

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

Mémoire de Magistère

Option

Ressources en Eau et Pollutions

Evaluation des ressources en eau superficielle dans le bassin versant de l'oued Zhor. Etude de faisabilité d'un barrage.

Soutenu par :

Zahira CHOUIT

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Moussa BENHAMZA	M.C. Université Badji Mokhtar-Annaba
Encadreur: Dr. Laroussi BELOULOU	M.C. Université Badji Mokhtar-Annaba
Examineurs : Dr. Saadane DJORFI	M.C. Université Badji Mokhtar-Annaba
Dr. Salah CHAAB	M.C. Université Badji Mokhtar-Annaba

Année 2015

ملخص

تقع منطقة واد الزهور في الشمال الشرقي للجزائر و بالضبط في الجهة الغربية لولاية سكيكدة حيث أن مكان الدراسة أو بالأحرى حوض واد الزهور الذي تبلغ مساحته 96 كلم² يعتبر جزء لا يتجزأ من الأحواض الساحلية الشرقية القسنطينية الوسطى، و يتميز هذا الأخير بطابعه الجبلي مع تساقط كميات معتبرة من الأمطار (أزيد من 850 ملم) و هذا ما يفسر انتشار الأودية بشكل مكثف على نطاق واسع. يعتبر واد الزهور من أهم الأودية في هذا الحوض لكونه يجري على مدى السنة بمعدل 38 مليون م³ سنويا.

إن الدراسة الهيدرولوجية لإمكانية إنشاء سد على هذا الواد أظهرت قابلية إنشاء هذا الأخير بقدرة تخزين 20 مليون م³ لسد الحاجيات المتزايدة على الماء بنسبة 90% من الوقت سواء المتعلق بالماء الشروب والري المقدر ب 26 مليون م³ من جهة، والوقاية من الفيضانات من جهة أخرى.

إن دراسة استغلال و تسيير السد لعدة سيناريوهات (تغيير قدرة التخزين و/ أو الطلب على الماء) أظهرت نجاعة أفضل للسد غير أن الزيادة في قدرة التخزين تؤدي حتما إلى الزيادة في ارتفاع السد و بالتالي تكلفة اكبر لانجاز هذا المشروع.

الكلمات المفتاحية : واد الزهور، سكيكدة، سد، قدرة التخزين، الري، الماء الشروب، الوقاية من الفيضانات.

Abstract

Located in the western part of the Wilaya of Skikda in the North-East of Algeria, the Zhor wadi watershed belongs to the « Cotiers constantinoix centre» basins. It is a mountainous rainy area, and drained by numerous wadis and greeks mainly fed by excess water from heavy rains (more than 850 mm/year). The Zhor wadi, with permanent flow, is the main water course in the region. At the proposed dam site, it drains a 96 km² watershed. The mean annual discharge is estimated at 38 hm³

The hydrological feasibility study for a water reservoir on the Zhor wadi shows that it is possible to implement a project to build a multi-purpose dam (drinking water supply, irrigation and flood control) with a capacity at normal operating level of 20 Hm³ in order to regulate the flow of this major water courses. Such a capacity can satisfy for 90% of the time a water demand of 26 hm³/year in the short and medium terms, on one hand, and to route safely the 10 000 year flood, on the other.

Further reservoir operation simulations, by increasing the capacity and/or water demand showed that it is possible to obtain a better performance of the reservoir. However, this increase in capacity leads to an increase in the dam hight resulting in a greater construction costs.

Key words : Zhor wadi, Skikda, dam, storage capacity, drinking water, irrigation, flood control.

Résumé

Situé dans la partie Ouest de la wilaya de Skikda au Nord-Est de l'Algérie, le bassin de l'oued Zhor fait partie des Côtiers Constantinois Centre. Il s'agit d'un bassin montagneux, très arrosé et drainé par de nombreux oueds et chaabets alimentés essentiellement par les eaux de pluies très abondantes (plus de 850 mm/an). L'oued Zhor, à écoulement permanent, est le principal cours d'eau. Au site du barrage proposé, il draine un bassin versant de 96 km². Les apports en eau annuels de l'oued Zhor au droit du site de la retenue sont estimés à 38 Hm³.

L'étude hydrologique de faisabilité d'une retenue d'eau sur l'oued Zhor montre qu'il est possible de mettre en œuvre un projet de réalisation d'un barrage à usages multiples (alimentation en eau potable, irrigation et écrêtement des crues) d'une capacité, au niveau normale d'exploitation, de 20 Hm³ afin de régulariser le débit de ce cours d'eau majeur. Une telle capacité permet de satisfaire dans 90 % du temps un besoin, aussi bien en eau potable qu'en eau d'irrigation, de 26 Hm³/an dans le cours et moyen termes, d'une part, et d'écrêter sans risque majeur la crue décennale, d'autre part.

Des simulations plus poussées de l'exploitation de la retenue en faisant augmenter la capacité et/ou la demande en eau ont montré qu'il est possible d'obtenir une meilleure performance de la retenue. Toutefois, cette augmentation de capacité entraîne une surélévation de la digue d'où un coût de revient plus grand.

Mots clés : Oued Zhor, Skikda, barrage, capacité de stockage, eau potable, irrigation, protection contre les inondations.

REMERCIEMENT

Avant tout, j'adresse mes sincères remerciements à ALLAH le grand créateur qui m'a donné la force et la capacité de réaliser ce travail et m'a guidé pour arriver à ce niveau.

Mes remerciements s'adressent en particulier à mon encadreur, Monsieur BELOULOULAROUSSI, qui a accepté de diriger mon travail et m'a accordé toute son attention et sa patience pour l'accomplir. Merci pour sa grande disponibilité et pour le temps qu'il a consacré à la critique de mes résultats en me faisant bénéficier de sa grande expérience. Merci aussi de m'avoir laissé une grande liberté de choix et de pensées.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury de mémoire qui ont consacré une part importante de leurs temps à la lecture et à l'évaluation de ce travail.

Je voudrais également remercier tous mes enseignants du département de géologie de l'université Badji Mokhtar de Annaba et aussi mes collègues de la promotion de post graduation en hydrogéologie.

Je voudrais aussi remercier ma famille pour son soutien, sa patience, et sa compréhension dans les moments les plus difficiles de cette expédition.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont prodigué aide, soutien, conseils et amitiés.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*Aux personnes les plus chères au monde à mes yeux et dans mon cœur,
et sans leur soutien et leur générosité, je n'aurais pu atteindre mes
objectifs,*

- à ce qui ont témoigné tant de bienveillance depuis mon arrivée au monde et qui m'ont appris de suivre toujours le droit chemin,*
- à ceux qui, durant toutes ces années ont fait mon existence, leur soutien et leurs conseils dont les mots me font d'ailleurs défaut pour exprimer à bien la gratitude que je leur dévoue, car ils méritent tout ce qu'il y a de plus beau,*

À ma MÈRE et mon PÈRE.

À mes frères et mes sœurs et leurs enfants qui ont formé un entourage familial idéal.

À toutes ma famille et mes amis surtout Razika , Nora, Safia , Sihem et Meriem.

À tous ceux qui m'aiment et ceux que j'aime.

Sommaire

	<i>Page</i>
INTRODUCTION	1
 <i>PREMIÈRE PARTIE</i> <i>PRÉSENTATION DU CADRE GÉNÉRALE DE LA ZONE D'ÉTUDE</i> 	
1. Situation géographique et administrative de la zone d'étude.....	3
2. Caractéristiques du bassin versant de l'oued Zhor.....	5
2.1. Caractéristiques de forme et du relief	5
2.2. Caractéristiques hydroclimatologiques.....	9
2.2.1. Pluviométrie	10
b- Variabilité spatiale et temporelles des pluies.....	10
d- Fréquence de pluies annuelles.....	14
2.2.2. Température.....	17
2.2.3. Bilan hydrique.....	18
a- Évapotranspiration	18
b-Ruissellement.....	20
c- Infiltration et stockage dans les dépressions	21
2.2.4. Autre facteurs hydroclimatologiques.....	22
2.3. Géologie du bassin versant	23
a- Le Socle Kabyle	25
b- L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) et les Olistostromes	26
c - Les formations post-nappes	26
d-Géologie du site du barrage (BG, 2008)	26
2.4. Couverture végétale et occupation du sol	27

Sommaire (suite)

	<i>Page</i>
3. Ressources en eau-Oued Zhor	30
3.1. Ressources souterraines	30
3.2. Ressources superficielles	34
4. Conclusion	39

DEUXIEME PARTIE

ÉTUDE DE FAISABILITÉ D'UN BARRAGE SUR L'OUED ZHOR

1. Localisation et accès au site.....	40
2. Topographie du site- Caractéristiques physiques de la retenue d'eau.....	41
3. Détermination de la capacité utile du barrage.....	46
3.1. Acquisition des données : analyse et critique	46
3.2. Estimation des apports en eau annuels et mensuels de l'oued Zhor	46
3.3. Besoins en eau dans la zone d'étude	47
3.4. Calcul de la capacité utile de la retenue projetée	47
3.5. Accumulation des sédiments dans la retenue - Calcul de la durée de vie de l'ouvrage.....	50
4. Calcul du niveau des plus hautes eaux - Laminage des crues.....	56
4.1 Introduction	56
4.2. Traitement des données collectées et analyse statistique descriptive	57
4.3. Évaluation des crues rares dans le bassin de l'oued Boussieba	58
4.4. Tests d'adéquations des ajustements	59
4.5. Choix du modèle probabiliste pour l'estimation des événements rares	60

Sommaire (suite)

	<i>Page</i>
4.6. Crues de projet de l'oued Zhor au site du barrage projeté.....	60
4.7. Choix d'une crue de projet – Risque hydrologique	61
4.8. Détermination des hydrogrammes de crue – Méthode de Sokolovsky	63
4.9. Caractéristiques de l'hydrogramme de Sokolovsky	64
4.10. Hydrogramme synthétique de Sokolovsky	65
4.11. Laminage des crues	69
4.11.1. Introduction	69
4.11.2. Laminage de crue par réservoir - Méthode de Puls	70
4.11.3. Laminage des crues exceptionnelles de l'oued Zhor	71
a-Construction des courbes du laminage.....	72
b- Laminage de la crue déca-millennale par la méthode de Puls	74
5. Estimation de la revanche.....	77
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	82
LISTE DES RÉFÉRENCES.....	85
ANNEXES	88

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau</i>	<i>Page</i>
1. Bassin versant de l'oued Zhor - Paramètres géométriques.....	5
2. Bassin versant de l'oued Zhor - Paramètres du relief.....	6
3. Bassin versant de l'oued Zhor - Paramètres hydrographiques	6
4. Estimation du temps de concentration du bassin.....	9
5. Identification des postes pluviométriques.....	10
6. Variabilité spatiale et temporelle des pluies dans la région d'Oued Zhor..	11
7. Nombre moyen de jours de pluie dans la région d'Oued Zhor.....	14
8. Pluies annuelles dans la région de Oued Zhor - Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences.....	14
9. Paramètres des lois de distribution des probabilités ajustées.....	15
10. Résultats des tests d'adéquation des ajustements aux données observées..	15
11. Fréquence des pluies annuelles la région de Oued Zhor : Loi Racine-normale.....	16
12. Températures moyennes mensuelles et annuelles en °C.....	17
13. Bilans de Thorntwaite-Région de Oued Zhor (Latitude : 36 °N) (Réserve facilement utilisable-RFU: 100 mm)	19
14. Résultats du calcul du ruissellement dans la région de Oued Zhor.....	21
15. Calcul de l'infiltration et les pertes dans les dépressions Région de Oued Zhor (Année moyenne).....	22
16. Quelques facteurs climatiques dans la région de Collo (valeurs moyennes).....	23
17. Répartition des vents dominants (%) à la station de Zitouna (Hazaz, 2001).....	23

LISTE DES TABLEAUX (suite)

<i>Tableau</i>	<i>Page</i>
18. Oued Zhor-Caractéristiques physicochimiques des eaux.....	33
19. Formules empiriques pour estimer l'apport en eau des cours d'eau non jaugés en Algérie (Sources variées)	35
20. Oued Boussieba à El Milia - Apports en eau annuel observés et simulés (Hm ³ /an).....	36
21. Estimation de la lame d'eau écoulee de l'oued Zhor au site de la retenue	36
22. Apport annuel de l'oued Zhor au site du barrage proposé Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences (quantiles en Hm ³ /an)	37
23. Oued Zhor : Résultats des tests d'adéquation de l'ajustement des apports en eau par une loi log-normale à 3 paramètres.....	38
24. Fréquence des apports annuels de l'oued Zhor au site du barrage proposé.....	38
25. Résultats des analyses bactériologiques des eaux de l'oued Zhor au site du barrage proposé (NEE-SPA, 2012).....	39
26. Barrage de l'oued Zhor - Caractéristiques géométriques de la cuvette (Source : BG, 2008).....	42
27. Relations Capacité-Superficie-Altitude (C : capacité en Hm ³ , S : superficie en Ha et Z : cote en m/NGA).....	44
28. Distribution moyenne des apports en eau de l'oued Boussieba à El Milia (série: 1972–2000 - Apport annuel: 142.5 Hm ³).....	46
29. Modulation des besoins en eau potable et d'irrigation (%)......	47
30. Étude de régularisation du barrage projeté sur l'oued Zhor : Capacité au NNE : 20 Hm ³ - Volume mort : 4 Hm ³ - Demande à satisfaire : 26 Hm ³ /an.....	51
31. Calcul de la durée de vie de la retenue projetée par la méthode de Brune (Capacité : 20 Hm ³ - Tranche morte : 4 Hm ³).....	55

Liste des tableaux (suite)

<i>Tableau</i>	<i>Page</i>
32. Durée de remplissage du volume mort et durée de vie économique de l'ouvrage pour différentes capacités au niveau normale d'exploitation.....	56
33. Statistiques des crues maximales de l'oued Boussieba.....	57
34. Paramètres des lois de distributions des probabilités utilisées.....	58
35. Résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima absolus de l'oued Boussieba (m ³ /s).....	59
36. Résultats des tests d'adéquation- Tests d'hypothèses (seuil de signification : 5 %)......	60
37. Résultats des tests d'adéquation- Méthode de dénombrement.....	60
38. Estimation des débits de pointes de l'oued Zhor par le modèle de Francou-Rodier.....	61
39. Probabilité pour qu'une crue de récurrence T années survienne au cours des N premières années du projet.....	63
40. Variations de <i>n</i> en fonction des caractéristiques du bassin et du cours d'eau.....	65
41. Hydrogramme synthétique sans dimension de l'oued Zhor.....	66
42. Hydrogrammes des crues de projet de l'oued Zhor.....	66
43. Données du laminage de la crue déca-millennale de l'oued Zhor.....	72
44. Laminage de la crue de fréquence 10000 ans par le barrage de l'oued Zhor (capacité au NNE : 20 Hm ³).....	75
45. Résultats du calcul du laminage des crues par le barrage projeté sur l'oued Zhor.....	78
46. Revanche minimale en remblai.....	80
47. Tableau récapitulatif des caractéristiques du barrage projeté pour différents scénarii.....	81
48. Caractéristiques du barrage projeté pour une capacité de 20 Hm ³	83

LISTES DES FIGURES

<i>Figure.</i>	<i>Page</i>
1. Carte de situation de la zone d'étude	3
2. Bassin versant de l'oued Zhor au site du barrage projeté et réseau hydrographique.....	4
3. Histogramme et courbe hypsométrique du bassin de l'oued Zhor au site du barrage	7
4. Distribution des pentes dans le bassin de l'oued Zhor au site du barrage.....	7
5. Profil longitudinal de l'oued Zhor au site du barrage.....	8
6. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies à la station d'Afflassane	12
7. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies à la station d'El Milia.....	12
8. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies à la station de Settara.....	13
9. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies dans le bassin de l'oued Zhor	13
10. Variations mensuelles des températures moyennes dans la région de l'oued Zhor	18
11. Bilan hydrologique dans le bassin de l'oued Zhor.....	22
12. Cadre structurale du massif de Collo.....	24
13. Coupe hydrogéologique schématique dans l'aquifère de Oued Zhor (Benrabah, 2006).....	31
14. Variabilité des apports en eau de l'oued Zhor au site du barrage.....	38
15. Courbes Altitude-Superficie-Capacité de la retenue projetée sur l'oued Zhor.....	43
16. Oued Zhor- Diagramme de Rippl pour la période sèche 1989-1999.....	48

LISTES DES FIGURES (suite)

<i>Figure</i>	<i>Page</i>
17. Barrage de l'oued Zhor - Évolution du taux de satisfaction et de déficience en fonction de la capacité pour une demande en eau pour l'AEP et l'Irrigation fixe.....	53
18. Barrage de l'oued Zhor - Évolution du taux de satisfaction en fonction de la demande en eau pour l'AEP et de la capacité.....	53
19. Barrage de l'oued Zhor - Évolution du taux de satisfaction en fonction de la demande en eau pour l'Irrigation et de la capacité.....	54
20. Graphique de symétrie des débits de pointe de l'oued Boussieba.....	58
21. Hydrogramme synthétique de l'oued Zhor au droit du site du barrage.....	66
22. Hydrogrammes des crues de projet de l'oued Zhor.....	68
23. Courbe du laminage - Relation $Q = f \left[S + \frac{Q}{2} \times \Delta t \right]$	73
24. Courbe du laminage – Relation $S=f(Q)$	74
25. Laminage de la crue déca-millennale par le réservoir de l'oued Zhor.....	77
26. Carte schématique de l'aménagement proposé.....	84

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo</i>	<i>Page</i>
1. Forêt de Chêne liège et chêne zen (Source : EnviConsult, 2013)	27
2. Forêt de pin maritime (Source : EnviConsult, 2013)	28
3. Maquis de Pin maritime (Source : EnviConsult, 2013).....	28
4. Plaine de l'oued Zhor et arrière pays (Source : Auteur, 2014).....	29
5. Plaine de l'oued Zhor et exutoire (Source : Auteur, 2014).....	29
6. Plaine alluviale de l'oued Zhor entre le site de barrage proposé et l'exutoire naturel (Source : Auteur, 2014).....	31
7. Forage Oued Zhor 2 (Rekouba).....	32
8. Sources de Oued Zhor	34
9. Site du barrage projeté sur l'oued Zhor.....	41

INTRODUCTION

Les ressources en eaux de surface constituent une richesse capitale du pays. Mais l'eau reste une ressource limitée et vulnérable qui est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement. Sa protection et sa bonne gestion sont donc une nécessité. L'augmentation démographique en zone littorale s'accompagne d'un développement des activités agricoles, économiques, touristiques et urbaines. Le plus souvent, ces activités se développent dans les zones pourvues des ressources hydriques, ce qui se traduit par un besoin en eau croissant.

Face à l'augmentation sans cesse des besoins par rapport à des ressources mobilisées relativement limitées, à la pollution de ces ressources, qu'elles soient superficielles ou souterraines, l'Algérie, comme tout les autres pays du monde, est contrainte à mener une politique de l'eau. Une prise de conscience est actuellement traduite la mise en œuvre d'un ambitieux programme de projets de réalisation de barrages-réservoirs et de transferts à court, moyen et long termes.

Par sa situation au niveau de l'extrême Nord Est du pays et faisant partie de l'une des zones les plus arrosées de l'Algérie (700 – 1600 mm/an), le massif de Collo, jouit d'un potentiel hydraulique superficiel très important (Oued Guebli à l'Est, oueds Tamanart et Damous au centre et Oued Zhor à l'Ouest) qui malheureusement ne profite toujours pas aux populations, notamment celles des dairates de Zitouna et Ouled Attia. Les différentes agglomérations souffrent d'un manque d'eau potable du aux ressources mobilisées très limitées (sources, puis domestiques et forages).

Les cycles de sécheresse, devenus très récurrents et parfois prolongée, ont provoqué le tarissement de certaines sources et un rabattement sensible des aquifères. Ce qui impose le recours à la mobilisation des ressources superficielles par la construction de barrages et réservoirs pour garantir sa disponibilité dans le cadre d'un programme de développement durable.

Dans cette optique, l'objectif principal de ce mémoire est d'améliorer les connaissances sur les ressources en eau superficielles dans le bassin de l'oued Zhor, d'une part, et d'autre part, d'étudier la faisabilité d'un barrage sur l'oued du même nom pour différentes affectations de l'eau en proposant différents scénarii. Les résultats de cette étude permettront une aide à la décision destinée aux collectivités locales et territoriales qui accompagnent les différents projets des ressources en eau dans la région.

Ce mémoire est structuré en deux grandes parties dont l'agencement reflète la démarche utilisée et les étapes d'analyse. La première partie intitulé "**PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE**" traite de l'étude des caractéristiques du bassin en resituant l'aire d'étude dans les cadres géographique, géomorphologique et hydroclimatologique de la région afin de dégager les grands traits caractérisant le système hydrographique étudié, d'une part, et de déterminer les paramètres clés nécessaires dans les différents calculs, d'autre part.

En accord avec les objectifs de l'étude, la deuxième partie, la plus importante, est consacrée à l'**ETUDE DE FAISABILITE D'UN BARRAGE SUR L'OUED ZHOR**. Il s'agit en fait du choix du site et ses caractéristiques géométriques (altitude, capacité et surfaces immergées), de la collecte et le traitement des données nécessaires pour simuler l'exploitation du barrage sous différentes conditions de capacité et de demande (pluviométrie, évaporation, débits, demande en eau) au pas de temps mensuel et enfin de l'effet du barrage sur l'écrêtement des crues exceptionnelles (développement et rassemblement les outils informatiques et statistiques qui permettent de traiter et d'interpréter un jeu de données sur les débits extrêmes) pour protéger la plaine alluviale de l'oued Zhor contre les inondations.

Enfin, la **CONCLUSION GENERALE** synthétise les résultats de ce travail et propose les caractéristiques du barrage projeté et examine les impacts de ce dernier sur le milieu.

PREMIÈRE PARTIE

PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

1. Situation géographique et administrative de la zone d'étude

La zone d'étude est située au Nord-Est de l'Algérie, dans la partie Ouest de la wilaya de Skikda à la limite de la wilaya de Jijel. Administrativement, elle dépend de la daïra d'Ouled Attia (Bounoghra) et principalement de la commune de Oued Zhor. Elle est limitée au Nord par les communes de Khenak Mayoun et Ouled Attia, au Sud par celles de Ain Kechra et Ouldja Boulbellout, à l'Est par la commune de Bni Zid et enfin par la commune d'El-Milia et la mer Méditerranée à l'Ouest (Fig. 1).

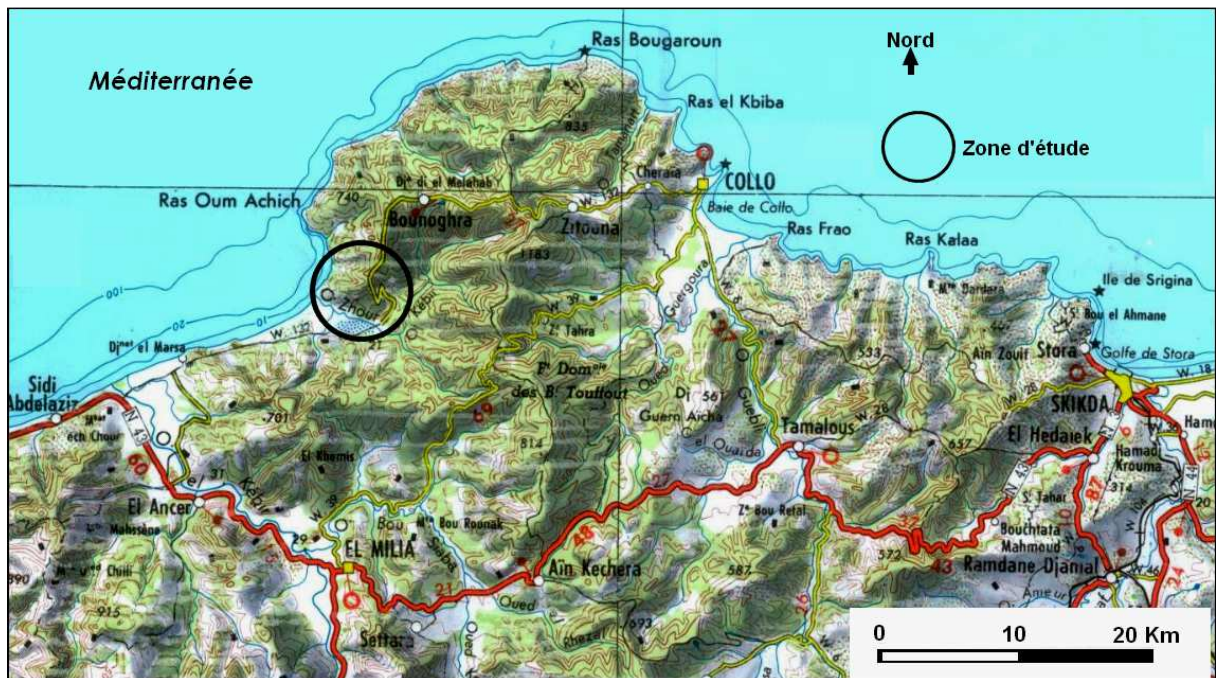


Fig.1. Carte de situation de la zone d'étude.

Le bassin versant de l'oued Zhor est situé dans l'Atlas tellien dans le massif de la petite Kabylie. Il fait partie des Côtiers Constantinois Centre (code ANRH : 0306). Ce bassin est défini entre les longitudes $6^{\circ}18'$ et $6^{\circ}26'E$ et les latitudes $36^{\circ}53'$ et $36^{\circ}60'N$. L'oued Zhor drainant un bassin versant de 96 Km^2 , est limité, au Nord, par une série de Koudiets allant de Hdjar Miz (1032 m) à El Mkatel (821 m) ; au Sud par Koudiat Bou el Kikab (462 m) et Sra Di el Khemis (807 m). Les limites Est et Ouest du bassin sont définies par DJ. El Goufi (1181 m) et par des koudiets le long de l'axe Ras Kfayoun-El Aouinet-Es Sandjak (545-681-741 m, respectivement). Long de 17 Km, il prend sa source au Djebel El Goufi (1183 m) sous le nom de l'oued Ktounan. Tout au long de son parcours, jusqu'à son embouchure dans la mer

Méditerranée, il reçoit beaucoup d'affluents et prend successivement le nom de l'oued Habaiche, l'oued el Kébir et enfin l'oued Zhor (Fig. 2).

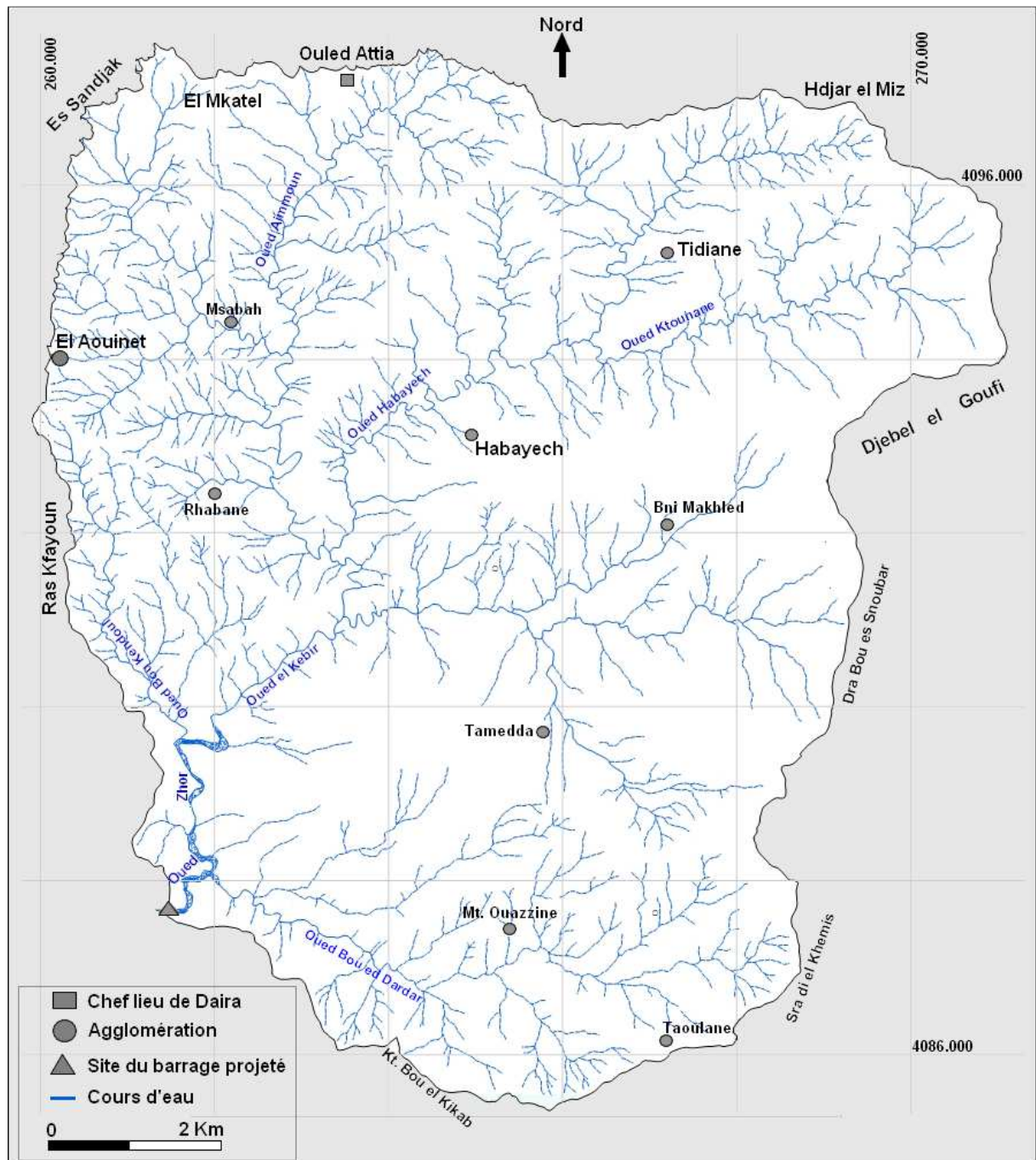


Fig. 2. Bassin versant de l'oued Zhor au site du barrage projeté et réseau hydrographique.

Le bassin compte environ 5 000 habitants répartis sur cinq communes (essentiellement, Oued Zhor, Khenak Mayoune, ouled Attia et à un degré moindre, Bni Zid et Zitouna). La densité de la population, peu élevée pour l'ensemble du bassin versant, est de l'ordre de 52 habitants par

km² (TECSULT, 2006). Au niveau de l'Oued Zhor, l'alimentation en eau potable est assurée par les eaux souterraines, forages et sources (NEE-SPA, 2012).

2. Caractéristiques du bassin versant de l'oued Zhor

Le bassin versant est le siège de la transformation des pluies en débits dans les oueds et réagit en fonction des précipitations qu'il reçoit. Le comportement hydrologique des oueds dépend des caractéristiques du bassin (forme, relief, réseau de drainage, nature des sols et couverture végétale, etc.). Pour mieux le comprendre, il est impératif de connaître ces différents paramètres. Pour le bassin de l'oued Zhor, ils sont déterminés sur un fond topographique au 1/25000 défini par l'assemblage des cartes suivantes : Collo 1-2, Collo 5-6, Oued Zhor 3-4 et Oued Zhor 7-8. Tout au long de cette partie les mesures de longueur et de surface ont été effectuées à l'aide d'un curvimètre et du papier quadrillé. L'évaluation des facteurs déterminants de l'écoulement superficiel est donnée dans ce qui suit.

2.1. Caractéristiques de forme et du relief

La forme et le relief caractérisant le bassin versant influence de façon directe la forme de l'hydrogramme de crue à l'exutoire. Les indices de forme et de relief sont déterminés à partir des données géométriques du bassin notamment la superficie, le périmètre, les longueurs, les largeurs et des indices de pentes, respectivement. Les tableaux ci-dessous récapitulent les résultats des différentes mesures et des calculs relatifs aux caractéristiques morphométriques du bassin étudié.

Tableau 1. Bassin versant de l'oued Zhor - Paramètres géométriques.

Paramètre	Symbole	Unité	Valeur	Valeurs de référence (Zavoianu, 1978)			Méthode
Surface du BV	A	Km ²	96				Papier quadrillé
Périmètre du BV	P	km	37.5				Curvimètre
Longueur du BV	L		12				Règle graduée
Largeur du BV	ℓ		10.87	Cercle	Carré	Rectangle (L=2ℓ)	
Indices de forme ¹	R _f	Sans unité	0.81	0.79	1.000	0.501	Horton (1932)
	K _C		1.07	1.0	1.128	1.198	Gravelius (1950)
	R _C		0.85	1.0	0.785	0.696	Miller (1953)
	FF		1.09	1.277	1.000	0.877	Zavoianu (1978)

¹ Pour plus de détail, consulter l'ouvrage de Zavoianu (1978).

Tableau 2. Bassin versant de l'oued Zhor - Paramètres du relief.

Caractéristique	Paramètre	Symbole	Unité	Valeur	Méthode
Altimétrique	Altitude minimale	Z_{\min}	m	21	Hypsométrie
	Altitude maximale	Z_{\max}		1181	
	Altitude moyenne	Z_{moy}		480	
	Altitude médiane	$Z_{1/2}$		485	
	Altitude la plus fréquente	Z_{mod}		553	
	Altitude de fréquence 95%	$Z_{95\%}$		855	
	Altitude de fréquence 5%	$Z_{5\%}$		100	
	Dénivelée totale	D		1160	
Pente	Dénivelée spécifique	D_s	m/km	755	ORSTOM
	Indice de pente ²	I_g		77	
	Pente moyenne	\bar{I}_{BV}		437	Carte et rose des pentes
	Pente minimale	I_{\min}		100	
	Pente maximale	I_{\max}		1330	
	Orientation des versants	Exposition		-	

Tableau 3. Bassin versant de l'oued Zhor - Paramètres hydrographiques.

Paramètre	Symbole	Unité	Valeur	Méthode
Ordre	U	-	6	Strahler
Densité de drainage	D_d	Km/km^2	3.13	Formule
Densité hydrographique	D_h	Drain/km^2	10.73	
Densité hydrographique d'ordre 1	F_1		8.15	
Longueur du cours d'eau principal	L_{cp}	Km	16.5	Curvimètre
Longueur du plus long talweg	L_{pt}		17.5	
Longueur de plus long cheminement hydraulique	L_{ph}		17,5	
Temps de concentration	T_C	Heures	2	Formules

Si on se réfère aux tableaux ci-dessus, on s'aperçoit que l'oued Zhor au site du barrage, long de 17 Km suivant son affluent Oued el Kébir, draine un bassin versant plus moins compact de

² Compte tenu de la forme plus ou moins ramassée du bassin, l'indice de pente globale est obtenu par la relation : $I_g = |Z_{95\%} - Z_{5\%}|/\sqrt{A}$.

96 Km². Les altitudes varient entre 21 m (au site du barrage situé à 8 Km à l'amont de la cote méditerranéenne) et 1181 m à Djebel el Goufi ; elles oscillent autour de 480 à 485 m (Fig. 3).

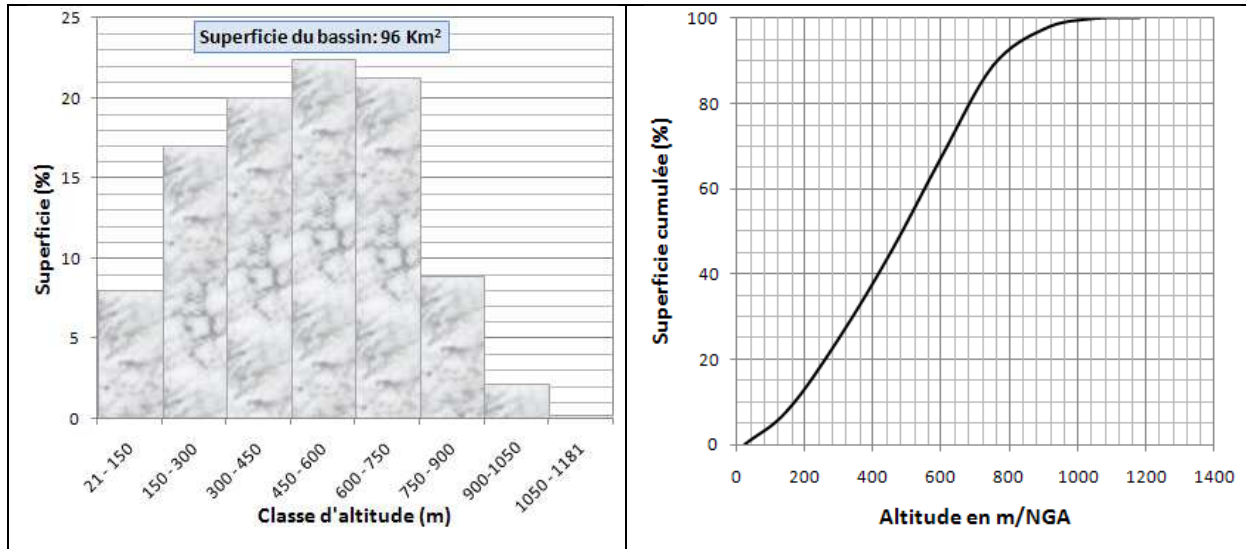


Fig. 3. Histogramme et courbe hypsométrique du bassin de l'oued Zhor au site du barrage.

Caractérisé par des versants exposés en grande partie vers le SE et le SO, le bassin se démarque par un relief fort à très fort : dénivelée totale : 1160 m ; dénivelée spécifique 755 m ; indice de pente globale 77 m/km et des pentes raides à très raides (pente moyenne : 437 m/km). La figure ci-dessous illustre la répartition des pentes des versants. Du point de vue relief, le bassin du Zhor peut être qualifié de montagneux.

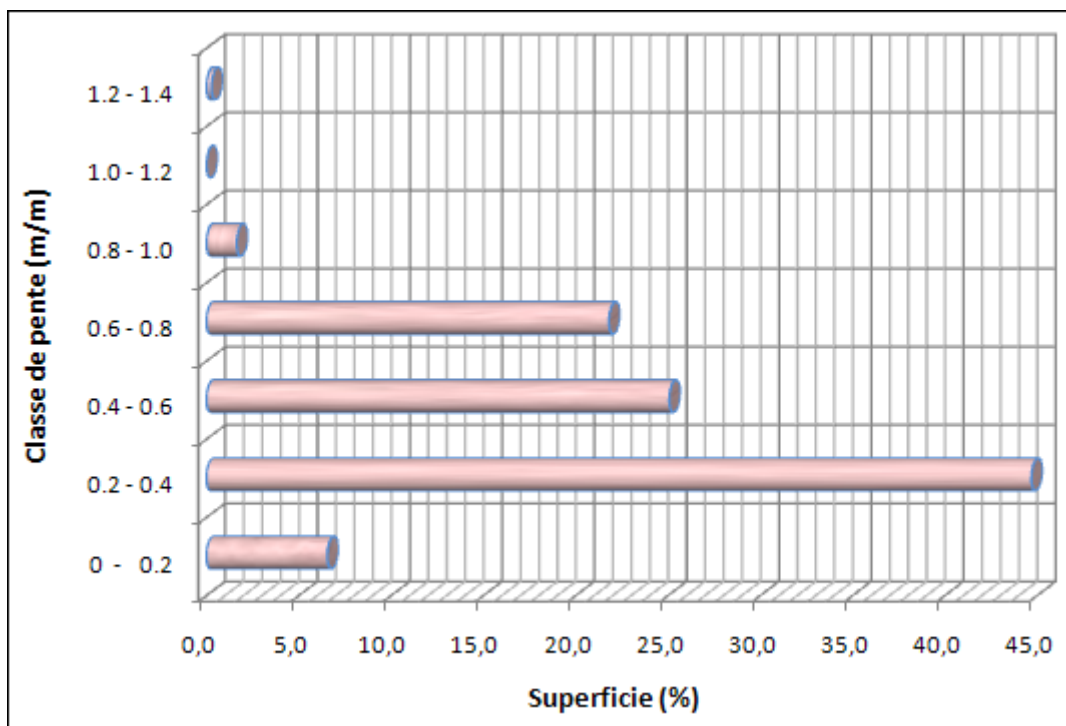


Fig. 4. Distribution des pentes dans le bassin de l'oued Zhor au site du barrage

En effet, le bassin de l'oued Zhor à l'amont du site de barrage s'individualise par des versants à fortes pentes. Ces versants restent le plus souvent convexes jusqu'au fond des vallées très nombreuses qui le dissèquent. Du point de vue hydrographie (Fig. 2), ce bassin d'ordre 6 selon la classification de Strahler, se caractérise par un réseau assez dense et hiérarchisé aux affluents courts et nombreux. ($D_d : 3 \text{ km/km}^2$; $D_h : 11 \text{ drains/km}^2$). Le profil en long du cours principal de l'oued Zhor (Fig. 5) met en relief des ruptures de pentes correspondant à quatre classes de pentes bien distinctes (50 , 12 , 5 et 1%) traduisant l'évolution graduelle d'un écoulement à caractère torrentiel en tête de bassin à un régime fluvial à l'entrée du barrage (Bernard in Richard, 1997).

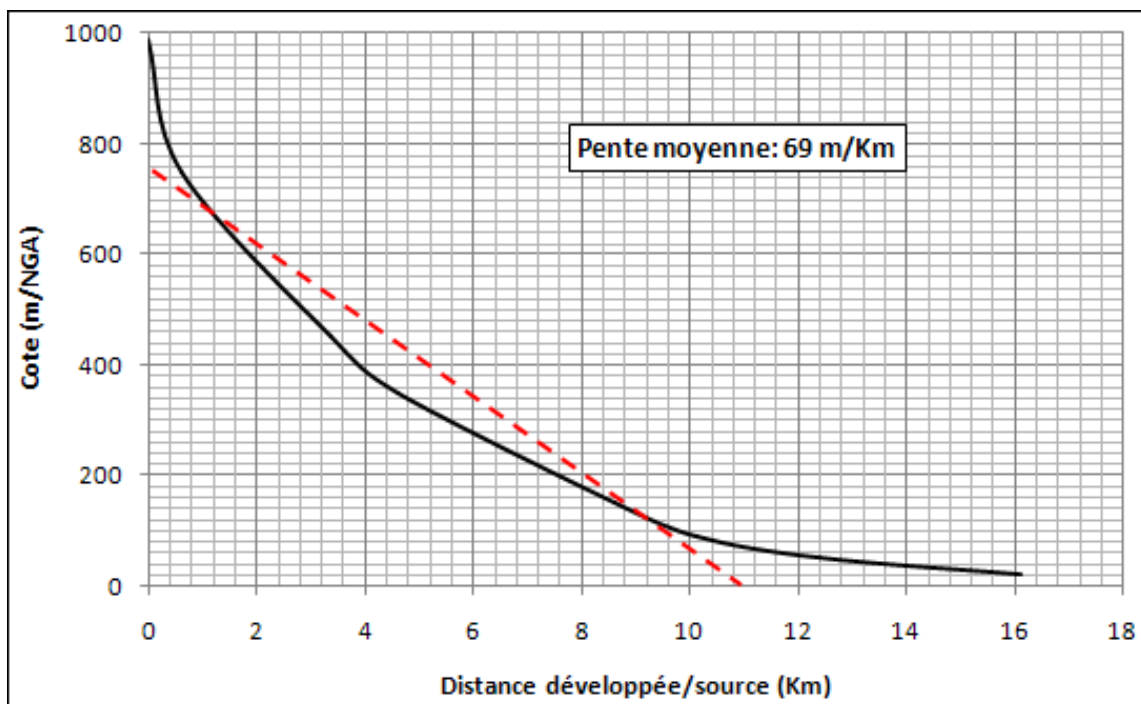


Fig. 5. Profil longitudinal de l'oued Zhor au site du barrage

Enfin, l'action conjuguée des facteurs topographiques et hydrographiques (relief, pentes et drainage) confère au bassin de l'oued Zhor au site du barrage un temps de concentration des eaux ; calculé par plusieurs formules proposées dans la littérature : Loukas (1996), Kirpich (1940), Passini in Musy (1998), Ouarda et al. (2001), Chow et al. (1988), etc., relativement assez court, de l'ordre de 2 heures (Tableau 4). Cette valeur se justifie par la taille et le caractère montagneux du bassin de l'oued Zhor.

Tableau 4. Estimation du temps de concentration du bassin

Equation	Loukas	Kirpich	B-W-Ruroux ³	Chow	Passini	FAA (c=0.5) ⁴	NRCS (NCR=82) ⁵	Turazza
Tc (min)	133.4	109.5	260.0	101.5	286.9	145.9	138.4	1860.9
Tc (hr)	2.2234	1.825	4.3328	1.6916	1.7086	2.43131	2.3064	4.7810

2.2. Caractéristiques hydroclimatologiques

Toute étude hydrologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydroclimatiques permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines. Dans le but de compléter l'étude du complexe physique du bassin versant de l'oued Zhor, la connaissance des facteurs hydroclimatiques et, par conséquent les processus hydrologiques dans ce bassin, s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants: la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan. Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode adaptée à la région.

Pour atteindre les objectifs de ce partie un effort considérable a été fourni notamment dans la collecte des données sur les précipitations (journalières, mensuelles, et annuelles), la température, l'humidité, le vent, au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) de Constantine et l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (Bni Zid).

Sur le plan climatique, la région d'Oued Zhor, étant une zone côtière, est caractérisée par un climat méditerranéen avec une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale, et une saison froide et pluvieuse, c'est la saison hivernale.

³ Equation de Bransby-Williams pour les bassins ruraux (Upegui and Gutierrez, 2011)

⁴ Equation de l'US Federal Aviation Agency (Upegui and Gutierrez, 2011)

⁵ US- Natural Resources Conservation Service lag-method (McCuen, 1982)

2.2.1. Pluviométrie

La région d'Oued Zhor est l'une des zones les plus arrosées en l'Algérie. L'étude pluviométrique permet d'évaluer la lame d'eau tombée qui conditionne les variations des niveaux des eaux superficielles et souterraine dans le bassin versant étudié. Étant donné que le bassin de l'oued Zhor est dépourvu de postes de mesures des facteurs météorologiques, les données pluviométriques enregistrées au niveau de trois stations (Aflassane, El Milia et Settara), jugées représentatives de la région d'étude, ont été, après correction et comblement des lacunes, extrapolées au bassin étudié. L'identification des stations prises en compte est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau. 5. Identification des postes pluviométriques

Code	Poste pluviométrique	X (Km)	Y (Km)	Altitude (m)	Période d'observations
030712	Aflassane	841.2	410.1	35	1967-2012
100706	El Milia	819.3	389.7	100	1970-2011
100711	Settara	825.1	385.9	280	1972-2012

a- Variabilité spatiale et temporelles des pluies

Les résultats du traitement statistique descriptif des données pluviométriques mensuelles et annuelles sont consignés au tableau 6.

D'après les données pluviométriques enregistrées aux trois stations (tableau 6 et figures 6 à 9), on peut dire que le mois de Juillet est le mois le plus sec avec peu ou pas de précipitations (moyenne de l'ordre de 2 à 3 mm). Par contre, le mois le plus pluvieux est le mois de Décembre (144 mm à Aflassane et 157 mm à Settara). Durant les années pluvieuses, le cumul mensuel dépasse les 300 mm aux mois de Décembre et Janvier. Les chroniques étudiées montrent que certains mois sont totalement à sec (minimum de pluie nul), Enfin, la majorité des pluies annuelles sont observées durant la saison hivernale (46 %).

La variabilité temporelle, traduite par le coefficient de variation (Cv), est très nette à l'échelle mensuelle ($56 \leq CV \leq 300$ %) ; elle est beaucoup plus accentuée pendant la saison estivale ($CV > 100$ %). A l'échelle annuelle, la variabilité est relativement beaucoup plus faible ($CV < 30$ %).

Tableau. 6. Variabilité spatiale et temporelle des pluies dans la région d'Oued Zhor

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Afflassane (série 1967-2012)													
moy	36.2	59.0	121.4	143.7	113.8	102.1	84.6	58.9	30.3	8.2	2.3	5.4	766.0
max	156.6	218.3	299.7	337.9	392.6	295.7	334.1	155.5	125.9	38.2	18.1	38.7	1331.8
min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	369.3
Cv (%)	94	91	66	56	71	63	71	69	97	123	178	157	29
Saison ⁶	216.6			359.6			173.9			15.9			-
El Milia (série 1970-2011)													
Moy	40.3	89.8	114.2	153.7	129.3	110.8	95.3	81.2	40.8	11.9	2.3	7.9	877.5
Max	189.8	316.0	319.7	398.9	372.0	299.9	309.9	341.2	122.3	88.8	26.2	63.7	1536.1
Min	0.0	0.6	5.6	13.2	11.3	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	500.8
Cv (%)	91	75	59	57	62	62	71	75	74	143	233	191	26
Saison	244.3			393.8			217.3			22.1			-
Settara (série 1972-2012)													
Moy	42.4	81.9	113.7	156.8	131.1	121.4	103.3	85.8	46.9	13.3	3.0	6.3	905.8
Max	292.9	216.7	286.6	374.0	410.3	346.3	268.3	294.2	131.4	92.2	41.0	42.0	1462.6
Min	0.0	0.0	7.2	6.5	9.3	0.0	19.7	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	541.3
Cv (%)	115	69	63	61	64	67	58	70	74	143	300	176	23
Saison	237.9			409.3			235.9			22.6			-

⁶ La valeur saisonnière correspond à la somme des pluies moyennes mensuelles pour chaque station.

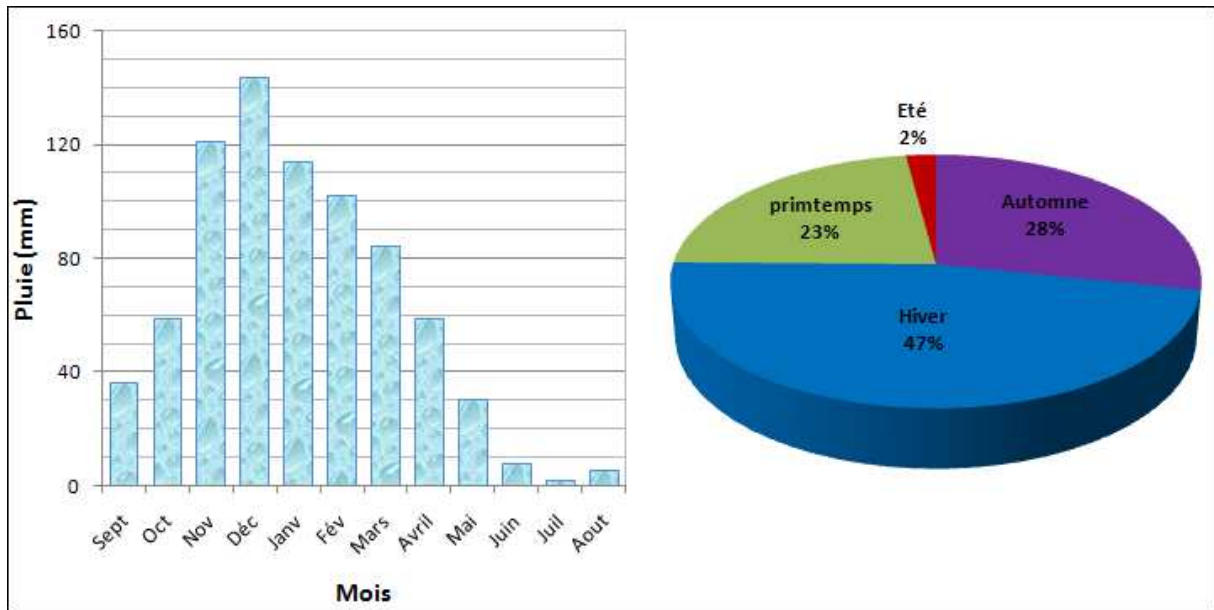


Fig. 6. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies à la station d'Afflassane

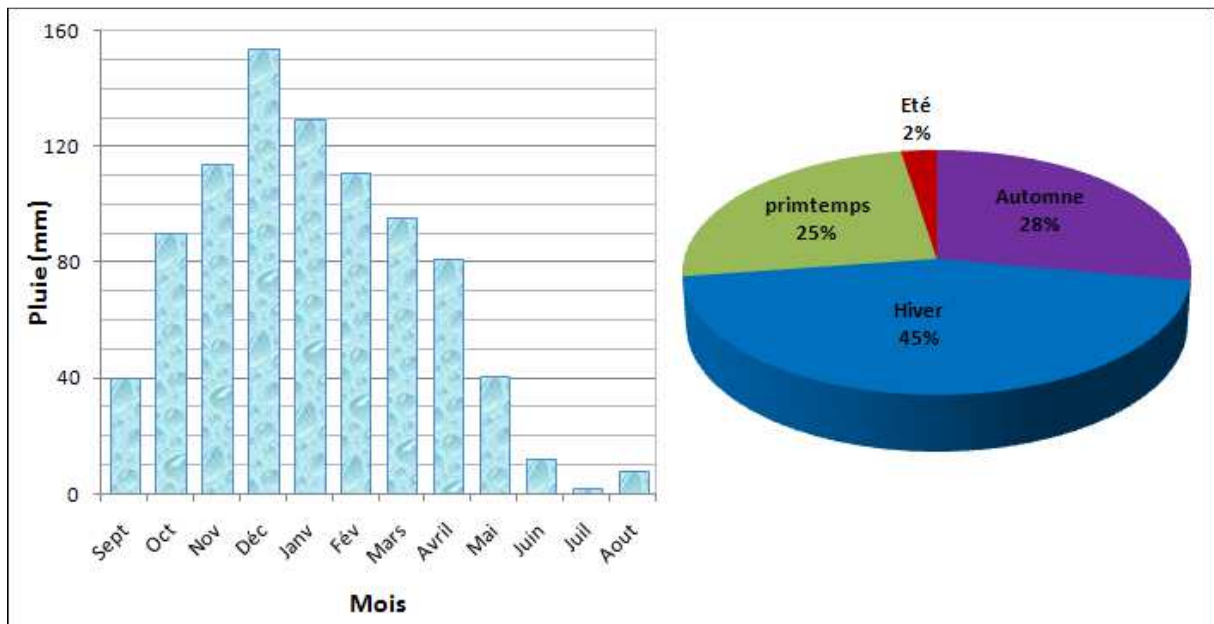


Fig. 7. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies à la station d'El Milia

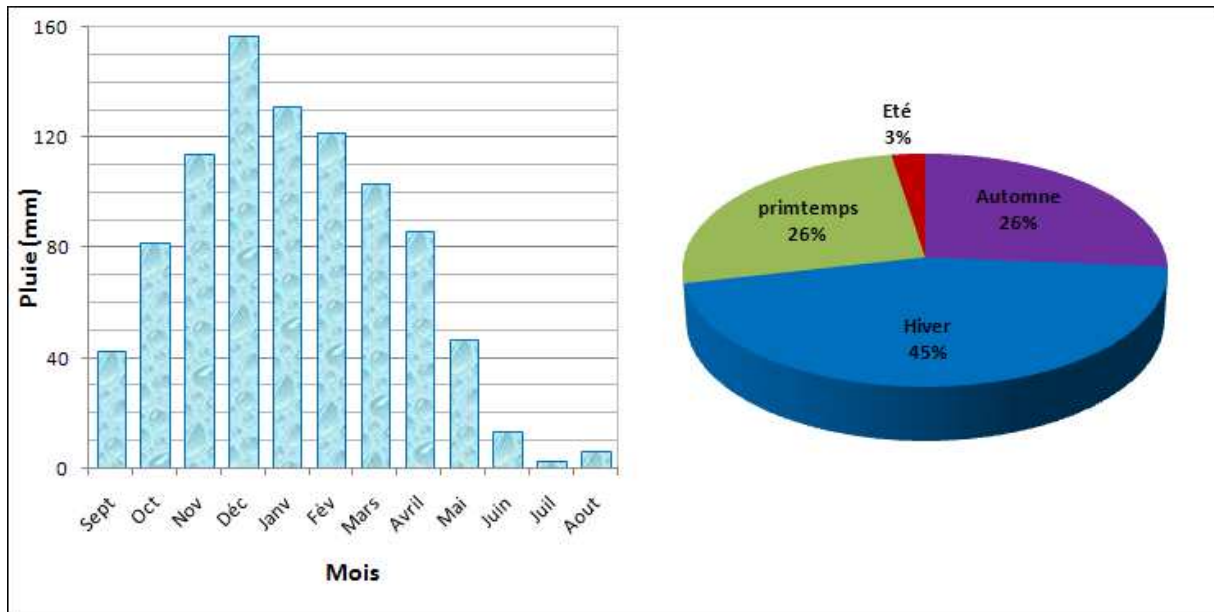


Fig. 8. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies à la station de Settara

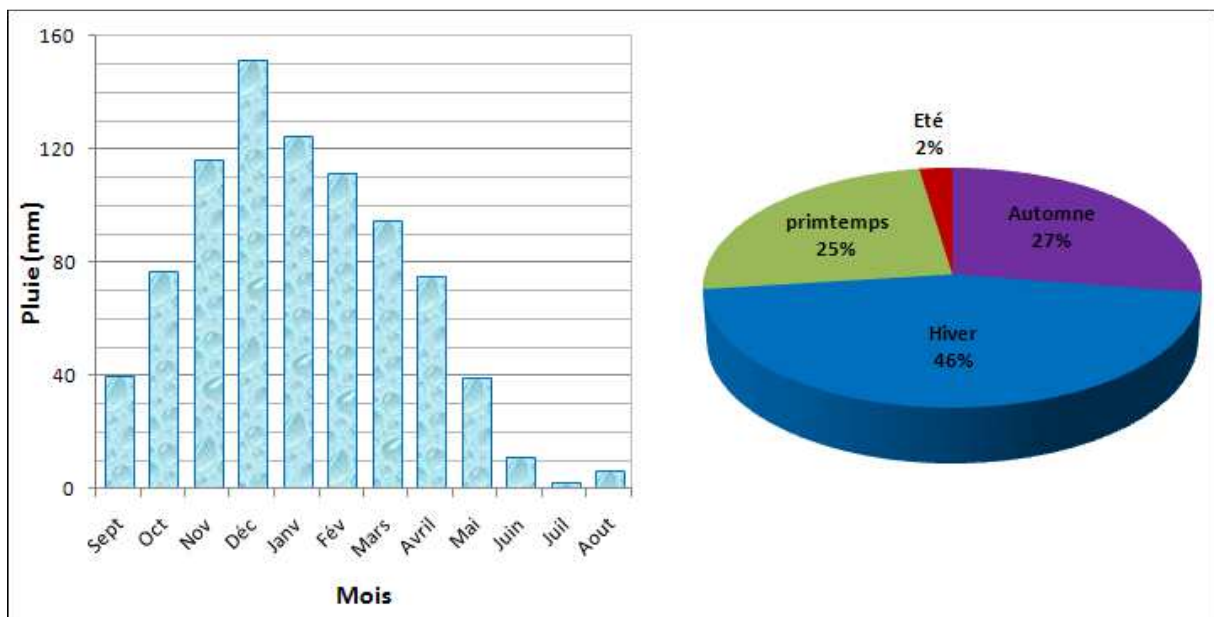


Fig. 9. Variabilité mensuelle et saisonnières des pluies dans le bassin de l'oued Zhor.

Dans cette région les pluies s'abattent sous forme d'averses plus ou moins torrentielles dont l'intensité peut dépasser parfois les 100 mm par jour (152 mm le 27 Novembre 1978 à

Afflassane, 210,3 mm le 24 Décembre 1990 et 160 mm le 24 Septembre 2009). Ces pluies sont à l'origine de nombreuses inondations et du déclenchement de l'érosion hydrique dans la région. Dans la zone d'étude, le nombre moyen de jours de pluie est de l'ordre de 70 jours/an (tableau suivant).

Tableau. 7. Nombre moyen de jours de pluie dans la région d'Oued Zhor.

Station/Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Afflassane	4	6	10	11	11	10	8	7	4	1	1	1	72
El Milia	4	7	9	10	9	9	8	8	5	2	0	1	69
Settara	4	7	9	10	10	9	8	8	4	2	0	1	71
Moyenne	4	6	9	10	10	9	8	8	4	2	0	1	71

b- Fréquence de pluies annuelles

Les données pluviométriques sont souvent disponibles sous forme d'échantillons très larges qui ne sont pas convenables à une interprétation directe (relevés pluviométriques journaliers, mensuels et annuels). Il devient par conséquent nécessaire de synthétiser les caractéristiques des séries traitées par des paramètres numériques ou graphiques qui expliquent la distribution des fréquences des pluies annuelles dans la région de Oued Zhor. Il s'agit en pratique de déterminer les critères de tendance centrale (la moyenne –**m**), de dispersion (l'écart type-**s**, les extrêmes et le coefficient de variation-**Cv**) et de forme (le coefficient d'asymétrie-**G₁**) des séries étudiées. Les résultats obtenus sont présentés le tableau ci-dessous.

Tableau 8. Pluies annuelles dans la région de Oued Zhor - Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences

Poste pluviométrique	N	min	max	m	s	Cv (%)	G ₁
Afflassane	46	369.3	1331.8	766.0	220.1	29	0.28
El Milia	42	500.8	1536.1	877.5	225.5	0.26	0.79
Settara	41	541.3	1462.6	905.8	209.3	0.23	0.45

Ces résultats constituent les données de base pour le calcul des fréquences des pluies annuelles dans la région de Oued Zhor. Les lois de distribution de fréquence appliquées aux échantillons des modules pluviométriques annuels sont les lois normale, Log-normale, Log-normale à trois paramètres et Racine-normale. Les paramètres de chaque loi, déterminés par la méthode des moments, sont consignés au tableau ci-dessous.

Tableau 9. Paramètres des lois de distribution des probabilités ajustées

Modèle probabiliste	Paramètres	Afflassane (N = 46)	El Milia (N = 42)	Settara (N = 41)
Normal (x)	Position (\bar{x})	766.0	877.5	905.8
	Dispersion (s)	220.1	225.5	209.3
Log-normal (Ln x)	Position ($\overline{\text{Ln}x}$)	6.5984	6.7461	6.7826
	Dispersion ($s_{\text{Ln}x}$)	0.29887	0.24811	0.203003
Log-normal à 3p Ln(x - a)	Position [$\overline{\text{Ln}(x - a)}$]	7.4612	6.5749	6.9907
	Dispersion [$s_{\text{Ln}(x-a)}$]	0.12411	0.29403	0.18663
	Echelle (a)	-986.74	129.07	-199.8
Racine-normal \sqrt{x}	Position ($\overline{\sqrt{x}}$)	27.389	29.393	29.901
	Dispersion ($s_{\sqrt{x}}$)	4.0225	3.7234	3.4619

Ces ajustements satisfont aux tests d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov, au niveau de signification de 95%, (tableau 10).

Tableau 10. Résultats des tests d'adéquation des ajustements aux données observées

Station	Loi de probabilités	Statistique log-vraisemblance	Test <i>D</i> de Kolmogorov-Smirnov		
			D_{max}	p-value	D_{N, 5%}
Afflassane N = 46	Normale	-312.899	0.1107	0.6258	0.19625
	LN 2p	-313.248	0.0933	0.8178	
	LN 3p	-312.506	0.0872	0.8750	
	R-normale	-128.798	0.0849	0.8943	
El Milia N=42	Normale	-286,670	0.1136	0.6500	0.20517
	LN 2p	-284.394	0.0804	0.9485	
	LN 3p	-284.330	0.0738	0.9765	
	R-normale	-114.310	0.0992	0.8028	
Settara N=41	Normale	-276.767	0.0879	0.9088	0.2076
	LN 2p	-276.019	0.1083	0.7221	
	LN 3p	-276.019	0.1061	0.7448	
	R-normale	-108.592	0.0935	0.8655	

Comme la plus petite probabilité (p-value) parmi les tests effectués est supérieure ou égale à 0.05, on ne peut pas rejeter l'idée que les modules pluviométriques des trois stations de référence peuvent être modélisés par les lois sus indiquées au niveau de confiance de 95%.

Néanmoins, en fonction de la statistique log de la vraisemblance, la loi qui s'ajuste le mieux est la loi Racine-normale (plus faible valeur). Ainsi, les résultats obtenus pour les périodes de récurrence (T) de 2, 5, 10, 20, 25, 50 et 100 ans, aussi bien en année humide que sèche, sont consignés au tableaux 11.

Tableau 11. Fréquence des pluies annuelles la région de Oued Zhor : Loi Racine-normale

T (années)	2	5	10	20	25	50	100
Afflasane							
<i>Année humide</i>	750	947	1059	1156	1185	1271	1350
<i>Année Séche</i>	750	576	494	432	414	366	325
El Milia							
<i>Année humide</i>	864	1058	1167	1261	1290	1372	1448
<i>Année Séche</i>	864	690	606	541	523	473	864
Settara							
<i>Année humide</i>	894	1077	1179	1267	1293	1370	1441
<i>Année Séche</i>	894	728	648	586	568	519	477
Bassin versant de l'oued Zhor							
<i>Année humide</i>	836	1030	1135	1230	1256	1340	1415
<i>Année Séche</i>	836	665	585	520	500	450	410

Il ressort de cette analyse que les résultats, bien que légèrement différents (tableaux ci-dessus), restent plus ou moins comparables. Ainsi, les valeurs moyennes adoptées dans la présente étude sont reportées au tableau ci-dessus.

Ces résultats mettent en lumière que dans la région de Oued Zhor, la pluie annuelle de fréquences 80 % (pour l'année humide) et 20 % (pour l'année sèche) s'échelonne entre 950 à 1077 et 576 à 728 mm/an, respectivement. A l'échelle du bassin versant, les pluies moyennes de mêmes fréquences s'échelonnent entre 1030 mm an année humide et 665 mm en année sèche.

De plus, la comparaison des résultats de l'analyse fréquentielle (tableau 11) aux données observées au cours de ces quatre dernières décennies, montre que, selon la station, dans 46 à 57 % des cas, les années se démarquent par une pluviométrie annuelle déficitaire pour l'ensemble des trois stations (total annuel inférieur à la pluie biannuelle).

2.2.2. Température

La température, un des facteurs caractéristiques du climat, est importante, notamment pour l'évaluation du déficit d'écoulement, un élément du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant. Dans la zone de Oued Zhor, les données disponibles sont mesurées au niveau de deux stations les plus proches : Barrage de Bni Zid (série : 2002-2013) et El Milia (série : 1977-1991). Les valeurs moyennes sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau. 12. Températures moyennes mensuelles et annuelles en °C.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Bni Zid (série :2001/2002-2012/2013)													
Tmax	27.8	26.3	21.2	17.7	16.3	16.8	19.2	21.4	24.8	27.6	29.5	30.4	23.2
Tmin	20.2	18.3	12.9	10.1	8.4	8.8	10.7	13.4	16.9	19.6	22.5	23.7	15.5
Tmoy	24.0	22.3	17.1	13.9	12.4	12.8	15.0	17.4	20.8	23.6	26.0	27.0	19.4
El Milia (série :1976/1977-1990/1991)													
Tmax	31.8	26.1	21.1	15.8	15.2	16.8	19.8	23.1	26.2	31.8	35.6	35.3	24.9
Tmin	17.4	12.1	11.1	6.21	6.0	6.19	7.4	9.9	12.4	16.8	19.6	27.8	12.7
Tmoy	24.6	19.1	16.1	11.0	10.6	11.5	13.6	16.5	19.3	24.3	27.6	31.5	18.8

Le tableau ci-dessus, montre que la température moyenne minimale s'observe au mois de Janvier. Elle est de l'ordre de 8.4 et 6.0 °C aux stations Bni Zid et El Milia, respectivement. La température moyenne maximale est enregistrée au mois d'Août (30.4 et 35.2 °C, respectivement). A l'échelle annuelle la température moyenne de la zone étudiée est de l'ordre de 19 °C.

Pour les deux stations, la saison chaude s'étale de Mai à Octobre, mois pendant lesquels les températures moyennes mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide correspond à la période allant de Novembre à Avril (Fig. 10).

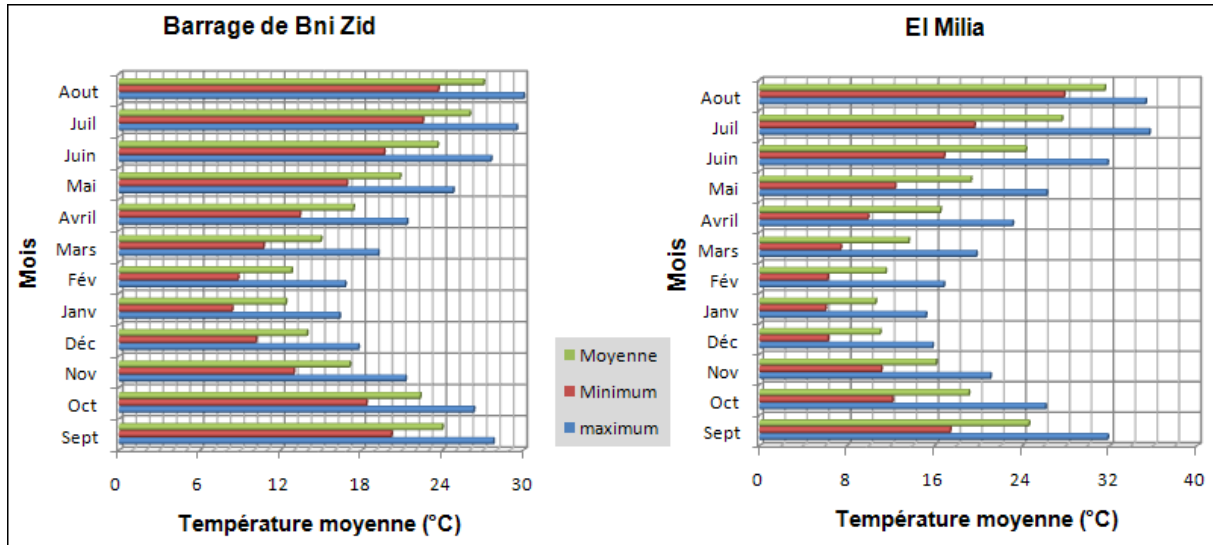


Fig. 10. Variations mensuelles des températures moyennes dans la région de l'oued Zhor.

2.2.3. Bilan hydrique

L'établissement du bilan d'eau d'une région, pour une période donnée, a pour but la connaissance de la répartition plus ou moins grossière des précipitations (P) entre les composantes suivantes : l'évapotranspiration (ETR), le ruissellement (R) et l'infiltration (I).

Le bilan est établi selon la formule suivante :

$$P = ETR + R + I \quad [1]$$

a. Évapotranspiration

Ce paramètre, un élément très important pour l'établissement d'un bilan hydrologique, désigne toutes les pertes en eaux par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Elle regroupe l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère.

On appelle évapotranspiration réelle (notée ETR), la quantité d'eau généralement exprimée en millimètres, évaporée ou transpirée par le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant.

L'évapotranspiration potentielle (notée ETP) est la quantité d'eau qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'est pas un facteur limitant. Plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP à partir de différentes mesures

climatologiques. Dans la présente étude, elle est déterminée par la méthode du bilan évaporométrique de Thornthwaite au niveau des trois stations de références (Afflassane, El Milia et Settara). Le bilan est établi pour l'année moyenne en affectant une valeur de 100 mm à la réserve facilement utilisable. Les résultats obtenus au moyen du programme *THORN*, une application sous Excel, pour les stations prises en considération, sont rapportés au tableau.

**Tableau. 13. Bilans de Thornthwaite-Région de Oued Zhor (Latitude : 36 °N)
(Réserve facilement utilisable-RFU: 100 mm)**

Paramètre	Station		
	Afflassane	El Milia	Settara
P (mm)	766	877.5	905.8
T(°C)	19.4	18.8	18.8
ETPcorrigée (mm)	934.4	960.9	960.9
ETR (mm)	461.8	454.5	363.1
DA (mm)	472.6	506.4	497.8
EXC (mm)	304.2	423.0	442.6
ETR/P (%)	60	52	51
EXC/P (%)	38	48	49
MDéf.	5 : Juin-Oct	4 : Juin-Sept	4 : Juin-Sept
MExc	4 : Déc-Mars	5 : Déc-Avril	5 : Déc-Avril
DRR	Novembre	Octobre	Octobre
Réserve pleine	Décembre	Décembre	Décembre
DEP	Mai	Mai	Mai
Réserve à sec	Juin	Juin	Juin

Le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite (Annexe 1) montre à travers les exemples des postes pluviométriques étudiés que, dans la région de Oued Zhor, l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle varie grossièrement entre 930 et 960 mm. Le maximum mensuel, observé au mois d'Août, est de l'ordre de 150 mm à Afflassane et 210 mm aux autres stations. Le minimum s'observe durant la période hivernale (Décembre-Janvier: 18 à 23 mm). La reconstitution de la réserve du sol (DRR) s'effectue, à partir d'Octobre (à El Milia et Settara) ou de Novembre (à Afflassane). Le sol atteint la saturation (réserve pleine) dès les mois de Décembre. La réserve commence à s'épuiser au mois de Mai (DEP) pour se vider complètement en Juin (réserve à sec).

En année moyenne, l'écoulement (infiltration et ruissellement), qui commence à apparaître au mois de Décembre, représente respectivement, près de 40 et 50 % des pluies totales annuelles (Afflassane et les autres stations, respectivement). Les quantités importantes d'eau (300 mm

en 4 mois à Afflassane et 440 mm en 5 mois à El Milia et Settara), permettent d'apprécier l'importance du volume d'eau régularisé par les bassins aux exutoires naturels des différents oueds de la région. Ce surplus d'eau (EXC) contribue à la réalimentation des nappes superficielles et les différentes dépressions, d'une part, et au ruissellement des différents cours d'eau, d'autre part.

Dans la région de Oued Zhor, l'évapotranspiration réelle annuelle (ETR) varie considérablement d'une année et d'un endroit à l'autre. Elle représente en moyenne près 50 à 60 % des pluies annuelles tombées au cours d'une année moyenne.

On doit enfin noter que la région d'étude se démarque, selon l'état de la réserve facilement utilisable (RFU), par un déficit agricole (DA) variable, selon l'année et le lieu, entre 470 et 506 mm. Grossièrement, ce déficit s'étale du mois de Juin au mois de Septembre ou d'Octobre (MDéf). Le maximum de 150 à 200 mm s'observe le plus souvent aux mois de Juillet et Août.

b. Ruissellement

Le ruissellement, un paramètre fondamental du bilan hydrologique d'un bassin versant, ne peut être déterminé avec précision faute de moyens de mesure de l'écoulement à une échelle réduite dans la zone d'étude. Pour orienter les calculs empiriques du ruissellement, les mesures effectuées sur l'oued Boussieba à la station d'El Milia (superficie du bassin de l'ordre de 465 km² peuvent être extrapolées à la zone d'étude suites aux similarités morphométriques et hydroclimatologiques. Empiriquement, le ruissellement annuel peut être approximé par les relations de Tixeront-Berkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3} \text{ si } P > 600 \text{ mm} \quad [2]$$

$$R = \frac{P^3}{3 \times ETP^2} \text{ si } P < 600 \text{ mm} \quad [3]$$

où R, P et ETP sont, respectivement, le ruissellement, la pluie et l'évapotranspiration potentielle exprimés en mètres. La région de Oued Zhor, étant caractérisée par des pluies variables entre 766 et 906 mm, les résultats obtenus sont reportés au tableau ci-dessous.

Tableau 14. Résultats du calcul du ruissellement dans la région de Oued Zhor.

Station	Paramètre			
	P (m/an)	R(mm)	R (%)	R moyen (%)
Afflassane	0.7660	149.8	19.56	24.18
El Milia	0.8775	225.2	25.66	
Settara	0.9058	247.7	27.34	

D'après les résultats consignés au tableau ci-dessus, on remarque que le ruissellement dans la région étudiée représente en moyenne 24 % de la pluie tombée sur le bassin. L'étude des écoulements de l'oued Boussieba à El Milia (superficie du bassin : 465 km²) a montré que le coefficient du ruissellement est de l'ordre de 29 %. Ceci dit, il est acceptable de prendre comme coefficient de ruissellement la valeur de 24 % pour le bassin de l'oued Zhor au site du barrage projeté.

c. Infiltration et stockage dans les dépressions

Pour déterminer l'infiltration I (mm), on utilise l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit ; les autres éléments étant connus:

$$P = ETR + (I + S) + R \quad [4]$$

où S représente le stockage et les pertes dans les dépressions en (mm).

Si on considère que l'évapotranspiration réelle moyenne représente 51 % et que le ruissellement compte pour 24 % des pluies tombées sur le bassin, alors la lame retenue dans le bassin représente, par simple différence, 25 % des pluies. En définitif, les résultats retenus, mais qui restent quelque peu conservatifs, sont récapitulés au tableau 15 et la figure 11.

**Tableau 15. Calcul de l'infiltration et les pertes dans les dépressions
Région de Oued Zhor (Année moyenne).**

Station	Paramètre						
	P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)	R (mm)	R (%)	I+S (mm)	I+S (%)
Afflassane	766.0	461.8	60	149.8	19.56	154.4	20.15
ELMilia	877.5	454.5	52	225.2	25.66	197.8	22.5
Settara	905.8	363.1	40	247.7	27.34	295.0	32.56
Moyenne	849.8	426.47	50.67	207.57	24.19	215.73	25.07

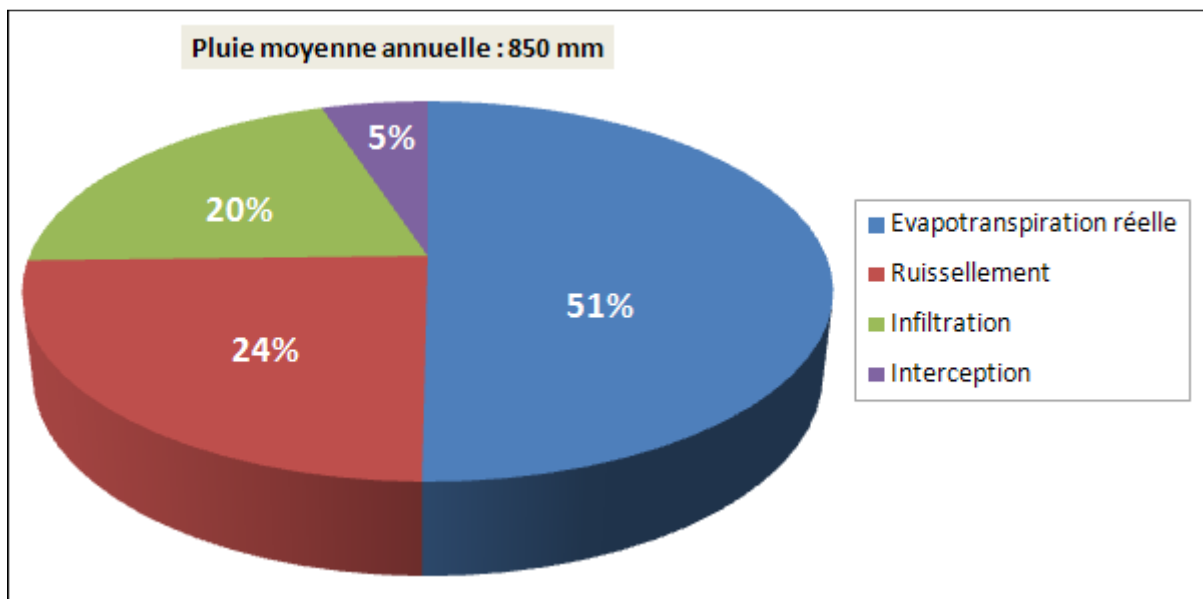


Fig. 11. Bilan hydrologique dans le bassin de l'oued Zhor.

Enfin, si on admet que les stockages dans les dépressions représentent 20 % des quantités d'eau retenues dans le bassin (McCUEN, 1982), le taux d'infiltration moyen s'élève à 20 %.

2.2.4. Autre facteurs hydroclimatologiques

La région de Oued Zhor est une région à la fois humide et ensoleillée. Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement varie de 5 h/j en Décembre à 11.3 h/j au mois de Juillet (Tableau 16). Pendant la période estivale (Juin - Août), la région de Skikda reçoit plus de 10 heures de soleil par jour (Tableau ci dessous). Au cours de cette période de l'année, l'action de l'ensoleillement et de l'humidité relative de l'air (proche de 70 %) entraîne un taux

d'évaporation relativement élevé (630 mm au barrage de Bni Zid), soit près de 47 de la quantité d'eau évaporée annuellement au dit barrage (1342 mm).

Tableau 16. Quelques facteurs climatiques dans la région de Collo (valeurs moyennes)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Barrage de Bni Zid													
Vit. du vent (m/s)	3.3	3.14	3.63	3.98	3.65	3.63	3.68	3.16	2.81	3.15	3.1	3.01	3.35
Humidité (%)	72,2	73,0	73,1	74,6	77,1	72,9	74,9	72,6	73,8	72,4	70,7	70,2	73,1
Evaporation (mm)	142.0	93.2	48.1	29.9	63.5	47.6	97.2	105.5	149.5	204.0	204.0	222.9	1342 .15
Station de Skikda (1976-2004)													
Durée d'ensoleillement (heures/j)	8.6	7.2	5.7	4.9	5.4	6.4	7.4	8.1	9.1	10.5	11.3	10.3	8,9

Selon les données anémométriques du barrage de Bni Zid, le vent moyen souffle avec une vitesse de 3 à 4 m/s. Au niveau de la station de Zitouna, les vents les plus fréquents sont de directions Ouest et Sud-Ouest (en hiver) et Est (en été). Ces vents représentent près de 27.5 %. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au cours des mois de Janvier, Février, Juillet et Août (tableau 17).

Tableau 17. Repartition des vents dominants (%) à la station de Zitouna (Hazaz, 2001)

Mois	Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
Janvier	3.3	1.0	10.7	4.3	3.7	22.7	50.3	6.0
Février	2.00	1.7	13.7	3.7	2.3	27.0	42.3	7.3
Juillet	1.0	4.3	44.7	6.7	1.7	11.3	25.0	2.0
Août	1.7	3.3	46.7	5.7	2.3	11.6	25.0	2.0

2.3. Géologique du bassin versant

La zone d'étude fait partie de la petite Kabylie, entité géographique des chaînes côtières de l'Est algérien. Ces chaînes appartiennent à la chaîne alpine d'Algérie orientale qui représente le segment oriental de la chaîne des Maghrébides (Durand Delgua, 1980).

Les travaux de Vila (1980) sur la chaîne alpine d'Algérie orientale et la synthèse de Wildi (1983) sur la chaîne tello-rifaine de l'Afrique du Nord permettent de distinguer du Nord au Sud de nombreuses unités empilées au cours de phases tectoniques successives. Elles sont caractérisées par la complexité et la diversité des styles mais aussi par la nature différenciée des matériaux qui les composent. On note, en particulier, l'axe orographique NS de la Kabylie de Collo et d'El Milia.

La région de l'Oued Zhor est formée par le socle kabyle, l'Oligocène-Miocène kabyle et les formations post-nappes. Ces unités structurales majeures sont brièvement décrites ci-dessous (Fig. 12).

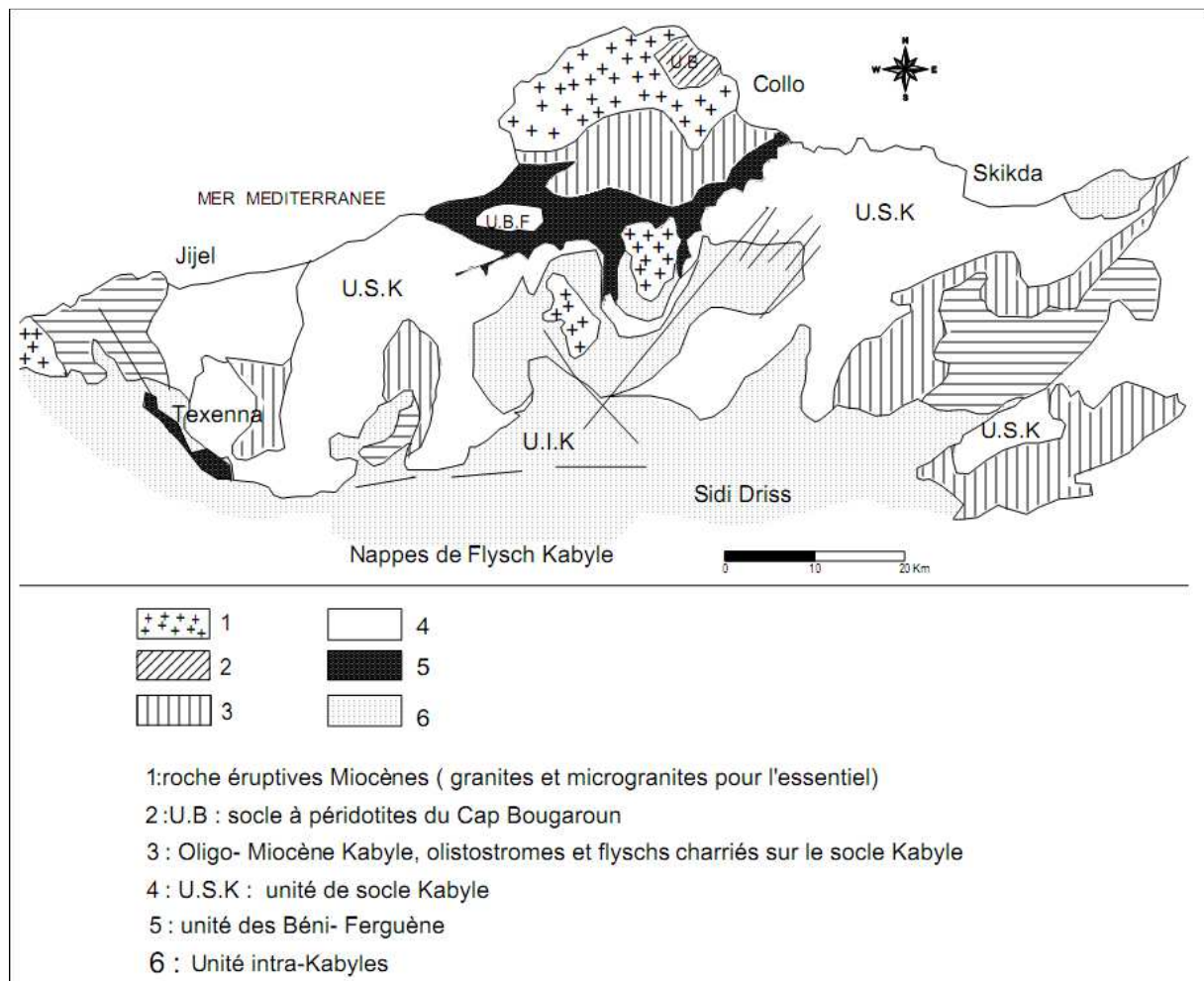


Fig. 12. Cadre structurale du massif de Collo.

a. Le Socle Kabyle

Largement représenté dans la région de Collo, le Socle Kabyle fait partie de l'ensemble kabyle ou domaine interne. Ce sont des formations paléozoïques qui servent de substratum à la chaîne calcaire. Selon les travaux de Mahdjoub (1991), les formations du Socle Kabyle peuvent être subdivisées en trois unités structurales : deux ensembles de roches métamorphiques et un ensemble principalement sédimentaire. On distingue, de bas en haut, l'édifice inférieur ou unité du cap Bougaroun, l'unité de Béni Ferguene et l'unité supérieure ou unité de socle S.S.

► Unité de Bougaroun

L'unité de Cap Bougaroun occupe la partie Nord de la Kabylie de Collo. Elle est formée par une masse granitique, allongée sensiblement NE-SW, qui affleure sur environ 200 Km². Cette masse traverse, d'une part, le Socle Kabyle dans la partie orientale et les formations sédimentaires de l'Oligo-Miocène-Kabyle, les olistostromes et le flysch numidien, d'autre part.

Cette unité est constituée de Gneiss à biotite et muscovite avec des intercalations de marbre et d'amphibolites ainsi que de leptinites à grenat et disthène, des pyroxénites à grenat; traduisant un métamorphisme complexe et de toute évidence polyphasé.

► Unité de Béni Ferguene

Cet édifice forme la bande de terrains située entre la région de Kerkra à l'Est et la région de Sidi Abd Alaziz à l'Ouest. Cette unité repose au-dessus du premier ensemble métamorphique. Elle comporte de bas en haut les formations des gneiss recoupées par des sills d'amphibolite, des metapelites dans lesquelles s'intercalent des lames d'orthogneiss et de granites à Sillimanite et enfin une alternance de metapelites claires et sombres et des lentilles de pyroxénites de granites orthogneissifiés.

Cette unité, chevauchée au Sud par l'unité supérieure, est recouverte au Nord par des formations du Numidien, de l'Oligo Miocène kabyle et les olistostromes. L'ensemble de cette unité est recoupé par des granites du Miocène de Béni-Touffout.

► L'unité supérieure

Cette unité constitue la partie supérieure du Socle Kabyle. Elle est formée de bas en haut par une série para-gneissique intriquée par des granites surmontés par des marbres et des micaschistes à biotite, une alternance de grés, de métapélites et des lentilles de marbre et, enfin, une série de schistes noirs qui affleurent dans le bassin de l'oued Zhor.

Ces terrains cristallophylliens ainsi que leur couverture sédimentaire sont charriés sur une trentaine de kilomètres sur les terrains Mésozoïques et Paléogènes.

b. L'Oligo-Miocène Kabyle (OMK) et les Olistostromes

L'OMK est une série localement puissante composée de grés micacés avec des intercalations conglomératiques fréquentes à sa partie inférieure. Au sommet, cette série perd son caractère détritique et correspond à des sédiments pelitiques ou siliceux à radiolaires et diatomées : ce sont des silexites blanches (Bouillin, 1977; Raoult, 1974; Vila, 1980).

Cette série constitue la couverture stratigraphique discordante du Socle Kabyle. Selon Bouillin (1977), la base est datée de l'Oligocène supérieur et le sommet (silexites) semble atteindre l'Aquitaniens (Miocène inférieur).

c. Les formations post-nappes

Selon Bouillin (1977), les formations post-nappes, développées sur tout le domaine du socle kabyle, comportent deux cycles. Un cycle marneux (à la base) affleure dans le bassin versant de l'oued Zhor. L'autre gréseux affleure au sommet. L'âge de ces formations va du Burdigalien moyen-supérieur au Langhien.

La Kabylie de Collo se singularise par un magmatisme important, d'âge Langhien (granites des Beni Touffout et du cap Bougaroun, microgranites et rhyolites des environs de Collo et d'El Milia).

d. Géologie du site du barrage (BG, 2008)

La géologie de la région du barrage de Zhor et de son bassin versant a été cartographiée dans les années 70 par Bouillin à l'échelle 1:50 000. Le site du barrage est constitué par des gneiss

oeillés du Socle Kabyle (Précambrien). Ces roches cristallines sont recouvertes à partir d'un kilomètre à l'amont du site (au niveau du col) par des sédiments, en occurrence des grès micacés, conglomérats et marnes (Oligocène). Il s'agit d'un contact anormal des sédiments oligocènes sur le socle. Les sédiments de l'Oligocène sont eux-mêmes recouverts avec un contact sédimentaire par les argiles grises du col, un gisement peu étendu de Miocène post-nappes (Burdigalien Langhien). Dans les grès de l'Oligocène du col, quelques blocs de gneiss peuvent être observés (olistostromes).

2.4. Couverture végétale et occupation du sol

En plus de la nature géologique et topographique du bassin versant, la couverture végétale conditionne le ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin.

La région d'Oued Zhor se démarque par des conditions climatiques (pluviométrie abondante) favorables au développement d'un couvert végétal (forêts) dense et diversifiés.

La couverture végétale de la région occupe presque la totalité du bassin versant (92%) et est constituée de :

- **zones boisées** formées par les forêts et les maquis. La **forêt naturelle** est composée des associations de Chêne liège et Pin maritime, de Chêne liège et Chêne zen et de maquis denses et arborés: chêne liège et pin maritime (photos 1 à 3).



Photo 1- Forêt de Chêne liège et chêne zen (Source : EnviConsult, 2013)



Photo 2- Forêt de pin maritime (Source : EnviConsult, 2013)



Photo 3- Maquis de Pin maritime (Source : EnviConsult, 2013)

- **zone humide (vallée et embouchure de oued Zhor):** Elle s'étend jusqu'à la commune d'El Milia (wilaya de Jijel). Sur les rives de l'oued, à écoulement permanent, on rencontre des terres agricoles et des terrains de parcours : pâturages de bovins (photos 4 et 5). On note l'existence de quelques groupements d'animaux tels que les grenouilles, les crapauds.



Photo 4- Plaine de l'oued Zhor et arrière pays (Source : Auteur, 2014).



Phot 5- Plaine de l'oued Zhor et exutoire (Source : Auteur, 2014).

Selon le BNEDER *in* Enviconsult (2013), les principaux types de formations végétales observés dans la presque île de Collo peuvent être subdivisés en :

- *futaies feuillues*: il s'agit essentiellement de subéraies qui dominent largement les paysages de la zone d'étude. D'autres essences feuillues, présentes en plus faible proportion, peuvent former des futaies: le chêne zen, le chêne afares et l'aulne.

- *futaies résineuses*: ce sont des peuplements composés exclusivement de pin maritime.

- *futaies mélangées*: il s'agit de peuplements dans lesquels le chêne liège se rencontre en mélange avec le chêne zen ou le pin maritime.

- *autres peuplements*: il s'agit essentiellement de maquis, représentant un faciès de dégradation des subéraies.

Ces forêts constituent la première source de matière pour l'industrie du liège.

Le domaine agricole comporte tous les terrains à vocation agricole cultivés ou laissés en jachère. Représenté essentiellement par la vallée de l'oued Zhor, il occupe 4.3 % de la superficie du bassin de l'oued suite à une topographie accidentée et des fortes pentes sur les versants, facteurs défavorables à l'agriculture. Principale ressource économiques, les activités agricoles sont concentrées le long de l'axe El Malab-El Khemis-El Outa-El Merdj).

3. Ressources en eau-Oued Zhor

3.1. Ressources souterraines

L'oued Zhor prend naissance à la confluence des oueds Kébir et Boukandoul à 12 km de la cote (exutoire naturel). A l'aval de la retenue proposée, il draine une vallée d'environ 10 km² abritant 3 principales agglomérations : El Malab et El Khemis en rive droite et Douar El Djizaiya en rive gauche. La vallée de l'oued Zhor est le siège d'une nappe alluviale d'extension plus ou moins restreinte (Photo 6).



Photo 6. Plaine alluviale de l'oued Zhor entre le site de barrage proposé et l'exutoire naturel (Source : Auteur, 2014).

Cette nappe, constituée par des alluvions à dominance sableuse de 30 à 35 m d'épaisseur, est libre vers le Nord (forage OZ 1) et semi captive au Sud (OZ 2) avec un toit semi perméable de 2 à 5 m (Fig. 13). L'ensemble de l'aquifère (sables et graviers) repose sur un substratum marneux d'épaisseur variable.

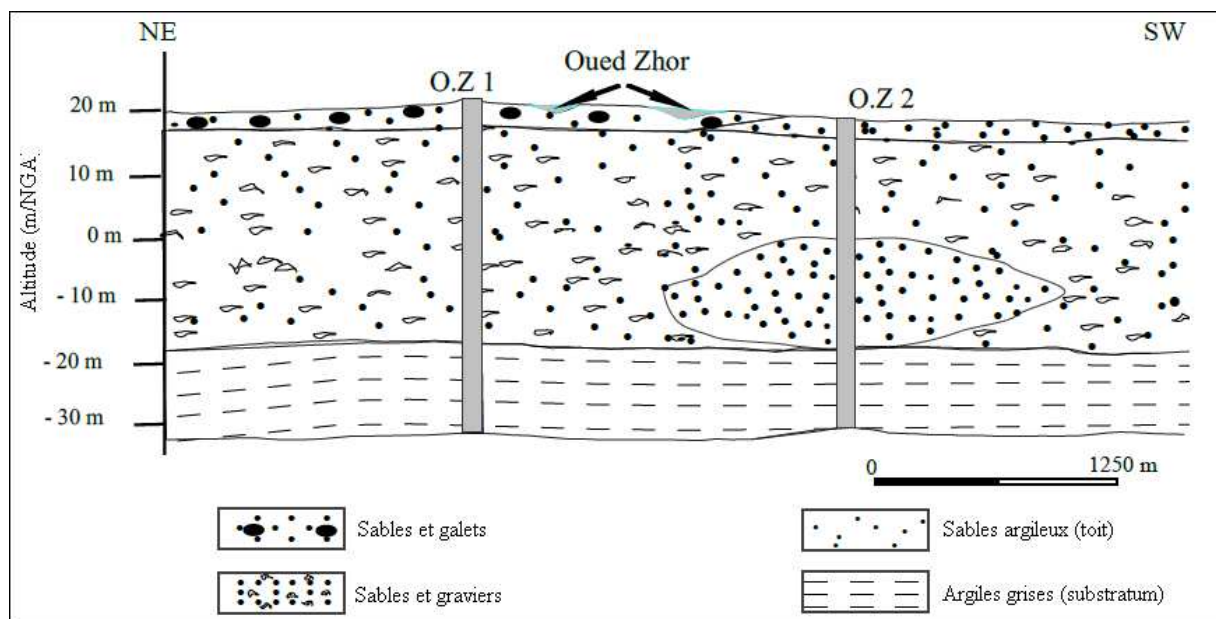


Fig. 13. Coupe hydrogéologique schématique dans l'aquifère de Oued Zhour (Benrabah, 2006)

Cette nappe, dont la réserve totale est estimée à 10 Hm³ par des études géophysiques réalisées en 1983 par la société STROJEXPORT (Benrabah, 2006), est exploitée par deux forages : Oued Zhor 1 (El Khemis-El Malab) sur la rive droite et Oued Zhor 2 (Rekouba, Douar El Djizaiya) sur la rive gauche (Photo 7).



Photo 7. Forage Oued Zhor 2 (Rekouba).

Les analyses physicochimiques de l'eau effectuées en 2005 par le bureau d'étude Bonard et Gardel au niveau de deux sondages (SPG 02 et SPD 03) montrent que les eaux souterraines sont de bonne qualité du point de vue minéralisation (tableau 18).

Néanmoins, ces eaux, peu claires, présentent des teneurs relativement élevées des composés azotés (ammonium et nitrites) comparées aux normes de potabilité établies pour l'Algérie. Selon BG (2008), les fortes valeurs de turbidité dans les eaux souterraines peuvent être expliquées par la présence d'oxyde de fer dans les fissures ; ce phénomène étant souvent expérimenté dans les cuirasses d'altération des roches du socle cristallin.

Suite aux teneurs en fer très élevées, le forage d'EL Melab-El khemis (OZ 1) a été désaffecté; celui de Rekouba (OZ 2) est toujours fonctionnel mais ne sert qu'au lavage. L'alimentation en eau potable est actuellement assurée à partir des eaux de quatre sources totalisant un débit de 25.5 l/s (Photo 8).

Tableau 18. Oued Zhor-Caractéristiques physicochimiques des eaux.

Paramètre	Unité	Oued Zhor		SPG 02	SPD 03	Norme
Localisation		Au site du barrage proposé		(Rive droite)	(Rive gauche)	
Date de prélèvement		19.04.2005	25.07.2005	14.08.2005	14.08.2005	
pH	-	6.52	8.83	9.18	7.90	
Conductivité	µS/cm	200	280	400	600	
Turbidité eau brute	NTU	2.35	1.2	75.20	55.9	<i>I - 5</i>
Turbidité eau décantée		1.13	0.72	5.10	16.5	
Résidu sec a 110°C	mg/l	121	163	255	412	
Calcium Ca ²⁺		18.00	26.00	40.00	57.00	
Magnésium Mg ²⁺		5.00	7.00	4.00	17.00	
Sodium Na ²⁺		18.00	20.00	18.00	41.00	
Potassium K ⁺		2	0	10	4	
Chlorure Cl ⁻		35	56	42	75	
Sulfates SO ₄ ²⁻		20	15	82	25	
Bicarbonates HCO ₃ ⁻		31	34	12	189	
Carbonates CO ₃		0	6	6	0	
Silice SiO ₂		11.07	16.8	35.83	37.54	
Ammonium NH ₄		0	0.02	0.08	2.21	<i>0,5</i>
Nitrite NO ₂		0	0.01	0.38	0.02	<i>0.1</i>
Nitrate NO ₃		1.85	0	2.24	1.42	<i>50</i>
Phosphates PO ₄		0	0	0.03	0.29	<i>5</i>
Fluor		-	0.26	0.35	0.28	
Mat. Org. (Mil.AC.)		mg/l O ₂	1.3	2.8	4.9	5.3
TH	°F	6	9	12	21	
TAC		3	3	1	16	
TA		0	1	1	0	
Minéralisation globale	mg/l	129.0	164.0	217.0	409.0	



Photo 8. Sources de Oued Zhor

3.2. Ressources superficielles

En matière de ressources superficielles, la zone d'étude est drainée par de nombreux oueds et chaabets repartis sur toute sa surface (réseau assez dense et hiérarchisé aux affluents courts et nombreux) alimentés essentiellement par les eaux de pluies très abondantes (Plus de 850 mm/an). L'oued Zhor, à écoulement permanent, est le principal cours d'eau. Au site du barrage, il draine un bassin versant de 96 km².

Les apports en eau annuels de l'oued Zhor au droit du site de la retenue sont estimés à partir des pluies annuelles moyennes de la région par des formules empiriques établies pour l'Algérie (Tableau 19).

Les apports en eau annuels de l'oued Boussieba sont estimés par les équations 5 à 12. Ainsi, pour chaque équation, une série synthétique de débit annuel est générée. Pour chaque année, le débit moyen obtenu par les 8 équations est retenu. La fiabilité des résultats a été testée sur les données des écoulements mesurés de l'oued Boussieba à la station d'El Milia (série : 1972 – 1990), cours d'eau le plus proche de la zone d'étude (Tableau 20). La série synthétique se corrèle linéairement de façon acceptable avec les données observées; coefficient de corrélation de l'ordre de 0.63. Ce tableau montre que le rapport moyen entre les apports en eau observés et calculés est de l'ordre de 1.3 Ce qui implique une majoration des données calculées par le terme de correcteur de 1.3. Les équations retenues pour le calcul des apports en eau annuels de l'oued Zhor au site du barrage sont consignés au tableau 21.

**Tableau 19. Formules empiriques pour estimer l'apport en eau des cours d'eau non jaugés en Algérie
(Sources variées)⁷**

Auteur	Expression (Q en Hm ³ /an)	Paramètre	Equation
Samie I	$Q = 0.152 \times (P - 200)$	P: pluie moyenne annuelle (mm)	[5]
Samie II	$Q = 289 \times (P - 0.072)^2$	P: pluie moyenne annuelle (m)	[6]
Samie III	$Q = 10^{-3} \times Le \times A$ $Le = P^2 \times (293 - 2.2 \times A^{1/2})$	Le : lame d'eau écoulée (mm/an), A : surface du bassin (Km ²) et P : pluie moyenne annuelle (m)	[7]
Samie IV	$Q = 10^{-3} \times Le \times A$ $Le = 0.784 \times (P - 0.232)^2$	Le : lame d'eau écoulée (mm/an), A : surface du bassin (Km ²) et P: pluie moyenne annuelle (m)	[8]
DeryI	$Q = Le \times A$ $Le = (0.31 \times P^{3.032} \times A^{1.016})/A$	Le : lame d'eau écoulée (m), A : surface du bassin (Km ²) et P: pluie moyenne annuelle (m)	[9]
DeryIII	$Q = 10^{-3} \times Le \times A$ $Le = (0.915 \times P^{2.684} \times A^{0.842})/A$	Le : lame d'eau écoulée (mm/an), A : surface du bassin (Km ²) et P: pluie moyenne annuelle (m)	[10]
Medinger	$Le = 1.024 \times (P - 0.26)^2$	Le : lame d'eau écoulée (m), A : surface du bassin (Km ²) et P: pluie moyenne annuelle (m)	[11]
Sogreah	$Q = 10^{-3} \times Le \times A$ $Le = 720[(P - P_0)/1000]^{1.85}$ Avec $P_0 = 250mm$ et $318 < P < 1600mm/an$	Le : lame d'eau ruisselée (mm), A : surface du bassin (Km ²) et P: pluie moyenne annuelle (mm)	[12]
DeryII	$Q = 0.031536 \times q \times A$ $q = 11.8 \times P^{2.82}$	P: pluie moyenne annuelle (m), A : surface du bassin (Km ²) et q : débit spécifique (l/s/Km ²)	[13]
Padoun	$Q = 0.031536 \times q \times A$ $q = 11.8 \times P^{2.82}$ Si: $380 < P < 1400mm/an$ et $102 < A < 4000Km^2$	P: pluie moyenne annuelle (m), A : surface du bassin (Km ²) et q : débit spécifique (l/s/Km ²)	[14]
Algérienne	$Q = 10^{-3} \times Le \times A$ $Le = P \times (1 - 10^{-(KP)^2})$ $K = 0.18 - (0.01 \times LogA)$	Le : lame d'eau écoulée (mm/an), A : surface du bassin (Km ²) et P: pluie moyenne annuelle (m)	[15]

⁷ Le calage des formules sur des données observées est requis avant tout usage.

Tableau 20. Oued Boussieba à El Milia - Apports en eau annuel observés et simulés (Hm³/an)

Année	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Q observé	261.77	82.5	62.49	128.34	103.12	69.14	147.21	76.4	154.96	131.4
Q calculé	152.61	72.25	59.13	92.8	102.39	58.76	188.52	100.97	223.37	105.86
Q _{obs} /Q _{calc}	1.7	1.1	1.1	1.4	1.0	1.2	0.8	0.8	0.7	1.2
Année	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Moyenne
Q observé	98.42	154.37	540.24	169.6	50.24	85.53	31.24	66.24	294.16	142.49
Q calculé	64.62	105.18	201.82	72.44	139.15	34.92	87.48	46.12	176.11	109.71
Q _{obs} /Q _{calc}	1.5	1.5	2.7	2.3	0.4	2.4	0.4	1.4	1.7	1.3

Tableau 21. Estimation de la lame d'eau écoulee de l'oued Zhor au site de la retenue

Année	Pluie (mm)	Apport calculé (Hm ³ /an)						Q _{calc} moyen	Q ajusté
		Samie III	Samie IV	Dery I	Dery III	Medinger	Sogreah		
1967	936.0	22.8	37.3	26.2	35.8	44.9	34.4	33.6	43.64
1968	812.5	17.2	25.4	17.1	24.5	30.0	23.8	23.0	29.89
1969	1136.9	33.7	61.6	47.2	60.3	75.6	55.4	55.6	72.31
1970	1008.7	26.5	45.4	32.9	43.7	55.1	41.5	40.8	53.10
1971	1169.6	35.6	66.2	51.5	65.0	81.3	59.2	59.8	77.75
1972	924.7	22.3	36.1	25.2	34.6	43.4	33.4	32.5	42.26
1973	685.3	12.2	15.5	10.2	15.5	17.8	14.8	14.3	18.63
1974	634.0	10.5	12.2	8.0	12.6	13.8	11.8	11.5	14.90
1975	756.4	14.9	20.7	13.7	20.2	24.2	19.6	18.9	24.57
1976	786.7	16.1	23.2	15.5	22.4	27.3	21.9	21.1	27.37
1977	632.5	10.4	12.1	8.0	12.5	13.6	11.7	11.4	14.79
1978	1008.6	26.5	45.4	32.9	43.7	55.1	41.5	40.8	53.08
1979	782.3	15.9	22.8	15.2	22.1	26.8	21.5	20.7	26.95
1980	1082.0	30.5	54.4	40.7	52.8	66.4	49.2	49.0	63.68
1981	797.3	16.6	24.0	16.1	23.2	28.4	22.7	21.8	28.38
1982	656.1	11.2	13.5	8.9	13.8	15.4	13.1	12.7	16.45
1983	795.2	16.5	23.9	16.0	23.1	28.2	22.5	21.7	28.19
1984	1037.4	28.0	48.8	35.8	47.1	59.4	44.4	43.9	57.12
1985	686.0	12.3	15.5	10.2	15.5	17.8	14.9	14.4	18.69
1986	890.5	20.7	32.6	22.5	31.3	39.1	30.3	29.4	38.24
1987	519.9	7.0	6.2	4.4	7.4	6.6	6.1	6.3	8.20
1988	738.9	14.2	19.3	12.8	19.0	22.5	18.4	17.7	23.02

Tableau 21.(Suite)

Année	Pluie (mm)	Apport calculé (Hm ³ /an)						Q _{calc} moyen	Q ajusté
		Samie III	Samie IV	Dery I	Dery III	Medinger	Sogreah		
1989	576.7	8.7	8.9	6.0	9.7	9.9	8.7	8.7	11.26
1990	980.6	25.1	42.2	30.2	40.5	51.1	38.7	37.9	49.33
1991	660.0	11.4	13.8	9.1	14.0	15.7	13.3	12.9	16.74
1992	702.7	12.9	16.7	11.0	16.6	19.3	16.0	15.4	20.00
1993	706.0	13.0	16.9	11.1	16.8	19.6	16.2	15.6	20.26
1994	872.4	19.8	30.9	21.2	29.6	36.9	28.8	27.9	36.21
1995	799.8	16.7	24.3	16.3	23.5	28.6	22.9	22.0	28.63
1996	570.7	8.5	8.6	5.8	9.5	9.5	8.4	8.4	10.91
1997	973.0	24.7	41.3	29.5	39.7	50.0	37.9	37.2	48.33
1998	883.7	20.3	32.0	22.0	30.6	38.2	29.7	28.8	37.47
1999	715.2	13.3	17.6	11.6	17.4	20.4	16.8	16.2	21.02
2000	776.0	15.7	22.3	14.8	21.6	26.2	21.1	20.3	26.36
2001	545.2	7.7	7.4	5.1	8.4	8.0	7.2	7.3	9.50
2002	1343.4	47.0	93.0	78.4	94.3	115.4	81.5	84.9	110.41
2003	961.1	24.1	40.0	28.4	38.4	48.3	36.8	36.0	46.80
2004	1300.3	44.1	85.9	71.0	86.4	106.4	75.7	78.2	101.71
2005	784.0	16.0	22.9	15.3	22.2	27.0	21.7	20.9	27.11
2006	868.3	19.6	30.5	20.9	29.2	36.4	28.4	27.5	35.75
2007	789.3	16.2	23.4	15.6	22.6	27.5	22.1	21.2	27.61
2008	988.4	25.5	43.1	30.9	41.4	52.2	39.4	38.7	50.36
2009	1102.7	31.7	57.1	43.1	55.5	69.8	51.5	51.4	66.87
2010	1000.6	26.1	44.5	32.1	42.8	53.9	40.7	40.0	51.99
2011	1029.8	27.6	47.9	35.0	46.2	58.2	43.6	43.1	56.03
2012	976.3	24.8	41.7	29.8	40.0	50.4	38.2	37.5	48.75

L'analyse statistique descriptive montre que cet oued qui déverse près de 38 Hm³/an se démarque par une importante variabilité interannuelle de l'écoulement (Cv =61 %). Les valeurs caractéristiques sont données au tableau ci-dessous.

Tableau 22. Apport annuel de l'oued Zhor au site du barrage proposé - Caractéristiques numériques de la distribution des fréquences (quantiles en Hm³/an)

Paramètre	N	min	D ₁	Q ₁	m	Q ₃	D ₉	max	s	C _v	G ₁
Grandeur	46	8,2	13.73	20.2	37.84	50.8	68.5	110.4	22.94	60.6	1.24

Les intervalles inter-déciles (D_9-D_1) et inter-quartiles ($Q_3 - Q_1$) renfermant 80 et 50 % de l'information débimétrique sont de l'ordre de 55 et 31 Hm^3/an , respectivement.

De plus, l'ajustement des apports annuels par la loi de probabilité log-normale à 3 paramètres; loi étayée par les tests statistiques (tableau 23); a permis d'estimer les débits fréquents de l'oued Zhor.

Tableau 23. Oued Zhor : Résultats des tests d'adéquation de l'ajustement des apports en eau par une loi log-normale à 3 paramètres

Statistique log-vraisemblance	Test <i>D</i> de Kolmogorov-Smirnov		
	D_{max}	p-value	Valeur critique : $D_{46}; 5\%$
-201.371	0.08565	0.88847	0.19625

Les résultats du tableau 24 et la figure 14 indiquent, à titre d'exemple, que le débit garanti une année sur 5 est de l'ordre de 53 Hm^3/an en année humide; il serait de l'ordre de 19 Hm^3/an en année sèche.

Tableau 24. Fréquence des apports annuels de l'oued Zhor au site du barrage proposé.

T (années)	2	5	10	20	25	50	100
<i>Année humide</i>	32.0	53.0	69.0	85.0	91.0	108.0	127.0
<i>Année sèche</i>	32.0	19.0	15.0	12.0	11.0	9.0	7.0

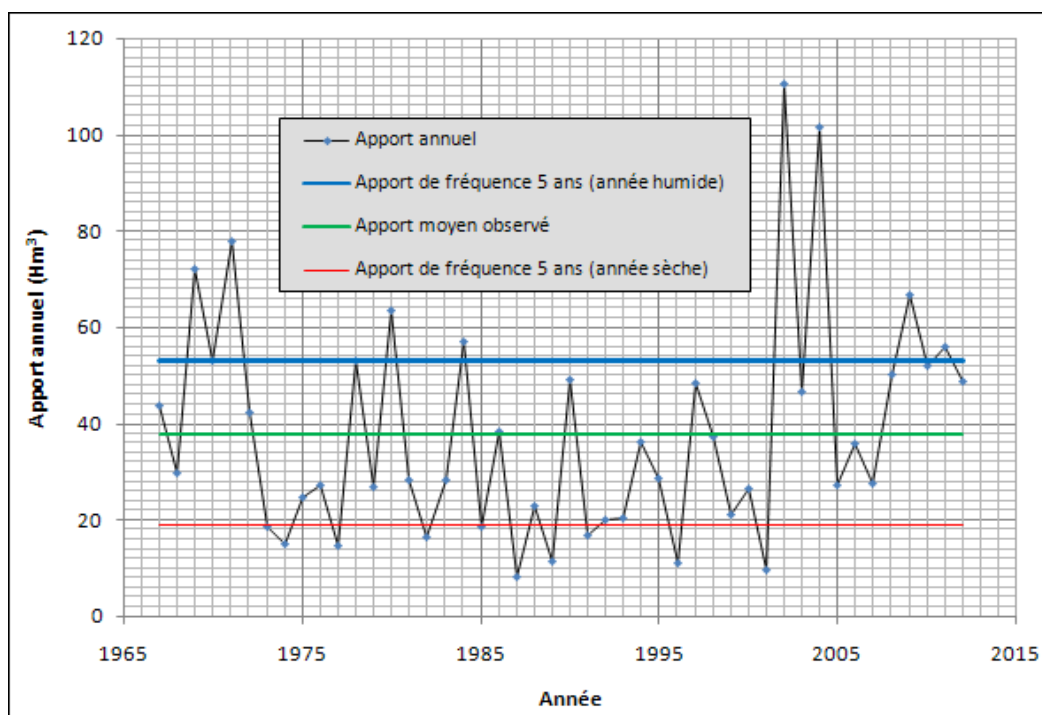


Fig. 14. Variabilité des apports en eau de l'oued Zhor au site du barrage

L'analyse bactériologique des eaux de l'oued Zhor au site du barrage (Tableau 25), réalisées le 09 Octobre 2012 au laboratoire d'hygiène de la wilaya de Constantine (D.S.P.S), fait apparaître l'existence des germes pathogènes qui confèrent à l'eau une qualité bactériologiquement mauvaise et qui ne répond pas aux normes de potabilité.

Tableau 25. Résultats des analyses bactériologiques des eaux de l'oued Zhor au site du barrage proposé (NEE-SPA, 2012)

Analyses Effectuées	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3
Coliforme Fécaux thermo tolérant / 100 ml	13	05	13
Coliforme Totaux / 100ml	1100	1100	1100
Streptocoques/100ml	1100	1100	1100
Clostridium S/Rà46°C/ml	00	00	00
Salmonelles	absence	absence	Absence
Germes aérobies à 37°C col/ml	3.10 ⁶	2.10 ⁶	2.10 ⁶

Ceci dit, il faut prévoir une station de traitement si les eaux seraient affectées à la consommation humaine.

4. Conclusion

Bien que la région de Collo, notamment les Dairates de Zitouna et de Ouled Attia, considérée comme l'une des zones les plus arrosées du pays, l'analyse du milieu fait ressortir un déficit des ressources hydriques mobilisées. Ce déficit en eau potable est ressenti dans la majorité des communes. Ces dernières sont alimentées par le captage des sources, les forages et les puits. Les petites agglomérations et hameaux des zones rurales et de montagne sont alimentés par les camions citernes.

Compte tenu de l'accroissement démographique (62170 habitants en 2040) et des activités agricoles de plus en plus mécanisées, les besoins en eau futurs sont estimés à 26 Hm³/an par le bureau d'étude Bonard et Gardel (2008). Pour répondre à ces besoins (20 Hm³/an pour l'AEP et 6 Hm³/an pour l'irrigation), la régularisation des eaux de surface s'impose. L'étude de faisabilité d'un barrage sur l'oued Zhor fait l'objet du chapitre suivant.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE FAISABILITÉ D'UN BARRAGE SUR L'OUED ZHOR

Le but des réservoirs d'accumulation est de redistribuer les apports des cours d'eau pour atteindre dans les meilleures conditions certains objectifs économiques ou sociaux. Le problème global de la conception d'un réservoir est donc du domaine de l'aménagement des ressources en eau et sa solution relève des techniques et des méthodes de l'analyse des systèmes. De telles analyses doivent prendre en compte les conséquences de l'aménagement sur le régime des eaux, sur l'économie, sur les aspects sociaux et sur l'environnement.

Dans le cas d'un réservoir à buts multiples, la répartition type de la réserve comporte une tranche pour l'atténuation des crues, une tranche pour la consommation, une tranche pour la production d'énergie électrique, une tranche en prévision de la sédimentation et un culot (tranche inactive). Un réservoir à but unique peut être considéré comme un cas particulier d'un réservoir à buts multiples. Bien que quelquefois elles soient physiquement inséparables, il est d'usage de faire la distinction entre les différentes tranches de réserve. Dans chacun des cas, la détermination de la réserve nécessaire fait appel à des données hydrologiques quelque peu différentes. Il y a deux approches fondamentales pour la mise au point des données hydrologiques nécessaires à ce genre d'étude. On peut soit les tirer d'observations réelles, soit les faire fabriquer par un modèle mathématique conçu pour simuler les apports au réservoir. Le mode d'approche choisi dépend en général de la disponibilité des données sur l'écoulement des cours d'eau.

Du point de vue hydrologique, les étapes à suivre pour l'étude de faisabilité sont exposées dans ce qui suit.

1. Localisation et accès au site

La région d'Oued Zhor est située au Nord Est de l'Algérie à environ 50 km à l'Est de la ville de Jijel et 50 km à l'Ouest de la ville de Skikda. Administrativement, le site appartient à la wilaya de Skikda et plus précisément à la commune d'Oued Zhor. Le barrage est projeté pour régulariser l'écoulement de l'oued du même nom.

Le barrage sur l'oued Zhor est situé entre les deux collines Taouret Temmoun (200 m) et Tezza (203 m). Le site est repéré sur le terrain par les coordonnées UTM 32 suivantes (Fig.2):

$$X = 261\ 555\ \text{m}, Y = 4087\ 675\ \text{m et } Z = 22\ \text{m/NGA.}$$

Sur la feuille au 1/25000 de Collo (N° 5-6), les coordonnées Lambert sont :

$$X = 822.935 \text{ Km et } Y = 406.766 \text{ Km.}$$

Le site du barrage est accessible du côté Est par le chemin de wilaya (CW 132) reliant Collo à Oued Zhor. A l'amont du pont, une piste mène droit au site (Photo 9).



Photo 9. Site du barrage projeté sur l'oued Zhor.

L'accès peut se faire également par l'Ouest en empruntant la route El Milia-Oued Zhor en passant par le col du Melaab (740 m). Il faut ajouter qu'au sein de la cuvette d'accumulation, aucune activité humaine importante n'existe.

2. Topographie du site- Caractéristiques physiques de la retenue d'eau

Le site du barrage a fait l'objet d'un levé topographique au 1/500 par le bureau d'étude Tassili Engineering. Il se situe en sortie de méandre sur l'oued Zhor. L'axe du barrage a une orientation Nord-Sud. Selon BG (2008), les flancs des rives présentent des pentes relativement raides ($\sim 30^\circ$ en rive droite et $\sim 27^\circ$ en rive gauche) Au site du barrage, l'oued présente une pente de 0.4% environ.

La cuvette de retenue du barrage de Zhor est relativement encaissée. La digue est coincée entre deux collines culminant à 201m en rive droite et 203 m sur la rive gauche.

Portant à l'esprit que la fonction primordiale d'un réservoir est d'accumuler les eaux, la caractéristique physique la plus importante est sa "*capacité d'emmagasinement*". Cette dernière est pratiquement déterminée par planimétrie sur un fond topographique à grande échelle de la cuvette d'accumulation. En ce qui concerne la retenue projetée, les levés topographiques ont permis de tracer une carte topographique au 1/500.

Une courbe "*Superficie-Altitude*" est construite par planimétrie de l'aire comprise entre deux courbes de niveau successives dans l'emprise du site de la cuvette. L'intégrale de la courbe "*Superficie-Altitude*" correspond à la courbe "*Capacité-Altitude*". Alternativement, dans un tableau donnant la répartition altimétrique, le volume partiel est obtenu en multipliant l'intervalle de la classe altimétrique par l'aire correspondante. La sommation des différents accroissements (volumes partiels) en dessous d'une altitude donnée représente la capacité d'emmagasinement de l'eau de la cuvette à ce niveau d'altitude (tableau 26).

Tableau 26. Barrage de l'oued Zhor - Caractéristiques géométriques de la cuvette
(Source : BG, 2008).

Cote (m/NGA)	Surface (Ha)	Volume (Hm ³)	Cote (m/NGA)	Surface (Ha)	Volume (Hm ³)
21.00	0.24	0.000	44.00	68.42	7.330
22.00	0.51	0.000	45.00	71.80	8.030
23.00	0.80	0.010	46.00	75.13	8.770
24.00	1.11	0.020	47.00	78.22	9.540
25.00	1.45	0.030	48.00	81.29	10.330
26.00	13.34	0.160	49.00	84.36	11.160
27.00	15.65	0.300	50.00	87.42	12.020
28.00	17.98	0.470	51.00	96.65	12.970
29.00	20.32	0.660	52.00	99.25	13.950
30.00	22.69	0.880	53.00	101.84	14.960
31.00	31.19	1.180	54.00	104.39	15.990
32.00	33.09	1.500	55.00	106.93	17.050
33.00	34.95	1.840	56.00	111.00	18.140
34.00	36.77	2.200	57.00	113.98	19.270

Tableau 26. (Suite)

Cote (m/NGA)	Surface (Ha)	Volume (Hm ³)	Cote (m/NGA)	Surface (Ha)	Volume (Hm ³)
35.00	38.56	2.570	58.00	116.99	20.420
36.00	43.13	3.000	59.00	120.03	21.610
37.00	45.13	3.440	60.00	123.11	22.820
38.00	47.10	3.900	61.00	129.10	24.100
39.00	49.04	4.380	62.00	132.33	25.400
40.00	50.93	4.880	63.00	135.57	26.740
41.00	57.74	5.440	64.00	138.73	28.120
42.00	61.39	6.030	65.00	141.56	29.520
43.00	64.95	6.670			

Une fois les relations entre les trois variables (capacité, l'altitude, superficie) établies (Fig. 15 et tableau 27), plusieurs tranches d'accumulation des eaux peuvent être classiquement distinguées en tenant compte des possibilités hydrologiques de l'oued Zhor, notamment durant les périodes critiques, et de la demande en eau future (horizon 2040) au niveau des Dairates de Zitouna et Ouled Attia, d'une part, et l'aptitude de la retenue à écrêter les crues rares, d'autre part.

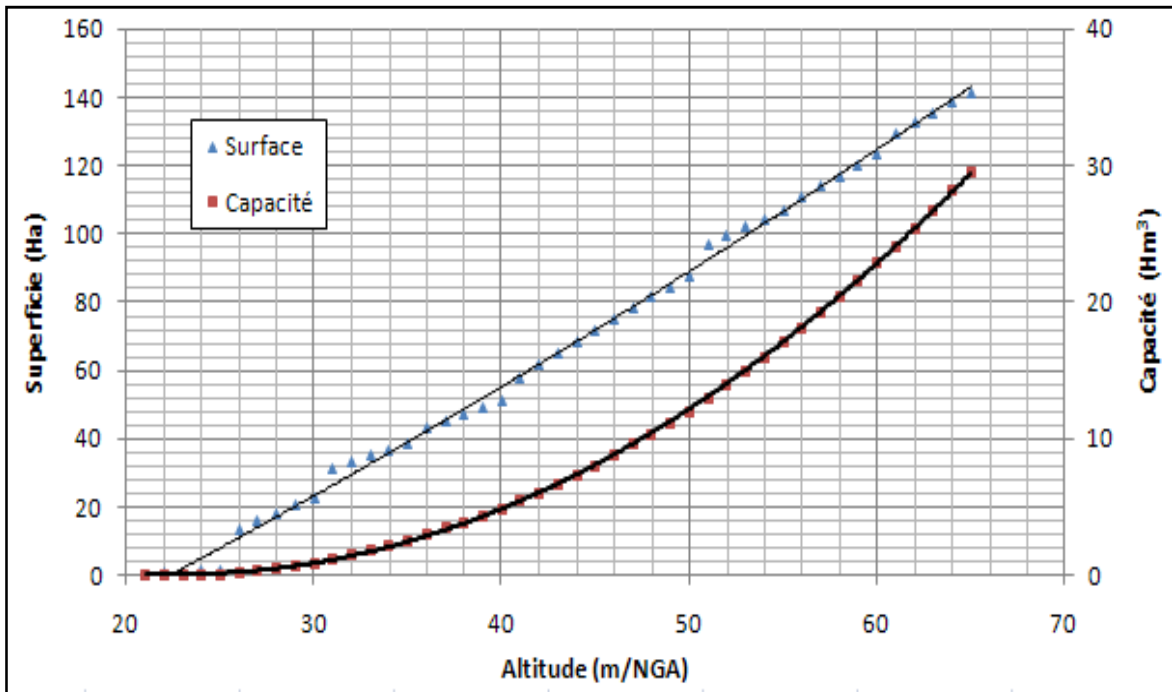


Fig. 15. Courbes Altitude-Superficie-Capacité de la retenue projetée sur l'oued Zhor

Tableau 27. Relations Capacité-Superficie-Altitude
(C : capacité en Hm³, S : superficie en Ha et Z : cote en m/NGA)

Relation	R ² (%) ⁸	Equation
$C = 0.016 \times Z^2 - 0.768 \times Z + 8.913$	99.9	[16]
$Z = -0.040 \times C^2 + 2.383 \times C + 27.54$	98.4	[17]
$S = 0.009 \times Z^2 + 2.541 \times Z - 61.08$	99.7	[18]
$C = 0.001 \times S^2 + 0.015 \times S - 0.101$	99.8	[19]
$S = -0.134 \times C^2 + 8.088 \times C + 12.98$	98.2	[20]

Le *niveau normal d'exploitation (NNE)* est l'altitude maximale devant être atteinte par la surface du plan d'eau durant les conditions ordinaires d'exploitation. Pour la plupart des retenues, ce niveau est déterminé par le seuil du déversoir d'évacuation des crues de projet.

Le *niveau minimum d'exploitation (NME)* est la cote minimale que le plan d'eau ne tombe en dessous dans les conditions normales d'exploitation. Ce niveau est souvent déterminé, du moins pour les petites retenues, par le niveau supérieur de la tranche morte (*également appelée zone morte ou stérile* et correspondant à la capacité réservée à l'accumulation des sédiments). Le volume d'eau emmagasiné entre ces deux niveaux est appelé "*volume ou tranche utile*".

Le *niveau des plus hautes eaux (NPHE)* est défini par la capacité de la retenue réservée pour l'écrêtement des crues de faible fréquence.

Enfin le *niveau en crête* est déterminé par le niveau des plus hautes eaux augmenté par la hauteur des vagues (ou revanche) occasionnée par des vents violents.

Pratiquement, une étude classique de faisabilité d'une retenue collinaire qui associe les fonctions de régulation et de stockage des eaux nécessite une connaissance particulièrement approfondie de l'hydrologie locale, en particulier les apports en eau et les événements de crue auxquels on s'intéresse (crues rares). Or cette connaissance est rendue délicate dans le cas de

⁸ R² : coefficient de détermination défini par le rapport de la variance expliquée par le modèle à la variance totale.

l'oued Zhor par l'absence de moyens de mesure des données hydrométriques. Néanmoins, en accord étroit avec les procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages préconisées par l'Agence Nationale des Barrages (2004), la chaîne des calculs consiste à :

- fixer la demande en eau actuelle et future (y compris éventuellement le droit d'accès à l'eau des riverains).

- déterminer la capacité du réservoir nécessaire pour garantir cette demande (diagramme de Rippl, courbe de performance du réservoir éventuellement).

- procéder à une étude d'exploitation (simulations) du réservoir sur une ou plusieurs périodes critiques sèches (détermination des niveaux d'exploitation).

- déterminer la crue de projet ou la crue de dimensionnement.

- déterminer les caractéristiques géométriques et hydrauliques de l'ouvrage d'évacuation des crues pour plusieurs scénarii.

- estimer la revanche (montée des vagues dans le lac suite aux vents violents).

- déterminer, enfin, les tranches d'accumulation des eaux et la hauteur totale de la digue.

Faut-il noter que les nombreux cycles de simulation, nécessaires à l'optimisation des paramètres hydrauliques des ouvrages imposent pratiquement le recours au calcul informatique. Dans ce travail, on utilise des procédures qu'on a mises au point et intégrées dans Excel 2007.

Avant de procéder à une étude de gestion (simulation) d'une retenue d'eau, il est impératif de vérifier que les données mensuelles sur la pluviométrie, l'évaporation, les apports en eau de surface et la demande en eau soient disponibles pour une période critique sèche plus ou moins suffisante pour pouvoir déterminer de façon satisfaisante la capacité utile de la retenue projetée. Fort malheureusement, le bassin étudié ne dispose pas de moyens de mesure de la plupart de ces paramètres, d'où le recours aux méthodes empiriques de transposition de l'information.

3. Détermination de la capacité utile du barrage

3.1. Acquisition des données : analyse et critique

En plus des courbes 'Superficie-Capacité-Altitude' de la retenue, les données utilisées sont brièvement décrites dans ce qui suit.

- les précipitations mensuelles et annuelles observées aux stations de Settara (série 1972-2012), El Milia (série 1970-2011) et Afflassane (série 1967-2012), jugées représentatives de la zone d'étude (série : 1967/68-1997/98): bien qu'elles soient inférieures à celles des versants Nord limitant le bassin, ces données sont adoptées dans l'esprit de préserver la notion de période critique sèche.
- l'évaporation mensuelle à la station des Zardézas (série: 1977/78 - 2013/14) : observations plus ou moins complètes par rapport à celles des barrages les plus proches (Bni Zid et Guenitra).
- la demande en eau (potable et agricole) modulée suivant la répartition mensuelle adoptée pour le barrage de Hammam Debagh (Krook, 1972).
- les apports en eau mensuels et annuels de l'oued Zhor au droit du site de la retenue estimés par des méthodes empiriques.

3.2. Estimation des apports en eau annuels et mensuels de l'oued Zhor

L'apport en eau de l'oued Zhor au site du barrage est estimé, dans la première partie de la présente étude, à 38 Hm³/an. Pour chaque année, la distribution mensuelle des apports en eau de l'oued Zhor au droit du site de la retenue est reconstituée suivant la distribution moyenne de l'oued Boussieba à la station d'El Milia prise comme référence (Tableau 28).

Tableau 28. Distribution moyenne des apports en eau de l'oued Boussieba à El Milia (série: 1972–2000 - Apport annuel: 142.5 Hm³)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
Apport (Hm ³)	7.31	6.82	11.28	22.71	20.94	20.16	29.38	16.26	4.18	3.14	1.19	1.12
Apport (%)	5.1	4.8	7.9	15.9	14.7	14.1	20.6	11.4	2.9	2.2	0.8	0.8

Les résultats sont donnés en annexe 2.

3.3. Besoins en eau dans la zone d'étude

Les besoins en eau (potable et agricole) à l'horizon 2040 sont estimés par le bureau d'étude NEE-SPA (2012) pour le compte de la DHW de Skikda à 20 Hm³/an pour l'AEP et 6 Hm³/an pour l'irrigation. La répartition des besoins en eau mensuels a été modulée à la base de la distribution, adoptée par KROOK (1972) pour le barrage de Hammam Debagh à Guelma (tableau 29).

Tableau 29. Modulation des besoins en eau potable et d'irrigation (%)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
AEP	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9
Irrigation	9	3	0	0	0	0	4	1	15	19	21	19

3.4. Calcul de la capacité utile de la retenue projetée

La détermination de la capacité d'un réservoir au droit d'un cours d'eau naturel est souvent appelée "*Étude de l'exploitation ou de la régularisation du réservoir*". Elle se base essentiellement sur une simulation de la gestion du réservoir pour une période donnée en accord avec un ensemble de règlements adoptés. L'étude d'exploitation peut uniquement analyser une période critique (basses eaux) choisie et ne peut, par conséquent, définir que la capacité du réservoir nécessaire pour cette période de sécheresse. Actuellement, les pratiques modernes favorisent l'utilisation d'une longue série synthétique de données avec laquelle il est possible d'estimer la performance des grands réservoirs de capacités différentes pour satisfaire une demande fixe ou variable.

Dans le cas du barrage de l'oued Zhor, en projet, le choix de la période de la simulation est dicté par la disponibilité du jeu de données (observations sur la même période), d'une part, et le caractère plus ou moins sec de cette période d'observations (pluies et/ou apports inférieurs à la normale sur une grande partie de la série). Ainsi la période retenue pour les études de simulation correspond aux années hydrologiques allant de 1989/90 à 2012/13, soit une série de 24 ans contenant près de 50 % d'années sèches. Les données hydroclimatologiques observées, transposées et/ou reconstituées, caractérisant cette période sont consignées en annexe 3.

Une étude de régularisation peut être accomplie avec des intervalles de temps variés. Les données mensuelles sont les plus utilisées (cas de la retenue projetée). Cependant, dans le cas

des grands réservoirs pouvant stocker l'eau pour plusieurs années, les intervalles annuels s'avèrent satisfaisants.

Les données de base étant rassemblées (tableau en annexes), une courbe des débits cumulés (CDC), appelée également *diagramme de RIPPL*, a été tracée pour l'oued Zhor au droit du site du barrage (Fig. 16) pour la période critique (8 années sèches sur 10, plus mauvais scénario observé) allant de 1989 à 1999.

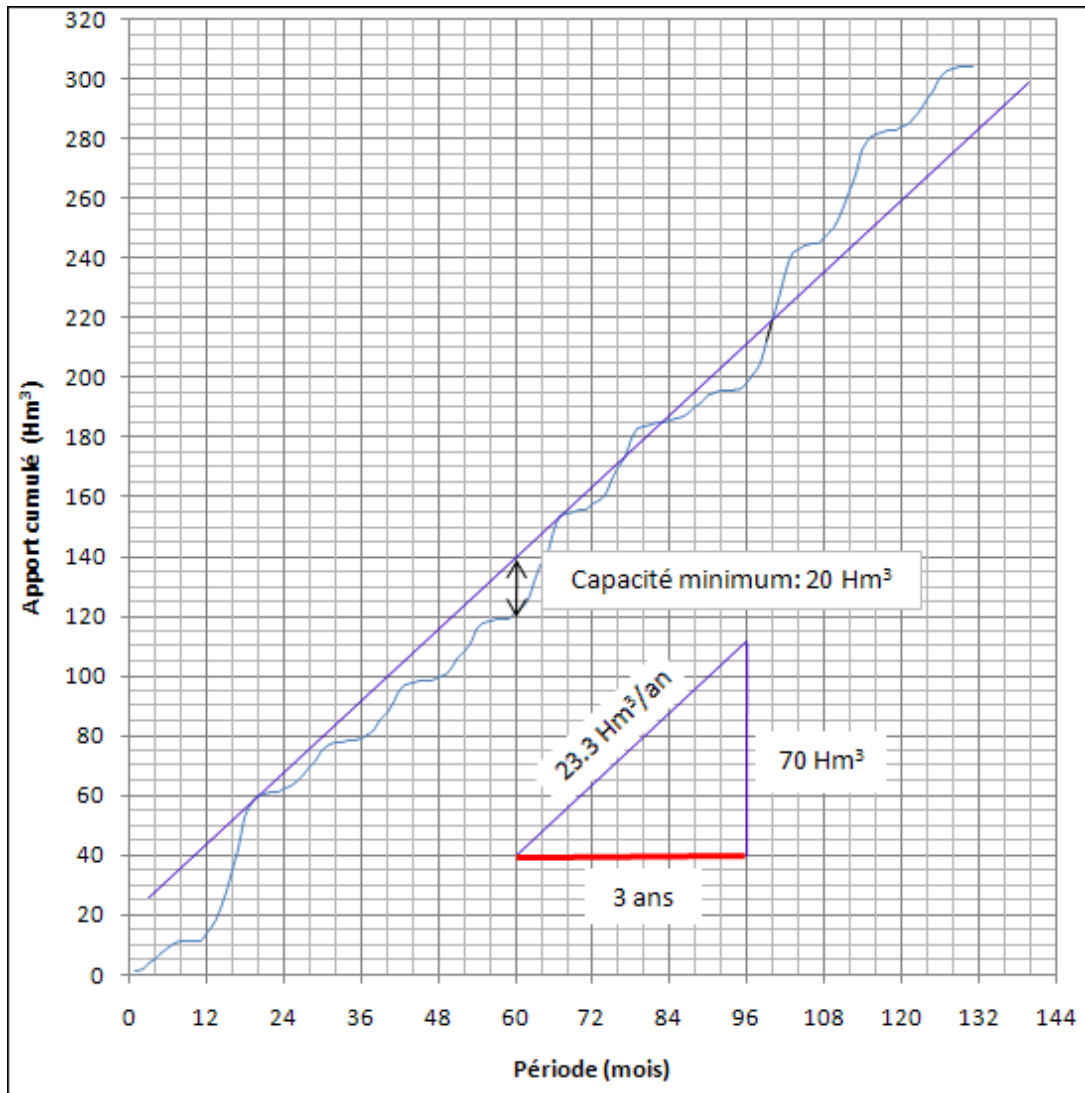


Fig. 16. Oued Zhor- Diagramme de Rippl pour la période sèche 1989-1999.

En supposant que le réservoir est plein à chaque fois qu'une ligne de demande est coupée par la courbe des débits cumulés, la différence maximale entre la ligne de demande et la courbe des débits cumulés représente la capacité du réservoir nécessaire pour satisfaire d'une manière continue la demande (dans ce cas de figure il faut une capacité de 20 Hm³ pour satisfaire une demande de 23 Hm³/an) durant la période considérée. Ces deux valeurs constituent le point de

départ d'une série de simulations avec comme variables la capacité et la demande annuelle en eau ; les paramètres météorologiques restant les mêmes pour la période allant de 1989/90 à 2012/2013.

La gestion du réservoir est généralement basée sur l'étude d'un bilan détaillé entre les entrées et les sorties d'eau. Ce bilan doit prendre en considération l'infiltration en fonction du niveau d'eau dans le réservoir, l'évaporation en fonction de la surface du plan d'eau et les règlements d'exploitation qui peuvent dépendre du débit entrant naturel, de l'emménagement du réservoir et d'autres facteurs tels que le respect du droit des riverains, les dotations spécifiques quotidiennes et des règles de gestion dans les situations exceptionnelles. Sous forme d'équation, ce bilan établi pour une période bien déterminé, est :

$$\sum \text{Entrées} - \sum \text{Sorties} = \Delta \text{Réserve} \quad [21]$$

En admettant que les pertes par infiltration sont négligeables suite à un choix judicieux du site et que le droit des riverains est intégré dans la demande en eau qui ne change pas d'une année à l'autre, l'équation ci-dessus se résume à :

$$(Q + P) - (D + E) = \Delta C \quad [22]$$

Dans un système d'unité consistant, Q est l'apport en eau de l'oued, P et E sont respectivement, la pluie tombée directement sur la surface du plan d'eau et la quantité d'eau qui s'en évapore, D la demande en eau à satisfaire. La quantité ΔC détermine la variation de la réserve dans le lac. Pratiquement, tous les termes de l'équation 22, sont exprimés en Hm^3 pour les grands barrages.

Si on réserve 20 % de la capacité pour l'accumulation des matériaux en suspension et le charriage de fond (volume stérile, mort ou inexploitable), les résultats de la simulation effectuée, au pas mensuel, pour une capacité de 20 Hm^3 et une demande de 26 Hm^3 (AEP et Irrigation) couvrant une période de 24 ans (ou 288 mois) sont récapitulés au tableau 30. Ce dernier étant plus ou moins tronqué pour des raisons d'espace, les calculs détaillés peuvent être trouvés en Annexe 4. Les résultats de la simulation permettent d'évaluer le taux de satisfaction (Ts en pourcent) de la demande en eau. Ce dernier est approximé par l'expression :

$$Ts = 100 \times \left\{ 1 - \frac{\text{nombre de mois déficitaires}}{\text{nombre de mois total}} \right\} \quad [23]$$

Dans la présente étude, plusieurs scénarii sont envisagés en faisant varier les couples *Capacité-Demande*⁹ pour différentes affectations de l'eau du barrage (AEP, Irrigation, AEP et Irrigation). Les résultats de l'évolution du taux de satisfactions en fonction des variables *Capacité-Demande* issus de 108 cas de simulation (24 pour l'AEP, 48 pour l'Irrigation et 36 pour les deux) sont, en partie, données en annexe 5 et représentés par les graphiques ci-dessous (figures 17 à 19). Dans ces figures, la région d'un choix optimal est définie en général par la combinaison *Capacité-Demande* correspondant à un taux de satisfaction supérieur ou égale à 90 % si l'eau est affectée à l'AEP et 80 % si elle est utilisée pour l'irrigation. D'autres seuils peuvent être choisis en accord avec les règles de gestion du réservoir.

3.5. Accumulation des sédiments dans la retenue - Calcul de la durée de vie de l'ouvrage

La destinée finale de tout réservoir d'eau est d'être complètement envasée. Si l'apport solide entrant le réservoir est important par rapport à sa capacité, la vie utile de ce dernier serait très courte. Il devient donc impératif de prendre en considération, de façon sérieuse, le débit solide probable dans le dimensionnement des retenues afin de savoir si la durée de vie utile de la structure serait suffisante pour garantir sa construction. D'une manière générale, la durée de vie économique d'un réservoir prend fin lorsque 80 % de sa capacité initiale est comblée par les sédiments. Des travaux de recherche conduits par Brune (1953) ont montré que le taux d'envasement d'un réservoir dépend du rapport entre sa capacité et les volumes annuels d'eau entrants. Ces travaux ont conduit à la formule, dite de Brune, qui s'écrit :

$$Y = 100 \times \left\{ 1 - \frac{1}{1 + a \frac{C}{Q}} \right\}^n \quad [24]$$

dans laquelle Y est le pourcentage des sédiments retenus dans le réservoir, C est la capacité au NNE et Q le volume d'eau annuel entrant la retenue (apport annuel). Les constantes d'ajustement a et n, variables selon les conditions, sont les suivantes :

- conditions maximales: a = 130 et n = 1.0
- conditions moyennes: a = 100 et n = 1.5
- conditions minimales: a = 65 et n = 2.0.

⁹ *Capacité et Demande variables de 4 à 30 Hm³ et de 4 à 35 Hm³/an, respectivement.*

Tableau 30. Etude de régularisation du barrage projeté sur l'oued Zhor : Capacité au NNE : 20 Hm³ - Volume mort : 4 Hm³ - Demande à satisfaire : 26 Hm³/an.

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)	Exc/Déf ¹⁰ (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)	côte en m (Eq. 17)
										121.140	59.200
1989-90:	9	30.833	126.000	2.140	-0.095	-0.115	-1.677	18.323		116.187	57.774
	10	95.167	84.200	1.780	0.011	0.013	-1.228	17.094		112.082	56.587
	8	3.667	158.000	2.940	-0.154	-0.101	-2.952	4.410		46.043	37.271
1990-91:	9	0.000	143.400	2.532	-0.143	-0.066	0.326	4.736		48.278	37.928
	10	46.667	99.700	2.360	-0.053	-0.026	0.555	5.291		52.020	39.028
	.2	120.000	43.400	6.977	0.077	0.092	5.470	20.000	5.269	121.140	59.200
	8	0.000	285.700	2.940	-0.286	-0.282	-2.833	10.885		85.139	48.739
1991-92:	9	16.867	193.200	2.140	-0.176	-0.150	-1.431	9.453		77.464	46.493

	7	5.067	231.200	3.060	-0.226	-0.147	-3.067	4.254		44.964	36.954
	8	0.000	284.400	2.940	-0.284	-0.128	-2.936	4.000	-2.682	43.188	36.432
1992-93:	9	8.667	208.500	2.140	-0.200	-0.086	-1.200	4.000	-1.200	43.188	36.432
	10	75.033	135.900	1.780	-0.061	-0.026	-0.849	4.000	-0.849	43.188	36.432

	6	0.767	213.200	2.940	-0.212	-0.152	-2.651	5.745		55.021	39.909
1993-94:	9	29.933	195.400	2.140	-0.165	-0.071	-1.171	4.000	-1.171	43.188	36.432

¹⁰ Exc : excédant d'eau à évacuer lorsque la retenue est à son NNE et Déf : déficit d'eau lorsque la retenue est à son NME.

Tableau 30. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	AC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
1994-95:	9	55.867	221.700	1.858	2.140	-0.166	-0.072	-0.353	4.000	-0.353	43.188		59.200
1995-96:	9	27.833	169.400	1.470	2.140	-0.142	-0.113	-0.783	9.073		75.329		45.867
1996-97:	9	31.967	161.700	0.560	2.140	-0.130	-0.103	-1.682	8.063		69.483		44.154
1997-98:	9	63.633	140.100	2.480	2.140	-0.076	-0.033	0.307	4.307		45.332		37.062
1998-99:	9	74.500	167.904	1.923	2.140	-0.093	-0.079	-0.296	10.541		83.348		48.215
1999-00:	9	27.133	226.800	1.079	2.140	-0.200	-0.161	-1.222	8.820		73.892		45.446
2000-01:	9	0.400	216.300	1.353	2.140	-0.216	-0.097	-0.885	4.000	-0.617	43.188		36.432
2001-02:	9	37.900	157.600	0.488	2.140	-0.120	-0.062	-1.715	4.000	-0.447	43.188		36.432
2002-03:	9	59.167	162.300	5.667	2.140	-0.103	-0.045	3.482	7.482		65.996		43.131
...
2012-13:	9	61.400	187.500	2.502	2.140	-0.126	-0.110	0.252	11.575		88.644		49.764
10	54.400	165.600	2.333	1.780	-0.111	-0.099	0.454		12.029		90.881		50.417
8	29.600	151.000	0.385	2.940	-0.121	-0.121	-0.121	-2.677	11.341		87.471		49.421

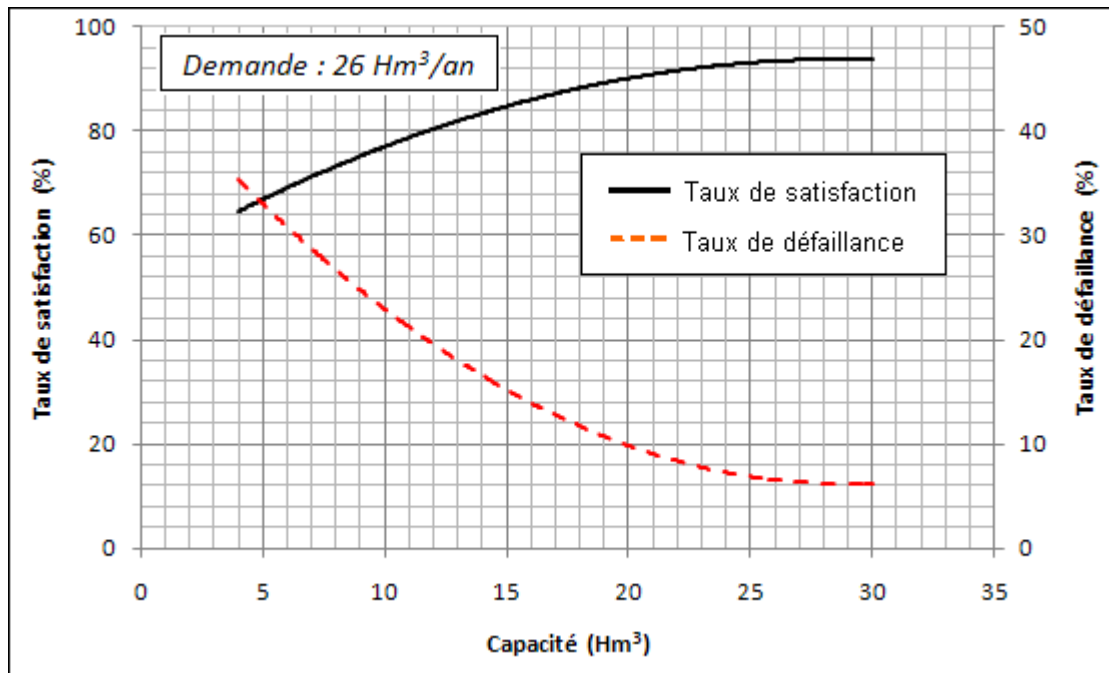


Fig. 17. Barrage de l'oued Zhor - Évolution du taux de satisfaction et de déficience en fonction de la capacité pour une demande en eau pour l'AEP et l'Irrigation fixe.

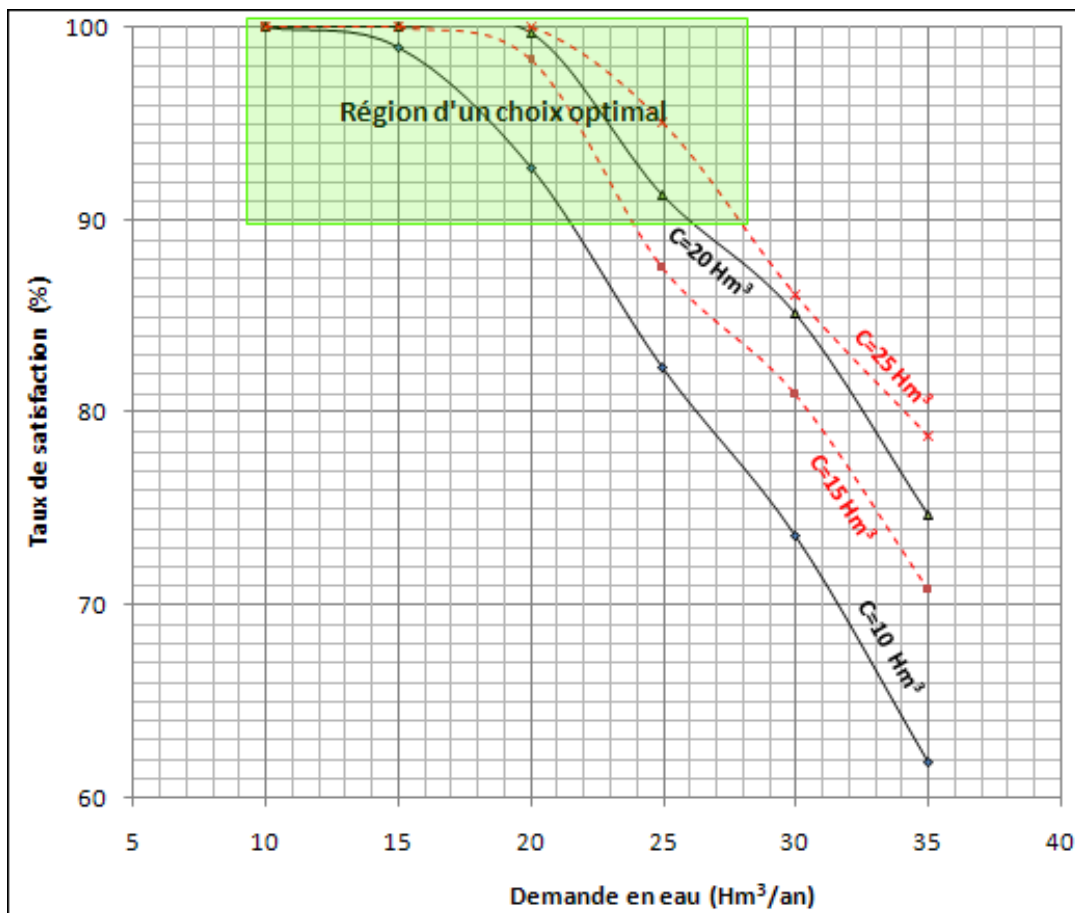


Fig. 18. Barrage de l'oued Zhor - Évolution du taux de satisfaction en fonction de la demande en eau pour l'AEP et de la capacité.

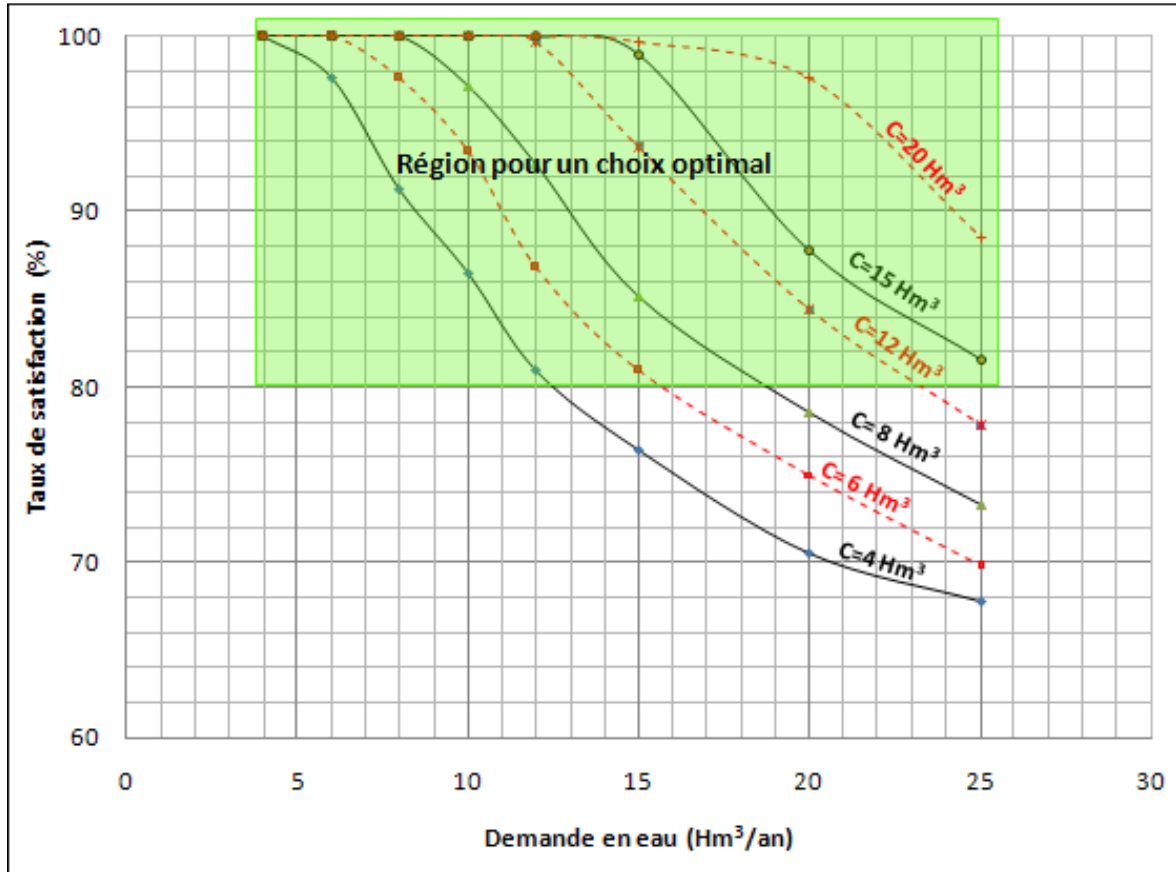


Fig. 19. Barrage de l'oued Zhor - Évolution du taux de satisfaction en fonction de la demande en eau pour l'Irrigation et de la capacité.

Une fois l'apport liquide de l'oued Zhor au site de la retenue est connu ($38 \text{ Hm}^3/\text{an}$), il convient ensuite de prévoir l'apport solide. Compte tenu du manque d'équipement de mesure dans le bassin versant étudié, le taux de sédimentation peut être estimé par des formules empiriques dont les résultats demeurent, tout de même, à prendre avec caution. En effet, plusieurs tentatives pour modéliser le transport des sédiments ont été présentées dans la littérature spécialisée (équation universelle des pertes en sol, formule de Fleming, modèles empiriques liant le taux de sédimentation aux caractéristiques physiques et climatiques des bassins, etc.) mais aucune doctrine n'a été universellement adoptée en matière de transport solide. Dans la présente étude, l'apport solide Q_s a été estimé par BG (2008) à $0,144 \text{ Hm}^3/\text{an}$.

La procédure la plus utilisée de nos jours pour résoudre le problème de l'envasement des retenues est de réserver une fraction de la capacité du réservoir pour l'accumulation des sédiments (tranche morte ou stérile). Cette approche ne peut en aucun cas réduire le taux d'accumulation des sédiments mais elle peut largement retarder le temps où elle devient sérieusement gênante. En effet, la durée d'envasement de la tranche morte, représentant

approximativement 20 % de la capacité de la retenue, et la durée de vie économique de la retenue proposée, estimées par la méthode de Brune pour une capacité au NNE de 20 Hm³ sont récapitulées au tableau 31.

**Tableau 31. Calcul de la durée de vie de la retenue projetée par la méthode de Brune
(Capacité : 20 Hm³ - Tranche morte : 4 Hm³)**

Capacité (Hm ³)	C/Q	Sédiments Retenus (%)		Sédiments Retenus (Hm ³ /an)	ΔC (Hm ³)	Durée de remplissage (années)
		à la capacité indiquée	en moyenne pour ΔC			
<i>Conditions minimales</i>						
20	0.53	94.40	-	-	-	-
16	0.42	93.07	93.74	0.135	4.00	29.63
12	0.32	90.92	92.00	0.132	4.00	30.19
8	0.21	86.84	88.88	0.128	4.00	31.25
4	0.11	76.12	81.48	0.117	4.00	34.09
Durée de vie de la retenue						125
<i>Condition moyennes</i>						
20	0.53	97.22	-	-	-	-
16	0.42	96.54	96.88	0.140	4.00	28.67
12	0.32	95.43	95.99	0.138	4.00	28.94
8	0.21	93.28	94.35	0.136	4.00	29.44
4	0.11	87.27	90.27	0.130	4.00	30.77
Durée de vie de la retenue						118
<i>Conditions maximales</i>						
20	0.53	98.56	-	-	-	-
16	0.42	98.21	98.38	0.142	4.00	28.23
12	0.32	97.62	97.91	0.141	4.00	28.37
8	0.21	96.47	97.05	0.140	4.00	28.62
4	0.11	93.19	94.83	0.137	4.00	29.29
Durée de vie de la retenue						115

Il ressort du tableau ci-dessus que la durée d'envasement de la tranche morte, variable selon les conditions d'érosion, est de l'ordre de 30 ans, alors que la durée de vie économique varie entre 115 et 125 ans. Pour les autres scénarii, les résultats peuvent être consultés au tableau ci-dessous.

Tableau 32. Durée de remplissage du volume mort et durée de vie économique de l'ouvrage pour différentes capacités au niveau normale d'exploitation.

Capacité (Hm ³)	4	6	8	10	12	15	20	25	30
	Durée de remplissage								
Conditions maximales	6.01	8.79	11.57	14.35	17.12	21.29	28.23	35.18	42.12
Conditions moyennes	6.47	9.24	12.01	14.79	17.56	21.73	28.67	35.62	42.56
Conditions minimales	7.53	10.26	13.01	15.77	18.54	22.70	29.63	36.57	43.51
	Durée de vie de la retenue								
Conditions maximales	25.60	36.72	47.84	58.95	70.07	86.74	114.52	142.30	170.08
Conditions moyennes	29.13	40.16	51.23	62.32	73.41	90.06	117.82	145.59	173.36
Conditions minimales	37.85	48.30	59.09	70.00	80.98	97.52	125.17	152.87	180.59

4. Calcul du niveau des plus hautes eaux - Laminage des crues

4.1. Introduction

L'estimation adéquate des événements hydrologiques extrêmes est primordiale en raison des risques importants associés à une mauvaise connaissance de ces variables. L'analyse fréquentielle des données hydrologiques est une approche privilégiée pour obtenir de bonnes estimations des événements extrêmes dans le cas où une information suffisante est disponible au site d'intérêt. Cependant, en raison de la grande étendue du bassin versant, on est souvent amené à estimer des événements extrêmes dans des sites où l'on dispose de peu ou même d'aucune information. L'objectif est d'estimer les débits maxima (débit de pointe ou maximum absolu et débit journalier maximum) correspondants à un certain temps de retour (T), c'est-à-dire à une certaine probabilité d'apparition donnée (P) de l'oued Boussieba à El Milia pour être transposés au bassin versant de l'oued Zhor au droit du site du barrage projeté en admettant que ce dernier appartient à la même région hydrologique. La validité des résultats de l'analyse fréquentielle est fortement conditionnée par la longueur des chroniques exploitées et de la méthode employée pour évaluer les intensités des événements rares (Comby, 2001).

Dans cette approche purement probabiliste, l'évaluation des événements rares se résume généralement à l'ajustement d'une loi de probabilité sur la distribution de fréquences

empirique des débits maxima observés. Les crues de fréquences rares se déduisent de l'extrapolation de la loi statistique ajustée. Les quantiles de débits ainsi estimés peuvent être utilisés ensuite pour la définition de crues de projet

En hydrologie, plusieurs modèles fréquentiels sont souvent utilisés pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle. En effet, cette analyse, qui fait appel à diverses techniques statistiques et des programmes de calcul automatique puissants, constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Appliquées au bassin de l'oued Boussieba au poste hydrométrique d'El Milia, les diverses étapes de l'analyse fréquentielle sont décrites ci-dessous.

4.2. Traitement des données collectées et analyse statistique descriptive

Les séries des débits de pointe ont fait l'objet d'un traitement statistique descriptif afin de faire ressortir les principales caractéristiques de la distribution des débits maxima de l'oued Boussieba à El Milia. Les résultats du calcul de la moyenne (\bar{x}), l'écart type (s), le coefficient d'asymétrie (G_1), informations nécessaires pour l'analyse des fréquences, et ceux des autres paramètres de la statistique descriptive sont présentés au tableau 33.

Tableau 33. Statistiques des crues maximales de l'oued Boussieba

Statistique	Valeur	Centile	Valeur
Taille de l'échantillon (N)	21	Minimum	63.8
Moyenne	238.66	1 ^{er} quartile (Q ₁)	92.625
Écart-type	181.42	Médiane (Q ₂)	176.6
Coef. de variation (%)	76.0	3 ^{ème} Quartile (Q ₃)	373.3
Asymétrie	1.25	Maximum	735.0

La valeur du coefficient d'asymétrie ($G_1 > 0$) et le graphique de symétrie (Fig. 20) indiquent que la distribution des fréquences des débits maxima est loin d'être normale (ou symétrique).

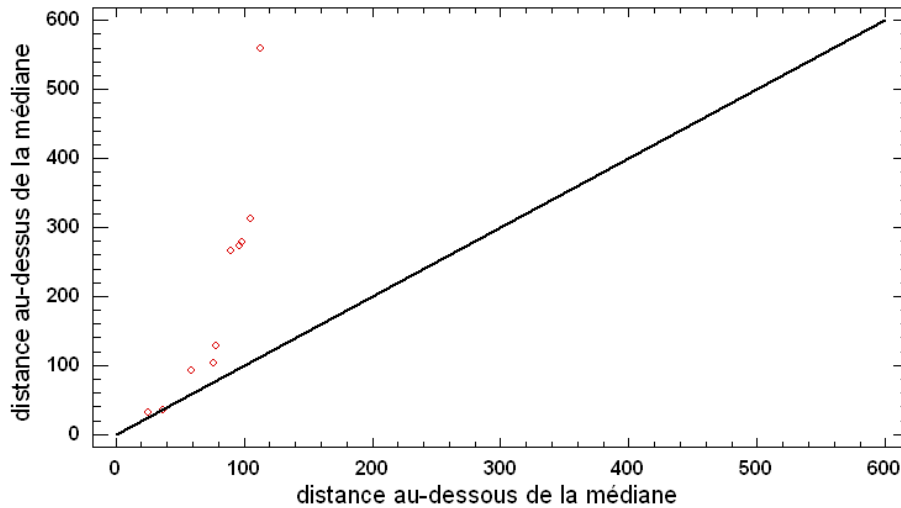


Fig. 20. Graphique de symétrie des débits de pointe de l'oued Boussieba

4.3. Évaluation des crues rares dans le bassin de l'oued Boussieba

Les résultats du traitement statistique descriptif montrent que la distribution empirique des débits maxima annuelles se répartissent suivant des distributions asymétriques limitées vers la gauche ($Q \geq 0$) et étalées vers la droite. La prédétermination des débits peut donc être estimée par des lois de distribution des probabilités théoriques qui présentent les mêmes caractéristiques. Ainsi, les lois théoriques les plus utilisées en hydrologie, notamment les distributions log-Gamma, Gumbel max (EV1), valeurs extrêmes généralisées (GEV), Log Pearson III (LP3) et log-normale (LN) ont été ajustées à la chronique étudiée. Les paramètres décrivant chaque loi ont été déterminés à partir des données observées par la méthode des moments au moyen de l'application EasyFit (tableau 34).

Tableau 34. Paramètres¹¹ des lois de distributions des probabilités utilisées

Distribution	Fonction de répartition F(x)	Paramètres
GEV	$F(x) = \begin{cases} \exp[-(1 + k \times z)]^{-1/k} & \text{si } k \neq 0 \\ \exp[-\exp(-z)] & \text{si } k = 0 \end{cases}$ <p style="text-align: center;">où $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$; $\sigma > 0$</p>	$k = 0.22479$ $\sigma = 109.73$ $\mu = 144.31$
Gumbel Max (EV1)	$F(x) = \exp[-\exp(-z)] ; z = \frac{x - \mu}{\sigma} ; \sigma > 0$	$\sigma = 141.45$ $\mu = 157.01$

¹¹ α et μ : paramètres de position, β et σ : paramètres d'échelle, γ et k : paramètres de forme.

Tableau 34 (Suite).

Distribution	Fonction de répartition F(x)	Paramètres
Log-Gamma	$F(x) = \frac{\Gamma_{\text{Lnx}/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad \alpha \text{ et } \beta > 0$	$\alpha = 49.612$ $\beta = 0.1051$
Log-Pearson 3	$F(x) = \frac{\Gamma_{\text{Lnx}-\gamma/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad \alpha > 0 \text{ et } \beta \neq 0$	$\alpha = 68.38$ $\beta = 0.08952$ $\gamma = -0.90728$
Log-normal	$F(x) = \Phi \left[\frac{\text{ln}x - \mu}{\sigma} \right] \quad \sigma > 0$ <i>Φ Intégralle de laplace</i>	$\sigma = 0.72241$ $\mu = 5.214$

Les quantiles correspondants à des périodes de récurrences allant de 2 à 10000 ans ont été calculés (tableaux 35).

Tableau 35. Résultats de l'analyse fréquentielle des débits maxima absolus de l'oued Boussieba (m³/s)

P	T (années)	Log-Gamma	Gumbel (EV1)	GEV	LP3	LN
0.9999	10000	4563.3	1459.8	3526.1	4257.9	2699
0.9998	5000	3811.2	1361.8	2967.7	3582.2	2371.8
0.999	1000	2450	1134.1	1962.2	2341.5	1713.7
0.998	500	2000.1	1035.9	1629.3	1924.9	1470.3
0.995	200	1506.7	906.12	1261.5	1463.2	1181.8
0.99	100	1198.9	807.71	1029.1	1172	986.91
0.98	50	938.96	708.95	829.65	923.79	810.5
0.96	25	735	609.45	658.03	712.97	651.13
0.95	20	657.63	577.15	607.9	652.19	603.2
0.9	10	484.24	475.33	465.71	482.88	463.96
0.8	5	338.53	369.18	340.05	339.25	337.64
0.5	2	177.51	208.85	186.23	178.43	183.83

4.4. Tests d'adéquations des ajustements

Les différentes lois ont été testées pour vérifier la fiabilité de l'ajustement aux distributions observées. Plusieurs tests ont été appliqués notamment, ceux de Kolmogorov-Smirnov, d'Anderson-Darling, du χ^2 de Karl Pearson (tableau 36) et la méthode de dénombrement (tableaux 37).

Tableau 36. Résultats des tests d'adéquation- Tests d'hypothèses (seuil de signification : 5 %)

Distribution	Kolmogorov-Smirnov		Anderson-Darling		χ^2	
	Statistique	Valeur critique	Statistique	Valeur critique	Statistique	Valeur critique
GEV	0,12491	0,28724	0,45953	2,5018	1,4621	5,9915
Gumbel (EV1)	0,14475		0,63878			
Log-Gamma	0,12417		0,38132			
Log-Pearson 3	0,12467		0,38385			
Log-normal	0,13373		0,44801			

Tableau 37. Résultats des tests d'adéquation- Méthode de dénombrement

P	T (années)	Nbre d'observations prévu	Log-Gamma	Gumbel EV1	GEV	LP3	LN
0,95	20	≥ 1	1	1	1	1	1
0,9	10	≥ 2	2	2	2	2	2
0,8	5	≥ 4	5	5	5	5	5
0,5	2	≥ 10	10	10	10	10	10

4.5. Choix du modèle probabiliste pour l'estimation des événements rares

Étayées par les résultats de la majorité des tests d'adéquation (tests de Kolmogorov-Smirnov et d'Anderson-Darling ou tests d'hypothèse et méthode de dénombrement), les lois de distribution des probabilités Log-Gamma et Log-Pearson III semblent être les mieux classées pour l'ajustement des données observées.

4.6. Crues de projet de l'oued Zhor au site du barrage projeté

Pour ce qui est du bassin du Zhor, l'examen des données historiques montrent que le seul poste hydrométrique existant dans la région est celui de l'oued Boussieba à El Milia et qui contrôle un bassin de 465 km². Par conséquent, on doit faire recours aux techniques de transposition de l'information au bassin d'intérêt en usant des modèles empiriques existant dans la littérature. Dans la présente étude, le modèle de Francou-Rodier (1967), exprimé par l'équation ci-dessous, a été usité pour évaluer les débits de pointe de l'oued Zhor pour différentes périodes de retour (T):

$$Q_p(T) = 10^6 \times \left[\frac{A}{10^8} \right]^{1-0.1 \times k(T)} \quad [25]$$

Le calage du modèle consiste à déterminer $k(T)$ pour des valeurs connues de $Q_p(T)$ et de la surface du bassin versant (A) par l'équation :

$$k(T) = 10 \times \left[1 - \frac{\log Q_p(T) - 6}{\log A - 8} \right] \quad [26]$$

Calés sur les débits fréquents de l'oued Boussieba calculés par les lois log-Gamma et log-Pearson III ($Q_{réf}$), les débits de pointes de l'oued Zhor au droit du site de barrage (Q_{BV}) sont ainsi estimés pour chaque période de retour ; la valeur moyenne étant adoptée dans la présente étude (tableau 38).

Tableau 38. Estimation des débits de pointes de l'oued Zhor par le modèle de Francou-Rodier.

Fréquence		Log-Gamma			Log-Pearson III			Q_p adopté (m^3/s)
$P(Q \leq Q_p)$	T (années)	$Q_{réf}$ (m^3/s)	$k(T)$	Q_{BV} (m^3/s)	$Q_{réf}$ (m^3/s)	$k(T)$	Q_{BV} (m^3/s)	
0.9999	10000	4563.3	5.611	2283.1	4257.9	5.554	2111.4	2200
0.9998	5000	3811.2	5.464	1863.2	3582.2	5.413	1737.3	1800
0.999	1000	2450	5.104	1131.6	2341.5	5.067	1075.2	1100
0.998	500	2000.1	4.939	900.0	1924.9	4.908	861.9	880
0.995	200	1506.7	4.708	653.8	1463.2	4.684	632.5	640
0.99	100	1198.9	4.522	505.2	1172	4.503	492.4	500
0.98	50	938.96	4.323	383.4	923.79	4.310	376.4	380
0.96	25	735	4.123	290.8	712.97	4.099	281.0	285
0.95	20	657.63	4.033	256.5	652.19	4.026	254.1	255
0.9	10	484.24	3.784	181.6	482.88	3.781	181.0	180
0.8	5	338.53	3.492	121.3	339.25	3.494	121.5	120
0.5	2	177.51	2.966	58.5	178.43	2.970	58.9	60

4.7. Choix d'une crue de projet – Risque hydrologique

La conception hydraulique des évacuateurs des crues dans les barrages requiert la connaissance des débits maximaux qui devront être évacués. Ces crues rares sont souvent associées à une probabilité d'apparition au cours d'une année quelconque, d'où l'importance d'évaluer le risque de débordement par-dessus la digue et qui peut mettre en danger l'intégrité de l'ouvrage.

La crue de projet (ou de conception) est donc la crue de récurrence donnée (fonction de l'environnement et d'impératifs technologiques) servant à calculer les dimensions des

ouvrages hydrauliques et la résistance des ouvrages de génie civil. En d'autres termes, la crue de projet se présente sous forme d'un hydrogramme de crue ou simplement d'un débit de pointe (débit de projet) qui sert de base à la conception et au dimensionnement des ouvrages relatifs au projet en question.

En théorie, la période de retour T d'un événement se définit par l'inverse de la probabilité de dépassement $P(Q \geq Q_0)$ d'observer, en moyenne, au moins une fois cet événement ou un événement plus grave :

$$T = \frac{1}{P(Q \geq Q_0)} = \frac{1}{1 - F(Q_0)} \quad [27]$$

où $F(Q_0)$ est la probabilité de non dépassement.

Statistiquement, la probabilité pour que le débit de projet $Q(T)$, de période de retour T , soit dépassé au moins une fois durant N années successives est appelée *risque hydrologique* défini par:

$$R_H = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad [28]$$

Dans la pratique, on se fixe parfois le risque à courir durant une période de N années et on calcule la probabilité et, par suite, la crue du projet par la loi de distribution des probabilités jugée la mieux appropriée. Autrement dit, si on dénote le risque acceptable par R_H et la durée de vie de la structure par N , un remaniement de la formule ci-dessus donne:

$$T = \frac{1}{[1 - (1 - R_H)^{1/N}]} \quad [29]$$

Le choix de la période de retour est ainsi dicté par l'importance des risques encourus en cas de défection de l'ouvrage réalisé et par des considérations d'ordre économique. De telles analyses socio-économiques approfondies ne se font pratiquement pas et le choix de la période de retour reste basé sur l'expérience et la tradition. Ce choix est le plus souvent fixé par l'administration (normes locales ou internationales). A titre d'exemple, les ponts sur les grands oueds sont dimensionnés traditionnellement pour la crue centennale (Q_{100}), les ouvrages d'assainissement, moins importants, pour la crue décennale (Q_{10}) ou vicennale, les grands barrages pour la crue décennillennale (Q_{10000}) et les petits pour la crue millennale (Q_{1000}).

Le tableau ci-dessous donne les résultats du calcul du risque hydrologiques pour différentes valeurs de N et de T.

Tableau 39. Probabilité pour qu'une crue de récurrence T années survienne au cours des N premières années du projet.

N (années)	T (années)								
	10	20	50	100	200	500	1000	5000	10000
10	0.651	0.401	0.183	0.096	0,049	0.020	0.010	0.002	0.001
20	0.878	0.642	0.332	0.182	0,095	0.039	0.020	0.004	0.002
25	0.928	0.723	0.397	0.222	0,118	0.049	0.025	0.005	0.002
50	0.995	0.923	0.636	0.395	0,140	0.095	0.049	0.010	0.005
100	1.000	0.994	0.867	0.634	0,394	0.181	0.095	0.020	0.010
150	1.000	1.000	0.952	0.779	0,529	0.259	0.139	0.030	0.015

A titre d'exemple, la probabilité (ou risque hydrologique) pour que la crue millennale survienne au cours des 100 premières années (durée de vie du projet) est de l'ordre de 0.10 alors que celle de la crue déca-millennale est beaucoup plus faible (0.01).

En fonction des valeurs du risque, seules les crues millennale, quinqu-millennale et déca-millennale nécessitant un grand stockage (capacité importante du barrage) sont données une attention particulière dans la présente étude (risque inférieur à 0.10 durant une durée de vie de l'ouvrage ne dépassant pas les 100 ans).

4.8. Détermination des hydrogrammes de crue – Méthode de Sokolovsky

Les débits de pointe de faibles fréquences étant estimés précédemment, il convient de rechercher les hydrogrammes correspondants afin de procéder au processus du laminage.

Par définition, l'hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps. Il permet de déterminer les caractéristiques de la crue (forme, volume, temps de montée, temps de base). Or dans le bassin de l'oued Zhor au droit du site du barrage projeté, on ne dispose pas de moyens de mesure hydrométrique ; d'où le recours aux techniques synthétiques qui permettent de simuler les composantes de l'hydrogramme en fonction des caractéristiques du bassin versant. Ces techniques sont nombreuses parmi lesquelles celle de Sokolovsky *in* Voskresensky (1967).

4.9. Caractéristiques de l'hydrogramme de Sokolovsky

La forme de l'hydrogramme de crue peut être déterminée par la méthode synthétique de Sokolovsky qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques, l'une traduisant la montée des eaux $Q_m(t)$ qui s'écrit :

$$Q_m(t) = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^2 \quad [30]$$

et l'autre traduisant la descente $Q_d(t)$ ayant la forme :

$$Q_d(t) = Q_p \left(\frac{T_d - t_d}{T_d} \right)^3 = Q_p \left[\frac{(T_b - T_p) - t_d}{T_b - T_p} \right]^3 \quad [31]$$

dans lesquelles on a :

T_p : temps de montée de la crue (ou temps de pointe) égal au temps de concentration du bassin,

T_d : durée totale de la décrue,

T_b : temps de base de la crue égale à la somme des temps de montée et de décrue

t : temps compté depuis le début de la montée des eaux,

t_d : temps compté depuis le début de la décrue ($t_d = 0$ au point de coordonnée $t = T_p$).

Q_p : débit maximum (ou débit de pointe) de la crue d'une fréquence donnée.

Sokolovsky admet que le temps de monté de l'hydrogramme de crue correspond au temps de concentration du bassin calculé empiriquement à partir des caractéristiques du bassin versant (formules de Giandotti, Passini, Ventura, etc.). Le temps de décrue (T_d) peut être évalué à partir de T_p à l'aide de la relation suivante:

$$T_d = n \times T_m \quad [32]$$

où n est un paramètre qui dépend de la capacité de régularisation du bassin versant et du lit de l'oued. En l'absence d'hydrogrammes observés qui permettent une estimation de n , ce dernier peut être évalué à partir du tableau ci-dessous.

Tableau 40. Variations de n en fonction des caractéristiques du bassin et du cours d'eau

<i>Description du cours d'eau</i>	<i>N</i>
Petits cours d'eau et vallons dans les bassins versants faiblement perméables et à capacité de drainage insignifiante	2 – 2.5
Petits cours d'eau et vallons dans les bassins versants boisés ou perméables ; moyens cours d'eau à lit majeur peu prononcé (avec terrasses normales)	2.5 – 3
grands cours d'eau forestiers à lit très important et avec terrasses de débordement étendues	3 – 7

Enfin, le temps de base (T_b) de l'hydrogramme de crue est obtenu par:

$$T_b = T_p + T_d = (n + 1) \times T_m \quad [33]$$

4.10. Hydrogramme synthétique de Sokolovsky

Si on divise les membres des deux premières équations par Q_p , on obtient l'hydrogramme sans dimension ou "synthétique" de Sokolovsky dont les coordonnées sont:

- pour la montée :

$$\frac{Q_m(t)}{Q_p} = \left(\frac{t}{T_p} \right)^2 \quad [34]$$

- Pour la décrue:

$$\frac{Q_d(t)}{Q_p} = \left[\frac{T_d - t_d}{T_d} \right]^3 = \left[\frac{(T_b - T_p) - t_d}{T_b - T_p} \right]^3 \quad [35]$$

Les coordonnées de cet hydrogramme peuvent être déterminées si l'on connaît le temps de concentration du bassin T_c et le débit de pointe Q_p de la crue d'une période de retour donnée.

Si on considère que l'oued Zhor fait partie des cours d'eau plus ou moins importants drainant un bassin forestier de montagne ($n = 4$) caractérisé par un temps de concentration de l'ordre de 2 heures, les composantes de l'hydrogramme de Sokolovsky sont les suivantes : $T_p = 2$ h, $T_d = 8$ h et $T_b = 10$ h. Le tableau 41 et la figure 21 montrent les coordonnées de l'hydrogramme synthétique sans dimension de Sokolovsky pour le bassin de l'oued Zhor.

Tableau 41. Hydrogramme synthétique sans dimension de l'oued Zhor

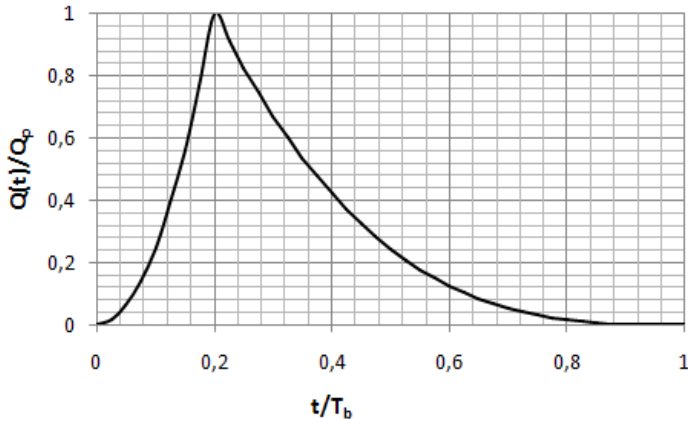
t /Tb	Q(t)/Qp	t /Tb	Q(t)/Qp	t /Tb	Q(t)/Qp	t /Tb	Q(t)/Qp
0	0.0000	0.500	0.2441	0.675	0.0670	0.850	0.0066
0.025	0.0156	0.525	0.2093	0.700	0.0527	0.875	0.0038
0.050	0.0625	0.550	0.1780	0.725	0.0406	0.900	0.0020
0.075	0.1406	0.575	0.1499	0.750	0.0305	0.925	0.0008
0.100	0.2500	0.600	0.1250	0.775	0.0222	0.950	0.0002
0.125	0.3906	0.625	0.1030	0.800	0.0156	0.975	0.0000
0.150	0.5625	0.650	0.0837	0.825	0.0105	1.000	0.0000
0.175	0.7656						
0.200	1.0000						
0.225	0.9091						
0.250	0.8240						
0.275	0.7443						
0.300	0.6699						
0.325	0.6007						
0.350	0.5364						
0.375	0.4768						
0.400	0.4219						
0.425	0.3713						
0.450	0.3250						
0.475	0.2826						

Fig. 21. Hydrogramme synthétique de l'oued Zhor au droit du site du barrage.

Enfin les hydrogrammes des crues de dimensionnement correspondant aux périodes de récurrence de 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 5000 et 10000 ans sont données ci-dessous (tableau 42 et Fig. 22).

Tableau 42. Hydrogrammes des crues de projet de l'oued Zhor

Temps (h)	Période de récurrences (années)								
	10	20	50	100	200	500	1000	5000	10000
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	2.813	3.984	5.938	7.81	10.000	13.750	17.188	28.125	34.375
0.50	11.250	15.938	23.750	31.25	40.000	55.000	68.750	112.500	137.500
0.75	25.313	35.859	53.438	70.31	90.000	123.750	154.688	253.125	309.375
1.00	45.000	63.750	95.000	125.00	160.000	220.000	275.000	450.000	550.000
1.25	70.313	99.609	148.438	195.31	250.000	343.750	429.688	703.125	859.375

Tableau 42. (Suite)

Temps (h)	Période de récurrences (années)								
	10	20	50	100	200	500	1000	5000	10000
1.50	101.250	143.438	213.750	281.25	360.000	495.000	618.750	1012.500	1237.500
1.75	137.813	195.234	290.938	382.81	490.000	673.750	842.188	1378.125	1684.375
2.00	180.000	255.000	380.000	500.00	640.000	880.000	1100.000	1800.000	2200.000
2.25	163.647	231.833	345.477	454.57	581.855	800.051	1000.064	1636.469	2000.128
2.50	148.315	210.114	313.110	411.99	527.344	725.098	906.372	1483.154	1812.744
2.75	133.973	189.795	282.831	372.15	476.348	654.978	818.723	1339.728	1637.445
3.00	120.586	170.830	254.570	334.96	428.750	589.531	736.914	1205.859	1473.828
3.25	108.122	153.173	228.257	300.34	384.434	528.596	660.745	1081.219	1321.490
3.50	96.548	136.776	203.823	268.19	343.281	472.012	590.015	965.479	1180.029
3.75	85.831	121.593	181.198	238.42	305.176	419.617	524.521	858.307	1049.042
4.00	75.938	107.578	160.313	210.94	270.000	371.250	464.063	759.375	928.125
4.25	66.835	94.683	141.097	185.65	237.637	326.750	408.438	668.353	816.876
4.50	58.491	82.863	123.481	162.48	207.969	285.957	357.446	584.912	714.893
4.75	50.872	72.069	107.397	141.31	180.879	248.708	310.886	508.722	621.771
5.00	43.945	62.256	92.773	122.07	156.250	214.844	268.555	439.453	537.109
5.25	37.678	53.377	79.542	104.66	133.965	184.202	230.252	376.776	460.504
5.50	32.036	45.385	67.632	88.99	113.906	156.621	195.776	320.361	391.553
5.75	26.988	38.233	56.974	74.97	95.957	131.941	164.926	269.879	329.852
6.00	22.500	31.875	47.500	62.50	80.000	110.000	137.500	225.000	275.000
6.25	18.539	26.264	39.139	51.50	65.918	90.637	113.297	185.394	226.593
6.50	15.073	21.354	31.821	41.87	53.594	73.691	92.114	150.732	184.229
6.75	12.068	17.097	25.478	33.52	42.910	59.001	73.752	120.685	147.504
7.00	9.492	13.447	20.039	26.37	33.750	46.406	58.008	94.922	116.016
7.25	7.311	10.358	15.435	20.31	25.996	35.745	44.681	73.114	89.362
7.50	5.493	7.782	11.597	15.26	19.531	26.855	33.569	54.932	67.139
7.75	4.005	5.673	8.454	11.12	14.238	19.578	24.472	40.045	48.944
8.00	2.813	3.984	5.938	7.81	10.000	13.750	17.188	28.125	34.375
8.25	1.884	2.669	3.978	5.23	6.699	9.211	11.514	18.842	23.029
8.50	1.187	1.681	2.505	3.30	4.219	5.801	7.251	11.865	14.502
8.75	0.687	0.973	1.450	1.91	2.441	3.357	4.196	6.866	8.392
9.00	0.352	0.498	0.742	0.98	1.250	1.719	2.148	3.516	4.297
9.25	0.148	0.210	0.313	0.41	0.527	0.725	0.906	1.483	1.813
9.50	0.044	0.062	0.093	0.12	0.156	0.215	0.269	0.439	0.537
9.75	0.005	0.008	0.012	0.02	0.020	0.027	0.034	0.055	0.067
10.00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Vol. (Hm³)	1.7	2.5	3.7	4.8	6.2	8.5	10.6	17.3	21.2

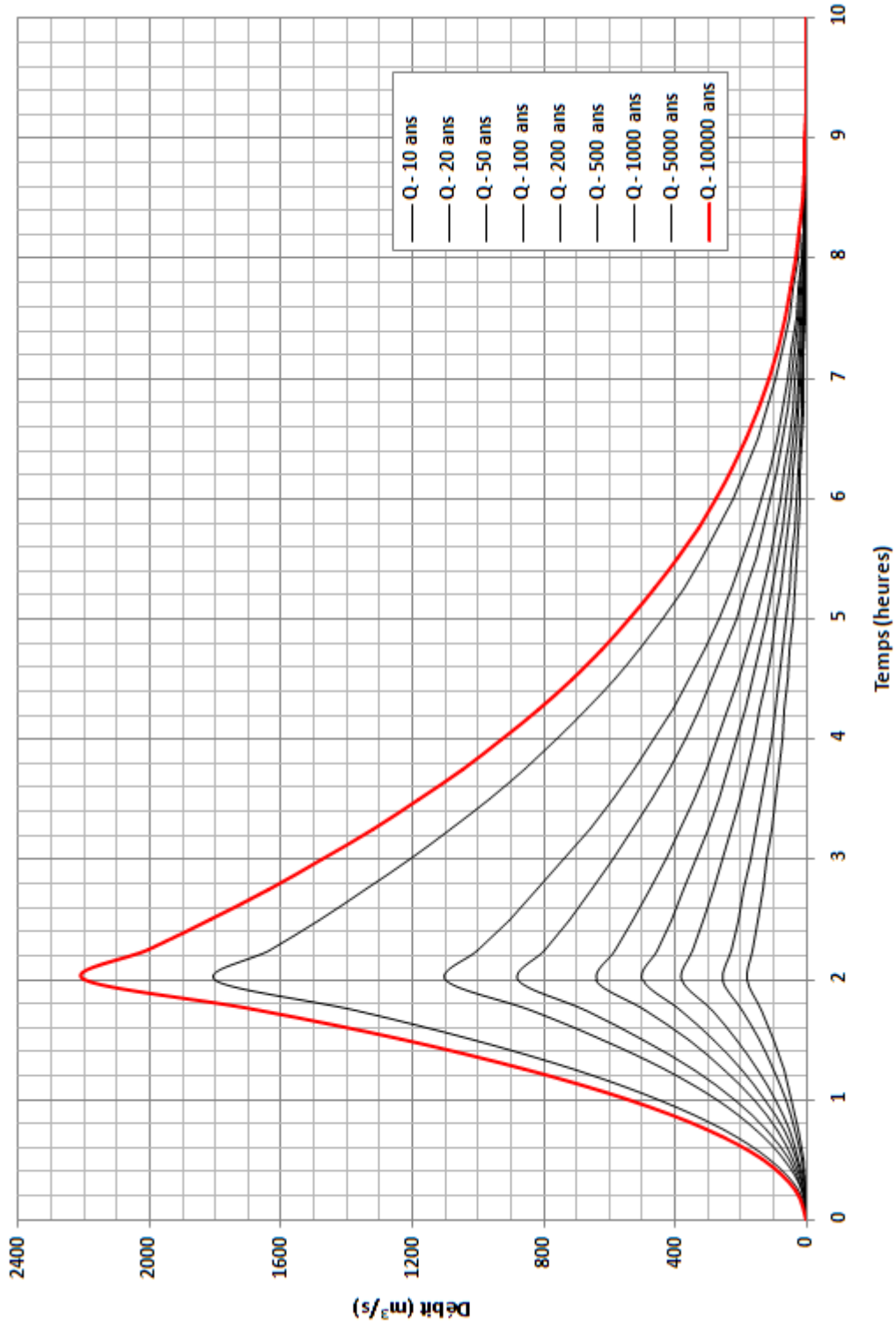


Fig. 22. Hydrogrammes des crues de projet de l'oued Zhor

A titre d'exemple, il ressort de ce tableau que les volumes des crues millennale, quinquamillennale et déca-millennale seraient de l'ordre de 10.6, 17.3 et 21.2 Hm³, respectivement.

4.11. Laminage des crues

4.11.1. Introduction

Le problème du laminage de crues se pose fréquemment à l'ingénieur hydraulicien, que ce soit dans le domaine de la protection contre les inondations (dimensionnement de bassin de rétention) ou dans celui de la sécurité des ouvrages (dimensionnement d'évacuateurs de crues).

Le laminage d'une crue correspond à la réduction du débit de pointe de son hydrogramme par des moyens naturels ou artificiels. Le laminage naturel a lieu le long du tronçon de rivière. Les forces de frottement du fond du canal et des berges causent une réduction de la pointe de l'hydrogramme. Le laminage artificiel se fait à travers un réservoir. Lorsqu'une onde de crue entre dans un réservoir muni d'un système de vidange, le débit sortant produit un hydrogramme ayant une pointe décalée dans le temps et plus faible que celle de l'hydrogramme d'entrée. Il s'agit donc du processus qui montre comment une onde de crue peut être réduite en magnitude et atténuée dans le temps en utilisant la capacité d'emmagasinement (ou de stockage) d'un tronçon de cours d'eau ou d'un réservoir.

Dans tous les cas, l'équation de continuité peut être mise sous la forme suivante :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad [36]$$

où I désigne le débit d'entrée (ou en anglais : *Inflow*), O désigne le débit de sortie (ou *Outflow*) et S est l'emmagasinement d'eau dans le tronçon ou le réservoir considéré.

L'équation ci-dessus exprime tout simplement le principe de conservation de la masse : le taux de variation de l'emmagasinement est égal à la différence entre les débits entrant et

sortant. En pratique, la différence entre les ordonnées des deux hydrogramme (entrant et sortant) correspond au taux d'emmagasinement de l'eau dans ce tronçon; soit:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \bar{I} - \bar{O} \quad [37]$$

où $\Delta S/\Delta t$ est la variation de l'emmagasinement pendant l'intervalle de temps Δt , \bar{I} et \bar{O} sont respectivement, les débits moyens entrant et sortant pendant Δt , c'est à dire:

$$\bar{I} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} \quad \text{et} \quad \bar{O} = \frac{O_t + O_{t+1}}{2} \quad [38]$$

L'équation [37] constitue la base du laminage hydrologique de crue dans laquelle l'intervalle Δt est appelé "*période de laminage*". Il est admis qu'au sein de cette période, le débit varie de façon linéaire avec le temps et il est, par conséquent, recommandé que cette période soit courte.

Les équations [37] et [38] peuvent être réarrangées et combinées pour donner, sous une forme discrète, l'équation du laminage ci-dessous :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \times \Delta t + \left[S_1 - \frac{O_1}{2} \times \Delta t \right] = S_2 + \frac{O_2}{2} \Delta t \quad [39]$$

La plupart des méthodes de laminage de crue sont basées sur l'équation [39]. Dans la pratique, on admet que I_1, I_2, O_1 et S_1 sont connus et que O_2 et S_2 sont à déterminer par laminage. Puisque on dispose d'une équation à deux inconnues, une relation supplémentaire entre S et O est nécessaire pour compléter la solution. Cette relation qui constitue l'opération la plus délicate dans les problèmes de laminage de crue peut être établie à partir des données historiques ou mesurées sur le site considéré.

4.11.2. Laminage de crue par réservoir - Méthode de Puls

Un réservoir pour lequel le débit dépend de la hauteur du plan d'eau offre la plus simple des solutions aux problèmes de laminage de crue. Un tel réservoir pourrait être équipé d'une

structure d'évacuation d'eau (un déversoir par exemple). Les données connues du réservoir sont représentées par les courbes:

- Altitude du plan d'eau-Capacité du réservoir,
- Altitude du plan d'eau-Débit.

Si la valeur du débit sortant (O_1) au début du laminage est connue ou à défaut supposée (généralement on pose $O_1 = 0$ au niveau normal d'exploitation ou NNE, à la fin de la mise en eau), les termes du membre de gauche de l'équation [39] deviennent connus et seul les termes du membre droit sont inconnus.

Dans ce cas, la solution de cette équation nécessite deux courbes de laminage de crue traduisant les relations :

$$O = f \left[S + \frac{O}{2} \times \Delta t \right] \quad \text{et} \quad S = f(O)$$

Le processus de laminage consiste à insérer les valeurs connues au début de la période de laminage et la valeur correspondante de O_2 peut être estimée à partir de la courbe de laminage. Ainsi le calcul est répété sur tous les autres intervalles de laminage Δt .

4.11.3. Laminage des crues exceptionnelles de l'oued Zhor

Les considérations théoriques étant présentées plus haut, l'étude du laminage des crues par le barrage de l'oued Zhor est nécessaire pour compléter les objectifs de la retenue proposée, en particulier, l'écrêtement des crues exceptionnelles (millennale, quinquamillennale et décammillennale). Pour les différents scénarii retenus dans la présente étude (capacité variable entre 4 et 30 Hm³), le laminage de la crue du projet a été effectué en supposant un évacuateur à seuil libre de forme rectangulaire (Rouse, 1946; Chow, 1959 et Carlier, 1972). Dans ce cas, l'équation du débit évacué par le déversoir s'écrit:

$$Q_D = O_D = C_d \times L \times H^{3/2} \quad [40]$$

où C_d est un coefficient appelé coefficient du débit, de l'ordre de 1.55, L la longueur du seuil du déversoir (m), H la charge hydraulique (m) et Q_D le débit évacué (m³/s). En fonction du débit entrant maximal à évacuer, la longueur du seuil du déversoir a été prise égale à 30 m, ce qui correspond à l'équation suivante :

$$Q_D = O_D = 46.5 \times H^{3/2} \quad [41]$$

Les données nécessaires au laminage de la crue déca-millénaire par un barrage de 20 Hm³ au NNE sont utilisées pour illustrer la démarche suivie dans la présente étude.

a- Construction des courbes du laminage

Les courbes du laminage sont déterminées en faisant varier de façon arbitraire la hauteur du plan d'eau et, par conséquent, le volume emmagasiné au dessus du niveau normal d'exploitation (S). Connaissant l'altitude du plan d'eau (somme de la cote au NNE et H), la capacité est obtenue à l'aide de la relation $C=f(Z)$ établie antérieurement (Eq. 16). La différence entre la capacité à la cote Z et la C_{NNE} permet d'évaluer S . Le débit évacué est donné par l'équation du déversoir (Eq. 41). Pour une période de laminage Δt égale à 15 minutes, le tableau 43 récapitule les résultats des calculs nécessaires pour construire les courbes du laminage (figures 23 et 24).

Tableau 43. Données du laminage de la crue déca-millénaire de l'oued Zhor

H (m)	Q_D (m³/s)	Z (m)	C¹² (Hm³)	ΔC = S¹³ (Hm³)	S + (Q/2) × Δt (Hm³)
0.0	0.000	59.20	19.522	0.00	0.000
0.25	5.813	59.45	19.804	0.28	0.285
0.50	16.440	59.70	20.089	0.57	0.574
0.75	30.203	59.95	20.375	0.85	0.867
1.00	46.500	60.20	20.664	1.14	1.163
1.25	64.986	60.45	20.955	1.43	1.462
1.50	85.426	60.70	21.247	1.73	1.764
1.75	107.649	60.95	21.542	2.02	2.068
2.00	131.522	61.20	21.838	2.32	2.376
2.25	156.938	61.45	22.137	2.62	2.686
2.50	183.807	61.70	22.438	2.92	2.998
2.75	212.057	61.95	22.740	3.22	3.314
3.00	241.621	62.20	23.045	3.52	3.632
3.25	272.444	62.45	23.351	3.83	3.952
3.50	304.477	62.70	23.660	4.14	4.275
3.75	337.676	62.95	23.971	4.45	4.601
4.00	372.000	63.20	24.283	4.76	4.929
4.25	407.414	63.45	24.598	5.08	5.259
4.50	443.886	63.70	24.914	5.39	5.592

¹² Equation [16]

¹³ $S = C_Z - C_{NNE}$

Tableau 43. (Suite)

H (m)	Q_D (m^3/s)	Z (m)	C (Hm^3)	$\Delta C = S$ (Hm^3)	$S + (Q/2) \times \Delta t$ (Hm^3)
4.75	481.386	63.95	25.233	5.71	5.928
5.00	519.886	64.20	25.554	6.03	6.266
5.25	559.361	64.45	25.876	6.35	6.606
5.50	599.787	64.70	26.201	6.68	6.949
5.75	641.143	64.95	26.527	7.01	7.294
6.00	683.408	65.20	26.856	7.33	7.642
6.25	726.563	65.45	27.187	7.66	7.992
6.50	770.589	65.70	27.519	8.00	8.344
6.75	815.471	65.95	27.854	8.33	8.699
7.00	861.192	66.20	28.190	8.67	9.056

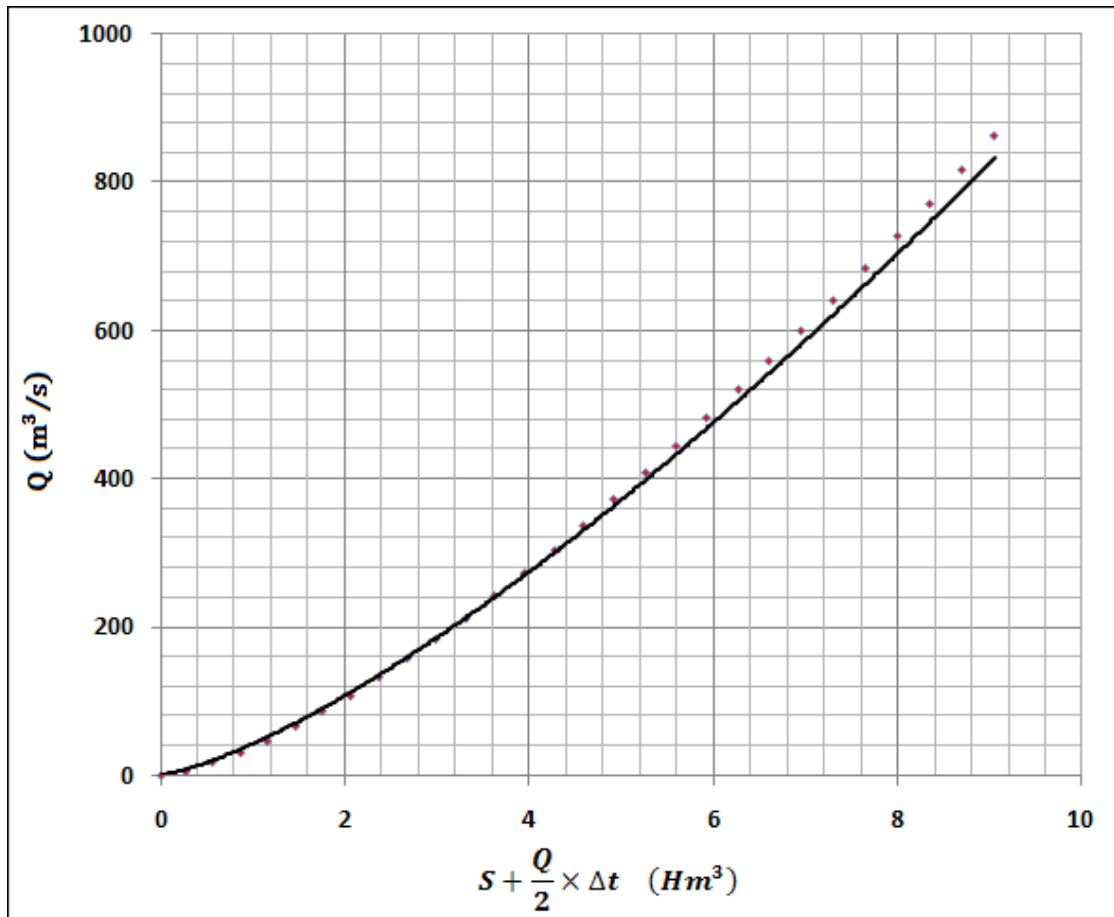


Fig. 23. Courbe du laminage - Relation $Q = f \left[S + \frac{Q}{2} \times \Delta t \right]$

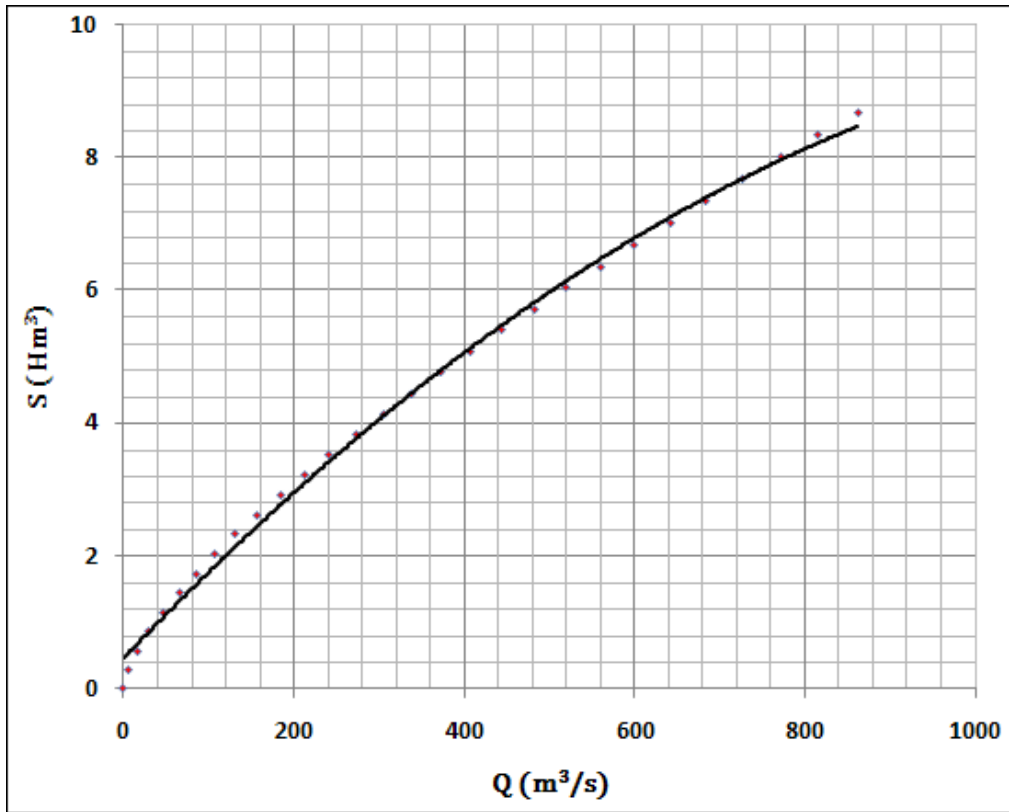


Fig. 24. Courbe du laminage – Relation $S=f(Q)$

Notons que l'usage des deux courbes ci-dessus peut être facilité par leur mise en équation. L'analyse corrélatrice a donné les résultats suivants:

Relation	Coef. de détermination (%)	Equation
$Q = 41.12 \times \left[S + \frac{Q}{2} \times \Delta t \right]^{1,364}$	99.8	[42]
$S = -5 \times 10^{-6} \times Q^2 + 0.013 \times Q + 0.454$	99.6	[43]

b- Laminage de la crue déca-millennale par la méthode de Puls

Les courbes du laminage étant établies, on a procédé au calcul du laminage de la crue de fréquence 10000 ans pour une capacité au NNE de 20 Hm³ en usant de l'équation [39]. Les résultats sont récapitulés au tableau 44 et la figure 25. Pour les autres crues exceptionnelles, ils sont portés en annexes.

Tableau 44. Laminage de la crue de fréquence 10000 ans par le barrage de l'oued Zhor (capacité au NNE : 20 Hm³)

T (hr)	I ₁ (m ³ /s)	I ₂	$(I_1 + I_2) \times \Delta t / 2$ (Hm ³)	O ₁ (m ³ /s)	S ₁	$S_1 - O_1 \times \Delta t / 2$ (Hm ³)	$S_2 + O_2 \times \Delta t / 2$	O ₂ (m ³ /s)	S ₂ (Hm ³)	C	Z (Eq.17) (m)
0	0	34.375	0.015	0.000	0.000	0.000	0.015	0.139	0.487	20.487	59.57
0.25	34.375	137.500	0.077	0.139	0.487	0.487	0.564	18.83	0.728	20.73	59.75
0.50	137.500	309.375	0.201	18.832	0.728	0.720	0.921	36.74	0.956	20.96	59.91
0.75	309.375	550.000	0.387	36.735	0.956	0.939	1.326	60.42	1.252	21.25	60.12
1.00	550.000	859.375	0.634	60.423	1.252	1.225	1.859	95.82	1.685	21.68	60.41
1.25	859.375	1237.500	0.944	95.816	1.685	1.642	2.585	150.21	2.325	22.32	60.80
1.50	1237.500	1684.375	1.315	150.207	2.325	2.257	3.572	233.48	3.248	23.25	61.32
1.75	1684.375	2200.000	1.748	233.478	3.248	3.143	4.891	358.38	4.502	24.50	61.91
2.00	2200.000	2000.128	1.890	358.375	4.502	4.340	6.231	498.63	5.724	25.72	62.37
2.25	2000.128	1812.744	1.716	498.635	5.724	5.500	7.215	609.15	6.549	26.55	62.61
2.50	1812.744	1637.445	1.553	609.153	6.549	6.275	7.827	680.65	7.017	27.02	62.72
2.75	1637.445	1473.828	1.400	680.654	7.017	6.711	8.111	714.53	7.221	27.22	62.77
3.00	1473.828	1321.490	1.258	714.526	7.221	6.900	8.157	720.14	7.254	27.25	62.78
3.25	1321.490	1180.029	1.126	720.135	7.254	6.930	8.055	707.87	7.182	27.18	62.76
3.50	1180.029	1049.042	1.003	707.875	7.182	6.863	7.866	685.33	7.046	27.05	62.73
3.75	1049.042	928.125	0.890	685.326	7.046	6.737	7.627	657.05	6.868	26.87	62.69
4.00	928.125	816.876	0.785	657.052	6.868	6.572	7.358	625.59	6.661	26.66	62.64
4.25	816.876	714.893	0.689	625.586	6.661	6.379	7.069	592.30	6.431	26.43	62.58
4.50	714.893	621.771	0.601	592.304	6.431	6.164	6.766	557.97	6.182	26.18	62.51
4.75	621.771	537.109	0.521	557.966	6.182	5.931	6.452	523.01	5.916	25.92	62.43
5.00	537.109	460.504	0.449	523.007	5.916	5.681	6.130	487.69	5.636	25.64	62.34
5.25	460.504	391.553	0.383	487.694	5.636	5.416	5.800	452.21	5.341	25.34	62.24
5.50	391.553	329.852	0.325	452.214	5.341	5.138	5.462	416.72	5.034	25.03	62.13
5.75	329.852	275.000	0.272	416.723	5.034	4.847	5.119	381.38	4.716	24.72	62.00
6.00	275.000	226.593	0.226	381.377	4.716	4.544	4.770	346.36	4.388	24.39	61.87

Tableau 44 (suite)

T (hr)	I ₁ (m ³ /s)	I ₂	(I ₁ + I ₂) × Δt/2 (Hm ³)	O ₁ (m ³ /s)	S ₁	S ₁ - O ₁ × Δt/2 (Hm ³)	S ₂ + O ₂ × Δt/2	O ₂ (m ³ /s)	S ₂ (Hm ³)	C	Z (Eq.17) (m)
6.25	226.593	184.229	0.185	346.356	4.388	4.232	4.417	311.88	4.053	24.05	61.72
6.50	184.229	147.504	0.149	311.877	4.053	3.913	4.062	278.21	3.715	23.71	61.56
6.75	147.504	116.016	0.119	278.211	3.715	3.590	3.708	245.69	3.377	23.38	61.39
7.00	116.016	89.362	0.092	245.685	3.377	3.267	3.359	214.68	3.045	23.05	61.21
7.25	89.362	67.139	0.070	214.683	3.045	2.949	3.019	185.62	2.726	22.73	61.04
7.50	67.139	48.944	0.052	185.625	2.726	2.642	2.695	158.94	2.425	22.42	60.86
7.75	48.944	34.375	0.037	158.941	2.425	2.353	2.391	135.02	2.149	22.15	60.70
8.00	34.375	23.029	0.026	135.023	2.149	2.088	2.114	114.17	1.904	21.90	60.55
8.25	23.029	14.502	0.017	114.171	1.904	1.853	1.870	96.54	1.693	21.69	60.41
8.50	14.502	8.392	0.010	96.540	1.693	1.650	1.660	82.11	1.519	21.52	60.30
8.75	8.392	4.297	0.006	82.107	1.519	1.482	1.487	70.67	1.379	21.38	60.20
9.00	4.297	1.813	0.003	70.674	1.379	1.347	1.350	61.90	1.271	21.27	60.13
9.25	1.813	0.537	0.001	61.903	1.271	1.243	1.244	55.37	1.189	21.19	60.07
9.50	0.537	0.067	0.000	55.371	1.189	1.165	1.165	50.63	1.130	21.13	60.03
9.75	0.067	0.000	0.000	50.634	1.130	1.108	1.108	47.27	1.088	21.09	60.00
10.00	0.000	0.000	0.000	47.275	1.088	1.067	1.067	44.93	1.059	21.06	59.98

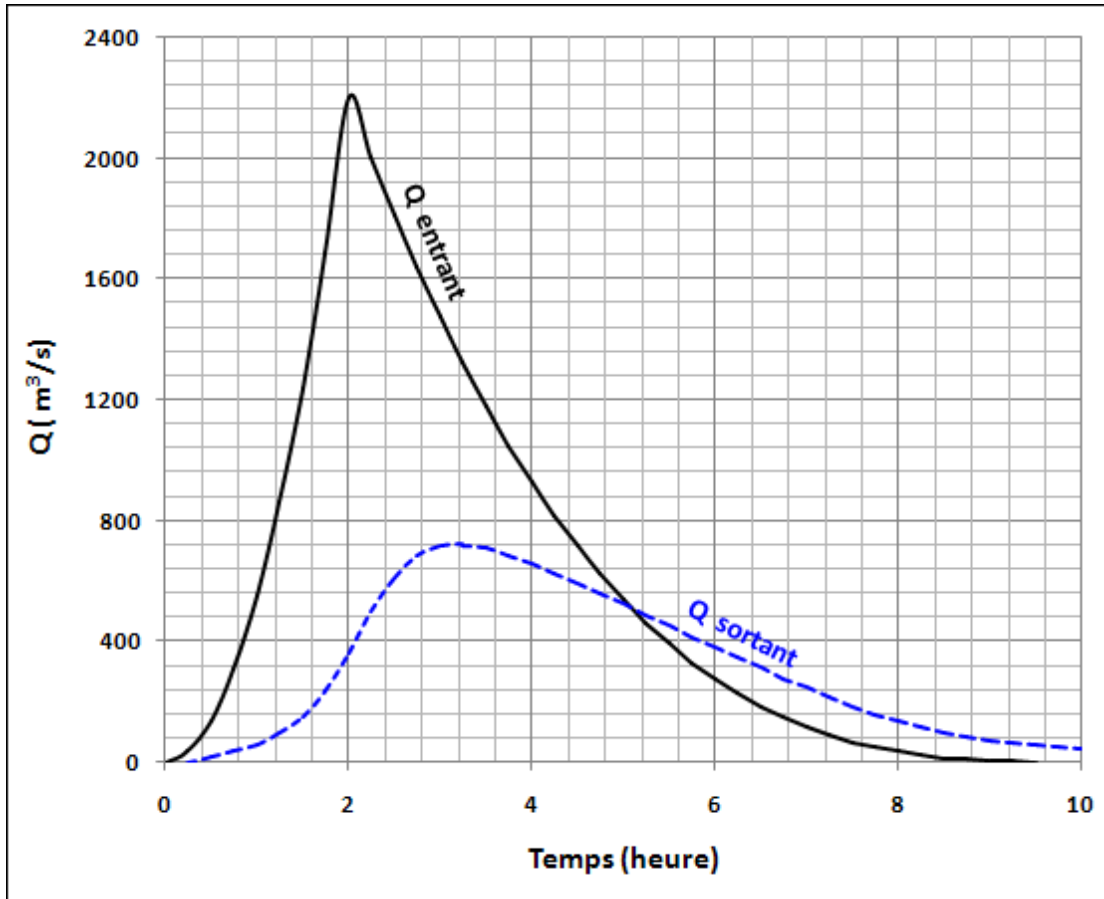


Fig. 25. Laminage de la crue déca-millennale par le réservoir de l'oued Zhor.

A l'issue du laminage, on s'aperçoit que le débit de la crue déca-millennale est fortement abattu; il passe de $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'entrée du barrage à $720 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'aval de l'évacuateur et plus ou moins retardé (1.25 h). Le niveau des plus hautes eaux (NPHE) est ainsi estimé à 62.78 m/NGA.

Enfin, le tableau ci dessous résume les niveaux d'eau dans la retenue après le laminage pour les différents scénarii.

5. Estimation de la revanche

Le calcul du niveau des plus hautes eaux (PHE) étant effectué, on adopte pour la crête du barrage une cote supérieure. La différence entre ces deux cotes est appelé *revanche*. Cette revanche est essentiellement destinée à éviter la submersion par les vagues, mais joue en outre un rôle essentiel dans la sécurité vis-à-vis des crues. Elle permet également au barrage de résister à une crue "dite crue de sûreté", supérieure à la crue de projet. C'est par définition la crue la plus pénalisante que pourra subir l'ouvrage sans mettre en cause sa pérennité.

Tableau 45. Résultats du calcul du laminage des crues par le barrage projeté sur l'oued Zhor.

C (Hm ³)	NNE (m)	Débit de projet I (m ³ /s)			Q _{max} évacué O (m ³ /s)			Cote au NPHE (m/NGA)			Coefficient d'abattement O/I (%)		
		I ₁₀	I ₂₀	I ₅₀	O ₁₀	O ₂₀	O ₅₀	O ₁₀	O ₂₀	O ₅₀	O ₁₀ /I ₁₀	O ₂₀ /I ₂₀	O ₅₀ /I ₅₀
Capacité faible	36.43	180	255	380	50.61	73.20	125.61	37.26	37.48	37.99	28	29	33
					45.15	60.78	93.61	41.29	41.46	41.80	25	24	25
					43.60	56.34	81.54	45.00	45.14	45.42	24	22	21
Capacité modérée	47.37	500	640	880	O ₁₀₀	O ₂₀₀	O ₅₀₀	O ₁₀₀	O ₂₀₀	O ₅₀₀	O ₁₀₀ /I ₁₀₀	O ₂₀₀ /I ₂₀₀	O ₅₀₀ /I ₅₀₀
					139.96	203.11	362.62	49.65	50.38	51.98	28	32	41
					131.64	186.60	329.13	52.55	53.19	54.64	26	29	37
Capacité importante	54.29	1100	1800	2200	110.91	146.94	226.25	56.03	56.41	57.16	22	23	26
					O ₁₀₀₀	O ₅₀₀₀	O ₁₀₀₀₀	O ₁₀₀₀	O ₅₀₀₀	O ₁₀₀₀₀	O ₁₀₀₀ /I ₁₀₀₀	O ₅₀₀₀ /I ₅₀₀₀	O ₁₀₀₀₀ /I ₁₀₀₀₀
					304.14	595.54	720.14	61.67	62.59	62.78	28	33	33
Capacité importante	63.03	1100	1800	2200	292.90	572.55	704.34	63.02	62.86	62.65	27	32	32
					256.11	504.94	634.82	62.40	61.34	60.73	23	28	29

Dans le cas d'un évacuateur à seuil libre d'un barrage en remblai, la crue de sûreté sera la crue qui provoque la surverse, sous réserve qu'elle ne provoque pas aussi un débordement en un point du coursier de l'évacuateur dans une zone dangereuse pour le remblai.

La principale cause de la formation des vagues dans les retenues d'eau est le vent. À la surface de l'eau, le vent s'écoule de façon turbulente et provoque l'apparition d'ondulations plus ou moins marquées en fonction de sa force. En effet, aux échelles locales, le champ des pressions n'est pas uniforme. Ces intermittences produisent des vagues dont l'amplitude et la longueur d'onde dépendent de la force induite par la vitesse du vent et de la surface du lac. Ces vagues peuvent se propager en direction du barrage.

Un barrage en remblai ne supporte pas la surverse, ni le déferlement de vague par-delà la crête. La crête et le talus aval seraient alors assez rapidement érodés, le phénomène pouvant aller jusqu'à l'ouverture d'une brèche. Le risque de surverse est circonscrit par un dimensionnement adéquat de l'évacuateur de crues de façon à ce que le niveau des plus hautes eaux (NPHE) reste largement en déca-millennale de celui de la crête du remblai. Le risque de déferlement de vagues doit être prévu par l'adoption d'une revanche suffisante entre le NPHE et la cote de la crête. Connaissant la vitesse et la direction du vent, on estime la hauteur des vagues lors de la réflexion sur le parement qui permet de fixer la revanche minimale nécessaire.

Il existe plusieurs formules basées notamment sur la vitesse du vent U et la longueur du plan d'eau (ou fetch F), qui permettent d'abord de calculer la hauteur des vagues h (en considérant la direction la plus défavorable pour le couple F, U (*formule de Bretschneider*, équation de Gaillard)).

Le groupe de travail du CFGB sur les petits barrages propose de retenir la formule de Bretschneider. La vitesse du vent peut être choisie comme étant celle du vent trentenaire de durée une heure. Le fetch est la longueur du plan d'eau dans le sens des vents dominants.

Ces formules sont applicables pour tous les types de barrage en remblai, qu'il s'agisse de terre homogène, d'enrochements ou autres.

A défaut des mesures de la vitesse du vent à l'échelle horaire, le CFGB préconise une valeur minimale de la revanche R en remblai (sécurité aussi vis-à-vis des PHE, du tassement, d'une fissuration amont-aval de la crête) en fonction de $H^2\sqrt{C}$. Ce minimum est calculé par :

$$R_{min} = 0.25 \times (H^2\sqrt{C})^{0.25} \quad [44]$$

où R_{min} est exprimé en mètres.

Les résultats du calcul de la revanche dans le cas du barrage projeté sur l'oued Zhor sont consignés au tableau suivant.

Tableau 46. Revanche minimale en remblai

Capacité (Hm ³)	Altitude (m/NGA)	H (m)	$H^2\sqrt{C}$	R_{min} (m)	$R_{adoptée}$ (m)
4	36.43	15.43	476.17	1.17	1
6	40.4	19.4	921.89	1.38	1
8	44.04	23.04	1501.45	1.56	1.5
10	47.37	26.37	2198.97	1.71	2
12	50.38	29.38	2990.16	1.85	2
15	54.29	33.29	4292.13	2.02	2
20	59.2	38.2	6525.92	2.25	2.5
25	62.12	41.12	8454.27	2.40	2.5
30	63.03	42.03	9675.63	2.48	2.5

Enfin, les caractéristiques de la retenue d'eau pour les différents scenarii (capacités et affectations) sont récapitulées au tableau suivant.

Tableau 47. Tableau récapitulatif des caractéristiques du barrage projeté pour différents scénarii.

a- Conditions normales d'exploitation	Capacité au NNE (Hm ³)									
	4	6	8	10	12	15	20	25	30	
Côte lit de l'oued (m)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
Niveau minimum d'exploitation (m)	29.42	30.34	31.25	32.15	33.03	34.33	36.43	62.12	63.03	
Capacité morte (Hm ³)	0.8	1.2	1.6	2	2.4	3	4	5	6	
Aire au NME (ha)	19.36	22.49	27.10	28.62	31.62	36.04	43.19	50.07	56.68	
Niveau normal d'exploitation (m)	36.43	40.40	44.04	47.37	50.38	54.29	59.20	38.46	40.40	
Capacité utile (Hm ³)	3.2	4.8	6.4	8	9.6	12	16	20	24	
Aire au NNE (ha)	43.19	56.68	69.11	80.46	90.74	104.15	121.14	131.43	135.02	
Durée de vie de la retenue (année)	30	40	50	60	70	90	100	100	100	

b- Conditions en périodes de crue	Capacité au NNE (Hm ³)			Capacité au NNE (Hm ³)			Capacité au NNE (Hm ³)			
	T (années)	4	6	8	10	12	15	20	25	30
Niveau des plus hautes eaux (NPHE) (m)	10	37.26	41.29	45.00	49.65	52.55	56.03	1000	61.67	63.02
	20	37.48	41.46	45.14	50.38	53.19	56.41	5000	62.59	62.86
	50	37.99	41.80	45.42	51.98	54.64	57.16	10000	62.78	62.65
Aire au NPHE (ha)	10	46.004	59.718	72.357	88.26	98.203	110.17	1000	129.82	134.89
	20	46.763	60.292	72.851	90.746	100.38	111.46	5000	133.16	134.64
	50	48.486	61.47	73.805	96.239	105.38	114.07	10000	133.88	134.05
Altitude en crête Z _{crête} (m)	10	38.26	38.48	38.99	51.65	54.55	58.03	1000	64.17	65.52
	20	42.29	42.46	42.80	52.38	55.19	58.41	5000	65.09	65.36
	50	46.50	46.64	46.92	53.98	56.64	59.16	10000	65.28	65.15
Revanche (m)		1	1	1.5	2	2	2		2.5	2.5
Hauteur de la digue (m)	10	17.26	21.29	25.5	30.65	33.55	37.03	1000	43.17	44.52
	20	17.48	21.46	25.64	31.38	34.19	37.41	5000	44.09	44.36
	50	17.99	21.8	25.92	32.98	35.64	38.16	10000	44.28	44.15

CONCLUSION GENERALE

Le bassin de l'oued Zhor est situé au Nord-Est de l'Algérie. Il fait partie des Côtiers Constantinois Centre. Le cours d'eau du même nom, long de 17 Km (au site du barrage projeté) draine un bassin versant plus moins compact de 96 Km² dont les versants sont, en grande partie, exposés vers le SE et le SO. Le bassin se démarque par un relief fort à très fort (dénivelée totale : 1160 m) à pentes raides à très raides (pente moyenne : 437 m/km). Du point de vue hydrographie, le bassin se caractérise par un réseau assez dense et hiérarchisé aux affluents courts et nombreux et un temps de concentration de l'ordre de 2 heures.

Sur le plan hydro-climatologique, le bassin versant de l'oued Zhor est soumis à un climat méditerranéen caractérisé par un hiver doux à très doux et un été sec et chaud. La pluie annuelle moyenne est de l'ordre de 850 mm, alors que la température moyenne annuelle de 19°C. Ces conditions climatiques sont favorables au développement d'un couvert végétal dense et diversifiés (forets) poussant sur les produits de l'altération d'un socle en grande partie métamorphique (gneiss, amphibolites, métapélites, ...) et occupant presque la totalité du bassin versant (92% de la surface). En termes de moyennes, Près de 51% des pluies annuelles profitent à l'évapotranspiration réelle, 25% à l'infiltration et le stockage dans les dépressions et 24% au ruissellement.

Dans la vallée de l'Oued Zhor, les ressources en eaux souterraines sont très limitées et sont représentées par une nappe alluviale restreinte dont la réserve totale est estimée à 10 Hm³. Ces eaux, exploitées par deux forages, sont de bonne qualité du point de vue minéralisation. La zone d'étude est caractérisée, par contre, par un potentiel hydrique superficiel très important dont l'oued Zhor est le principal drain à écoulement permanent. L'apport moyen, très variable selon l'année et la saison, est évalué à 38 Hm³/an. Pour la période d'observations (46 ans), cet apport varie entre 20 et 50 Hm³/an dans 50% du temps. L'apport décennal s'échelonne entre 15 et 70 Hm³/an en années sèche et humide, respectivement.

Devant un accroissement démographique et des activités agricoles de plus en plus mécanisées, les besoins en eau futurs sont estimés à 26 Hm³/an à l'horizon 2040. Pour répondre à ces besoins (20 Hm³/an pour l'AEP et 6 Hm³/an pour l'irrigation), la régularisation des eaux de l'oued Zhor par la construction d'un barrage s'impose. Le barrage proposé, à usage multiple (approvisionnement en eau et écrêtement des crues), se caractérise par une digue de 43 à 44

de haut, d'une capacité de 20 Hm³ et d'une retenue de 120 hectares au niveau normal d'exploitation et 134 ha au niveau des plus hautes eaux. Les autres caractéristiques sont récapitulées ci dessous.

Tableau 48. Caractéristiques du barrage projeté pour une capacité de 20 Hm³

a- Conditions normales d'exploitation		Capacité au NNE (20Hm³)
Côte lit de l'oued (m)		21
Niveau minimum d'exploitation (m)		36.43
Capacité morte (Hm ³)		4.0
Aire au NME (ha)		43.19
Niveau normal d'exploitation (m)		59.20
Capacité utile (Hm ³)		16.0
Aire au NNE (ha)		121.14
Durée de vie économique de la retenue (années)		100
Taux de satisfaction (%)		90
b- Conditions en périodes de crue (Evacuateur à seuil déversant rectangulaire de 30 m de long)		
	Période de récurrence (années)	
Niveau des plus hautes eaux: NPHE (m)	1000	61.67
	5000	62.59
	10000	62.78
Aire au NPHE (ha)	1000	129.82
	5000	133.16
	10000	133.88
Altitude en crête $Z_{\text{crête}}$ (m)	1000	64.17
	5000	65.09
	10000	65.28
Revanche (m)		2.5
Hauteur de la digue (m)	1000	43.17
	5000	44.09
	10000	44.28
Longueur en crête (m)		≈ 225

Au terme de ce travail, il faut noter que la construction du barrage modifie le comportement du système hydraulique et hydrogéologique dans le bassin de l'oued Zhor à l'exutoire en

mer : possibilité d'intrusion marine dans la nappe aquifère et débordement des eaux retenues dans le barrage au niveau du col d'El Khemis.

Il est possible que la création du barrage modifierait la relation Oued-Nappe à l'aval qui provoquerait une inversion du gradient hydraulique qui aurait pour conséquence l'avancement du biseau salé si le débit de soutien est altéré, notamment en basses eaux. Pendant les hautes, eaux exceptionnelles, le rehaussement de la ligne d'eau causé par la digue principale aurait pour conséquence le débordement de l'eau au niveau du col d'El Khemis. Une digue secondaire serait nécessaire pour réduire ce risque; une carte topographique du site à grande échelle déterminerait avec plus de précision la hauteur et la longueur de cette digue (Fig. 26).



Fig. 26. Carte schématique de l'aménagement proposé.

LISTE DES REFERENCES

ANB, 2004. Hydrologie appliquée : Procédures méthodologiques pour l'exécution d'études des retenues collinaires et petits barrages, Unité Retenues Collinaires, Alger, 103 p.

BENRABAH SAMIA, 2006. Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (Essai de synthèse). Bilan-Gestion-Perspective. Mémoire de Magister. Faculté des sciences de la terre, Université Badji Mokhtar-Annaba.

BG, 2008. Mission 5a. Avant Projet Détaillé - Barrage Zhor ,104 p.

BOULLIN, J.P., 1977. Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El-milia (Algérie). Thèse Doctorat. Université. P. et M. Curie.

BRUNE G.M., 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 34, n°3, pp. 407 - 418.

CARLIER M., 1972. *Hydraulique générale et appliquée*. Eyrolles, Paris, 582 p.

CHOW V.T., 1959, *Open channel hydraulics*. Mc Graw Hill, New York, 680 p.

CHOW V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W. ,1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 537 p.

COMBY J., 2001. Les problèmes d'échelles dans l'évaluation spatiale et temporelle des précipitations de fortes intensités. *Actes du Colloque International « Risques et territoires »*, Lyon, 16-18 mai, pp. 213-226.

DARLOT A., *Retenues collinaires*. Ministère de l'agriculture, Direction Générale du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole, Service de l'Hydraulique, Section Technique Centrale des Travaux d'Hydraulique, 130 p.

DEGOUTTE G. (Coord),1997. *Petits Barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi*. Comité Français des Barrages et Réservoirs, Editions Cemagref, 173 p.

DURAND DELGA M., 1980. La Méditerranée occidentale, étape de sa genèse et problèmes structuraux. Mem.H. Ser. Soc.Geol. France. N° 10, pp 204-224.

ENVICONSULT, 2013. Etude de classement et d'aménagement en aire protégée du Cap Bougaroune-Oued Zhor Wilaya de Skikda, 120 p.

FRANCOU J. et A. RODIER, 1967. *Essai de classification des crues maximales observées dans le monde*. Cahiers. ORSTOM, série Hydrologie, Volume IV, N° 3, pp. 19-46.

- GOUASMIA A. et HAZAZ K., 2001. Note synthétique sur les données pluviométriques dans la région de Collo. Mémoire d'ingénieur, Faculté des sciences de la terre et des sciences agronomiques, Université Badji Mokhtar-Annaba, 22 p.
- KIRPICH Z.P., 1940. *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. Civil Engineering, American Society of Civil Engineers*, vol. 10 (6), p 362.
- KROOK, J.O., 1982. Volume régularisable par les barrages de Hammam Meskhoutine et Bordj Sabath sur l'oued Bouhamdane. Rapport DEMRH, 10 p.
- LOUKAS A. and M. Quik, 1996. *Physically-based estimation of lag time for forested mountainous watersheds. Hydrological Sciences Journal, Vol. 41(1)*, pp 1-19.
- MAHDJOURB Y., 1991. Cinématique des déformations et évolution P-T anté-alpines en Petite Kabylie (Algérie Nord Orientale). Thèse Doctorat d'Etat, USTHB, Alger, 190 p
- MCCUEN R.H., 1982. *A guide to hydrologic analysis using SCS methods*. Prentice Hall Inc, New Jersey, 145 p.
- MUSY A., 1998. *Hydrologie appliquée.*, Edition H*G*A, Bucarest, 368 p.
- NEE-SPA, 2012. Etude d'avant projet détaillé de l'alimentation en eau potable à partir du barrage Zhor (Wilaya de Skikda).
- OUARDA , T. B. M. J., GINGRAS, H., BOBEE, B., LEMONIER, M., 2001. Synthèse des méthodes simples de régionalisation, INRS-Eau, rapport de recherche, Québec, pp. 13 – 14.
- RAOULT, J.F., 1974. Géologie du Centre de la Chaîne Numidique (Nord du constantinois Algérien). Société géologique de France, Paris pp. 121-163.
- RICHARD , 1997. Crues torrentielles ou crues de torrents. Risque infos n°8. Cemagref.
- ROLLEY R., H. KREITMANN, J. DUNGLAS, A. PIERREJEAN et L. ROLLAND, 1977. Techniques des barrages en aménagement rural. Ministère de l'Agriculture, Groupe de Travail Permanent pour les Barrages en Aménagement Rural, Paris, France, 325 p.
- ROUSE H., 1946. *Elementary mechanics of fluids* Dover Publications Inc., New York, 376 p.
- TESCULT, 2006. Etude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'avant projet détaillé (lots N°s 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation (lots N°s 5 à 6). Phase IV : Avant projet détaillé et dossier d'appel d'offres. Lot N°2 : Barrages Zhor, Boussieba, Irdjana, Bouadjoul et Tabellout, version définitive, 302 p.

UPEGUI J.J.V., GUTIERREZ A.B., 2011. Estimation of the time of concentration and the Lag time at San Luis Creek Basin, Manizales. *Dyna*, Año 78, N° 165, pp. 58 – 71.

VILA J. M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, 2 volumes, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) ,665 p.

VOSKRESENSKY K. P., 1967. Computation principles of flood hydrographs. *Proceedings of the Leningrad Symposium on Floods and their computation*, Volume 1. pp. 213-219.

WILDI W., 1983. La chaîne tellorifaire (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure,Stratigraphie, évolution du Trias au miocène. *Rev. géol. Dyn, Geogra.Phys.* Vol 24, pp 201-297.

ZAVOIANU I., 1985. Morphometry of Drainage Basins. *Developments in water science* N°20, Elsevier, New York, 238 p.

ANNEXES

Annexe 1. Bilans évaporométriques de thornthwaite (mm)

Station de Afflassane (Latitude : 36°N ; RFU : 100 mm)

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	24.0	10.7	1.03	106.5	36.2	-70.2	-0.7	0.0	0.0	36.2	70.2	0.0
O	22.3	9.6	0.97	86.8	59.0	-27.7	-0.3	0.0	0.0	59.0	27.7	0.0
N	17.1	6.4	0.86	44.7	121.4	76.6	1.7	76.6	76.6	44.7	0.0	0.0
D	13.9	4.7	0.81	27.8	143.7	115.8	4.2	23.4	100.0	27.8	0.0	92.5
J	12.4	3.9	0.87	23.4	113.8	90.4	3.9	0.0	100.0	23.4	0.0	90.4
F	12.8	4.1	0.85	24.5	102.1	77.6	3.2	0.0	100.0	24.5	0.0	77.6
M	15.0	5.3	1.03	40.9	84.6	43.8	1.1	0.0	100.0	40.9	0.0	43.8
A	17.4	6.6	1.10	59.2	58.9	-0.2	0.0	-0.2	99.8	59.2	0.0	0.0
M	20.8	8.7	1.21	94.0	30.3	-63.7	-0.7	-63.7	36.0	94.0	0.0	0.0
J	23.6	10.5	1.22	122.3	8.2	-114.1	-0.9	-36.0	0.0	44.2	78.1	0.0
J	26.0	12.1	1.24	151.2	2.3	-148.9	-1.0	0.0	0.0	2.3	148.9	0.0
A	27.0	12.9	1.16	153.0	5.4	-147.6	-1.0	0.0	0.0	5.4	147.6	0.0
Année		95.6		934.4	766.0	-168.4				461.8	472.6	304.2

Annexe 1 . (Suite)

Station d'El Milia (Latitude : 36°N ; RFU : 100 mm)

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	24.6	11.2	1.03	113.6	40.3	-73.3	-0.6	0.0	0.0	40.3	73.3	0.0
O	19.1	7.6	0.97	64.6	89.8	25.2	0.4	25.2	25.2	64.6	0.0	0.0
N	16.1	5.9	0.86	40.7	114.2	73.5	1.8	73.5	98.7	40.7	0.0	0.0
D	11.0	3.3	0.81	17.9	153.7	135.7	7.6	1.3	100.0	17.9	0.0	134.4
J	10.6	3.1	0.87	17.9	129.3	111.5	6.2	0.0	100.0	17.9	0.0	111.5
F	11.5	3.5	0.85	20.6	110.8	90.2	4.4	0.0	100.0	20.6	0.0	90.2
M	13.6	4.5	1.03	34.8	95.3	60.5	1.7	0.0	100.0	34.8	0.0	60.5
A	16.5	6.1	1.10	54.7	81.2	26.5	0.5	0.0	100.0	54.7	0.0	26.5
M	19.3	7.7	1.21	82.2	40.8	-41.4	-0.5	-41.4	58.6	82.2	0.0	0.0
J	24.3	11.0	1.22	131.5	11.9	-119.6	-0.9	-58.6	0.0	70.5	61.0	0.0
J	27.6	13.3	1.24	172.3	2.3	-170.0	-1.0	0.0	0.0	2.3	170.0	0.0
A	31.5	16.2	1.16	210.0	7.9	-202.1	-1.0	0.0	0.0	7.9	202.1	0.0
Année		93.4		960.9	877.5	-83.4				454.5	506.4	423.0

Annexe 1. (Suite)

Station de Settara (Latitude : 36°N ; RFU : 100 mm)

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	24.6	11.2	1.03	113.6	42.4	-71.2	-0.6	0.0	0.0	42.4	71.2	0.0
O	19.1	7.6	0.97	64.6	81.9	17.2	0.3	17.2	17.2	64.6	0.0	0.0
N	16.1	5.9	0.86	40.7	113.7	73.0	1.8	73.0	90.2	40.7	0.0	0.0
D	11.0	3.3	0.81	17.9	156.8	138.9	7.7	9.8	100.0	17.9	0.0	129.1
J	10.6	3.1	0.87	17.9	131.1	113.2	6.3	0.0	100.0	17.9	0.0	113.2
F	11.5	3.5	0.85	20.6	121.4	100.8	4.9	0.0	100.0	20.6	0.0	100.8
M	13.6	4.5	1.03	34.8	103.3	68.5	2.0	0.0	100.0	34.8	0.0	68.5
A	16.5	6.1	1.10	54.7	85.8	31.0	0.6	0.0	100.0	54.7	0.0	31.0
M	19.3	7.7	1.21	82.2	46.9	-35.4	-0.4	-35.4	64.6	82.2	0.0	0.0
J	24.3	11.0	1.22	131.5	13.3	-118.2	-0.9	-64.6	0.0	77.9	53.6	0.0
J	27.6	13.3	1.24	172.3	3.0	-169.3	-1.0	0.0	0.0	3.0	169.3	0.0
A	31.5	16.2	1.16	210.0	6.3	-203.7	-1.0	0.0	0.0	6.3	203.7	0.0
Année		93.4		960.9	905.8	-55.1				463.1	497.8	442.6

Annexe 1. (Suite)

La région de Oued Zhor (Latitude : 36°N ; RFU : 100 mm)

Période	T _p (°C)	i	K	ETP _c (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
S	24.0	10.7	1.03	106.5	39.6	-66.8	-0.6	0.0	0.0	39.6	66.8	0.0
O	22.3	9.6	0.97	86.8	76.9	-9.9	-0.1	0.0	0.0	76.9	9.9	0.0
N	17.1	6.4	0.86	44.7	116.4	71.7	1.6	71.7	71.7	44.7	0.0	0.0
D	13.9	4.7	0.81	27.8	151.4	123.6	4.4	28.3	100.0	27.8	0.0	95.2
J	12.4	3.9	0.87	23.4	124.7	101.3	4.3	0.0	100.0	23.4	0.0	101.3
F	12.8	4.1	0.85	24.5	111.4	86.9	3.5	0.0	100.0	24.5	0.0	86.9
M	15.0	5.3	1.03	40.9	94.4	53.6	1.3	0.0	100.0	40.9	0.0	53.6
A	17.4	6.6	1.10	59.2	75.3	16.1	0.3	0.0	100.0	59.2	0.0	16.1
M	20.8	8.7	1.21	94.0	39.3	-54.7	-0.6	-54.7	45.3	94.0	0.0	0.0
J	23.6	10.5	1.22	122.3	11.1	-111.2	-0.9	-45.3	0.0	56.4	65.9	0.0
J	26.0	12.1	1.24	151.2	2.5	-148.7	-1.0	0.0	0.0	2.5	148.7	0.0
A	27.0	12.9	1.16	153.0	6.5	-146.5	-1.0	0.0	0.0	6.5	146.5	0.0
Année		95.6		934.4	849.7	-84.6				496.6	437.7	353.1

Annexe 2. Apports en eau annuels et mensuels de l'oued Zhor au site du barrage.

Année	Mois	Sép	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
	%	5.1	4.8	7.9	15.9	14.7	14.1	20.6	11.4	02.9	02.2	0.8	0.8
Annuel	Mensuel												
1967	43.64	2.240	2.088	3.454	6.957	6.414	6.173	9.000	4.981	1.279	0.962	0.364	0.344
1968	29.89	1.534	1.430	2.365	4.764	4.392	4.227	6.163	3.411	0.876	0.659	0.249	0.236
1969	72.31	3.712	3.460	5.722	11.527	10.628	10.229	14.912	8.253	2.119	1.595	0.604	0.570
1970	53.10	2.725	2.541	4.202	8.464	7.804	7.511	10.949	6.060	1.556	1.171	0.443	0.419
1971	77.75	3.991	3.720	6.152	12.393	11.427	10.998	16.033	8.873	2.278	1.714	0.649	0.613
1972	42.26	2.169	2.022	3.344	6.736	6.211	5.978	8.715	4.823	1.238	0.932	0.353	0.333
1973	18.63	0.956	0.892	1.474	2.970	2.738	2.635	3.842	2.126	0.546	0.411	0.156	0.147
1974	14.90	0.765	0.713	1.179	2.375	2.190	2.107	3.072	1.700	0.437	0.329	0.124	0.118
1975	24.57	1.261	1.176	1.944	3.916	3.611	3.475	5.066	2.804	0.720	0.542	0.205	0.194
1976	27.37	1.405	1.310	2.166	4.362	4.022	3.871	5.643	3.123	0.802	0.603	0.228	0.216
1977	14.79	0.759	0.708	1.171	2.358	2.174	2.093	3.051	1.688	0.433	0.326	0.123	0.117
1978	53.08	2.724	2.540	4.200	8.461	7.801	7.508	10.945	6.058	1.555	1.170	0.443	0.419
1979	26.95	1.383	1.290	2.133	4.296	3.961	3.812	5.557	3.076	0.790	0.594	0.225	0.213
1980	63.68	3.268	3.047	5.039	10.150	9.359	9.007	13.131	7.267	1.866	1.404	0.532	0.502
1981	28.38	1.457	1.358	2.246	4.524	4.172	4.015	5.853	3.239	0.832	0.626	0.237	0.224
1982	16.45	0.844	0.787	1.302	2.623	2.418	2.327	3.393	1.878	0.482	0.363	0.137	0.130
1983	28.19	1.447	1.349	2.230	4.493	4.143	3.987	5.812	3.217	0.826	0.622	0.235	0.222
1984	57.12	2.932	2.733	4.520	9.104	8.394	8.079	11.778	6.518	1.674	1.259	0.477	0.451
1985	18.69	0.959	0.894	1.479	2.978	2.746	2.643	3.853	2.132	0.548	0.412	0.156	0.147
1986	38.24	1.963	1.830	3.026	6.095	5.620	5.409	7.885	4.364	1.120	0.843	0.319	0.302
1987	8.20	0.421	0.392	0.649	1.307	1.205	1.160	1.691	0.936	0.240	0.181	0.068	0.065
1988	23.02	1.182	1.102	1.822	3.670	3.383	3.256	4.747	2.627	0.675	0.508	0.192	0.182

Annexe 2. (Suite)

Année	Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
	%	5.1	4.8	7.9	15.9	14.7	14.1	20.6	11.4	02.9	02.2	0.8	0.8
	Mensuel												
1989	11.26	0.578	0.539	0.891	1.795	1.655	1.593	2.322	1.285	0.330	0.248	0.094	0.089
1990	49.33	2.532	2.360	3.903	7.862	7.250	6.977	10.172	5.629	1.445	1.088	0.412	0.389
1991	16.74	0.859	0.801	1.324	2.668	2.460	2.367	3.451	1.910	0.490	0.369	0.140	0.132
1992	20.00	1.026	0.957	1.582	3.188	2.939	2.829	4.124	2.282	0.586	0.441	0.167	0.158
1993	20.26	1.040	0.970	1.604	3.230	2.978	2.866	4.179	2.313	0.594	0.447	0.169	0.160
1994	36.21	1.858	1.732	2.865	5.771	5.321	5.121	7.466	4.132	1.061	0.798	0.302	0.286
1995	28.63	1.470	1.370	2.266	4.564	4.208	4.050	5.905	3.268	0.839	0.631	0.239	0.226
1996	10.91	0.560	0.522	0.863	1.739	1.604	1.544	2.250	1.245	0.320	0.241	0.091	0.086
1997	48.33	2.480	2.313	3.824	7.703	7.103	6.836	9.965	5.515	1.416	1.066	0.403	0.381
1998	37.47	1.923	1.793	2.965	5.972	5.507	5.300	7.726	4.276	1.098	0.826	0.313	0.296
1999	21.02	1.079	1.006	1.663	3.351	3.089	2.973	4.335	2.399	0.616	0.464	0.175	0.166
2000	26.36	1.353	1.261	2.086	4.201	3.874	3.728	5.435	3.008	0.772	0.581	0.220	0.208
2001	9.50	0.488	0.454	0.752	1.514	1.396	1.344	1.959	1.084	0.278	0.209	0.079	0.075
2002	110.41	5.667	5.283	8.737	17.599	16.227	15.618	22.767	12.600	3.235	2.435	0.922	0.871
2003	46.80	2.402	2.239	3.703	7.459	6.878	6.619	9.650	5.340	1.371	1.032	0.391	0.369
2004	101.71	5.220	4.867	8.048	16.212	14.948	14.387	20.973	11.607	2.980	2.243	0.849	0.802
2005	27.11	1.391	1.297	2.145	4.321	3.984	3.834	5.590	3.094	0.794	0.598	0.226	0.214
2006	35.75	1.835	1.711	2.829	5.699	5.254	5.057	7.372	4.080	1.048	0.788	0.298	0.282
2007	27.61	1.417	1.321	2.185	4.401	4.058	3.906	5.694	3.151	0.809	0.609	0.231	0.218
2008	50.36	2.585	2.410	3.985	8.026	7.401	7.123	10.384	5.747	1.476	1.110	0.420	0.397
2009	66.87	3.432	3.200	5.291	10.659	9.828	9.459	13.789	7.631	1.959	1.475	0.558	0.527
2010	51.99	2.668	2.488	4.114	8.287	7.641	7.354	10.721	5.933	1.523	1.146	0.434	0.410
2011	56.03	2.876	2.681	4.434	8.931	8.235	7.926	11.554	6.394	1.642	1.236	0.468	0.442
2012	48.75	2.502	2.333	3.858	7.771	7.165	6.896	10.053	5.564	1.429	1.075	0.407	0.385

Annexe 3. Données hydroclimatologiques

Année	Mois	Pluie (mm)	E (mm)	Année	Mois	Pluie (mm)	E (mm)	Année	Mois	P (mm)	E (mm)
1990-1989	9	30.8	126.0	1998-1997	9	63.6	140.1	2006-2005	9	26.9	155.1
	10	95.2	84.2		10	136.6	144.4		10	38.9	105.7
	11	92.4	64.9		11	193.7	58.1		11	123.4	70.5
	12	71.2	48.4		12	143.5	40.7		12	167.7	24.5
	1	108.1	38.5		1	60.8	55.2		1	160.3	33.7
	2	0.0	60.5		2	102.5	50.4		2	132.3	28.9
	3	47.5	75.5		3	46.4	92.2		3	74.2	96.4
	4	64.5	69.4		4	76.1	143.3		4	20.8	135.4
	5	53.0	567.4		5	126.5	126.8		5	31.0	65.2
	6	8.7	138.4		6	5.5	234.4		6	1.5	313.2
7	1.6	181.3	7	0.0	273.1	7	0.0	300.1			
8	3.7	158.0	8	17.8	240.5	8	7.0	232.9			
1991-1990	9	0.0	143.4	1999-1998	9	74.5	167.9	2007-2006	9	51.7	187.2
	10	46.7	99.7		10	38.2	120.1		10	24.7	151.6
	11	194.6	67.0		11	293.8	67.6		11	45.9	83.8
	12	337.0	61.3		12	114.8	47.6		12	258.1	31.1
	1	84.7	42.7		1	152.1	44.0		1	17.5	33.3
	2	120.0	43.4		2	84.5	44.7		2	71.7	39.6
	3	107.4	69.0		3	64.3	71.3		3	261.4	40.3
	4	38.1	59.0		4	31.8	84.9		4	71.5	49.5
	5	47.3	89.7		5	22.7	153.6		5	23.4	227.1
	6	4.8	125.0		6	0.5	187.0		6	34.4	191.3
7	0.0	302.6	7	0.0	244.0	7	1.6	276.4			
8	0.0	285.7	8	6.5	230.4	8	6.5	271.7			
1992-1991	9	16.9	193.2	2000-1999	9	27.1	226.8	2008-2007	9	45.6	176.2
	10	100.1	114.8		10	15.9	180.6		10	106.2	92.8
	11	30.8	67.1		11	154.4	75.0		11	139.3	50.2
	12	8.3	51.0		12	252.3	46.5		12	146.7	35.5
	1	84.0	46.0		1	72.3	40.2		1	21.4	21.9
	2	38.0	50.1		2	36.3	64.2		2	35.7	51.9
	3	118.4	51.7		3	25.7	104.0		3	206.4	59.3
	4	162.2	80.9		4	23.3	41.7		4	13.3	107.5
	5	66.1	133.3		5	83.6	370.6		5	67.0	36.5
	6	30.1	196.7		6	20.5	225.2		6	0.6	226.9
7	5.1	231.2	7	0.0	283.2	7	6.5	231.2			
8	0.0	284.4	8	3.8	284.4	8	0.6	248.3			

Annexe 3. (Suite)

Année	Mois	Pluie (mm)	E (mm)	Année	Mois	Pluie (mm)	E (mm)	Année	Mois	P (mm)	E (mm)
1993-1002	9	8.7	208.5	2001-2000	9	0.4	216.3	2009-2008	9	51.0	162.1
	10	75.0	135.9		10	63.4	160.8		10	28.8	106.6
	11	26.5	73.2		11	90.2	97.7		11	140.3	43.0
	12	262.7	65.8		12	121.2	81.5		12	142.2	42.4
	1	80.9	49.3		1	292.7	77.2		1	252.8	33.6
	2	71.9	40.9		2	83.6	65.3		2	102.5	33.1
	3	82.3	81.8		3	36.5	162.1		3	82.2	50.7
	4	55.3	122.1		4	63.4	124.5		4	143.6	79.2
	5	38.6	132.7		5	23.5	149.3		5	34.0	154.2
	6	0.8	213.2		6	0.0	235.4		6	0.0	219.0
7	0.0	276.2	7	0.0	234.0	7	0.0	286.8			
8	0.0	286.3	8	1.1	261.7	8	10.9	237.0			
1994-1993	9	29.9	195.4	2002-2001	9	37.9	157.6	2010-2009	9	213.1	130.4
	10	56.5	148.7		10	4.3	148.4		10	154.1	62.6
	11	52.1	84.0		11	89.4	60.4		11	163.9	59.5
	12	194.1	55.7		12	81.1	49.9		12	134.8	40.7
	1	93.5	54.5		1	57.5	47.9		1	162.2	40.7
	2	157.9	65.7		2	97.1	53.1		2	59.4	36.6
	3	11.0	94.8		3	23.0	113.7		3	73.9	57.5
	4	97.8	105.0		4	77.8	120.9		4	36.9	84.1
	5	13.1	184.6		5	12.3	202.4		5	86.0	93.9
	6	0.0	244.8		6	4.3	232.9		6	18.4	170.3
7	0.0	322.5	7	24.6	230.5	7	0.0	240.3			
8	0.0	329.9	8	36.0	206.4	8	0.0	250.1			
1995-1994	9	55.9	221.7	2003-2002	9	59.2	162.3	2011-2010	9	43.9	191.3
	10	138.0	103.9		10	68.2	157.8		10	156.3	99.3
	11	13.6	84.1		11	260.5	67.9		11	125.0	60.2
	12	219.1	58.3		12	237.6	57.6		12	122.0	14.0
	1	195.8	50.2		1	391.6	40.7		1	90.2	32.6
	2	26.9	70.1		2	128.1	36.6		2	232.1	23.6
	3	153.0	79.6		3	34.7	84.6		3	65.8	46.8
	4	42.7	119.9		4	144.0	86.0		4	75.8	97.9
	5	3.5	198.4		5	15.6	140.6		5	59.6	116.1
	6	19.8	173.3		6	0.0	218.9		6	25.9	122.8
7	0.0	290.3	7	1.4	285.9	7	4.1	206.3			
8	4.1	244.3	8	2.5	270.0	8	0.0	277.2			

Annexe 3. (Suite)

Année	Mois	Pluie (mm)	E (mm)	Année	Mois	Pluie (mm)	E (mm)	Année	Mois	P (mm)	E (mm)
1996-1995	9	27.8	169.4	2004-2003	9	83.2	143.9	2012-2011	9	18.0	208.6
	10	24.4	107.5		10	48.9	111.2		10	180.1	86.9
	11	41.7	103.8		11	75.9	75.6		11	99.4	62.0
	12	79.0	73.4		12	262.2	32.8		12	162.5	43.5
	1	83.4	78.5		1	135.3	23.5		1	77.2	37.7
	2	308.6	51.7		2	50.5	44.0		2	281.6	23.6
	3	66.4	85.5		3	58.8	59.4		3	58.0	37.5
	4	94.4	86.4		4	104.1	73.1		4	128.3	46.0
	5	50.3	119.9		5	76.0	117.5		5	3.5	110.0
	6	19.6	172.1		6	64.9	188.4		6	0.0	196.5
7	0.6	256.0	7	0.0	279.0	7	0.0	223.7			
8	3.7	22.8	8	1.4	267.8	8	21.3	236.2			
1997-1996	9	32.0	161.7	2005-2004	9	63.1	177.4	2013-2012	9	61.4	187.5
	10	113.5	104.5		10	28.8	160.8		10	54.4	165.6
	11	65.6	98.3		11	289.7	31.4		11	74.1	55.8
	12	133.0	79.1		12	243.4	23.4		12	98.2	59.5
	1	68.4	78.6		1	223.4	22.3		1	198.2	47.9
	2	21.9	57.4		2	216.7	28.1		2	234.4	22.1
	3	35.0	85.1		3	90.3	56.5		3	100.1	23.8
	4	52.8	98.0		4	132.1	84.9		4	49.7	37.8
	5	18.8	175.9		5	10.1	194.1		5	73.0	70.7
	6	24.8	214.3		6	0.0	236.5		6	3.3	73.6
7	1.8	257.7	7	1.1	269.3	7	0.0	101.6			
8	3.0	227.8	8	1.5	222.1	8	29.6	151.0			

Annexe 4. Etude de régularisation du barrage projeté sur l'oued Zhor : Capacité au NNE : 20 Hm³ - Volume mort : 4 Hm³ - Demande à satisfaire : 26 Hm³/an.

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf ¹⁴ (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)	côte en m (Eq. 17)
								20				
89-90:	9	30.833	126.000	2.140	-0.095	-0.115	-1.677	18.323			121.140	59.200
	10	95.167	84.200	1.780	0.011	0.013	-1.228	17.094			116.187	57.774
	11	92.433	64.900	1.600	0.028	0.031	-0.678	16.416			112.082	56.587
	12	71.167	48.400	1.600	0.023	0.025	0.220	16.636			109.643	55.880
	1	108.133	38.500	1.600	0.070	0.077	0.132	16.768			110.447	56.114
	2	0.000	60.500	1.600	-0.061	-0.067	-0.074	16.694			110.924	56.252
	3	47.467	75.500	1.840	-0.028	-0.031	0.451	17.145			110.657	56.174
	4	64.533	69.400	2.200	-0.005	-0.005	-0.920	16.225			112.260	56.639
	5	52.967	567.400	2.700	-0.514	-0.560	-2.930	13.294			108.931	55.674
	6	8.700	138.400	2.940	-0.130	-0.126	-2.817	10.477			96.822	52.151
	7	1.633	181.300	3.060	-0.180	-0.149	-3.115	7.362			83.010	48.116
	8	3.667	158.000	2.940	-0.154	-0.101	-2.952	4.410			65.261	42.916
90-91:	9	0.000	143.400	2.532	-0.143	-0.066	0.326	4.736			46.043	37.271
	10	46.667	99.700	1.780	-0.053	-0.026	0.555	5.291			48.278	37.928
	11	194.633	67.000	1.600	0.128	0.066	2.370	7.660			52.020	39.028
	12	337.000	61.300	1.600	0.276	0.185	6.447	14.108			67.073	43.447
	1	84.733	42.700	1.600	0.042	0.042	5.692	19.799			100.413	53.197
	2	120.000	43.400	1.600	0.077	0.092	5.470	20.000	5.269		120.587	59.041
	3	107.433	69.000	1.840	0.038	0.047	8.378	20.000	8.378		121.140	59.200
	4	38.133	59.000	2.200	-0.021	-0.025	3.404	20.000	3.404		121.140	59.200
	5	47.267	89.700	2.700	-0.042	-0.051	-1.306	18.694			117.349	58.109

¹⁴Exc : excédant d'eau à évacuer lorsque la retenue est à son NNE et Déf : déficit d'eau lorsque la retenue est à son NME.

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
6	4.767	125.000	1.088	2.940	-0.120	-0.141	-1.993	16.701			110.681	56.181	
7	0.000	302.600	0.412	3.060	-0.303	-0.335	-2.983	13.717			98.712	52.702	
8	0.000	285.700	0.389	2.940	-0.286	-0.282	-2.833	10.885			85.139	48.739	
91-92:	9	16.867	0.859	2.140	-0.176	-0.150	-1.431	9.453			77.464	46.493	
10	100.067	114.800	0.801	1.780	-0.015	-0.011	-0.991	8.463			71.830	44.842	
11	30.833	67.100	1.324	1.600	-0.036	-0.026	-0.302	8.161			70.062	44.324	
12	8.333	51.000	2.668	1.600	-0.043	-0.030	1.038	9.199			76.041	46.076	
1	84.033	46.000	2.460	1.600	0.038	0.029	0.889	10.087			80.932	47.508	
2	38.000	50.100	2.367	1.600	-0.012	-0.010	0.758	10.845			84.934	48.679	
3	118.367	51.700	3.451	1.840	0.067	0.057	1.668	12.513			93.202	51.095	
4	162.233	80.900	1.910	2.200	0.081	0.076	-0.214	12.298			92.182	50.797	
5	66.100	133.300	0.490	2.700	-0.067	-0.062	-2.272	10.027			80.605	47.412	
6	30.133	196.700	0.369	2.940	-0.167	-0.134	-2.705	7.322			65.014	42.843	
7	5.067	231.200	0.140	3.060	-0.226	-0.147	-3.067	4.254			44.964	36.954	
8	0.000	284.400	0.132	2.940	-0.284	-0.128	-2.936	4.000		-2.682	43.188	36.432	
92-93:	9	8.667	208.500	2.140	-0.200	-0.086	-1.200	4.000		-1.200	43.188	36.432	
10	75.033	135.900	0.957	1.780	-0.061	-0.026	-0.849	4.000		-0.849	43.188	36.432	
11	26.467	73.200	1.582	1.600	-0.047	-0.020	-0.038	4.000		-0.038	43.188	36.432	
12	262.667	65.800	3.188	1.600	0.197	0.085	1.673	5.673			54.548	39.771	
1	80.867	49.300	2.939	1.600	0.032	0.017	1.356	7.029			63.210	42.314	
2	71.900	40.900	2.829	1.600	0.031	0.020	1.248	8.277			70.746	44.524	
3	82.333	81.800	4.124	1.840	0.001	0.000	2.284	10.562			83.455	48.246	

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
4	55.333	122.100	2.282	2.200	-0.067	-0.056	0.027	10.588			83.594		48.287
5	38.633	132.700	0.586	2.700	-0.094	-0.079	-2.193	8.395			71.437		44.727
6	0.767	213.200	0.441	2.940	-0.212	-0.152	-2.651	5.745			55.021		39.909
7	0.000	276.200	0.167	3.060	-0.276	-0.152	-3.045	4.000		-1.300	43.188		36.432
8	0.000	286.300	0.158	2.940	-0.286	-0.124	-2.906	4.000		-2.906	43.188		36.432
93-94: 9	29.933	195.400	1.040	2.140	-0.165	-0.071	-1.171	4.000		-1.171	43.188		36.432
10	56.500	148.700	0.970	1.780	-0.092	-0.040	-0.850	4.000		-0.850	43.188		36.432
11	52.133	84.000	1.604	1.600	-0.032	-0.014	-0.010	4.000		-0.010	43.188		36.432
12	194.100	55.700	3.230	1.600	0.138	0.060	1.690	5.690			54.661		39.804
1	93.500	54.500	2.978	1.600	0.039	0.021	1.400	7.089			63.584		42.423
2	157.900	65.700	2.866	1.600	0.092	0.059	1.325	8.414			71.547		44.759
3	11.033	94.800	4.179	1.840	-0.084	-0.060	2.279	10.693			84.143		48.448
4	97.767	105.000	2.313	2.200	-0.007	-0.006	0.106	10.799			84.697		48.610
5	13.100	184.600	0.594	2.700	-0.172	-0.145	-2.251	8.548			72.325		44.987
6	0.000	244.800	0.447	2.940	-0.245	-0.177	-2.670	5.878			55.890		40.165
7	0.000	322.500	0.169	3.060	-0.323	-0.180	-3.071	4.000		-1.193	43.188		36.432
8	0.000	329.900	0.160	2.940	-0.330	-0.142	-2.923	4.000		-2.923	43.188		36.432
94-95: 9	55.867	221.700	1.858	2.140	-0.166	-0.072	-0.353	4.000		-0.353	43.188		36.432
10	138.000	103.900	1.732	1.780	0.034	0.015	-0.033	4.000		-0.033	43.188		36.432
11	13.633	84.100	2.865	1.600	-0.070	-0.030	1.235	5.235			51.645		38.918
12	219.067	58.300	5.771	1.600	0.161	0.083	4.254	9.489			77.659		46.550
1	195.833	50.200	5.321	1.600	0.146	0.113	3.834	13.323			96.950		52.188
2	26.933	70.100	5.121	1.600	-0.043	-0.042	3.479	16.802			111.046		56.287

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
3	152.967	79.600	7.466	1.840	0.073	0.081	5.707	20.000	20.000	2.510	121.140	59.200	
4	42.700	119.900	4.132	2.200	-0.077	-0.094	1.838	20.000	20.000	1.838	121.140	59.200	
5	3.533	198.400	1.061	2.700	-0.195	-0.236	-1.875	18.125	18.125		115.553	57.591	
6	19.833	173.300	0.798	2.940	-0.153	-0.177	-2.319	15.806	15.806		107.341	55.212	
7	0.000	290.300	0.302	3.060	-0.290	-0.312	-3.069	12.737	12.737		94.256	51.402	
8	4.067	244.300	0.286	2.940	-0.240	-0.226	-2.881	9.856	9.856		79.677	47.141	
95-96:	9	27.833	169.400	2.140	-0.142	-0.113	-0.783	9.073	9.073		75.329	45.867	
	10	24.400	107.500	1.780	-0.083	-0.063	-0.472	8.600	8.600		72.627	45.076	
	11	41.667	103.800	1.600	-0.062	-0.045	0.621	9.221	9.221		76.165	46.112	
	12	78.967	73.400	1.600	0.006	0.004	2.968	12.189	12.189		91.657	50.644	
	1	83.367	78.500	1.600	0.005	0.004	2.613	14.802	14.802		103.340	54.049	
	2	308.633	51.700	1.600	0.257	0.266	2.716	17.518	17.518		113.544	57.010	
	3	66.400	85.500	1.840	-0.019	-0.022	4.043	20.000	20.000	1.561	121.140	59.200	
	4	94.367	86.400	2.200	0.008	0.010	1.077	20.000	20.000	1.077	121.140	59.200	
	5	50.333	119.900	0.839	-0.070	-0.084	-1.945	18.055	18.055		115.326	57.526	
	6	19.567	172.100	0.631	-0.153	-0.176	-2.484	15.570	15.570		106.426	54.947	
	7	0.600	256.000	0.239	-0.255	-0.272	-3.093	12.478	12.478		93.036	51.046	
	8	3.700	22.800	0.226	-0.019	-0.018	-2.732	9.746	9.746		79.076	46.965	
96-97:	9	31.967	161.700	0.560	-0.130	-0.103	-1.682	8.063	8.063		69.483	44.154	
	10	113.533	104.500	0.522	0.009	0.006	-1.252	6.812	6.812		61.855	41.916	
	11	65.600	98.300	0.863	-0.033	-0.020	-0.757	6.055	6.055		57.039	40.502	
	12	133.000	79.100	1.739	0.054	0.031	0.170	6.225	6.225		58.135	40.824	
	1	68.433	78.600	1.604	-0.010	-0.006	-0.002	6.223	6.223		58.121	40.820	

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
2	21.867	57.400	1.544	1.600	-0.036	-0.021	-0.077	6.146			57.625	59.200	40.674
3	35.000	85.100	2.250	1.840	-0.050	-0.029	0.381	6.527			60.062	41.390	41.390
4	52.833	98.000	1.245	2.200	-0.045	-0.027	-0.982	5.545			53.709	39.524	39.524
5	18.767	175.900	0.320	2.700	-0.157	-0.084	-2.465	4.000		-0.919	43.188	36.432	36.432
6	24.833	214.300	0.241	2.940	-0.189	-0.082	-2.781	4.000		-2.781	43.188	36.432	36.432
7	1.833	257.700	0.091	3.060	-0.256	-0.111	-3.079	4.000		-3.079	43.188	36.432	36.432
8	3.033	227.800	0.086	2.940	-0.225	-0.097	-2.951	4.000		-2.951	43.188	36.432	36.432
97-98: 9	63.633	140.100	2.480	2.140	-0.076	-0.033	0.307	4.307			45.332	37.062	37.062
10	136.567	144.400	2.313	1.780	-0.008	-0.004	0.529	4.836			48.963	38.130	38.130
11	193.667	58.100	3.824	1.600	0.136	0.066	2.291	7.127			63.817	42.492	42.492
12	143.467	40.700	7.703	1.600	0.103	0.066	6.169	13.296			96.828	52.153	52.153
1	60.833	55.200	7.103	1.600	0.006	0.005	5.508	18.804			117.685	58.206	58.206
2	102.500	50.400	6.836	1.600	0.052	0.061	5.297	20.000	4.101		121.140	59.200	59.200
3	46.400	92.200	9.965	1.840	-0.046	-0.055	8.070	20.000	8.070		121.140	59.200	59.200
4	76.100	143.300	5.515	2.200	-0.067	-0.081	3.234	20.000	3.234		121.140	59.200	59.200
5	126.533	126.800	1.416	2.700	0.000	0.000	-1.284	18.716			117.416	58.128	58.128
6	5.467	234.400	1.066	2.940	-0.229	-0.269	-2.143	16.573			110.216	56.047	56.047
7	0.000	273.100	0.403	3.060	-0.273	-0.301	-2.958	13.615			98.259	52.570	52.570
8	17.833	240.500	0.381	2.940	-0.223	-0.219	-2.778	10.838			84.895	48.668	48.668
98-99: 9	74.500	167.904	1.923	2.140	-0.093	-0.079	-0.296	10.541			83.348	48.215	48.215
10	38.167	120.069	1.793	1.780	-0.082	-0.068	-0.055	10.486			83.057	48.130	48.130
11	293.800	67.623	2.965	1.600	0.226	0.188	1.553	12.039			90.928	50.431	50.431

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
12	114.833	47.581	5.972	1.600	0.067	0.061	4.433	16.472			109.848	59.200	55.940
1	152.133	44.035	5.507	1.600	0.108	0.119	4.025	20.000	0.498		121.140	59.200	59.200
2	84.500	44.692	5.300	1.600	0.040	0.048	3.748	20.000	3.748		121.140	59.200	59.200
3	64.267	71.342	7.726	1.840	-0.007	-0.009	5.878	20.000	5.878		121.140	59.200	59.200
4	31.800	84.869	4.276	2.200	-0.053	-0.064	2.012	20.000	2.012		121.140	59.200	59.200
5	22.733	153.593	1.098	2.700	-0.131	-0.159	-1.761	18.239			115.922	57.697	57.697
6	0.500	186.981	0.826	2.940	-0.186	-0.216	-2.330	15.909			107.739	55.328	55.328
7	0.000	243.977	0.313	3.060	-0.244	-0.263	-3.010	12.899			95.013	51.623	51.623
8	6.467	230.431	0.296	2.940	-0.224	-0.213	-2.857	10.042			80.688	47.437	47.437
99-00:	27.133	226.800	1.079	2.140	-0.200	-0.161	-1.222	8.820			73.892	45.446	45.446
10	15.900	180.600	1.006	1.780	-0.165	-0.122	-0.896	7.924			68.656	43.911	43.911
11	154.367	75.000	1.663	1.600	0.079	0.054	0.118	8.042			69.357	44.117	44.117
12	252.333	46.500	3.351	1.600	0.206	0.143	1.893	9.935			80.109	47.267	47.267
1	72.267	40.200	3.089	1.600	0.032	0.026	1.515	11.450			88.022	49.582	49.582
2	36.333	64.200	2.973	1.600	-0.028	-0.025	1.349	12.799			94.548	51.488	51.488
3	25.667	104.000	4.335	1.840	-0.078	-0.074	2.421	15.220			105.037	54.543	54.543
4	23.333	41.700	2.399	2.200	-0.018	-0.019	0.180	15.399			105.753	54.751	54.751
5	83.567	370.600	0.616	2.700	-0.287	-0.304	-2.388	13.012			95.532	51.775	51.775
6	20.500	225.200	0.464	2.940	-0.205	-0.196	-2.672	10.340			82.282	47.903	47.903
7	0.000	283.200	0.175	3.060	-0.283	-0.233	-3.118	7.222			64.403	42.664	42.664
8	3.833	284.400	0.166	2.940	-0.281	-0.181	-2.955	4.267			45.054	36.981	36.981
00-01:	0.400	216.300	1.353	2.140	-0.216	-0.097	-0.885	4.000		-0.617	43.188	36.432	36.432

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
10	63.367	160.800	1.261	1.780	-0.097	-0.042	-0.561	4.000	4.000	-0.561	43.188	59.200	36.432
11	90.233	97.700	2.086	1.600	-0.007	-0.003	0.482	4.482	4.482		46.541	37.418	36.432
12	121.200	81.500	4.201	1.600	0.040	0.018	2.620	7.102	7.102		63.661	42.446	36.432
1	292.667	77.200	3.874	1.600	0.215	0.137	2.411	9.513	9.513		77.792	46.589	36.432
2	83.600	65.300	3.728	1.600	0.018	0.014	2.142	11.655	11.655		89.043	49.880	36.432
3	36.500	162.100	5.435	1.840	-0.126	-0.112	3.483	15.138	15.138		104.708	54.447	36.432
4	63.367	124.500	3.008	2.200	-0.061	-0.064	0.744	15.882	15.882		107.633	55.297	36.432
5	23.500	149.320	0.772	2.700	-0.126	-0.135	-2.063	13.819	13.819		99.157	52.832	36.432
6	0.000	235.400	0.581	2.940	-0.235	-0.233	-2.592	11.226	11.226		86.890	49.251	36.432
7	0.000	234.000	0.220	3.060	-0.234	-0.203	-3.043	8.183	8.183		70.191	44.362	36.432
8	1.133	261.700	0.208	2.940	-0.261	-0.183	-2.915	5.268	5.268		51.869	38.984	36.432
01-02:	37.900	157.600	0.488	2.140	-0.120	-0.062	-1.715	4.000	4.000	-0.447	43.188	36.432	36.432
10	4.300	148.400	0.454	1.780	-0.144	-0.062	-1.388	4.000	4.000	-1.388	43.188	36.432	36.432
11	89.400	60.400	0.752	1.600	0.029	0.013	-0.836	4.000	4.000	-0.836	43.188	36.432	36.432
12	81.067	49.900	1.514	1.600	0.031	0.013	-0.073	4.000	4.000	-0.073	43.188	36.432	36.432
1	57.467	47.900	1.396	1.600	0.010	0.004	-0.200	4.000	4.000	-0.200	43.188	36.432	36.432
2	97.133	53.100	1.344	1.600	0.044	0.019	-0.237	4.000	4.000	-0.237	43.188	36.432	36.432
3	22.967	113.700	1.959	1.840	-0.091	-0.039	0.079	4.079	4.079		43.744	36.596	36.432
4	77.833	120.900	1.084	2.200	-0.043	-0.019	-1.135	4.000	4.000	-1.056	43.188	36.432	36.432
5	12.300	202.400	0.278	2.700	-0.190	-0.082	-2.504	4.000	4.000	-2.504	43.188	36.432	36.432
6	4.333	232.900	0.209	2.940	-0.229	-0.099	-2.829	4.000	4.000	-2.829	43.188	36.432	36.432
7	24.567	230.500	0.079	3.060	-0.206	-0.089	-3.070	4.000	4.000	-3.070	43.188	36.432	36.432

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
8	35.967	206.400	0.075	2.940	-0.170	-0.074	-2.939	4.000		-2.939	43.188		59.200
02-03: 9	59.167	162.300	5.667	2.140	-0.103	-0.045	3.482	7.482			65.996		43.131
10	68.233	157.800	5.283	1.780	-0.090	-0.059	3.444	10.927			85.356		48.803
11	260.467	67.900	8.737	1.600	0.193	0.164	7.301	18.228			115.885		57.687
12	237.567	57.600	17.599	1.600	0.180	0.209	16.207	20.000		14.25	121.140		59.200
1	391.633	40.700	16.227	1.600	0.351	0.425	15.052	20.000		15.052	121.140		59.200
2	128.067	36.600	15.618	1.600	0.091	0.111	14.129	20.000		14.129	121.140		59.200
3	34.700	84.600	22.767	1.840	-0.050	-0.060	20.867	20.000		20.867	121.140		59.200
4	144.033	86.000	12.600	2.200	0.058	0.070	15.000	20.000		15.000	121.140		59.200
5	15.600	140.600	3.235	2.700	-0.125	-0.151	0.384	20.000		0.384	121.140		59.200
6	0.000	218.900	2.435	2.940	-0.219	-0.265	-0.770	19.230			118.959		58.573
7	1.433	285.900	0.922	3.060	-0.284	-0.338	-2.477	16.753			110.869		56.236
8	2.500	270.000	0.871	2.940	-0.268	-0.297	-2.366	14.387			101.607		53.545
03-04: 9	83.200	143.900	2.402	2.140	-0.061	-0.062	0.200	14.587			102.449		53.790
10	48.933	111.200	2.239	1.780	-0.062	-0.064	0.395	14.983			104.080		54.265
11	75.933	75.600	3.703	1.600	0.000	0.000	2.103	17.086			112.054		56.579
12	262.233	32.800	7.459	1.600	0.229	0.257	6.116	20.000		3.202	121.140		59.200
1	135.267	23.500	6.878	1.600	0.112	0.135	5.413	20.000		5.413	121.140		59.200
2	50.467	44.000	6.619	1.600	0.006	0.008	5.027	20.000		5.027	121.140		59.200
3	58.767	59.400	9.650	1.840	-0.001	-0.001	7.809	20.000		7.809	121.140		59.200
4	104.067	73.100	5.340	2.200	0.031	0.038	3.178	20.000		3.178	121.140		59.200

Annexe 4 .(Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
5	76.033	117.500	1.371	2.700	-0.041	-0.050	-1.379	18.621			117.123		58.044
6	64.867	188.400	1.032	2.940	-0.124	-0.145	-2.053	16.568			110.200		56.042
7	0.000	279.000	0.391	3.060	-0.279	-0.307	-2.977	13.591			98.154		52.539
8	1.367	267.800	0.369	2.940	-0.266	-0.262	-2.832	10.759			84.488		48.549
04-05:	63.133	177.400	5.220	2.140	-0.114	-0.097	2.984	13.743			98.824		52.735
10	28.833	160.800	4.867	1.780	-0.132	-0.130	2.956	16.699			110.676		56.180
11	289.733	31.400	8.048	1.600	0.258	0.286	6.734	20.000		3.433	121.140		59.200
12	243.400	23.400	16.212	1.600	0.220	0.267	14.878	20.000		14.878	121.140		59.200
1	223.367	22.300	14.948	1.600	0.201	0.244	13.592	20.000		13.592	121.140		59.200
2	216.733	28.100	14.387	1.600	0.189	0.229	13.015	20.000		13.015	121.140		59.200
3	90.300	56.500	20.973	1.840	0.034	0.041	19.174	20.000		19.174	121.140		59.200
4	132.133	84.900	11.607	2.200	0.047	0.057	9.464	20.000		9.464	121.140		59.200
5	10.100	194.100	2.980	2.700	-0.184	-0.223	0.057	20.000		0.057	121.140		59.200
6	0.000	236.500	2.243	2.940	-0.237	-0.286	-0.984	19.016			118.327		58.391
7	1.100	269.300	0.849	3.060	-0.268	-0.317	-2.528	16.488			109.906		55.957
8	1.467	222.100	0.802	2.940	-0.221	-0.242	-2.380	14.108			100.414		53.198
05-06:	26.933	155.100	1.391	2.140	-0.128	-0.129	-0.877	13.230			96.532		52.066
10	38.867	105.700	1.297	1.780	-0.067	-0.065	-0.547	12.683			94.006		51.329
11	123.433	70.500	2.145	1.600	0.053	0.050	0.595	13.278			96.747		52.129
12	167.667	24.500	4.321	1.600	0.143	0.139	2.859	16.137			108.604		55.579
1	160.267	33.700	3.984	1.600	0.127	0.137	2.522	18.659			117.241		58.078

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
2	132.267	28.900	3.834	1.600	0.103	0.121	2.356	20.000	20.000	1.015	121.140	59.200	
3	74.233	96.400	5.590	1.840	-0.022	-0.027	3.723	20.000	20.000	3.723	121.140	59.200	
4	20.767	135.400	3.094	2.200	-0.115	-0.139	0.755	20.000	20.000	0.755	121.140	59.200	
5	31.033	65.200	0.794	2.700	-0.034	-0.041	-1.947	18.053	18.053		115.320	57.524	
6	1.467	313.200	0.598	2.940	-0.312	-0.359	-2.702	15.351	15.351		105.562	54.696	
7	0.000	300.100	0.226	3.060	-0.300	-0.317	-3.151	12.201	12.201		91.713	50.660	
8	7.033	232.900	0.214	2.940	-0.226	-0.207	-2.933	9.267	9.267		76.426	46.189	
06-07: 9	51.667	187.200	1.835	2.140	-0.136	-0.104	-0.409	8.859	8.859		74.114	45.511	
10	24.733	151.600	1.711	1.780	-0.127	-0.094	-0.163	8.696	8.696		73.178	45.237	
11	45.867	83.800	2.829	1.600	-0.038	-0.028	1.201	9.897	9.897		79.901	47.206	
12	258.133	31.100	5.699	1.600	0.227	0.181	4.280	14.177	14.177		100.711	53.284	
1	17.533	33.300	5.254	1.600	-0.016	-0.016	3.639	17.816	17.816		114.542	57.299	
2	71.667	39.600	5.057	1.600	0.032	0.037	3.494	20.000	20.000	1.310	121.140	59.200	
3	261.367	40.300	7.372	1.840	0.221	0.268	5.800	20.000	20.000	5.800	121.140	59.200	
4	71.533	49.500	4.080	2.200	0.022	0.027	1.907	20.000	20.000	1.907	121.140	59.200	
5	23.367	227.100	1.048	2.700	-0.204	-0.247	-1.899	18.101	18.101		115.476	57.569	
6	34.367	191.300	0.788	2.940	-0.157	-0.181	-2.333	15.768	15.768		107.195	55.170	
7	1.567	276.400	0.298	3.060	-0.275	-0.295	-3.056	12.712	12.712		94.140	51.369	
8	6.533	271.700	0.282	2.940	-0.265	-0.250	-2.908	9.804	9.804		79.396	47.059	
07-08: 9	45.567	176.200	1.417	2.140	-0.131	-0.104	-0.826	8.978	8.978		74.792	45.710	
10	106.233	92.800	1.321	1.780	0.013	0.010	-0.449	8.529	8.529		72.216	44.955	
11	139.267	50.200	2.185	1.600	0.089	0.064	0.649	9.178	9.178		75.927	46.043	

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
12	146.667	35.500	4.401	1.600	0.111	0.084	2.886	12.064			91.052	59.200	50.467
1	21.367	21.900	4.058	1.600	-0.001	0.000	2.458	14.522			102.175	53.710	53.710
2	35.700	51.900	3.906	1.600	-0.016	-0.017	2.289	16.811			111.079	56.297	56.297
3	206.433	59.300	5.694	1.840	0.147	0.163	4.017	20.000		0.829	121.140	59.200	59.200
4	13.300	107.500	3.151	2.200	-0.094	-0.114	0.837	20.000		0.837	121.140	59.200	59.200
5	67.033	36.500	0.809	2.700	0.031	0.037	-1.854	18.146			115.622	57.611	57.611
6	0.600	226.900	0.609	2.940	-0.226	-0.262	-2.593	15.553			106.360	54.927	54.927
7	6.533	231.200	0.231	3.060	-0.225	-0.239	-3.068	12.485			93.071	51.057	51.057
8	0.567	248.300	0.218	2.940	-0.248	-0.231	-2.953	9.532			77.901	46.621	46.621
08-09: 9	51.033	162.100	2.585	2.140	-0.111	-0.087	0.358	9.890			79.864	47.196	47.196
10	28.833	106.600	2.410	1.780	-0.078	-0.062	0.567	10.458			82.907	48.086	48.086
11	140.300	43.000	3.985	1.600	0.097	0.081	2.465	12.923			95.122	51.655	51.655
12	142.200	42.400	8.026	1.600	0.100	0.095	6.521	19.444			119.582	58.752	58.752
1	252.767	33.600	7.401	1.600	0.219	0.262	6.063	20.000		5.507	121.140	59.200	59.200
2	102.533	33.100	7.123	1.600	0.069	0.084	5.607	20.000		5.607	121.140	59.200	59.200
3	82.233	50.700	10.384	1.840	0.032	0.038	8.582	20.000		8.582	121.140	59.200	59.200
4	143.633	79.200	5.747	2.200	0.064	0.078	3.625	20.000		3.625	121.140	59.200	59.200
5	33.967	154.200	1.476	2.700	-0.120	-0.146	-1.370	18.630			117.151	58.052	58.052
6	0.000	219.000	1.110	2.940	-0.219	-0.257	-2.086	16.544			110.110	56.016	56.016
7	0.000	286.800	0.420	3.060	-0.287	-0.316	-2.955	13.588			98.140	52.535	52.535
8	10.900	237.000	0.397	2.940	-0.226	-0.222	-2.765	10.824			84.823	48.647	48.647
09-10: 9	213.100	130.400	3.432	2.140	0.083	0.070	1.362	12.186			91.641	50.639	50.639

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)
								20			121.140		
10	154.133	62.600	3.200	1.780	0.092	0.084	1.504	13.690			98.589		59.200
11	163.933	59.500	5.291	1.600	0.104	0.103	3.794	17.484			113.428		56.977
12	134.833	40.700	10.659	1.600	0.094	0.107	9.166	20.000		6.650	121.140		59.200
1	162.167	40.700	9.828	1.600	0.121	0.147	8.375	20.000		8.375	121.140		59.200
2	59.400	36.600	9.459	1.600	0.023	0.028	7.886	20.000		7.886	121.140		59.200
3	73.867	57.500	13.789	1.840	0.016	0.020	11.969	20.000		11.969	121.140		59.200
4	36.900	84.100	7.631	2.200	-0.047	-0.057	5.374	20.000		5.374	121.140		59.200
5	86.000	93.900	1.959	2.700	-0.008	-0.010	-0.750	19.250			119.018		58.590
6	18.400	170.300	1.475	2.940	-0.152	-0.181	-1.646	17.604			113.833		57.094
7	0.000	240.300	0.558	3.060	-0.240	-0.274	-2.775	14.828			103.448		54.081
8	0.000	250.100	0.527	2.940	-0.250	-0.259	-2.671	12.157			91.502		50.599
10-11:	43.867	191.300	2.668	2.140	-0.147	-0.135	0.394	12.551			93.382		51.147
10	156.333	99.300	2.488	1.780	0.057	0.053	0.761	13.312			96.900		52.174
11	125.000	60.200	4.114	1.600	0.065	0.063	2.577	15.888			107.658		55.304
12	122.033	14.000	8.287	1.600	0.108	0.116	6.803	20.000		2.692	121.140		59.200
1	90.167	32.600	7.641	1.600	0.058	0.070	6.111	20.000		6.111	121.140		59.200
2	232.100	23.600	7.354	1.600	0.209	0.253	6.007	20.000		6.007	121.140		59.200
3	65.767	46.800	10.721	1.840	0.019	0.023	8.904	20.000		8.904	121.140		59.200
4	75.800	97.900	5.933	2.200	-0.022	-0.027	3.706	20.000		3.706	121.140		59.200
5	59.567	116.100	1.523	2.700	-0.057	-0.068	-1.245	18.755			117.536		58.163
6	25.867	122.800	1.146	2.940	-0.097	-0.114	-1.907	16.847			111.208		56.334
7	4.067	206.300	0.434	3.060	-0.202	-0.225	-2.851	13.997			99.933		53.058

Annexe 4. (Suite)

Année Mois	P (mm)	E (mm)	Q (Hm ³)	D (Hm ³)	P-E (m)	(P-E)×Ai (Hm ³)	ΔC (Hm ³)	C (Hm ³)		Exc/Déf (Hm ³)	Aire en ha (Eq. 20)		côte en m (Eq. 17)	
								20			121.140		59.200	
8	0.000	277.200	0.410	2.940	-0.277	-0.277	-2.807	11.190			86.704		49.197	
11-12:	9	17.967	2.876	2.140	-0.191	-0.165	0.571	11.760			89.564		50.032	
10	180.100	86.900	2.681	1.780	0.093	0.083	0.985	12.745			94.295		51.414	
11	99.400	62.000	4.434	1.600	0.037	0.035	2.869	15.614			106.597		54.996	
12	162.500	43.500	8.931	1.600	0.119	0.127	7.458	20.000		3.072	121.140		59.200	
1	77.167	37.700	8.235	1.600	0.039	0.048	6.683	20.000		6.683	121.140		59.200	
2	281.567	23.600	7.926	1.600	0.258	0.313	6.638	20.000		6.638	121.140		59.200	
3	57.967	37.500	11.554	1.840	0.020	0.025	9.739	20.000		9.739	121.140		59.200	
4	128.333	46.000	6.394	2.200	0.082	0.100	4.294	20.000		4.294	121.140		59.200	
5	3.467	110.000	1.642	2.700	-0.107	-0.129	-1.187	18.813			117.712		58.214	
6	0.000	196.500	1.236	2.940	-0.197	-0.231	-1.936	16.877			111.314		56.365	
7	0.000	223.700	0.468	3.060	-0.224	-0.249	-2.841	14.036			100.103		53.107	
8	21.300	236.200	0.442	2.940	-0.215	-0.215	-2.713	11.323			87.378		49.394	
12-13:	9	61.400	187.500	2.502	-0.126	-0.110	0.252	11.575			88.644		49.764	
10	54.400	165.600	2.333	1.780	-0.111	-0.099	0.454	12.029			90.881		50.417	
11	74.100	55.800	3.858	1.600	0.018	0.017	2.274	14.303			101.251		53.441	
12	98.150	59.500	7.771	1.600	0.039	0.039	6.210	20.000		0.513	121.140		59.200	
1	198.200	47.900	7.165	1.600	0.150	0.182	5.747	20.000		5.747	121.140		59.200	
2	234.400	22.100	6.896	1.600	0.212	0.257	5.553	20.000		5.553	121.140		59.200	
3	100.050	23.800	10.053	1.840	0.076	0.092	8.305	20.000		8.305	121.140		59.200	
4	49.700	37.800	5.564	2.200	0.012	0.014	3.378	20.000		3.378	121.140		59.200	
5	72.950	70.700	1.429	2.700	0.002	0.003	-1.269	18.731			117.463		58.142	
6	3.300	73.600	1.075	2.940	-0.070	-0.083	-1.948	16.784			110.980		56.268	
7	0.000	101.600	0.407	3.060	-0.102	-0.113	-2.766	14.018			100.026		53.085	
8	29.600	151.000	0.385	2.940	-0.121	-0.121	-2.677	11.341			87.471		49.421	

Annexe 5. Evolution du taux de satisfactions en fonction des variables *Capacité-Demande*

Caractéristique		Capacité au NNE (Hm ³)						
		4	6	8	10	12	15	20
		Taux de satisfaction (%)						
Demande à satisfaire pour irrigation (Hm ³ /an)	4	100	100	100	100	100	100	100
	6	97.6	100	100	100	100	100	100
	8	91.3	97.6	100	100	100	100	100
	10	86.5	93.4	97.2	100	100	100	100
	12	80.9	86.8	92.7	96.2	99.7	100	100
	15	76.4	80.9	85.1	89.9	93.7	99	99.7
	20	70.5	75	78.5	79.2	84.4	87.8	97.6
	25	67.7	69.8	73.3	77.1	77.8	81.6	88.5
Caractéristique		Capacité au NNE (Hm ³)						
		10	15	20	25			
		Taux de satisfaction (%)						
Demande à satisfaire pour alimentation en eau potable (Hm ³ /an)	10	100	100	100	100			
	15	99	100	100	100			
	20	92.7	98.3	99.7	100			
	25	82.3	87.5	91.3	95.1			
	30	73.6	80.9	85.1	86.1			
	35	61.8	70.8	74.7	78.8			
Caractéristique		Capacité au NNE (Hm ³)						
		10	15	20	25	30		
		Taux de satisfaction (%)						
Demande à satisfaire pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation (Hm ³ /an)	15	99	100	100	100	100		
	20	91	93	99	100	100		
	25	79.2	89.2	92.4	95.5	96.9		
	26	76.4	86.5	89.6	92.0	95.1		
	30	71.5	78.1	83.7	86.8	87.5		

Annexe 6. Laminage de la crue

T=1000 ans (capacité au NNE : 20 Hm³)

t (hr)	I ₁ (m3/s)	I ₂	(I ₁ + I ₂) × Δt/2 (hm3)	O ₁ (m3/s)	S ₁	S ₁ - O ₁ × Δt/2 (hm3)	S ₂ + O ₂ × Δt/2 (hm3)	O ₂ (m3/s)	S ₂ (hm3)	C	Z (Eq.17) (m)
0	0	17	0	0.000	0.000	0.000	0.008	0.054	0.455	20.455	59.55
0.25	17.19	68.750	0.039	0.054	0.455	0.455	0.493	15.69	0.657	20.66	59.70
0.50	68.75	154.688	0.101	15.686	0.657	0.650	0.750	27.78	0.811	20.81	59.81
0.75	154.69	275.000	0.193	27.783	0.811	0.799	0.992	40.68	0.975	20.97	59.93
1.00	275.00	429.688	0.317	40.682	0.975	0.956	1.273	57.18	1.181	21.18	60.07
1.25	429.69	618.750	0.472	57.177	1.181	1.155	1.627	79.87	1.460	21.46	60.26
1.50	618.75	842.188	0.657	79.872	1.460	1.424	2.082	111.80	1.845	21.84	60.51
1.75	842.19	1100.000	0.874	111.799	1.845	1.795	2.669	156.85	2.370	22.37	60.83
2.00	1100.00	1000.064	0.945	156.854	2.370	2.300	3.245	204.77	2.906	22.91	61.14
2.25	1000.06	906.372	0.858	204.769	2.906	2.814	3.672	242.44	3.312	23.31	61.35
2.50	906.37	818.723	0.776	242.435	3.312	3.203	3.979	270.48	3.604	23.60	61.50
2.75	818.72	736.914	0.700	270.484	3.604	3.483	4.183	289.56	3.799	23.80	61.60
3.00	736.91	660.745	0.629	289.558	3.799	3.669	4.298	300.46	3.909	23.91	61.65
3.25	660.75	590.015	0.563	300.458	3.909	3.773	4.336	304.14	3.945	23.95	61.67
3.50	590.01	524.521	0.502	304.139	3.945	3.808	4.310	301.63	3.920	23.92	61.65
3.75	524.52	464.063	0.445	301.632	3.920	3.785	4.229	293.97	3.844	23.84	61.62
4.00	464.06	408.438	0.393	293.970	3.844	3.711	4.104	282.13	3.724	23.72	61.56
4.25	408.44	357.446	0.345	282.129	3.724	3.597	3.941	267.00	3.569	23.57	61.48
4.50	357.45	310.886	0.301	267.004	3.569	3.448	3.749	249.40	3.385	23.39	61.39
4.75	310.89	268.555	0.261	249.404	3.385	3.273	3.534	230.06	3.180	23.18	61.29

Annexe 6. (Suite) T=1000ans

t (hr)	I ₁ (m3/s)	I ₂ (m3/s)	(I ₁ + I ₂) × Δt/2 (hm3)	O ₁ (m3/s)	S ₁	S ₁ - O ₁ × Δt/2 (hm3)		S ₂ + O ₂ × Δt/2 (hm3)	O ₂ (m3/s)	S ₂ (hm3)	C	Z (Eq.17) (m)
						S ₁	S ₂					
5.00	268.55	230.252	0.224	230.064	3.180	3.077	3.301	209.66	2.960	22.96	22.96	61.17
5.25	230.25	195.776	0.192	209.656	2.960	2.865	3.057	188.81	2.730	22.73	22.73	61.04
5.50	195.78	164.926	0.162	188.807	2.730	2.645	2.808	168.11	2.498	22.50	22.50	60.91
5.75	164.93	137.500	0.136	168.106	2.498	2.422	2.559	148.10	2.270	22.27	22.27	60.77
6.00	137.50	113.297	0.113	148.099	2.270	2.203	2.316	129.27	2.051	22.05	22.05	60.64
6.25	113.30	92.114	0.092	129.274	2.051	1.993	2.085	112.04	1.848	21.85	21.85	60.51
6.50	92.11	73.752	0.075	112.044	1.848	1.797	1.872	96.71	1.665	21.66	21.66	60.39
6.75	73.75	58.008	0.059	96.714	1.665	1.621	1.680	83.46	1.504	21.50	21.50	60.29
7.00	58.01	44.681	0.046	83.459	1.504	1.467	1.513	72.32	1.368	21.37	21.37	60.20
7.25	44.68	33.569	0.035	72.322	1.368	1.335	1.371	63.22	1.256	21.26	21.26	60.12
7.50	33.57	24.472	0.026	63.219	1.256	1.227	1.254	55.96	1.166	21.17	21.17	60.06
7.75	24.47	17.188	0.019	55.964	1.166	1.141	1.159	50.31	1.095	21.10	21.10	60.01
8.00	17.19	11.514	0.013	50.314	1.095	1.073	1.086	46.00	1.041	21.04	21.04	59.97
8.25	11.51	7.251	0.008	46.000	1.041	1.021	1.029	42.76	1.001	21.00	21.00	59.94
8.50	7.25	4.196	0.005	42.764	1.001	0.982	0.987	40.38	0.971	20.97	20.97	59.92
8.75	4.20	2.148	0.003	40.376	0.971	0.953	0.955	38.64	0.949	20.95	20.95	59.91
9.00	2.15	0.906	0.001	38.640	0.949	0.931	0.933	37.40	0.933	20.93	20.93	59.90
9.25	0.91	0.269	0.001	37.400	0.933	0.916	0.917	36.53	0.922	20.92	20.92	59.89
9.50	0.27	0.034	0.000	36.531	0.922	0.906	0.906	35.94	0.915	20.91	20.91	59.88
9.75	0.03	0.000	0.000	35.936	0.915	0.899	0.899	35.54	0.910	20.91	20.91	59.88
10.00	0.00	0.000	0.000	35.538	0.910	0.894	0.894	35.27	0.906	20.91	20.91	59.88

Annexe 6. (Suite)

T=5000ans (capacité au NNE : 20 Hm³)

t (hr)	I ₁ (m3/s)	I ₂ (m3/s)	(I ₁ + I ₂) × Δt/2 (hm3)	O ₁ (m3/s)	S ₁ (hm3)	S ₁ - O ₁ × Δt/2 (hm3)	S ₂ + O ₂ × Δt/2 (m3/s)	O ₂ (m3/s)	S ₂ (hm3)	C (hm3)	Z (Eq.17) (m)
0	0	28.125	0.01	0.000	0.000	0.000	0.013	0.106	0.486	20.486	59.57
0.25	28.13	112.500	0.063	0.106	0.486	0.486	0.550	18.18	0.720	20.72	59.74
0.50	112.50	253.125	0.165	18.176	0.720	0.711	0.876	34.33	0.925	20.93	59.89
0.75	253.13	450.000	0.316	34.326	0.925	0.910	1.226	54.31	1.176	21.18	60.07
1.00	450.00	703.125	0.519	54.312	1.176	1.152	1.671	82.82	1.527	21.53	60.30
1.25	703.13	1012.500	0.772	82.816	1.527	1.490	2.262	125.20	2.034	22.03	60.63
1.50	1012.50	1378.125	1.076	125.199	2.034	1.978	3.054	188.52	2.758	22.76	61.06
1.75	1378.13	1800.000	1.430	188.516	2.758	2.673	4.103	282.08	3.754	23.75	61.58
2.00	1800.00	1636.469	1.546	282.080	3.754	3.627	5.174	386.97	4.767	24.77	62.02
2.25	1636.47	1483.154	1.404	386.968	4.767	4.593	5.997	473.27	5.518	25.52	62.30
2.50	1483.15	1339.728	1.270	473.272	5.518	5.305	6.575	536.61	6.021	26.02	62.46
2.75	1339.73	1205.859	1.146	536.608	6.021	5.780	6.925	575.97	6.314	26.31	62.55
3.00	1205.86	1081.219	1.029	575.974	6.314	6.055	7.084	594.06	6.443	26.44	62.58
3.25	1081.22	965.479	0.921	594.056	6.443	6.176	7.097	595.54	6.454	26.45	62.59
3.50	965.48	858.307	0.821	595.540	6.454	6.186	7.006	585.20	6.380	26.38	62.57
3.75	858.31	759.375	0.728	585.204	6.380	6.117	6.845	566.89	6.248	26.25	62.53
4.00	759.38	668.353	0.642	566.889	6.248	5.993	6.635	543.32	6.072	26.07	62.48
4.25	668.35	584.912	0.564	543.319	6.072	5.828	6.392	516.31	5.864	25.86	62.42
4.50	584.91	508.722	0.492	516.308	5.864	5.632	6.124	487.04	5.630	25.63	62.34
4.75	508.72	439.453	0.427	487.037	5.630	5.411	5.838	456.28	5.376	25.38	62.25

Annexe 6. (Suite) T=5000ans

t (hr)	I ₁ (m3/s)	I ₂ (m3/s)	(I ₁ + I ₂) × Δt/2 (hm3)	O ₁ (m3/s)	S ₁	S ₁ - O ₁ × Δt/2 (hm3)	S ₂ + O ₂ × Δt/2 (hm3)	O ₂ (m3/s)	S ₂ (hm3)	C	Z (Eq.17) (m)
5.00	439.45	376.776	0.367	456.283	5.376	5.170	5.538	424.57	5.103	25.10	62.15
5.25	376.78	320.361	0.314	424.573	5.103	4.912	5.226	392.30	4.815	24.82	62.04
5.50	320.36	269.879	0.266	392.295	4.815	4.639	4.904	359.76	4.515	24.51	61.92
5.75	269.88	225.000	0.223	359.763	4.515	4.353	4.576	327.27	4.204	24.20	61.78
6.00	225.00	185.394	0.185	327.266	4.204	4.057	4.241	295.10	3.886	23.89	61.64
6.25	185.39	150.732	0.151	295.100	3.886	3.753	3.904	263.59	3.564	23.56	61.48
6.50	150.73	120.685	0.122	263.587	3.564	3.446	3.568	233.09	3.244	23.24	61.32
6.75	120.68	94.922	0.097	233.089	3.244	3.139	3.236	204.00	2.929	22.93	61.15
7.00	94.92	73.114	0.076	204.004	2.929	2.837	2.913	176.75	2.627	22.63	60.98
7.25	73.11	54.932	0.058	176.753	2.627	2.547	2.605	151.75	2.343	22.34	60.81
7.50	54.93	40.045	0.043	151.754	2.343	2.274	2.317	129.37	2.083	22.08	60.66
7.75	40.05	28.125	0.031	129.371	2.083	2.025	2.056	109.88	1.853	21.85	60.51
8.00	28.13	18.842	0.021	109.876	1.853	1.804	1.825	93.39	1.656	21.66	60.39
8.25	18.84	11.865	0.014	93.395	1.656	1.613	1.627	79.89	1.492	21.49	60.28
8.50	11.87	6.866	0.008	79.891	1.492	1.456	1.464	69.17	1.360	21.36	60.19
8.75	6.87	3.516	0.005	69.169	1.360	1.329	1.334	60.91	1.258	21.26	60.12
9.00	3.52	1.483	0.002	60.910	1.258	1.231	1.233	54.72	1.181	21.18	60.07
9.25	1.48	0.439	0.001	54.725	1.181	1.157	1.158	50.21	1.125	21.13	60.03
9.50	0.44	0.055	0.000	50.210	1.125	1.103	1.103	46.99	1.085	21.08	60.00
9.75	0.05	0.000	0.000	46.989	1.085	1.064	1.064	44.73	1.057	21.06	59.98
10.00	0.00	0.000	0.000	44.733	1.057	1.036	1.036	43.17	1.037	21.04	59.97