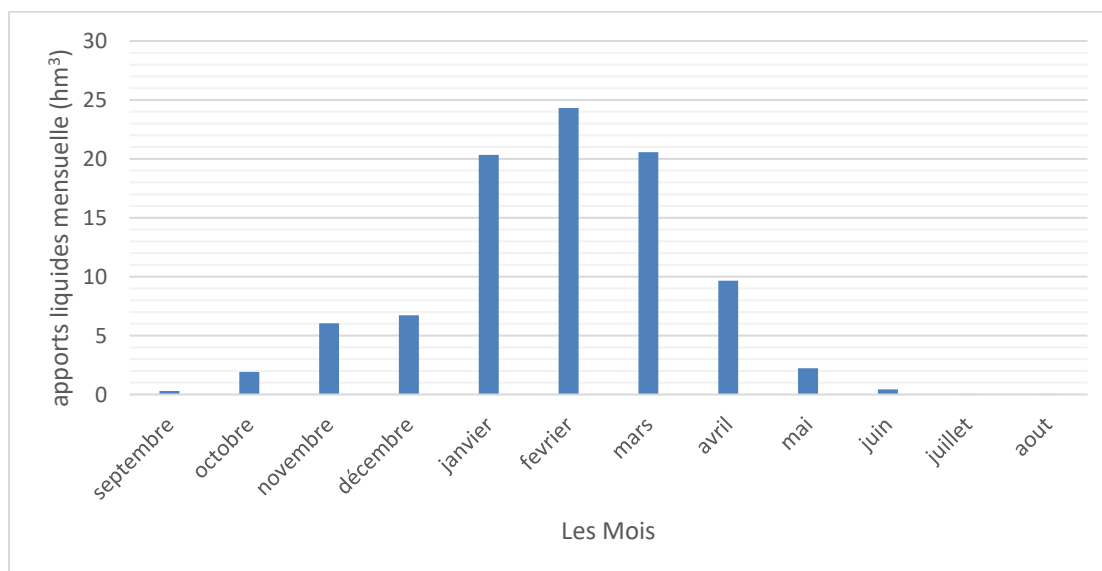


Figure III-3: L'évolution mensuelle des apports au barrage de Bouhamdane (1991/1992 à 2018/2019).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

On retrouve encore une fois un caractère saisonnier très accentué, calqué sur celui des pluies. Il faut constater l'importance des trois mois de Janvier à Mars qui fournissent plus que la moitié du total des apports.

III. 1.4. Evolution du taux de remplissage du barrage Bouhamdane

III.1.4.1 : Calcul du taux de remplissage annuel

Les retenues d'eau telles que les barrages se remplissent en cours d'année, essentiellement pendant la période où elles sont le moins sollicitées, à savoir en hiver, grâce à l'eau de pluie ou à la fonte des neiges.

Le calcul de taux de remplissage a été effectué en se basant sur les données du bilan hydraulique du barrage de Bouhamdane durant la période (1991/1992 à 2018/2019) (ANBT).

Tableau III-5 : Evolution du taux de remplissage mensuel moyen du barrage de Bouhamdane (1991/1992-2018/2019) (ANBT 2020).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moyenne Annuelle
Taux de remplissage	59,39	59,35	59,12	60,24	66,30	73,71	77,34	75,75	74,78	71,81	67,96	63,81	67,46

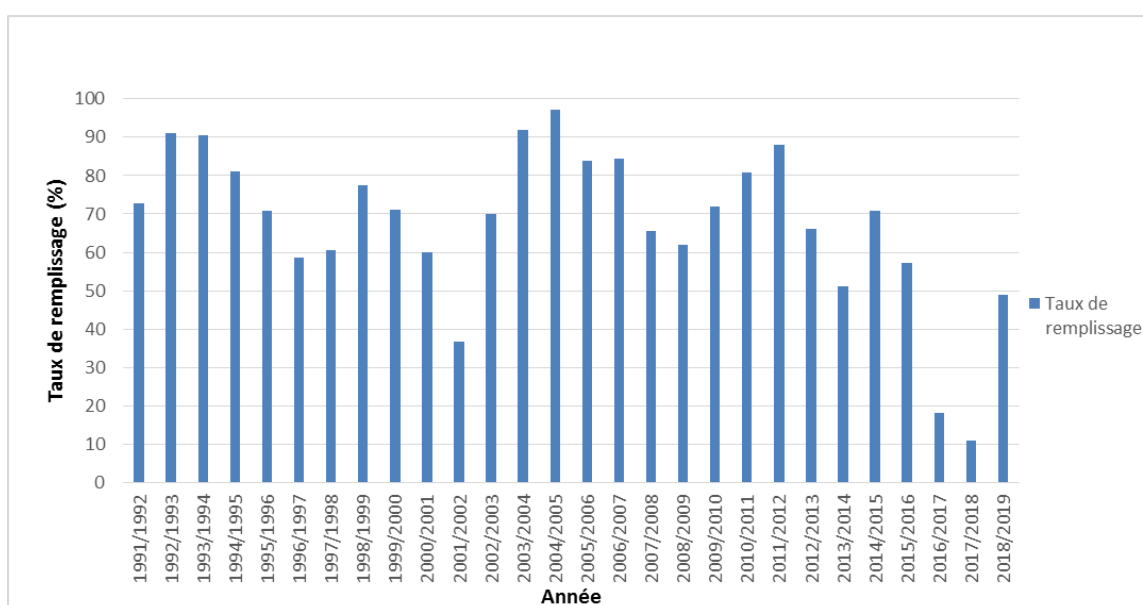


Figure III-4 : Evolution annuelle du taux de remplissage du barrage de Bouhamdane en % (1991/1992-2018/2019).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Cet ouvrage hydraulique a une capacité théorique de 185 millions de m³.

Son taux de remplissage moyen sur la période d'étude est d'environ 67 %. L'année hydrologique (2004/2005) est marquée par le taux de remplissage le plus élevé (environ 97 %). Cette année-là, le barrage a failli se remplir totalement et a déversé son trop-plein (par des lâchers d'eau) pour prévenir d'éventuelles inondations.

Le reste du temps, il a gardé un niveau de remplissage honorable, avec une valeur minimale d'à peine 11 % observée en (2017/2018). Hormis cette année défavorable, fort heureusement, les fortes précipitations enregistrées ont contribué à un apport d'eau conséquent au barrage, portant à environ 48 millions de m³ les réserves à la fin de 2018, ce qui permet de répondre aux besoins de la population. Depuis, d'autres précipitations ont été enregistrées, ce qui a dû accroître sensiblement le taux de remplissage.

III.2. Quantifications des pertes et interprétation des résultats

Différents types de pertes peuvent être quantifiées, en amont (directement dans la retenue d'eau) ou en aval (dans les réseaux d'adduction en eau potable ou d'irrigation).

III.2.1. Pertes liées à l'évaporation

III.2.1.1 : Définition

L'évaporation désigne la transformation plus ou moins lente d'un liquide en vapeur. L'évaporation de l'eau et de toutes sortes de liquides se fait naturellement, soit par la seule action de l'air, soit par la chaleur du soleil » (définition de l'académie française).

III.2.1.2 : La méthode de calcul

III.1.2 .1 : Méthode des bacs d'évaporation

Le barrage est équipé d'un bac Colorado, installé à proximité de la retenue (photo III-3). Il permet aux techniciens de prendre des mesures journalières de l'évaporation.

➤ Le bac Colorado :

C'est un bac carré de 91,4cm de côté, et de 46 à 91cm de profondeur. Il est enterré de manière à ce que son rebord soit à 10 cm au-dessus de la surface du sol. De fait, il représente mieux l'inertie thermique. Il existe des variantes du bac Colorado, notamment la version ORSTOM.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane



Photo III-3 : Bac d'évaporation classe « A » et Colorado installé à proximité de la retenue du barrage de Bouhamdane (Guelma).

La mesure de l'évaporation est confiée aux services de l'office national de la météorologie (ONM) et aux services de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH). La détermination de la valeur de l'évaporation des plans d'eau est effectuée donc à partir des stations météorologiques équipées de bacs d'évaporation de ces deux organismes (ONM et ANRH).

Le phénomène de l'évaporation à partir des bacs d'évaporation est basé sur la loi du bilan hydrique, avec l'absence totale des débits souterrains et des pertes par infiltration qui sont très difficile à estimer.

L'expression simplifiée du bilan hydrique d'un bac pourra se traduire comme suit :

$$E \text{ Bac} = \Delta H \pm P$$

Où :

E Bac : évaporation du bac en mm;

P : pluie tombant sur le bac en mm;

ΔH : différence de côte du plan d'eau dans le bac entre deux mesures en mm.

Le passage de l'évaporation du bac à l'évaporation du plan d'eau se fait par multiplication des résultats de mesure sur le bac par le coefficient du bac :

$$E = K.E \text{ Bac}$$

Où :

E : évaporation du plan d'eau en mm

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

K : coefficient du bac; (K= 0,7– 0,8, pour le bac Class A et Colorado)

E Bac : évaporation mesurée sur le bac en mm

III.2.1.3 : Evolution de l'évaporation

- Calcul de l'évaporation moyenne mensuelle et annuelle

Nous avons utilisé les données de l'évaporation journalières du barrage. La période de mesure s'étale de 1991 à 2019. Ces données sont empruntées à l'ANBT de Guelma.

Tableau III-6 : Évaporation moyenne mensuelle au Barrage Bouhamdane (1991/1992-2018/2019).

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moyenne annuelle
E (mm)	160,5	104,04	61,12	40,81	36,6	39,9	62,8	86,08	129,06	194,27	250,3	250,2	1416,07

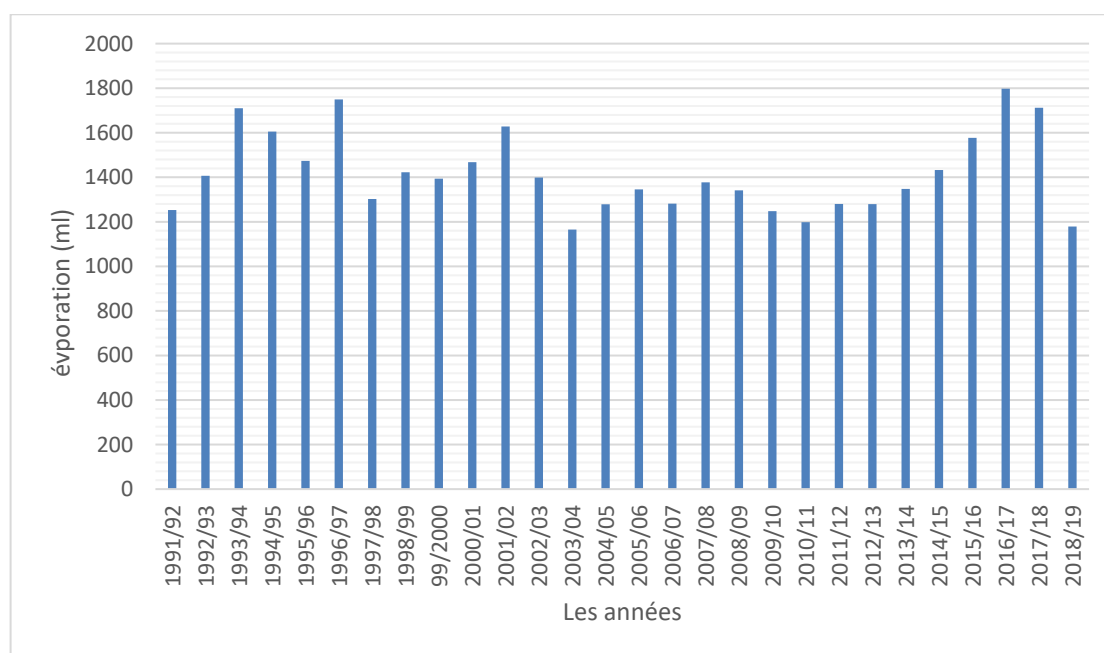


Figure III-5 : Évaporation annuelle au Barrage Bouhamdane (1991/1992-2018/2019).

Le graphe ci-dessus montre l'évolution de l'évaporation annuelle durant la période d'exploitation (1991-2019) au niveau du barrage de Bouhamdane. On remarque que l'année la plus sèche est celle de 2016/2017 avec une évaporation de 1797,2 mm, par contre l'année la plus humide est l'année de 2003/2004 avec une évaporation de 1165,3 mm.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

III.2.1.4 : Evolution du volume d'eau évaporé dans le barrage de Bouhamdane

Le phénomène de l'évaporation dans le lac du barrage est important à quantifier, puisqu'il est responsable de pertes de volumes d'eau du barrage parfois considérables.

Les évaporations mesurées sur bac de classe (A) suivent les mouvements annuels de l'humidité et de la température de l'air mais sont influencées par divers facteurs climatiques, les résultats sont données directement par l'ANBT et sont représentés dans le graphe suivant :

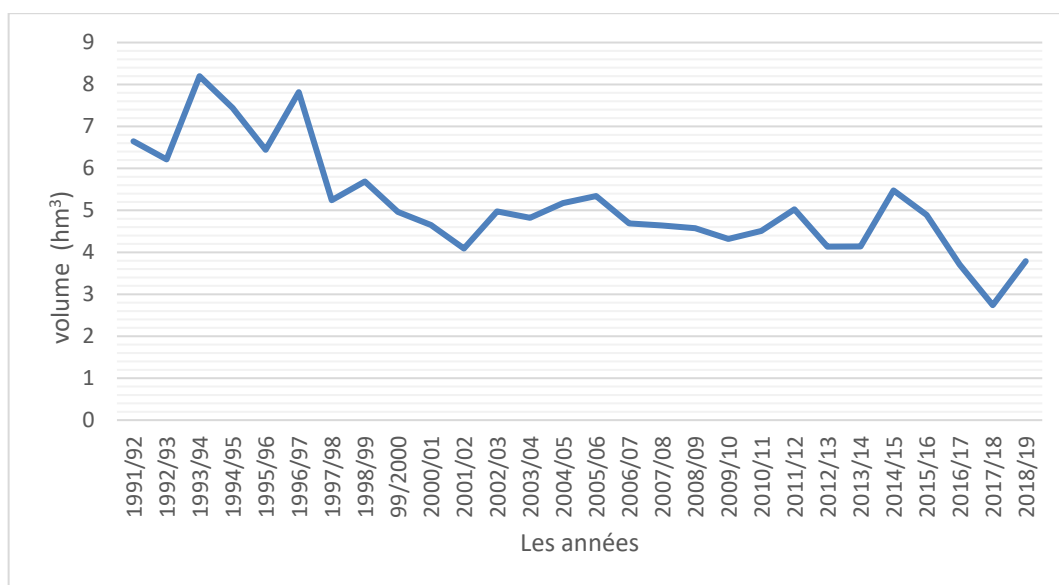


Figure III-6 : Evolution annuelle du volume d'eau évaporée par la retenue (1991/1992-2018/2019).

Le graphe ci-dessus présente l'évolution annuelle du volume d'eau perdu par évaporation dans le lac du barrage de Bouhamdane, d'une capacité théorique de 185 millions de m³. Nous remarquons que la valeur maximale du volume perdu enregistrée a été de 8,198 hm³ d'eau durant l'année 1993/1994, par contre la valeur minimale avoisine les 2,74 hm³ mesurée en 2017/2018. La moyenne annuelle de volume perdu durant la période d'exploitation 1991-2019 est de 5,04 hm³.

III.2.2. Pertes liées à l'envasement

III. 2.2.1 : Introduction

Tous les barrages du monde sont exposés au phénomène de la sédimentation, mais avec des vitesses qui diffèrent d'une région à l'autre. Ce phénomène a été largement signalé par exemple aux Etats Unis, en Russie, à Taiwan, en Chine, en Inde, en Iran, au Soudan et en Algérie. Dans notre région, la perte de capacité du barrage représente 7,8 % de la capacité initiale (2004), soit près de 0,5 % par an. Le barrage de Bouhamdane peut être donc classé dans la catégorie des retenues de faible envasement (d'après Zeghaba,2018).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

III.2.2.2 : Définition

L'envasement est un phénomène dont la dynamique est régulière et homogène. Les dépôts s'effectuent de façon linéaire le plus souvent homogène sur le fond des retenues. Cet envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion où les processus de ce phénomène ont des définitions diverses, suivant les auteurs. Nous avons retenu la définition qui combine l'arrachement (creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches), le transport et le dépôt de matériaux.

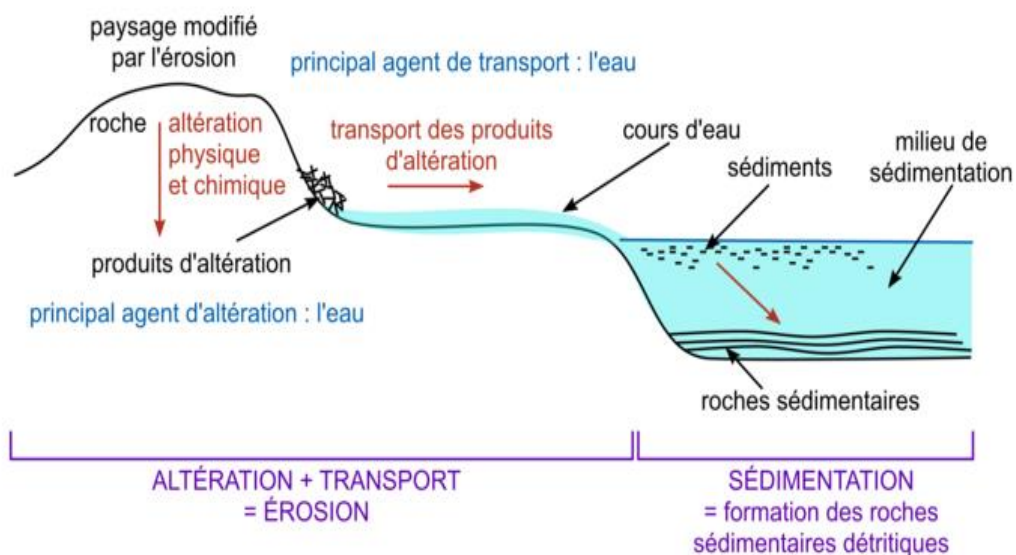


Figure III-7 : Processus sédimentaires (source internet).

- **Définition de la vase**

Le nom de vase est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux de faible teneur en matière organique, avec une importante teneur en eau. Elle contient une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries).

Mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue ?

On sait que ce phénomène complexe dépend de certains paramètres tels que :

- La forme géométrique de la retenue : petite, grande, de type canal, de type lac
- La profondeur de la retenue.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

- L'apport solide de la retenue.
- La pente du fond de la retenue

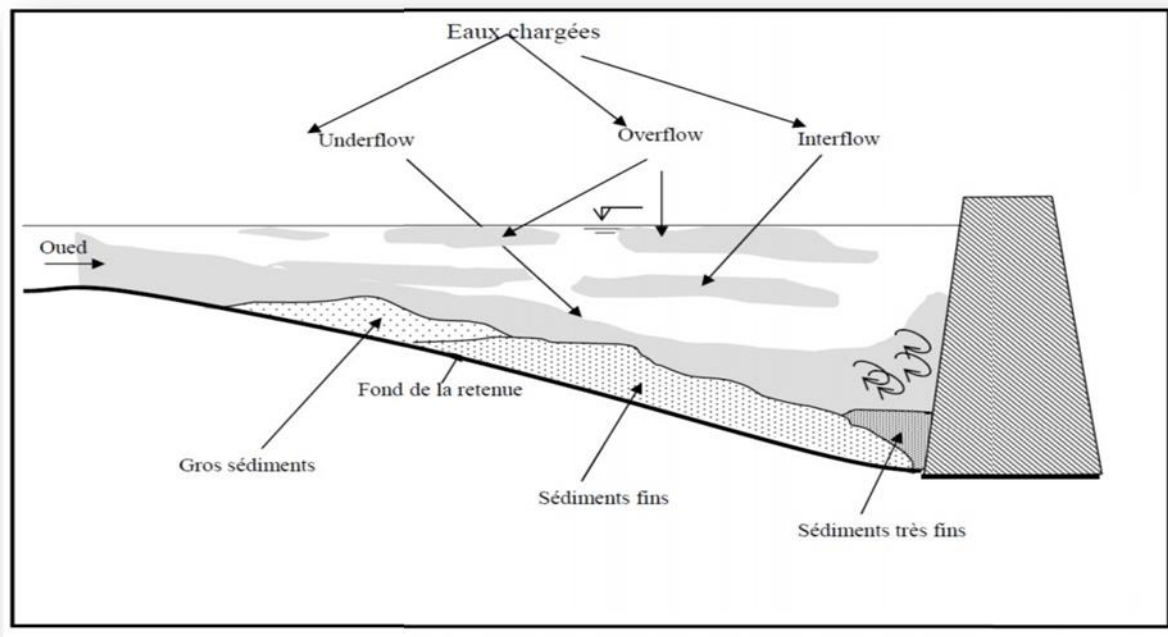


Figure III-8 : Mode d'envasement (Benasla, 2015).

III.2.2.4 : Problèmes posés par la sédimentation

En Algérie, le taux d'érosion spécifique atteint les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Les éléments de quantification concernant les taux et les concentrations d'érosion spécifique, issus des travaux donnent des chiffres allant de 20 à 500 tonnes/ km² /an avec une turbidité comprise entre 16 et 28 g/l.

Ce phénomène d'érosion conduit à une sédimentation importante dans les barrages et elle pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du réservoir. Elle entraîne la réduction de la capacité utile du barrage, le blocage des organes de vidange. La sédimentation peut mettre la stabilité de l'ouvrage en danger.

Elle peut aussi accélérer l'eutrophisation du lac. Les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par les canaux, à partir des barrages, se déposent dans ces ouvrages, réduisent leur débitance, et rendent difficile leur exploitation, et elle a même un impact sur la qualité de l'eau.

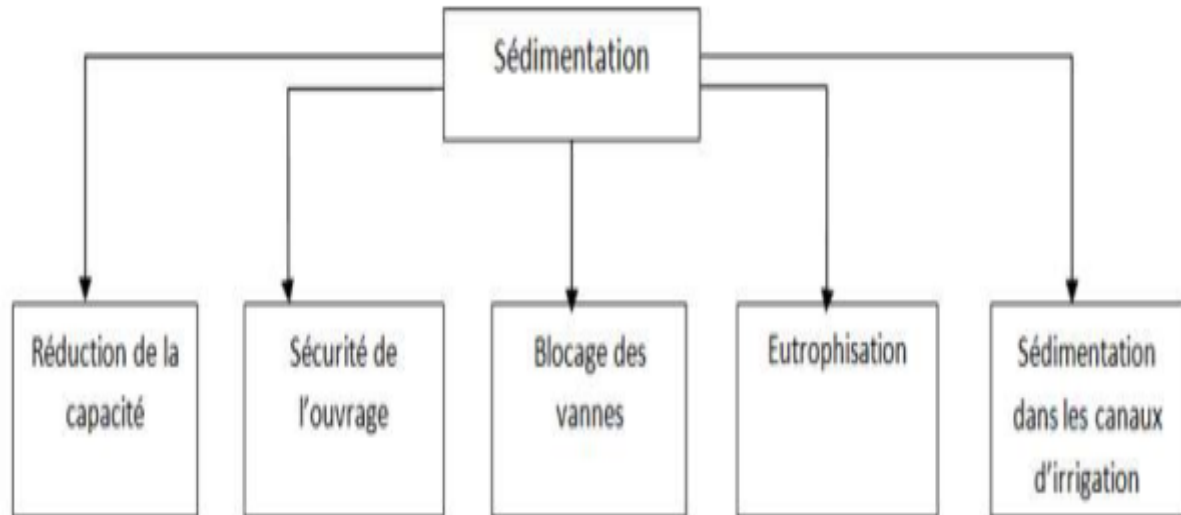


Figure III-9 : Problèmes posés par la sédimentation.

III.2.2.5 : Les modèles d'estimation de l'envasement

Comment évaluer le volume de l'envasement?

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venantes dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. On distingue deux méthodes de mesure :

- **Bathymétrie par nivellement**

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiments et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu. Il ya plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrie par nivellement, on prend quelques exemples :

- a. La première méthode de bathymétrie par nivellement est réalisée à l'aide d'un instrument de mesure gradué, à partir du bord et préférentiellement à partir d'une embarcation si les conditions le permettent. Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vases par enfoncement, soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux, une résistance plus soutenue permet d'apprécier le haut du substrat. Les mesures sont composées de profils en travers qui pour être représentatifs, doivent être judicieusement localisées et dénombrées. La définition du volume extrait ou à retirer est établie par extrapolation entre deux profils à partir du produit entre la section envasée et la distance (voir figure suivante).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

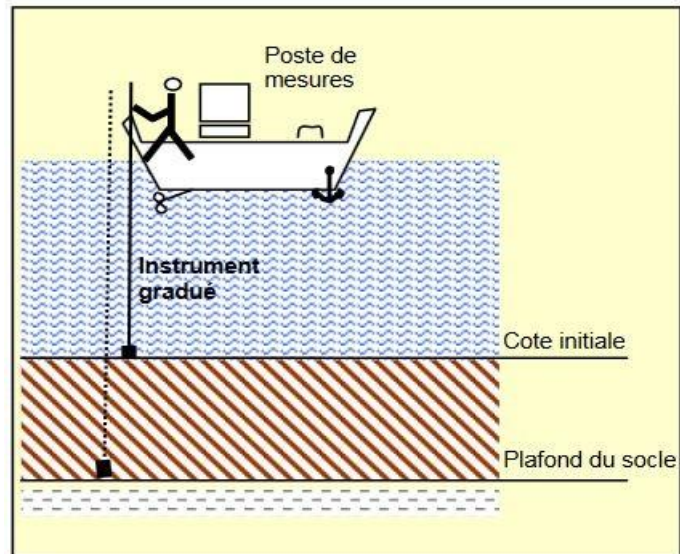


Figure III-10 : Schématisation de la bathymétrie par nivellement (IDRA Environnement SA, 2006).

- b. La seconde méthode de nivellement est à l'aide d'une mire sur une embarcation et d'une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée laser), la hauteur d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond dur sont obtenus : voir photo. Le relèvement s'effectue point par point selon un profil transversal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément fonction de la largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par extrapolation des profils transversaux. Il est nécessaire de prendre en compte la cote de l'eau, d'avoir un positionnement précis des profils pour tenir compte des particularités du terrain. Le nivellement n'est généralement pas précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L$$

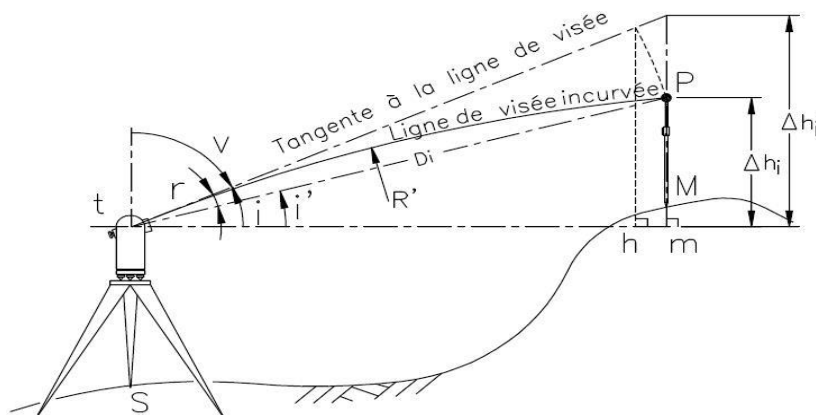


Figure III-11 : Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre) [<https://www.sigetudes.fr/guides-metier/leve-station-totale/>].

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

- **Bathymétries par sondeurs : «Echosondeur bathymétrique»**

L'échosondeur est une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Cette sonde a été inventée pour la première fois aux environs de la Première Guerre mondiale par le physicien français Langevin. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés.

Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre. (Un point de sonde = couple (distance, angle) Pratiquement mesure (t, θ) et exploitation (y, z).

Deux approches pour estimer (t, θ): Mesure de l'instant d'arrivée à angle fixe, mesure de l'angle en fonction du temps d'arrivée.

A l'aide des nouvelles technologies de sondeurs, cette technique peut être utilisable dans une hauteur d'eau restreinte. Cette technique s'applique à partir de sondeurs mono ou multi-faisceau.

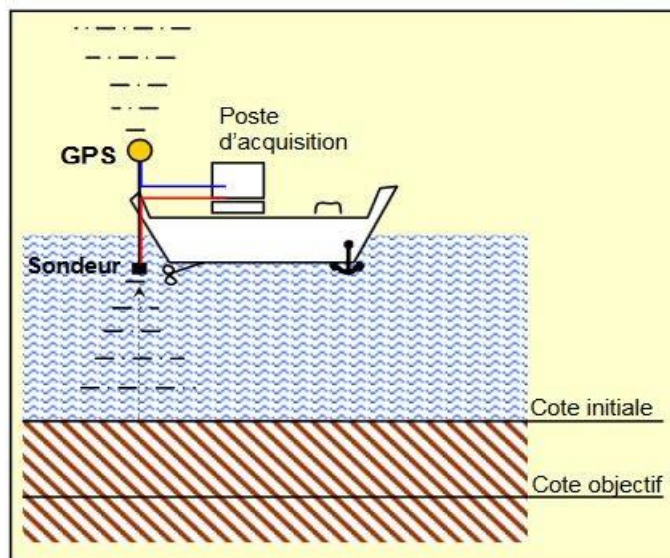


Figure III-12 : Schématisation de la bathymétrie par échosondeur (IDRA Environnement SA, 2006).

Les moyens à utiliser pour les levés bathymétriques par échosondeurs sont :

- Une embarcation pneumatique semi rigide.
- Une station de référence.
- Un sonar avec une fréquence de 200 (Kilo Hertz).
- Un GPS portable avec un récepteur GPS RTK 6502.
- Un PC portable avec le logiciel DTM 2000.
- Une barre d'étalonnage.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Au début du travail, l'hydrographe étalonne l'échosondeur par la barre d'étalonnage à différentes profondeurs. Il valide ainsi la profondeur du transducteur et la vitesse de propagation des signaux ultrasonores dans l'eau du barrage. La distance entre profils est choisie en fonction du terrain par le logiciel de guidage DTM 2000. Le long d'un profil, les données sont émises en continu mais l'enregistrement se fait toutes les deux (2) secondes. La direction des profils, généralement perpendiculaire aux rives, est choisie par l'hydrographe qui calcule le cap et navigue à cap constant. Durant le levé, il arrive de constater des formes de fond particulières sur les profils (des hauts fonds ou des fosses). Dans ce cas on procède à un balayage plus serré. Après le traitement des données par des logiciels, l'hydrographe peut établir les plans bathymétriques.

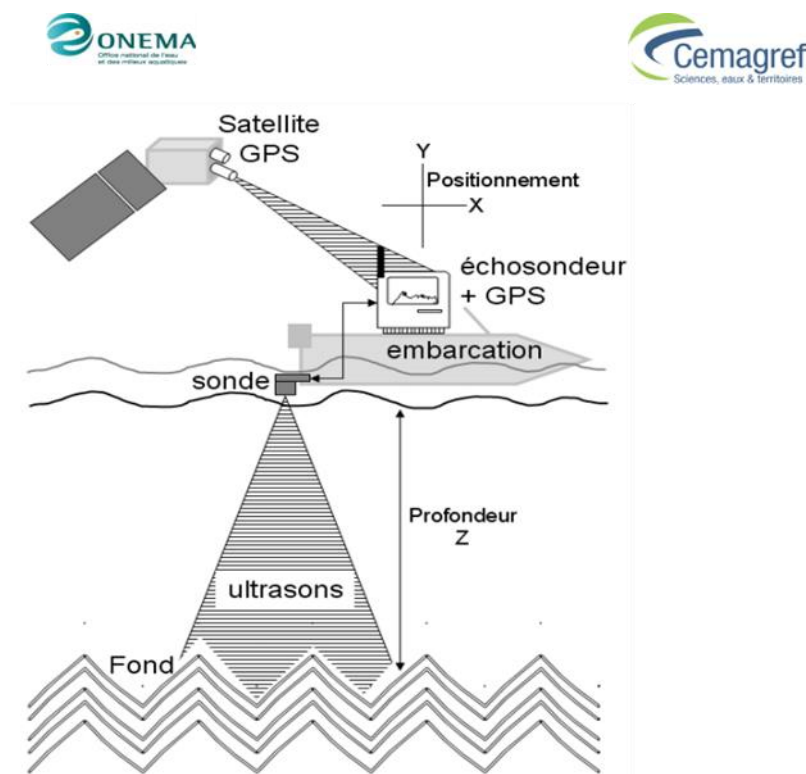


Figure III-13 : Principe de l'échosondage sondeur / GPS (Alleaume et al., 2010).

III.2.3. Pertes liées aux fuites dans les réseaux d'eau potable

III.2.3.1 : Introduction

Le distributeur d'eau potable a toujours le souci de couvrir les besoins des consommateurs, en quantité et qualité suffisantes. Il a aussi le souci de veiller à la bonne gestion et à la perfection de toutes les infrastructures concourant l'approvisionnement en eau.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

III.2.3.2 : Description d'un réseau d'A.E.P

Un réseau d'A.E.P (= Alimentation en Eau Potable) constitue l'ensemble des moyens et infrastructures dont dispose l'ingénieur pour transporter l'eau depuis la source jusqu'au consommateur. Un réseau d'eau potable doit être fiable et durable pour pouvoir répondre aux exigences des consommateurs (quantité et qualité optimales, dysfonctionnement minimaux). Le transport de l'eau de la source jusqu'au point de distribution se fait suivant une chaîne composée de quatre maillons principaux (Figure II-14).

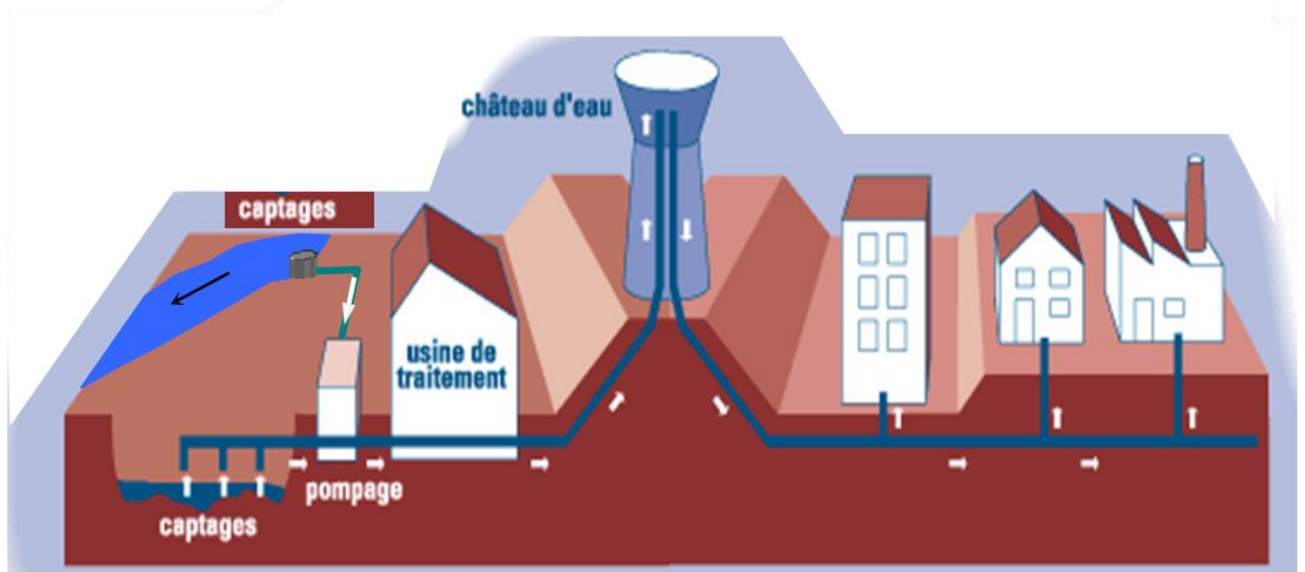


Figure III-14 : Schéma général d'un réseau d'A.E.P (d'après Blindu, 2004).

III.2.3.3 : Définition des fuites

Ce sont des pertes physiques de quelques quantités d'eau, mais qui n'empêchent pas le fonctionnement normal du réseau. Les fuites sont généralement localisées dans les joints, les vannes, les raccordements, les points de jonction entre deux éléments ou dans le corps même de la conduite (Gueddouj et Ouaret, 2002).

III.2.3.4 : Causes des fuites

Plusieurs causes sont possibles, notamment :

- Une rupture ou une mauvaise étanchéité des conduites.
- Des joints détériorés ou mal exécutés.
- De la corrosion.
- Des glissements de terrains.
- Un excès de pression.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

III.2.3.5 : Effets des fuites

Parmi les conséquences, on peut citer :

- Un risque de dégradation de la qualité de l'eau suite à l'introduction d'eau polluée.
- La perturbation de la circulation suite aux inondations.
- Un risque de retour d'eau.

III.2.3.6 : Estimation des pertes d'eau

Les fuites en réseaux et chez l'utilisateur sont estimées selon l'importance relative du débit nocturne par rapport au débit moyen sur vingt-quatre heures, ou par comparaison entre les volumes produits et les volumes consommés. Les campagnes de mesures déjà évoquées ont permis de déterminer les volumes d'eau consommés par les populations de la ville de Guelma. Les volumes d'eau consommés dans les commerces, les établissements publics et l'industrie ont été déduits des factures établies par le service des eaux. Par comparaison des débits de consommation des différents usagers, avec les volumes d'eau produits destinés à l'alimentation en eau potable, les pertes d'eau sont évaluées dans chaque localité par différentes approches.

Les différentes composantes des pertes d'eau sur un réseau d'AEP sont :

- Les volumes détournés.
- Les volumes défaut de comptage.
- Les volumes des fuites (fuites dans le réseau de distribution : branchements, robinet de prise, vannes, ventouse...).
- Les eaux de lavage et de nettoyage.
- Les eaux de vidange (cas de casse de conduite, travaux, raccordement...)

Le volume de ces pertes dépend de :

- La nature des conduites.
- L'âge et l'état du réseau.
- La compétence et l'efficacité du service de maintenance du réseau (moyens humain, moyens matériel, appareils de détection de fuites, rapidité d'intervention pour réparation)

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Tableau III-7 : Nombre de pertes en eau par bilan des fuites durant la période 2010-2020.

Année	Adduction (u)	Distribution (u)	Branchements particuliers (u)	Communes Chargées
2010	502	1765	576	10
2011	665	2645	620	11
2012	502	1765	576	9
2013	836	2489	543	18
2014	729	2771	376	16
2015	609	2757	312	25
2016	465	3077	804	24
2017	471	2933	920	27
2018	509	3431	1864	41
2019	346	3673	1339	54
2020	65	1246	393	29
Total	5699	28552	7780	264

Source ADE Guelma 2020

L'absence d'un système fiable de comptage et la facturation forfaitaire appliquée aux abonnés sans compteurs sont considérées comme les causes principales de la surconsommation d'eau et du phénomène de gaspillage. L'utilisation frauduleuse de l'eau potable, par certains abonnés dans l'irrigation de leurs jardins contribue également à augmenter le volume des pertes.

D'autres facteurs sont également à l'origine de ces importantes pertes d'eau. Il s'agit notamment de:

- ❖ La mauvaise qualité des travaux de pose des conduites,
- ❖ La multiplication des interruptions de service (stockage de grandes quantités d'eau chez l'utilisateur),
- ❖ La dégradation continue des installations du système d'eau potable (vannes, poteaux d'incendie...) et l'absence d'entretien,
- ❖ Le taux de fuites élevé (joints, casses, corrosion, étanchéité défectueuse des réservoirs, branchements chez l'utilisateur),
- ❖ Le gaspillage dans les établissements publics sans compteur (écoles, mosquées, marchés...),
- ❖ Les branchements clandestins,
- ❖ Les compteurs défectueux ou détériorés.

III.2.4. Pertes liées aux différentes méthodes d'irrigation

III.2.4.1. : Quantification et suivi des pertes dans les réseaux et dans l'application de l'eau à la parcelle

Les « pertes » lors de la mobilisation et de la distribution d'eau d'irrigation par des canaux, individuels ou collectifs, peuvent correspondre (Figure III-15):

- à des fuites : eau mobilisée et distribuée, perdue dans les réseaux et qui retourne au milieu,
- à de l'eau détournée (« usagers clandestins ») ou à des défauts de comptage

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

- à de l'eau évaporée lors du transport de l'eau dans des réseaux à ciel ouvert (eau de pluie évaporée et ultérieurement condensée sous forme de nuages).

Les principaux indicateurs de l'efficacité hydraulique sont : efficacité du réseau d'amenée, de distribution d'eau et d'application de l'eau. Les techniques d'irrigation contribuent à expliquer l'efficacité d'application de l'eau d'irrigation à la parcelle. Les choix en matière de technique d'irrigation dépendent entre autres de contraintes :

- physiques : climat, topographie,
- agronomiques : pratiques culturales, contraintes globales du système de production,
- économiques, humaines et organisationnelles: rapport entre coût de main d'œuvre et énergie, disponibilité de la main d'œuvre (salarisée, familiale), degré de développement industriel des techniques, technicité globale des agriculteurs, organisation du travail, organisation du partage et de la distribution de l'eau (irrigation par tour d'eau, à la demande, régularité du débit...).

La question du choix d'une technique d'irrigation s'insère dans une logique plus globale de rentabilité du système de production, dont la valorisation du facteur « eau » constitue seulement l'un des éléments.

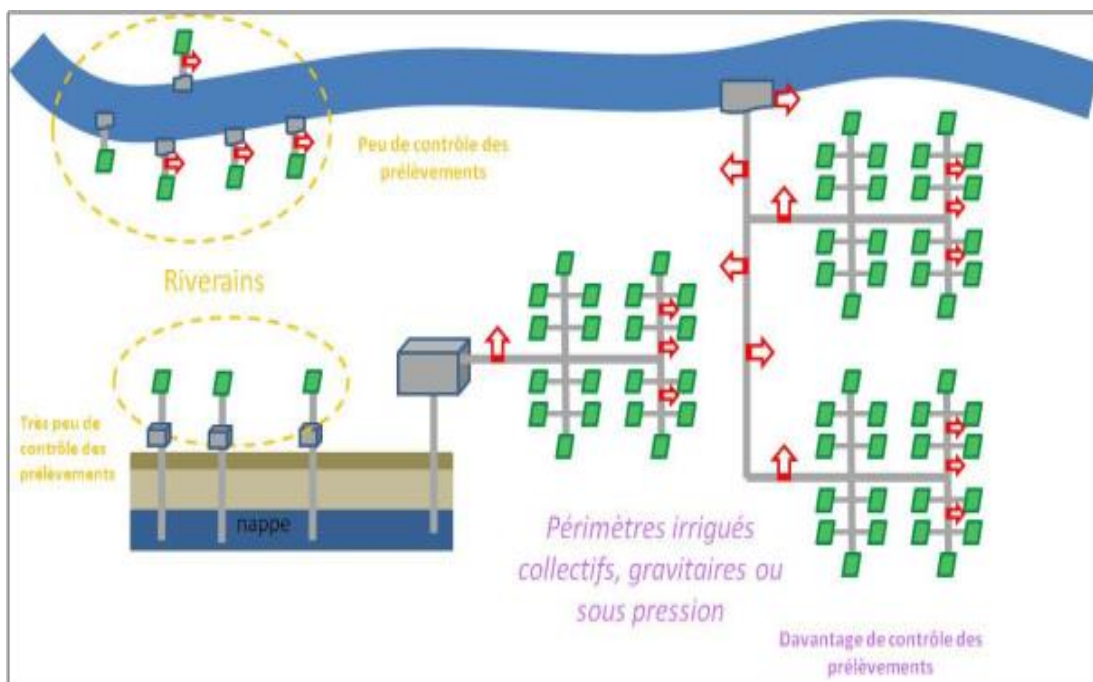


Figure III-15 : Pertes à l'échelle du service d'eau d'irrigation (Fernandez et Mouliérac, 2010).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

III.2.4.2 : Les techniques d'irrigation agricole

- **Introduction**

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation est nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des désavantages, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

L'irrigation des grandes superficies, ou des périmètres d'irrigation, nécessite le recours à des méthodes d'irrigation plus perfectionnées. Les trois techniques les plus couramment utilisées sont: l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation au goutte à goutte.

Décider de sélectionner une technique d'irrigation ou de passer à une technique plus efficiente est compliqué. D'un point de vue de la préservation de l'eau, le choix est simple, les économies en eaux augmentent lorsque l'on passe de l'irrigation de surface à l'aspersion et de l'aspersion au goutte à goutte. Cependant, le succès d'une technique d'irrigation sera très dépendant du site, de facteurs de situation ainsi que du niveau de gestion utilisé. La technique d'irrigation existante doit être évaluée très précisément avant de passer à une autre technique.

Les principaux types d'irrigation sont les suivants :

a. Les systèmes d'irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

⇒ Irrigation par Bassins :

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (e.g. 12-24 heures).

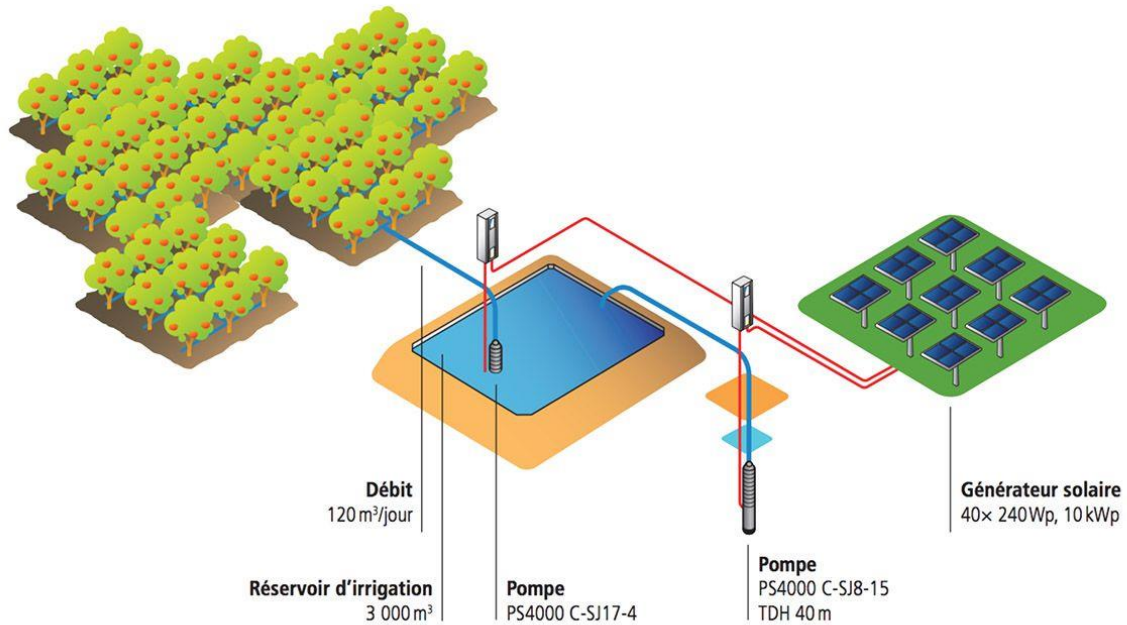


Figure III-16 : Irrigation par bassins par un pompage solaire.

⇒ Irrigation par sillons / à la Raie :

Les sillons sont de petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (e.g. 12-24 heures).

Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée.



Photo III-4 : Alimentation des sillons par siphons (source Internet).

⇒ Irrigation par Planches :

L'irrigation par planches est l'apport d'eau sur de longues parcelles en pente et rectangulaire avec des conditions de drainage à l'extrémité basse du champ. Les planches sont disposées dans le sens de la plus grande pente, 10 à 20 m de large, 100 à 400 m de long avec de petites levées de terre entre les bandes pour canaliser l'eau durant l'irrigation (Schwab et al., 1993 *in* Barta et al., 2004).

Le terrain entre les planches doit être nivelé perpendiculairement à la direction de l'eau. L'irrigation par planche convient très bien pour la plupart des types de cultures et de sol, mais elle est favorisée par les sols ayant une vitesse d'infiltration lente et les cultures qui tolèrent l'accumulation d'eau en surface.

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane



Photo III-5 : Irrigation par planches (source Internet).

b. L'irrigation par aspersion :

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.



Photo III-6 : Irrigation par aspersion (Hammam Debagh).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

C. Irrigation au goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation.



Photo III-7 : Irrigation au goutte à goutte (Boumahra Ahmed Mars 2020).

Avec une gestion appropriée, la micro-irrigation économise de l'eau car celle-ci est apportée en faible quantité uniquement dans la zone racinaire ce qui évite les pertes par percolation profonde, l'utilisation de l'eau par des adventices ou l'évaporation à partir de la surface du sol. De plus, tout en étant très efficace une installation d'irrigation goutte à goutte bien conçue demande peu de main d'œuvre. On constate également un accroissement des rendements des cultures car le niveau élevé, temporaire, de l'humidité du sol, nécessaire pour satisfaire les besoins en transpiration de la plante, est maintenu (Colaizzi et al, 2003 *in* Barta et al., 2004). Source (Barta et al., 2004).

Chapitre III : Etat des lieux du barrage de Bouhamdane

Dans la région de Guelma, plusieurs types d'irrigation ont été utilisées ces dernières années, avec notamment de l'irrigation par aspersion, qui semble peu à peu remplacer par une irrigation de type gouttes à gouttes (informations détaillées non disponibles).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différentes pertes en eau, liées soit directement au barrage étudié, soit à la défaillance des réseaux d'eau potable, ainsi que quelques méthodes de quantification de ces pertes et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace.

On note en premier lieu que l'envasement des retenues est un risque sérieux pour la durée de vie de ces dernières, diminuant d'une façon accrue leur rentabilité. En comparaison avec d'autres bassins-versants algériens, le bassin étudié se range dans la catégorie de faible d'envasement. L'appréciation de la dynamique des milieux naturels en fonction de leur plus ou moins grande activité doit déterminer le type d'aménagement à apporter. Cette approche permet d'apprécier la susceptibilité de ces milieux vis-à-vis des interventions humaines.

Dans le souci d'établir une stratégie pour leur protection, la prévision de la durée de vie des barrages est nécessaire.

Chapitre IV :
Bénéfices du barrage et solutions
proposées aux problèmes
des pertes en eau

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

IV. Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

IV.1. Introduction - Bien gérer la problématique de l'eau

L'eau de surface est une ressource naturelle cruciale pour de nombreux pays. Pour les pays en développement, le stockage de l'eau est souvent vital et reste en tout cas le seul moyen d'exploiter économiquement cette ressource naturelle. Les réservoirs d'eau leur donnent une garantie d'approvisionnement en eau pendant les sécheresses, pour l'irrigation, l'usage domestique et industriel. Ils réduisent les conséquences négatives des inondations. La construction des barrages répond en effet à plusieurs objectifs, avec en premier lieu l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable, mais aussi l'hydroélectricité, le contrôle des crues, la pisciculture ou encore les activités de loisirs. On recense en avril 2020 plus de 58 000 grands barrages² dans le monde (CIGB). Des estimations récentes évaluent le volume d'eau stocké dans les réservoirs de 6000 à 7000 km³ (Shiklomanov et Rodda, 2003).

Les besoins en eau se rapportent aux quantités nécessaires à utiliser pour assurer une efficacité minimale voulue, l'application des fonctions requises par les divers usages : usage domestique et publique (l'alimentation en eau potable est prioritaire en Algérie), usage industriel, usage agricole.

L'estimation quantitative des besoins en eau est établie suivant des normes unitaires tenant compte des paramètres socio-économiques en ce qui concerne l'AEP (degrés de croissance démographique, et niveau de vie des populations), techniques pour ce qui est de l'industrie (type de l'industrie, processus technologique et volume de production) et biophysiques concernant l'irrigation (déficit d'apport d'eau naturelle – précipitation – par rapport aux besoins physiologiques des plantes).

Le barrage de Bouhamdane, d'une capacité totale de 200 hm³, est destiné essentiellement à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, avec un volume régularisable (Vr) total de l'ordre de 55 hm³/an pour l'AEP et de 66 hm³/an pour l'irrigation (ABHSCM, 2016). Il vise à satisfaire les besoins en eau d'une population de l'ordre de 162 488 habitants (recensement 2008).

² Un grand barrage est un barrage d'une hauteur supérieure à 15 mètres, des fondations les plus basses à la crête, ou un barrage dont la hauteur est comprise entre 5 et 15 mètres et qui retient plus de 3 millions de mètres cubes d'eau, tel que défini plus en détail dans le Registre Mondial des Barrages.

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

IV.2. Bénéfices apportés par le barrage

IV.2.1. La demande

Les besoins sont de deux types :

- Alimentation en eau potable (AEP)
- Irrigation

Pour chaque niveau de retenue plusieurs valeurs de la demande ont été envisagées de manière à pouvoir décrire de manière suffisamment précise l'évolution des différents paramètres intervenant dans la régularisation.

Des valeurs de la demande ont été envisagées dans le Tableau IV-1.

Tableau IV-1 : Evolution annuelle de la demande en eau du barrage de Bouhamdane (2004/2005-2018/2019).Source : ANBT Guelma 2020.

Année	Irrigation (hm ³)	AEP (hm ³)
2004/2005	13,745	14,232
2005/2006	40,376	14,529
2006/2007	34,251	14,104
2007/2008	38,074	15,174
2008/2009	26,977	16,432
2009/2010	33,699	16,405
2010/2011	26,241	16,427
2011/2012	32,355	16,42
2012/2013	46,747	17,146
2013/2014	28,72	18,395
2014/2015	46,929	18,626
2015/2016	44,346	18,637
2016/2017	11,428	19,331
2017/2018	0	18,514
2018/2019	20,379	19,544

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

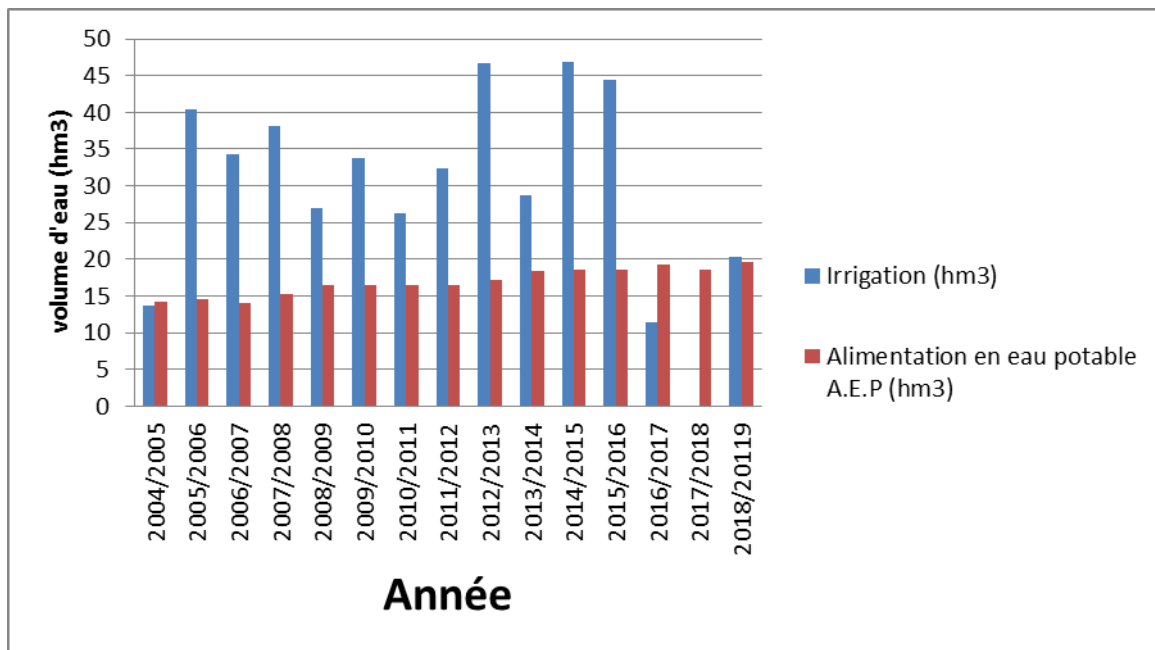


Figure IV-1 : Evolution annuelle de la demande en eau du barrage de Hammam Debagh.

Les volumes d'eau utilisés pour l'irrigation et l'AEP à partir du barrage de Bouhamdane varient d'une année à une autre (Tableau IV-1). On note que durant l'année 2014/2015, on a le plus grand volume d'eau d'irrigation ($46,929 \text{ hm}^3$), alors que les plus importants volumes d'eau pour l'AEP correspondent à l'année 2018/2019 ($19,544 \text{ hm}^3$). Globalement, le volume d'eau utilisé pour l'AEP augmente pendant la période concernée (il passe d'environ 14 hm^3 en 2004/2005 à près de 20 hm^3 en 2018/2019), tandis que le volume destiné à l'irrigation se caractérise par une plus grande variabilité (par exemple, l'année 2017/2018, particulièrement sèche, n'a pas permis de délivrer de l'eau pour l'irrigation).

IV.3. Solutions proposées aux pertes en eau

IV.3.1. Problème de l'envasement des barrages

L'envasement est devenu actuellement une réelle menace pour les infrastructures hydrauliques, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. En Algérie, la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause du phénomène de l'envasement, ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle. Le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable pour prolonger la durée de vie de ces ouvrages, car l'envasement des retenues augmente d'une année à l'autre. D'autres techniques peuvent également être mises en œuvre en amont pour préserver les sols et donc éviter une érosion trop importante, ou pour prolonger la durée de vie des barrages (surélévation des digues) (Zaoui, 2015).

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

IV.3.1.1. Techniques de préservation des sols

Pour limiter l'arrivée de matériaux dans les barrages, deux méthodes peuvent être préconisées :

- L'implantation de structures anti-érosion.
- L'aménagement des bassins versants et des cours d'eau.

Le bassin versant peut être aménagé dans le but de diminuer la pente et de stopper les matériaux, ce qui réduit l'érosion à la source. D'après certaines expériences réalisées aux Etats-Unis, on peut réduire l'érosion des sols jusqu'à 95 % en employant exclusivement des méthodes traditionnelles de culture (Brune, 1953).

Une autre méthode préventive consiste à reboiser et restaurer les sols, en suivant les courbes de niveau, ce qui permet une fixation des berges des oueds et donc limite l'impact de l'érosion.

IV.3.1.2. Surélévation des digues

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage. L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase, mais l'envasement a tendance à accélérer après la surélévation.

En Algérie, moins d'une dizaine de barrages ont été surélevés (voir tableau IV-2). Toutes les opérations de surélévation en Algérie ont permis de récupérer depuis 1960 une capacité de 170 millions de m³ (Remini, 2019).

Tableau IV-2 : Barrages surélevés en Algérie (Remini, 2008).

Barrage	Année de mise en eau	Capacité initiale (millions de m ³)	Année de surélévation	Capacité de la réserve créée par la surélévation (millions de m ³)
SIG	1846	1	1858	1
HAMIZ	1879	14	1936	16
KSOB	1939	11,6	1977	18
ZARDEZAS	1945	14,9	1974	16
BOUGHEZOUL	1935	55,8	1960	10
FOUM EL GUEISS	1939	2,5	1969	5
BAKHADRA	1936/S1958	36	1958	20
BENI AMRANE	1988	15,6	2001	11

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

IV.3.1.3. Techniques de dévasement

Le dévasement désigne le fait de dévaser, c'est-à-dire de se débarrasser de la vase. On utilise parfois aussi le terme de désenvasement.

Avant dévasement, les sédiments se présentent à l'état consolidé sous forme de couches juxtaposées, emprisonnant des formations plus grossières. Dans cet état consolidé, la vase aura des caractéristiques différentes selon ses propriétés et le milieu dans lequel s'effectue le tassement.

Les opérations de dévasement peuvent s'effectuer suivant deux techniques en fonction de la nature et du degré de consolidation des sédiments piégés : remobilisation des sédiments par des opérations de chasse durant les périodes des crues ou actions mécaniques par dragage qui donnent des résultats plus satisfaisants, mais qui sont plus coûteuses.

Les techniques de dévasement des barrages peuvent être résumées globalement par les deux moyens suivants :

- l'utilisation des moyens de vidange dont est équipé le barrage (les soutirages). Dans le cas où les sédiments sont trop consolidés, ou bien quand les vases sont encore en suspension, cette technique ne peut pas être utilisée de façon efficace,
- l'utilisation d'un moyen d'enlèvement des matériaux adapté à leur état de consolidation en place dans la cuvette de la retenue (le dragage).

IV.3.1.4. Le dragage des barrages

Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécanique, hydraulique ou pneumatique dans un but d'aménagement ou d'entretien, c'est-à-dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle. Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit.

Musa en 1981 définit les dragages comme étant «des terrassements effectués sous l'eau avec des engins flottants au moyen de procédé mécanique ou par aspiration» en fait, les procédés peuvent être mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques. Cette définition correspond assez bien à l'idée que l'on se fait aujourd'hui du dragage dans notre environnement très industrialisé.

Le dragage peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau puis par un déversement de ces produits dans la veine de l'eau, coté aval de la retenue ou sur le rivage.

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes : études préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage et traitement. Selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse. La première drague utilisée en Algérie en 1957 est la drague refouleuse « Lucien Dumay ». Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages (Zaoui,2015).

Un nombre important de barrages ont été récupérés par la technique de dragage et leur durée de vie se trouve prolongée de plusieurs années.

- **Types de dragage**

Différentes techniques de dragage ont été développées selon Benasla (2015). Il est courant de classer les équipements de dragage selon leur principe général de fonctionnement, trois catégories peuvent être recensées :

- a. Dragage hydraulique*

Cette technique nécessite une drague suceuse refouleuse et une conduite flottante et terrestre pour l'évacuation du produit dragué (vase et eau) jusqu'à la zone de rejet. La figure IV-2 et la photo IV-1 montrent cette technique de dragage.

Les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage.

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

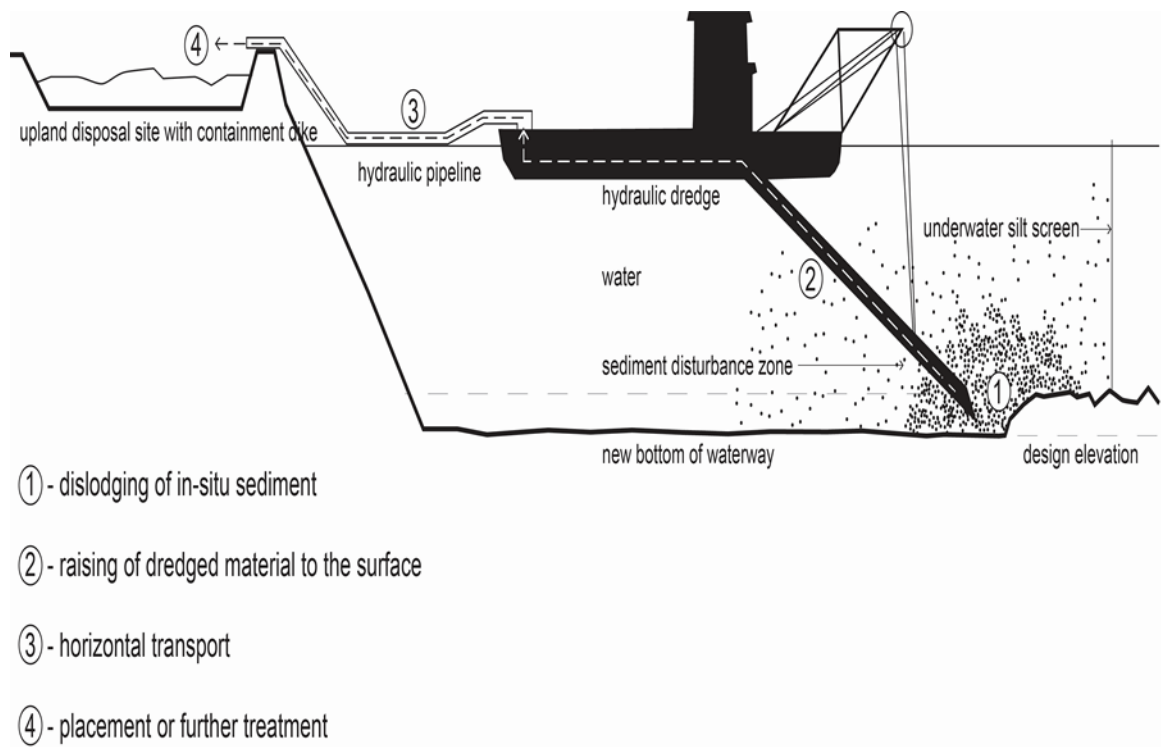


Figure IV-2 : Dragage hydraulique (source internet).



Photo IV-1 : Pompe hydraulique (source internet).

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

b. Dragage mécanique

Il consiste au dragage par des moyens mécaniques comme le montre la photo IV-2 :

- Dragage à godets : C'est une technique qui nécessite un tapis roulant pour l'évacuation des produits dragués de la retenue jusqu'à la zone de rejet,
- Benne preneuse : C'est un engin qui sera mis sur un ponton flottant et nécessite des chalands pour évacuer le produit dragué,
- Matériel de terrassement : Il consiste au dragage avec un matériel tel que bulls, pelles hydrauliques, chargeurs hydrauliques et camions pour le transport de vases,

NB: Cette solution de dragage ne peut être réalisée que si la retenue est vide.

Toutefois la technique de dragage la plus appropriée nécessite au préalable la résolution des problèmes suivants :

- l'extraction et le transport des vases de la retenue en utilisant un volume d'eau minimum ;
- la définition et localisation de la zone de rejet susceptible de recevoir les matériaux dragués de la retenue,
- l'exploitation en continu de la retenue d'eau en même temps que le dévasement



Photo IV-2 : Dragage mécanique (source internet).

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

c. Dragage à l'Américaine

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant, comme l'illustre la photo IV-3. Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs kilomètres du lieu de dragage.

Le dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit.



Photo IV-3 : Dragage à l'Américaine (source internet).

• **Impact sur l'environnement**

Le dragage remanie les sédiments et modifie les équilibres géochimiques (Samara, 2007) avec une remobilisation des contaminants pouvant nuire à l'écosystème. Les conditions hydrauliques favorisent la propagation des contaminants au-delà de la zone concernée.

Par exemple, dans l'ouest algérien, la plaine de l'Habra qui s'étend sur une centaine de kilomètres en aval du barrage de Fergoug a subi des dégradations irréversibles suite aux dépôts des sédiments charriés lors des opérations de dragage, transformant de vastes aires fertiles en marais (Semcha, 2006). Les photos IV-4 et IV-5 sont deux exemples de la pollution de l'environnement par les sédiments dragués (Marouf, 2018).

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau



Photo IV-4 : Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug) (Marouf, 2018).



Photo IV-5 : Entraînement de la vase en aval (Plaine de la Mactaa) (Marouf, 2018).

IV.3.1.5. Aperçu sur l'envasement des barrages en Algérie

- **Généralités**

Tous les spécialistes s'accordent à dire que les années à venir seront très dures pour les zones arides et semi-arides. Le taux d'érosion spécifique a été évalué à 180 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versants du Nord algérien. La région enregistre en effet parmi les valeurs les plus élevées de la planète. Plusieurs exemples témoignent de la gravité du problème. Par exemple, le taux d'érosion spécifique atteint la valeur de 5000 t/km²/an sur le bassin versant de l'oued Agrioum (Est de l'Algérie) [Demmak, 1982].

Selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 57 grands barrages (Figure IV-3), l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,7 % de la capacité totale, avec des retombées directes et graves sur l'économie nationale et sur le développement de la société tout entière. Ce phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages algériens (figure IV-3) (Remini et al

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

.,1997), et peut avoir plusieurs causes d'origine naturelles tout d'abord (climat agressif, formations géologiques fragiles, absence d'un couvert végétal suffisant), mais également humaine (type d'activités agricoles, mauvaise exploitation des ouvrages, études d'avant-projet insuffisantes).

Le premier barrage construit en Algérie, en 1846, est le barrage de Sig. Il a été abandonné du fait de son envasement rapide. En 1890, il existait en Algérie neuf barrages, d'une capacité de 61 Mm³ pour un volume de vase estimé à 2,7 Mm³. En 1957, les barrages d'Algérie, d'une capacité de 900 Mm³, avaient accumulé près de 200 Mm³ de vase (Remini et al ., 1997). Cette capacité a atteint 1 milliard de m³ en 1962. A partir de cette date, le nombre de barrages a augmenté considérablement.

Les années 80 ont connu des taux d'envasement avoisinant les 20 millions de tonnes annuels alors que les années 90 ont atteint déjà les 35 millions de tonnes annuels, les années 2000 vont crescendo et grimpent à la valeur de 45 millions de tonnes annuels.

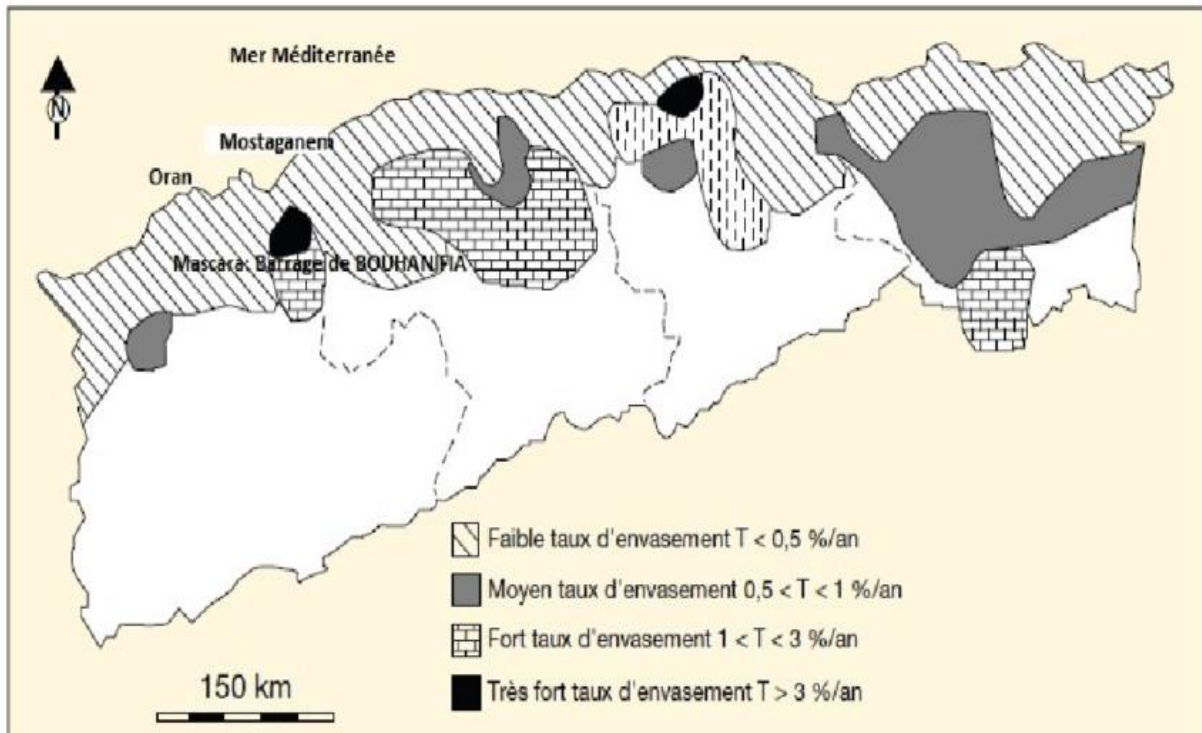


Figure IV-3 : Carte de sensibilité à l'envasement des barrages du nord de l'Algérie (Remini et Hallouche, 2005).

Le volume de vase estime en 2006 était de 1,1 milliards de m³, soit un taux de comblement de 17 % (Remini et Hallouche, 2005). Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, à l'exemple du Fergoug (Wilaya de Mascara), qui est envasé à 85 % (capacité : 16 millions de mètres cubes, remplissage : 400 000 mètres cubes). Nos barrages se transforment de plus en plus en réceptacles de vase que d'eau (Tableau IV-3).

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

Face à ce problème, les services de l'ANBT ont déployé d'énormes efforts depuis plusieurs années. Ainsi, différents moyens techniques de lutte ont été expérimentés en Algérie (Remini, 2019), ce qui a donné comme résultats le prolongement de la durée de vie de plusieurs barrages :

- Le dévasement par dragage est devenu aujourd'hui une option inévitable et il a permis d'enlever 70 millions de m³ de boue depuis 1950. Le programme de dévasement arrêté par l'ANBT se développe comme suit : Foum el Ghzal (Biskra) ; 5 Mm³, Ksob (M'sila) ; 4 Mm³, Zardezas (Skikda) ; 7 Mm³, Sidi Abdelli (Relizane) ; 6 Mm³, et Bouhanifia (Mascara) ; 6Mm³. Le coût de ces opérations est de l'ordre de 6 milliards de DA.
- La surélévation des barrages a permis de récupérer une capacité de plus de 170 millions de m³ depuis 1960 (mais tout en laissant la boue au fond des ouvrages)
- Le soutirage des courants de densité a permis d'évacuer 40 millions de m³ de boue depuis 1950.
- Enfin, deux barrages envasés ont été remplacés par deux nouveaux ouvrages.

Tableau IV-3 : Quantification de l'envasement des barrages algériens (Source A.N.B.T, In Zaoui, 2015, modifié).

Barrage	Année de mise en eau	Capacité initiale (hm ³)	Capacité estimée 2008 (hm ³)	% annuel de perte de capacité	Destination
MEURAD	1860	0,9	0,25	0,4	**
OUED-FODDA	1932	228	125,5	0,9	**
BOUGHEZOUL	1935/S1960	55	35,6	-	#
HAMIZ	1879/S1935	21	15,6	1,2	# / **
GHRIB	1939	280	145,2	1,1	* / **
Foum El Gueiss	1939/S1969	3	0,48	1,1	* / **
BOUHANIFIA	1948	73	48,4	1,7	# / *
Foum El Gherza	1950	47	16,9	1,7	**
BENI BAHDEL	1952	63	55,5	0,9	* / **
SARNO	1954	22	21,16	0,5	*
MEFFROUCHE	1963	15	14,5	0,5	*
BAKHADDA	1936/S1959	56	43,8	0,7	* / **
CHEFFIA	1965	171	167,1	0,9	* / *** / **
DJORF TORBA	1969	350	296,4	1,2	* / **
FERGOUG	1970	18	3,93	5	* / *** / **
K 'SOB	1940/S1977	29,5	15,6	2,5	**

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

ZARDEZAS	1945/S1974	31	25,3	1,7	* / *** / **
S.M.B.A	1978	235	213,8	1,7	* / **
DEURDEUR	1984	115	110,2	1,1	* / **
HARREZA	1984	70	69,2	1,1	**
MERDJA.S.A	1984	54,9	48	0,6	**
GUENTRA	1984	125	124	-	* / **
OUIZERT	1986	100	90,83	-	#
KEDDARA	1985	145,6	143,8	0,9	*
SIDI-YAKOUB	1985	280	278,9	0,7	* / **
LEKHAL	1985	30	29	-	* / *** / **
AIN-ZADA	1986	125	121,7	0,5	*
H GROUZ	1987	45	44	-	*
H DEBAGH	1987	200	185	1,1	* / **
AIN DALIAZ	1987	82	76	1,2	*
DAHMOUNI	1987	41	38,6	0,5	**
BENI-AMRANE	1988/S2001	16	6	-	#
GARGAR	1988	450	437,1	1,1	* / **
SIDI-ABDELLI	1988	110	106	0,5	*
HARBIL	1988	1	0,2	-	#
LADRAT	1989	10	9	1,8	**
C. BOUGARA	1989	13	11	1,8	**
CHEURFAS	1992	82	81	2	**
BOUKOURDANE	1992	97	96	1,3	* / **
BENI-ZID	1993	40	40	1,1	* / **
BABAR	1995	41	41	-	**
OUED-CHERF	1995	157	157	-	**
MEXA	1998	47	47	1,1	*
H. BOUGHARA	1999	177	177	1,8	* / **
BREZINA	2000	122,5	122,5	1,7	**
F.D.GAZELLES	2000	55,5	55,5	-	**
ZIT EMBA	2001	120	120	0,6	**
EL-AGREM	2002	33,9	33,9	-	*
TAKSEBT	2001	175	175	1,6	*
SIKKAK	2009	30	25,53	-	*

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

KRAMIS	2011	48	24,3	-	* / **
CHELIFF (MAO)	2010	50	45	-	*
KODIET ROSFA	2004	75	-	-	*
TICHY HAF	2009	85	79	-	* / **
BOUROUMI	2007	181,6	81	-	* / **
OUED MELLOUK	2003	119,4	43,52	-	*
S-M'HAMED- TAIBA	2005	75	65	-	*
K- ACCERDOUNE	2009	640	640	-	* / **
K-M'DOUAR	2005	74,32	22	-	* / **
BENI HAROUN	2000	960	960	-	* / **
KISSIR	2007	68	68	-	* / **
BOUSSIABA	2009	120	118	-	*
BOUGOUS	2010	66	65	-	* / **

*Alimentation en eau potable (AEP), **Irrigation, ***Alimentation en eau Industrielle, # Transfert vers un autre barrage, S : digue surélevée

IV.3.1.6. Cas du dragage du barrage de Bouhanifia (Wilaya de Mascara)

La présence du barrage sur un cours d'eau entraîne un ralentissement de l'écoulement et par voie de conséquence, une sédimentation des matières solides. Ces dépôts, lorsqu'ils sont importants, peuvent constituer une gêne pour l'exploitation du barrage.

L'accumulation des sédiments dans la retenue nécessite des opérations régulières de dévasement indispensables à son bon fonctionnement, le dragage de la retenue étant, pour des raisons techniques et économiques, une solution exceptionnelle. L'opération en cours consiste à draguer 6 millions de m³ de vase de la cuvette du barrage.

L'ANBT a lancé un projet stratégique de dragage de vase d'une quantité importante à partir de la cuvette de ce Bouhanifia, pour un montant de l'ordre de 80 milliards de centimes. Cette opération est destinée essentiellement à la protection du barrage contre l'envasement évalué jusque-là, de l'avis des spécialistes du domaine, à 20 millions de m³. Les mêmes sources indiquent par ailleurs que ce projet, qui prendra effet à partir du mois de mars 2012, s'inscrit dans l'optique d'une préservation et de sauvegarde de cet ouvrage contre la pollution sous toutes ses formes sachant que ce dernier est

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

perçu comme un atout vital, du fait qu'il est le seul à alimenter la population de Mascara ainsi que certains centres urbains en eau potable. Cette opération de dragage a été confiée à une entreprise spécialisée en la matière, qui devrait utiliser des techniques ultramodernes (Photo IV-6).



Photo IV-6 : Drague stationnaire CZ550 dans le barrage de Bouhanifia en 2013/2014 (Zaoui, 2015).

IV.3.2. Problème des fuites sur les réseaux d'eau potable

Pour réduire les pertes en eau dans l'adduction et dans le réseau de distribution, deux actions sont nécessaires pour l'exploitant. La première, la plus importante, est la recherche et la réparation des fuites. La seconde plus ou moins importante est le comptage.

- **Recherche et réparation des fuites**

- a. Détection et gestion des fuites :*

Trouver, quantifier et gérer les fuites est un défi pour la plupart des systèmes d'approvisionnement en eau existants. Elles représentent souvent la plus importante cause des pertes dans le système et peuvent atteindre jusqu'à 30 % de l'eau captée, même dans les systèmes bien gérés. Des taux de fuites de 80 à 90 % ne sont pas rares.

- b. Réparation des fuites :*

Après la détection de la fuite, on procèdera à sa réparation. Plusieurs dispositions sont à prendre lors de la réparation :

- Faire un terrassement profond pour éviter le retour d'eau polluée dans la canalisation après la coupe de la conduite.

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

- Ne pas procéder à la vidange de la conduite avant la fin du terrassement et le dégagement total du tronçon au droit de la fuite.
- Bien nettoyer à l'eau javellisée toutes les pièces de réparation ainsi que les parties du tuyau dégagé.

Avant la remise en service de la conduite, il est nécessaire de la rincer et de procéder au contrôle de la qualité de l'eau.

- **Le comptage**

Une partie considérable des pertes d'eau est due au sous-comptage. Pour améliorer le comptage de l'eau du réseau, une bonne gestion des compteurs à la production et au niveau des abonnés s'impose. Cela consiste à :

- Vérifier la sensibilité des compteurs individuels.
- Etendre le comptage dans les bâtiments publics sans compteurs.
- Installer des compteurs pour les nouveaux abonnés.

IV.4. Conclusion

Si les barrages offrent des bénéfices évidents, en permettant de stocker de l'eau, dans le but notamment de développer l'irrigation et de garantir un approvisionnement en eau potable, ils peuvent souffrir de différents problèmes, liés à leur construction ou à leur fonctionnement, qui entraînent des pertes en eau parfois considérables : envasement, évaporation, gaspillage de l'eau sous forme de fuites dans les réseaux ou suite à des techniques d'irrigation inadaptée. Les barrages peuvent également avoir des effets néfastes non négligeables : importants coûts de construction, déplacement et appauvrissement de populations, destruction d'écosystèmes importants et de ressources halieutiques... (Lévêque, 2005).

Si certains problèmes semblent impossibles à solutionner (par exemple l'évaporation), d'autres peuvent être pris en charge avec des méthodes efficaces.

Le dragage par exemple permet de diminuer l'envasement. En Algérie, il doit s'inspirer des moyens et méthodes utilisés dans le monde malgré la particularité des sites et du climat. L'adoption des techniques de dragage doit passer par la caractérisation et l'identification de la vase pour le choix des moyens de vidange. L'Agence Nationale des Barrages et Transfert (A.N.B.T) a programmé le dévasement d'une dizaine de retenues à court terme, mais cependant ces mêmes services se heurtent au problème des rejets des volumes de vase dragués. En fonction de l'expérience acquise, les services

Chapitre IV : Bénéfices du barrage et solutions proposées aux problèmes des pertes en eau

hydrauliques optent actuellement pour l'utilisation de la vase comme couverture des terres stériles dans les exploitations agricoles.

D'autre part, la réduction des volumes de pertes en eau sur le réseau représente, pour le service de l'eau, un enjeu majeur qui s'inscrit pleinement dans la politique de développement durable. Quelques solutions techniques ont été évoquées pour réduire ces pertes, permettant le diagnostic des réseaux d'eau potable et à la résolution du problème des fuites d'eau.

*Conclusion générale
et
recommandations*

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale et recommandations

Ce travail s'est donné pour objectif l'étude du barrage de Bouhamdane dans la wilaya de Guelma, avec la quantification des différentes pertes en eau, liées soit directement au barrage étudié, soit à la défaillance des réseaux d'eau potable ou encore à des techniques d'irrigation inadaptée. Le but est de faire la part des choses entre les bénéfices indéniables apportés par ce barrage, et les problèmes rencontrés lors de son exploitation. Nous chercherons aussi à savoir dans quelle mesure les différents problèmes rencontrés pourraient trouver une solution satisfaisante.

Les principales informations développées dans le cadre de ce travail concernent différents axes.

L'étude géologique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane montre que :

- Le bassin supérieur est caractérisé par la présence de formations tendres (constituées principalement de marnes, grès, marno-calcaires, formations superficielles quaternaires)
- Le bassin inférieur, le plus arrosé, est constitué en majeure partie par des roches résistantes à moyennement résistantes (grès, argiles, marnes et schistes).
- A l'Ouest du bassin de l'Oued Bordj Sabath, on trouve des formations indurées de faible pente constituées principalement de grès et de conglomérats, généralement perméables.

La Géologie de la région est caractérisée par une tectonique très complexe (formations faillées profondes, écaillés de couverture et chevauchements).

D'un point de vue climatique, la zone du barrage de Bouhamdane est soumise à un climat de type méditerranéen. Il est caractérisé par des irrégularités mensuelles et annuelles des précipitations avec une moyenne annuelle de pluviométrie égale à 566,8 mm/an (valeur obtenue à partir de l'analyse des données climatiques couvrant une période de 26 ans, entre l'année 1991/1992 et l'année 2016/2017). La température moyenne annuelle est modérée, avec 18,69°C. Ces résultats définissent deux saisons typiques, l'une sèche et l'autre humide. Le bilan hydrique a été interprété selon la méthode de C.W.Thornthwaite. Les résultats donnent une évapotranspiration réelle de l'ordre de 529,71 mm/an, et la formule de Tixeront-Bercaloff donne une valeur de ruissellement de l'ordre de 74,69 mm/an. L'infiltration quant à elle a été estimée à partir de l'équation du bilan hydrique à 82,43 mm/an.

En ce qui concerne l'étude proprement dite du barrage de Bouhamdane, nous avons tout d'abord rappelé ses principales caractéristiques (date de construction et de mise en eau, capacité, type d'ouvrage ...) puis avons fait la liste des différentes pertes en eau, en essayant de les estimer quantitativement :

Conclusion générale et recommandations

- Les pertes moyennes liées à l'évaporation sont estimées à environ 1400 mm/an (données obtenues à partir de l'ANBT sur la période 1991 / 2019), ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 5,04 hm³ sur l'ensemble de la retenue et sur la période considérée, avec une variabilité mensuelle et interannuelle assez importante,
- Les pertes liées à l'envasement représentent 7,8 % de la capacité initiale (2004), soit près de 0,5 % par an. Le barrage de Bouhamdane sur l'Oued Bouhamdane peut être donc classé dans la catégorie des retenues de faible envasement. Comme pour beaucoup de barrages algériens, le risque d'accélération de l'envasement de la retenue de Bouhamdane est à redouter au regard des effets du changement climatique (Remini et Bensafia 2009).
- Les pertes constatées lors de la distribution de l'eau du barrage, elles peuvent être de différentes natures, avec notamment le problème des fuites d'eau dans les réseaux d'AEP ou encore le gaspillage, qui peut intervenir à plusieurs niveaux (dans les habitations mais aussi dans les usages agricoles avec l'irrigation). La réduction du volume des pertes en eau sur le réseau représente, pour le service de l'eau, un enjeu majeur qui s'inscrit pleinement dans la politique de développement durable. Quelques solutions techniques ont été évoquées pour réduire ces pertes, permettant le diagnostic des réseaux d'eau potable et à terme la résolution du problème des fuites d'eau.

Malgré tout, des solutions existent et peuvent permettre d'améliorer la situation, c'est ce qui est exposé dans la dernière partie de ce travail (par exemple : le dragage de la retenue qui permet de diminuer l'envasement, l'entretien strict des réseaux d'AEP ...).

Les recommandations :

Les recommandations suivantes sont proposées pour affronter les défis de l'eau qui se présentent pour l'avenir dans le bassin versant de l'oued Bouhamdane :

- La végétalisation des berges aurait comme objectif de filtrer et de ralentir le ruissellement des matières nutritives et des sédiments vers le cours d'eau, et donc la sédimentation dans la retenue
- L'élaboration d'un plan d'action de réduction des fuites, qui passerait tout d'abord par une amélioration de la connaissance des réseaux et de leur fonctionnement, puis une réduction des fuites avec la mise en place de campagnes de recherche de fuites, un remplacement des conduites usagées et une meilleure gestion de la pression
- Un changement des pratiques agricoles avec la mise en place de techniques d'irrigation adaptées (ex : goutte-à-goutte), et un contrôle strict du respect des normes
- La mise en place d'une police des eaux
- La sensibilisation, l'information et l'éducation des usagers,
- La mise en place de systèmes financiers plus adaptés (tarification, taxes, redevances, ...)

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Articles et ouvrages scientifiques :

- Alleaume S., Lanoiselee C., Agillier C., 2010 - Bathymétrie des plans d'eau, CEMAGREF. 12, 24 p.
- Baout A., 2018 - Réhabilitation du réseau d'AEP « Pos sud de la ville de Guelma », Mémoire de Master de l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, 103 p.
- Barta R., Broner I., Schneekloth J. et Waskom R., 2004 - Colorado High Plains Irrigation Practices Guide. Water Saving Options for Irrigators in Eastern Colorado, Special Report n°14, Colorado Water Resources Research Institute, 76 p.
- Benamara D., Chekima A., 2015 - Diagnostic et étude des pertes d'eau potable dans le réseau d'alimentation en eau potable ; cas ville d'El-Oued (W. El-Oued), Mémoire de Master, Département sciences et technologie, Université Hamma Lakhdar El-Oued, 61 p.
- Benasla M., 2015-Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'Oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction, Thèse de Doctorat, Département de Chimie Organique Industrielle, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 139 p.
- Ben Taleb W., 2011 - Modélisations du comportement des barrages en terre sous chargements sismiques, mémoire de Magister, département de Génie Civil, Université de Guelma, 125 p.
- Blindu I., 2004 – Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne et Université Jean Monnet, France, 304 p.
- Boukemmoum. N., Nouaouria. A., 2019 - Valorisation des sédiments de barrages : Cas du barrage de Ain Dalia (Souk Ahras), Mémoire de Master, Département de Génie Civil et d'Hydraulique, Université 8 Mai 1945 de Guelma, 107 p.
- Bousalaa. S., Benbekhti. F., 2018 - Etude diagnostic d'un réseau d'AEP à l'aide du logiciel Epanet - Cas du chef-lieu de la ville de Hennaya. Mémoire de Master, Université AboubakrBelkaïd, Tlemcen, 91 p.
- Boutoutaou D., 2011- Note sur l'évaporation des plans d'eau (barrage, lac, cours d'eau, chott, sebkha, etc.) en Algérie, Université KasdiMerbah Ouargla, p. 294-302.
- Brouwer C., 1990 - Méthodes d'irrigation, gestion des eaux en irrigation, Manuel de formation n° 5, 74 p.
- Brune G.M., 1953 – Trapefficiency of reservoirs. Transactions of the American Geophysical Union, vol. 34, n°3, p.407 – 418.
- Chergui D., 2014 - Etude de transport solide et de la pollution du barrage de Hammam Debagh Wilaya de Guelma, Mémoire de Master, département de l'hydraulique, Université L'Arbi Ben M'Hidi– Oum El Bouaghi, 113 p.

Références bibliographiques

- Kert Ch., 2008 - Amélioration de la sécurité des barrages et ouvrages hydrauliques, Rapport d'information du Sénat (N° 454) et de l'Assemblée Nationale (N°1047), Paris, France, 201 p.
- Fernandez S., Mouliérac A., 2010 - Évaluation économique de la gestion de la demande en eau en Méditerranée, Plan Bleu Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, 44 p.
- Gueddouj M. et Ouaret R., 2002, Optimisation multicritère pour la gestion d'un réseau d'AEP, Mémoire d'ingénieur de l'Université de Bejaia, 84 p.
- IDRA Environnement SA, 2006 - Rapport final du schéma directeur du traitement des vases portuaires (SDTVP) du bassin d'Arcachon, 174 p.
- Levêque C., 2005 – Conséquences des barrages sur l'environnement. Actes du colloque « Irrigation et développement durable », Paris, p. 33 – 43.
- Louamri A., Mebarki A., Laignel B., 2013 - Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale), Hydrological Sciences Journal, 15 p.
- Marouf H., 2018 – Valorisation des sédiments issus du dragage du barrage de Bouhanifia et du port d'Oran. Thèse de doctorat en Génie Civil, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 124 p.
- Nouaouria. Z., 2018 - Le stress hydrique en Algérie : cas de la wilaya de Guelma, mémoire de Master, Département de Science de la Nature et de la Vie et Science de la Terre et de l'Univers, Université 8 mai 1945 Guelma, 77 p.
- Remini B., 2005 - L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : Exemples algériens, Larhyss Journal, n° 04, p.81-89.
- Remini B., 2008 - La surélévation des barrages: une technique de lutte contre l'envasement - exemples algériens. La Houille blanche n°5, p. 103 – 108.
- Remini B., 2019 – L'Algérie : de la boue au fond des barrages, que faire ? Larhyss Journal, n° 40, p. 213 – 247.
- Schwab G.O., Fangmeier D.D., Elliot W.J. et Frevert R.K., 1993 -Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley& Sons, Inc., New York.
- Semcha A., 2006 - Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug. Thèse de doctorat en Génie Civil, Université de Reims, France, 167 p.
- Vachala S., 2008- Évaporation sur les retenues EDF du Sud de la France, Mémoire de master en Sciences de l'Univers, Écologie et Environnement, Parcours Hydrologie Hydrogéologie, Université Pierre et Marie Curie, École des Mines de Paris & École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 50 p.
- Shiklomanov I. et Roddal., 2003 – World Water Resourcesat the Beginning of the 21st Century. UNESCO, Paris.
- Zaoui M.A., 2015 - Etude d'optimisation de dévasement par dragage des barrages de l'ouest de l'Algérie : cas du barrage de Bouhanifa. Mémoire de Magister, Université d'Oran, 106 p.

Références bibliographiques

Zeghaba N., 2018- Etude et suivi de la qualité des eaux du barrage Hammam Debagh (Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat en Sciences, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar – Annaba, 150 p.

Sites internet :

CIGB (Commission Internationale des Grands Barrages) : https://www.icold-cigb.org/FR/registre_des_barrages/synthese_generale.asp(site consulté le 10/09/2020).

Les méthodes de levé topographique : <https://www.sigetudes.fr/guides-metier/leve-station-totale/> (site consulté le 17/09/2020).

Les différentes techniques d'irrigation : <https://slideplayer.fr/slide/2297834/>(site consulté le 02/09/2020).

Type de dragage: <https://www.dredge.com/fr/2019/05/mechanical-dredging-vs-hydraulic-dredging/>(site consulté le 05/09/2020).

La carte géologique de Hammam Debagh : <http://djerrab-geologie-guelma.e-monsie.com/pages/geologie-de-guelma/geologie-regionale.html#page4> (site consulté le 21/11/2020).