



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE.
UNIVERSITÉ FRÈRES MENTOURI-CONSTANTINE 1
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GÉOGRAPHIE
ET DE L'AMÉNAGEMENT DU
TERRITOIRE.



DEPARTEMENT D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

N°ordre :

Série :

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES
EN AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE**

**LES BARRAGES DE CHEFFIA ET DE MEXA DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED
MAFRAGH (EXTREME NORD-EST ALGERIEN) :
FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE ET GESTION DURABLE DES EAUX**

Présentée par : Mme Samia AFFOUN IKHLEF

Sous la direction de : Pr Azeddine MEBARKI

Soutenue publiquement à Constantine le : 08 décembre 2022

Devant le Jury composé de ;

Président : Mr Nabil CHABOUR

Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1

Rapporteur : Mr Azeddine MEBARKI

Professeur à l'Université Frères Mentouri Constantine 1

Examineur : Mr Laroussi BELOULO

Professeur à l'Université Badji Mokhar - Annaba

Examineur : Mr Ahmed BOUGHERARA

MCA à l'Université Frères Mentouri Constantine 1

Examineur : Mr Azzedine GHACHI

MCA à l'Université Salah Boubnider - Constantine (3)

Examineur : Mr Ammar FOUFOU

MCA à l'Université 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2021/2022

Dédicaces

Je dédie cette thèse :

*A la mémoire de ma défunte petite sœur **Chema**. Que Dieu le Tout Puissant lui accorde sa grâce et sa miséricorde*

A mes parents, pour tout leur dévouement

A l'homme de ma vie, mon mari Ikhlef Lahlou ; pour sa patience et son encouragement. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi sans ton soutien ce travail n'aura pas abouti.

A mes frères et sœurs

A mes nièces et neveux

A toute la famille Affoun et Ikhlef

Remerciements

Je remercie Dieu le Tout Puissant qui m'a donné la force, le courage et la volonté d'aller jusqu'au bout de cette thèse.

La réalisation de ce travail a bénéficié du soutien inestimable de plusieurs personnes, que ces personnes trouvent ici l'expression de ma plus grande gratitude. Grace à eux j'ai pu avoir une base de travail solide sur laquelle j'ai pu m'appuyer pour concrétiser ma démarche de recherche et d'analyse.

Ce travail de recherche a été exécuté sous la houlette de **Mr Azeddine MEBARKI directeur** de thèse et Professeur à l'Université Frères Mentouri- Constantine, Faculté des Science de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire. Je tiens à le remercier plus particulièrement pour son soutien indéfectible, pour ses précieux conseils, pour son exigence, sa disponibilité malgré son temps qui est si précieux, pour son écoute active et pour m'avoir communiquée sa passion pour la recherche. Je n'aurais pas tout réussi si je n'avais pas reçu ses conseils ainsi que sa force de persuasion.

Mes remerciements vont aussi vers **Mr Mohamed TAABNI**, Maître de conférences au Département de Géographie, Université de Poitiers pour son soutien moral et intellectuel et qui n'a pas hésité à m'encourager à me motiver sur ce sujet qui, selon lui, me ressemblait. Il avait non seulement accepté de relire une partie de mon travail, mais aussi avec qui j'ai eu des retours constructifs et des discussions enrichissantes pour ma recherche.

Je remercie également **Mme Hafiza TATAR**, Professeur, et **Mr Ahmed BOUGHERARA**, Maître de conférences « A », enseignants à l'Université Frères Mentouri- Constantine, pour leurs conseils et leur encouragement durant la réalisation de cette recherche.

J'adresse ma profonde gratitude à **Mr Laroussi BELOULOU**, professeur au département de géologie à l'Université Badji Mokhtar- Annaba, pour son immense aide et son encouragement.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux membres de jury **Mr Nabil CHABOUR**, **Mr Laroussi BELOULOU**, **Mr Ahmed BOUGHERARA**, **Mr Azzedine GHACHI**, **Mr Ammar FOUFOU** qui ont accepté de relire mon travail, et pour l'intérêt qu'ils vont porter à la critique de ma thèse.

J'adresse un remerciement tout particulier à **Mme Raoudha GAFREJ**, Enseignante à l'Université de Tunis El Manar et experte dans le domaine des ressources en eau et de

l'adaptation aux changements climatiques en Tunisie, pour les données qui m'ont servies à l'étude du barrage tunisien de Barbara.

Un grand merci à tous les responsables et fonctionnaires des administrations publiques et organismes techniques que j'ai rencontrés lors de mes déplacements dans le cadre de la préparation de la thèse :

Mme Nadia OUCHAR, Directrice Centrale à l'Agence Nationale des Barrages et transferts, Alger.

Mr Mohamed RAMDANE, Ex-Directeur de l'ANRH, Alger

Mr Ali GUEDJTAL, Ex-Chef service de l'hydrologie de surface, ANRH, Alger

Mr OUCHFOUN, Direction générale de l'ONID Alger

Mr Ali SOUANI, Chef de l'exploitation du barrage de Cheffia ANBT (2017). Je remercie également le personnel de l'exploitation du barrage de Cheffia en particulier **Mr Bachir ABDALLAH**.

Mr Mohamed AZZAB, Chef de l'exploitation du barrage de Mexa, ANBT

Mr Rafik MOUHAMDI, Chef de l'exploitation du barrage de Bougous, ANBT

Mr Amar CHABI, Chef-service, barrage de Bougous, ANBT

Mr Abdel-Ghani MANSOURI, Chef de service des statistiques, de sensibilisation et documentation au niveau de la Direction de la protection civile de la wilaya d'El Tarf.

Mr Abdel-Krim SELMI, Chef de service hydro-agricole, DRE El Tarf

Mr Hichem REKEB, Chef de service de l'assainissement, DRE El Tarf

Mme Sihem BOUABDALLAH, Chef de service de l'hydrogéologie, DRE El Tarf

Mr Chokri TAHRAOUI, ONID El Tarf.

Mr Tayeb OUKSSEL Ex-contrôleur financier de la wilaya d'El Tarf

Mme Chahinez ZAIDI Chef du service de l'organisation de la production agricole, Direction des services agricoles de la wilaya d'El Tarf (DSA).

Mr DRISSI, Directeur de l'ABH-CSM, Antenne de Annaba

Mme Zineb TLMSANI, Chef de service, DRE Annaba.

Mr Ramy SADOUKI, Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf.

Sans oublier mes proches qui ont été à mes cotés tout au long de ce parcours et dans les moments les plus utiles et les plus durs avec leur soutien inconditionnel : **Azzedine DRARJA, Khaled HARIZI, Wezna DJILI, Leila BOUTERFIF**.

Enfin, merci mille fois à tous ceux qui ont accompagné au quotidien mes doutes et mes enthousiasmes.

ملخص

يقع الحوض الهيدروغرافي المفرغ في أقصى شمال شرق الجزائر، وهي من أكثر المناطق رطوبة في الجزائر. ومجاهاة للتغيرات المناخية والمنافسة المتزايدة بين مستعملي المياه، فإن التحدي المتمثل في تعبئة المياه وتسييرها وحمايتها بالغ الأهمية.

يتمحور هذا البحث حول النظامين المائيين الواقعين على الحدود الجزائرية التونسية ; المجهزين بالسدود: وادي بوناموسة مجهز بسد الشافية في الغرب (575 كلم²) وواد كبير-شرق مجهز بسد ماكسة في الشرق (651 كلم²) هما في قلب هذا البحث.

بعد وصف الإطار الفيزيائي المتميز بالإزدواجية (جبل -سهل)، تم إستغلال سلسلة المعطيات الشهرية واليومية للموازنة المائية للسدود (المداخل، المخارج والاحتياطات) المقدمة من طرف (الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات) ANBT. يلعب هطول الأمطار دورًا حاسمًا في وفرة وعدم انتظام تدفقات الجريان السطحي. منذ عام 1965، يضمن سد الشافية متوسط حجم منظم سنوي يبلغ 74.25 هك³ (سلسلة المعطيات 1970-2017). بينما سد ماكسة الذي يعتبر وعاء يستقبل التفريعات لسد بوقوس وسد بربرة المتواجد في الأراضي التونسية يضمن متوسط حجم منظم سنوي قدره 65.59 هك³ (سلسلة المعطيات 2003-2020).

أظهرت الفيضانات: مارس 1973، أبريل 2003 وفبراير ومارس 2012، المخاطر التي تعترض سهل المصب. كان سهل الطرف عقب فيضانات 2012 الاستثنائية وعاء لتراكم التدفقات والأحجام الزائدة (417 متر مكعب) التي أفرغها السدان (ماكسة والشافية) استعجاليا. بينت مخططات تأهيل وحماية الأراضي الزراعية التي انجزت في وادي كبير فعاليتها ومحدوديتها في أعقاب الأضرار التي سببتها فيضانات عام 2012 وتلك التي حدثت في جانفي 2015. تزداد هشاشة المناطق المعرضة للفيضانات من خلال امتداد التجمعات السكانية، الأمر الذي يتطلب تخطيطًا حضريًا يأخذ في الاعتبار التحديات المرتبطة بهذه الظاهرة.

أثارت هذه الأحداث تساؤلات حول إمكانية ملاءمة تعليمات التسيير للتخفيف من الأضرار.

إن الربط بين السدود المنجزة (ماكسة، الشافية وبوقوس) وتلك التي هي قيد الإنشاء (بوخروفة) والمبرمجة (سد بولاثان وسد بوناموسة II وماخذ المياه وادي كبيرالشرقي)، سيساهم لا محالة في التحكم الكبير في المياه السطحية لحوض المفرغ وكذلك التقليل من مخاطر الفيضانات في المناطق الواقعة على المصب.

الكلمات المفتاحية: حوض عابر للحدود، سد، موازنة مائية، فيضانات، ربط السدود، وادي المفرغ.

Abstract

The Mafragh river basin is located in the extreme North-East of Algeria, one of the most watered regions of Algeria. Faced with climate changes and growing competition between users, the challenge of mobilization, management and protection of water is of great concern. The two Algerian-Tunisian transboundary hydrosystems, equipped with dams, wadi Bounamoussa at the Cheffia dam in the west (575 km²) and wadi Kébir-Est at the Mexa dam in the east (651 km²), are the essence of this research.

After describing the physical contexts (mountain-plain duality), the exploitation of monthly and daily data series from the ANBT allowed to analyze the variability of the terms of the dams water balance (inflows, outflows and reserves). Precipitation plays a decisive role in the abundance and irregularity of flow. The Cheffia dam ensures since 1965 an average regulated volume of 74.25 hm³ per year (series 1970-2017). The Mexa dam (receptacle of the releases of the Bougous dam and that of Barbara in Tunisian territory) has allowed to regulate an annual volume of 65.59 hm³ (series 2003-2020).

The examples of the floods of March 1973, April 2003 and February 2012 have shown the risks incurred by the plain downstream. During the exceptional floods of 2012, the plain of El Tarf was the receptacle of the cumulative flows and excess volumes (417 hm³) discharged in the emergency by the two dams (Mexa and Cheffia). The protection of agricultural land in the valley of Kebir-East has shown their effectiveness and their limits following the damage caused by the floods of 2012 and those occurring in January 2015. The vulnerability of flood-prone areas is accentuated by an extension of the agglomerations, which requires an urban planning taking closely into account the stakes related to this hazard.

These events have led to ask questions about the possibilities of adapting management instructions to reduce damage.

The interconnection of existing dams (Mexa, Cheffia and Bougous) and those under construction (Boukhroufa) and planned (Boulathane dam, Bounamoussa II dam and water intake on Oued Kébir-Est), is expected to contribute to a large control of surface water in the Mafragh basin but also to reduce the flood hazard for the downstream territories.

Key words: transboundary basin, dam, water balance, floods, interconnection, Mafragh.

Résumé

Le bassin hydrographique de la Mafragh est situé dans l'extrême Nord-Est algérien, l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie. Face au changement climatique et la compétition grandissante entre usagers, l'enjeu de la mobilisation, de la gestion et de la protection des eaux est considérable. Les deux hydrosystèmes transfrontaliers algéro-tunisiens, équipés de barrages, l'oued Bounamoussa au barrage Cheffia à l'ouest (575 km²) et l'oued Kébir-Est au barrage Mexa à l'Est (651 km²), sont au cœur de cette recherche.

Après avoir décrit les contextes physiques (dualité montagne-plaine), l'exploitation des séries de données mensuelles et journalières de l'ANBT a permis d'analyser la variabilité des termes du bilan d'eau des barrages (apports ou affluents, sorties ou défluent et réserves). Les précipitations jouent un rôle décisif dans l'abondance et l'irrégularité des flux d'écoulement. Le barrage de Cheffia assure depuis 1965 un volume moyen régularisé de 74.25 hm³ par an (série 1970-2017). Le barrage de Mexa (réceptacle des lâchers du barrage de Bougous et de celui de Barbara en territoire tunisien) a permis de régulariser un volume annuel de 65.59 hm³/an (série 2003-2020).

Les exemples des crues de mars 1973, avril 2003 et de février 2012 ont montré les risques encourus par la plaine en aval. Durant les crues exceptionnelles de 2012, la plaine d'El Tarf, était le réceptacle du cumul des écoulements et des volumes excédentaires (417 hm³) déversés dans l'urgence par les deux barrages (Mexa et Cheffia). Les aménagements de protection des terres agricoles réalisés dans la vallée du Kébir- Est ont montré leur efficacité et leurs limites suite aux dégâts occasionnés par les crues de 2012 et celles survenues en janvier 2015. La vulnérabilité des zones inondables est accentuée par une extension des agglomérations, ce qui nécessite une planification urbaine tenant étroitement compte des enjeux liés à cet aléa.

Ces évènements ont conduit à s'interroger sur les possibilités d'adaptation des consignes de gestion pour réduire les dommages.

L'interconnexion des barrages existants (Mexa, Cheffia et Bougous) et ceux en cours de réalisation (Boukhroufa) et en projet (barrage de Boulathane, barrage de Bounamoussa II et prise d'eau sur oued Kébir-Est), est appelée à contribuer à une large maîtrise des eaux de surface du bassin de la Mafragh mais aussi à une réduction de l'aléa inondation pour les territoires à l'aval.

Mots clés : bassin transfrontalier, barrage, bilan d'eau, inondations, interconnexion, Mafragh.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|------------|
| TABLE DES MATIERES | vii |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| 1 Le cadre de l'étude : la Mafragh, un bassin humide de l'extrême Nord-Est algérien | 2 |
| 2 L'enjeu de la mobilisation des eaux par barrages et de leur gestion | 8 |
| 3 Risque hydrologique et protection contre les inondations | 9 |
| 4 La nécessité d'aménagement intégré et durable | 11 |
| 5 Axes de recherche de la thèse | 12 |
| PREMIERE PARTIE : LE BASSIN DE L'OUED BOUNAMOUSA ET FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BARRAGE CHEFFIA | 15 |
| Introduction de la Première Partie | 16 |
| CHAPITRE I : LE BASSIN VERSANT DE L'OUED BOUNAMOUSA | 17 |
| Introduction | 18 |
| 1 LE CONTEXTE TOPO-HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE LA BOUNAMOUSA | 20 |
| 1.1 Relief et altimétrie | 20 |
| 1.2 Les paramètres morphométriques | 22 |
| 1.3 Le réseau hydrographique | 26 |
| 2 CADRE GEOLOGIQUE | 30 |
| 2.1 Les formations superficielles..... | 32 |
| 2.2 Les formations quaternaires | 32 |
| 2.3 Les marno-calcaires..... | 32 |
| 2.4 Les calcaires et les calcaires marneux..... | 33 |
| 2.5 Les grès numidiens et les argiles | 33 |
| 2.5.1 Argiles sous-numidiennes | 33 |
| 2.5.2 Les grès numidiens..... | 33 |
| 2.5.3 Les argiles supra-numidiennes | 34 |
| 3 CONTEXTE CLIMATIQUE | 36 |
| 3.1 Les précipitations | 36 |
| 3.1.1 Pluviométrie annuelle..... | 36 |
| 3.1.2 Régime pluviométrique saisonnier | 38 |
| 3.1.3 Analyse des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) des pluies | 38 |
| 3.2 Autres facteurs climatiques | 39 |
| 3.2.1 Les températures | 39 |
| 3.2.2 Le Bilan hydrique et l'évapotranspiration..... | 40 |
| 3.2.2.1 Formule de Thorntwaite..... | 40 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.2.2 | Méthode du bilan de Thornthwaite | 41 |
| 3.2.2.3 | Résultats du bilan hydrique..... | 42 |
| 4 | CONTEXTE HYDROLOGIQUE..... | 46 |
| 4.1 | Bilan hydrologique annuel et déficit d'écoulement..... | 47 |
| 4.2 | Débits mensuels et régime saisonnier | 48 |
| 4.3 | Les débits journaliers maximums..... | 51 |
| 5 | OCCUPATION DU SOL..... | 54 |
| 5.1 | La forêt (peuplements naturels) | 55 |
| 5.2 | Le peuplement artificiel | 55 |
| 5.3 | Le maquis | 55 |
| | Conclusion | 57 |
| | CHAPITRE II : FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BARRAGE DE CHEFFIA. | 58 |
| | Introduction..... | 59 |
| 1 | CARACTERISTIQUES DE L'AMENAGEMENT | 60 |
| 2 | BILAN D'EAU INTERANNUEL, REGULARISATION DES APPORTS ET RYTHME D'ENVASEMENT .. | 64 |
| 2.1 | Données de base et courbes de remplissage..... | 64 |
| 2.2 | Bilans d'eau du réservoir : résultats et interprétation..... | 69 |
| 2.2.1 | Variabilité des apports annuels et de la capacité de fin d'année..... | 69 |
| 2.2.2 | Défluent : évaporation et fuites, vidange de fond, déversements de crue, lâchers | 71 |
| 2.2.2.1 | Evaporation et fuites | 71 |
| 2.2.2.2 | Vidange de fond et déversement de crue..... | 71 |
| 2.2.2.3 | Lâchers (AEP, irrigation, industrie) | 71 |
| 2.2.3 | Le volume régularisé..... | 72 |
| 2.3 | Rythme d'envasement de la retenue..... | 73 |
| 3 | APPORTS DE CRUE AU BARRAGE, DEVERSEMENTS ET INONDATIONS..... | 77 |
| 3.1 | Introduction | 77 |
| 3.2 | La crue de projet du barrage Cheffia | 78 |
| 3.3 | Caractéristiques des crues observées au barrage..... | 79 |
| 3.4 | Analyse des crues exceptionnelles..... | 82 |
| 3.4.1 | Crue des 27 et 28 mars 1973 | 82 |
| 3.4.1.1 | Variations journalières des apports et volumes évacués..... | 82 |
| 3.4.1.2 | Dégâts de la crue des 27 et 28 mars 1973..... | 84 |
| 3.4.2 | Crue des 3, 4 et 5 Avril 2003 | 85 |
| 3.4.3 | Crues de février et mars 2012 | 86 |
| 3.4.3.1 | Hydrogrammes journaliers..... | 86 |

| | | |
|--|--|------------|
| 3.4.3.2 | Hydrogramme horaire et dégâts de la crue de février 2012..... | 87 |
| 3.4.3.3 | Hydrogramme horaire et laminage de la crue de mars 2012 | 91 |
| 3.4.4 | Gravité et gestion des évènements de crue | 91 |
| Conclusion | | 95 |
| DEUXIEME PARTIE : LE BASSIN DE L'OUED KEBIR-EST ET LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE MEXA..... | | 96 |
| Introduction de la Deuxième Partie..... | | 97 |
| CHAPITRE 3 : LE BASSIN VERSANT DU KEBIR-EST | | 98 |
| Introduction..... | | 99 |
| 1 CONTEXTE ORO-HYDROGRAPHIQUE | | 100 |
| 1.1 | Cadre général du bassin versant du Kébir-Est | 100 |
| 1.1.1 | Oro-hydrographie du Kebir -Est..... | 100 |
| 1.1.2 | Les unités de paysage du Kebir -Est..... | 102 |
| 1.1.2.1 | Les plaines littorales | 102 |
| 1.1.2.2 | Garâat (Marais) El M'Khada | 104 |
| 1.1.2.3 | Le bassin intérieur de plaine | 105 |
| 1.1.2.4 | Les hautes montagnes (Djebels)..... | 105 |
| 1.1.2.5 | Le Lac Oubeïra | 105 |
| 1.1.2.6 | Le cordon dunaire..... | 106 |
| 1.1.3 | Les classes de pentes du bassin du Kébir-Est..... | 107 |
| 1.2 | Les bassins versants aux barrages (Mexa, Bougous et Barbara) | 109 |
| 1.2.1 | Hydrographie des bassins aux barrages | 109 |
| 1.2.2 | Morphométrie des bassins aux barrages..... | 112 |
| 2 CADRE GEOLOGIQUE | | 113 |
| 2.1 | Les formations dominantes du bassin de Mexa | 113 |
| 2.1.1 | Le Quaternaire | 114 |
| 2.1.2 | Le Plio-Quaternaire | 114 |
| 2.1.3 | Le Trias | 115 |
| 2.2 | Contexte géologique du sous bassin de l'oued Bougous..... | 116 |
| 2.3 | Le contexte géologique du sous bassin de l'oued Barbara | 117 |
| 3 CONTEXTE CLIMATIQUE..... | | 117 |
| 3.1 | Données disponibles | 117 |
| 3.2 | Analyse pluviométrique | 119 |
| 3.2.1 | Précipitations annuelles moyennes..... | 119 |
| 3.2.2 | Régime saisonnier..... | 120 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.3 | Les pluies journalières maximales | 120 |
| 3.2.4 | Analyse des courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) : station de Ain Assel..... | 122 |
| 3.3 | Autres facteurs climatiques | 122 |
| 3.3.1 | Les températures..... | 122 |
| 3.3.2 | Les chutes de neige..... | 123 |
| 3.4 | L'évapotranspiration potentielle et le bilan hydrique | 123 |
| 4 | CONTEXTE HYDROLOGIQUE..... | 125 |
| 4.1 | Les apports annuels | 125 |
| 4.2 | Bilan hydrologique : station de Ain Assel et barrage de Mexa | 126 |
| 4.3 | Etude des apports mensuels..... | 128 |
| 4.3.1 | Variation des débits moyens mensuels au cours de l'année..... | 128 |
| 4.3.2 | Coefficients mensuels de débits et régime saisonnier | 129 |
| 4.4 | Etude des débits moyens journaliers maximums | 131 |
| 4.5 | Les débits d'étiage..... | 133 |
| 5 | OCCUPATION DU SOL..... | 135 |
| | Conclusion | 138 |
| | CHAPITRE 4 : FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME MEXA | 139 |
| | Introduction..... | 140 |
| 1 | CARACTERISTIQUES DES AMENAGEMENTS : LES BARRAGES MEXA, BOUGOUS ET BARBARA | 142 |
| 1.1 | Historique des barrages dans le bassin du Kébir-Est | 142 |
| 1.2 | Caractéristiques des aménagements..... | 144 |
| 1.2.1 | Caractéristiques hydrotechniques des barrages algériens (Mexa et Bougous) | 144 |
| 1.2.2 | Caractéristiques du barrage tunisien de Barbara | 148 |
| 2 | BILANS EN EAU ET REGULARISATION DES APPORTS AUX BARRAGES..... | 149 |
| 2.1 | Bilan d'eau du barrage de Mexa. | 149 |
| 2.1.1 | Courbe de remplissage et données du bilan 2003/2004-2016/2017 | 149 |
| 2.1.2 | Variabilité des affluents et des défluent de Mexa | 153 |
| 2.2 | Bilan d'eau du barrage de Bougous et contribution au volume régularisé de Mexa | 156 |
| 2.2.1 | Bilan d'eau (2011/2012-2019/2020) | 156 |
| 2.2.2 | Volume régularisé du complexe Mexa- Bougous | 159 |
| 2.2.3 | Traitement de l'eau du complexe Mexa- Bougous..... | 160 |
| 2.3 | Bilan d'eau du barrage tunisien de Barbara..... | 162 |
| 2.3.1 | Variations annuelles des éléments du bilan d'eau | 162 |
| 2.3.2 | Apports mensuels de l'année 2011/2012..... | 164 |
| 2.4 | Envasement des barrages | 165 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.4.1 | Les débits solides et l'envasement du barrage de Mexa..... | 165 |
| 2.4.1.1 | Estimation de l'envasement du barrage de Mexa..... | 165 |
| 2.4.1.2 | Variations annuelles et mensuelles du transport solide de l'oued Kebir- Est..... | 166 |
| 2.4.2 | Envasement du barrage de Bougous | 167 |
| 2.4.3 | Envasement du barrage de Barbara | 167 |
| 3 | APPORTS ET DEVERSEMENTS DES CRUES : GESTION DES EVENEMENTS EXTREMES..... | 168 |
| 3.1 | Analyse des crues des 22 et 23 février 2012..... | 169 |
| 3.1.1 | Les hydrogrammes journaliers | 169 |
| 3.1.2 | Les courbes horaires de laminage de crue | 173 |
| 3.1.2.1 | Barrage de Mexa | 173 |
| 3.1.2.2 | Barrage de Bougous | 174 |
| 3.2 | Apports et laminage des crues des 10 et 11 mars 2012 | 175 |
| 3.3 | Impacts des crues : dégâts causés par les crues de février et mars 2012 | 176 |
| | Conclusion | 179 |
| | TROISIEME PARTIE : PROTECTION ET AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE LA MAFRAGH..... | 180 |
| | Introduction de la Troisième Partie | 181 |
| | CHAPITRE 5 : AMENAGEMENT ET PROTECTION DE LA PLAINE D'EL TARF CONTRE LES INONDATIONS..... | 182 |
| | Introduction..... | 183 |
| 1 | CARACTERISTIQUES HYDRO-AGRO-PEDOLOGIQUES ET MISE EN VALEUR DE LA PLAINE D'EL TARF | 184 |
| 1.1 | Situation géographique de la plaine d'El Tarf..... | 185 |
| 1.2 | Caractéristiques morpho-géologiques..... | 186 |
| 1.3 | Caractéristiques hydrologiques | 187 |
| 1.4 | Ressources en sol de la plaine d'El Tarf | 189 |
| 1.5 | Aménagement hydro-agricole | 190 |
| 1.5.1 | Le projet d'aménagement hydroagricole | 190 |
| 1.5.2 | Les besoins en eau d'irrigation | 192 |
| 1.5.3 | L'AEP, un secteur prioritaire | 194 |
| 2 | PROTECTION DE LA PLAINE CONTRE LES INONDATIONS ET PROJET D'IRRIGATION..... | 194 |
| 2.1 | Les ouvrages de protection des terres agricoles contre les inondations..... | 194 |
| 2.1.1 | Lot A du côté Ain Assel- El Tarf- Guergour..... | 196 |
| 2.1.2 | Lot B du côté de Boutheldja, Berrihane, Lac des oiseaux, Righia et Sebaa. | 197 |
| 2.2 | Le réseau d'irrigation | 199 |
| 2.2.1 | Schéma d'aménagement | 199 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.2.2 | Les besoins en eau d'irrigation | 201 |
| 2.2.3 | Les ressources en eau nécessaire à l'irrigation..... | 202 |
| 2.3 | Le fonctionnement de l'embouchure de la Mafragh..... | 202 |
| 3 | EFFICACITE DES AMENAGEMENTS ET DEGATS CONSTATES DANS LA PLAINE AGRICOLE | 204 |
| 3.1 | Efficacité des ouvrages de protection après les inondations de février-mars 2012 et de janvier 2015 | 204 |
| 3.1.1 | Les digues et Khelidjs | 204 |
| 3.1.2 | Impact sur quelques habitations de la localité de Berrihane | 207 |
| 3.1.3 | Des travaux non prévus par l'étude APD : la surélévation des routes | 207 |
| 3.2 | Les dégâts des crues recensés après la réception du projet..... | 208 |
| 3.2.1 | Les crues de février et mars 2012..... | 208 |
| 3.2.2 | Les dégâts de la crue des 28 et 29 janvier 2015 | 214 |
| 3.2.3 | Les recommandations de l'ONID pour la réparation des dégâts..... | 216 |
| 4 | LES AGGLOMERATIONS DE LA PLAINE FACE AUX INONDATIONS : EVALUATION DES DEGATS | 217 |
| 4.1 | Un contexte général d'accroissement démographique et des vulnérabilités | 217 |
| 4.1.1 | Une population en augmentation | 217 |
| 4.1.2 | L'extension des périmètres urbains..... | 219 |
| 4.1.3 | Facteurs aggravant les inondations pour les agglomérations de la plaine d'El Tarf | 219 |
| 4.1.4 | Evolution des espaces urbanisés de la commune de Ben M'hidi..... | 220 |
| 4.1.5 | Causes et ampleur des inondations de février-mars 2012 dans la commune de Ben M'hidi..... | 222 |
| 4.1.5.1 | Une topographie défavorable, un drainage insuffisant | 222 |
| 4.1.5.2 | Une crue de fréquence rare | 225 |
| 4.1.6 | Evaluation du risque d' inondation dans la commune de Ben M'hidi..... | 226 |
| 4.1.6.1 | Au niveau du chef-lieu..... | 226 |
| 4.1.6.2 | Niveau du risque à l'échelle de la commune..... | 228 |
| 4.1.6.3 | Les dégâts consignés par la DPC..... | 230 |
| 4.2 | Dégâts des inondations à l'échelle des agglomérations de la plaine..... | 231 |
| | Conclusion | 232 |
| | CHAPITRE 6 : AMENAGEMENT INTEGRE DES EAUX DE SURFACE DE LA MAFRAGH : VERS UN SYSTEME INTERCONNECTE | 234 |
| | Introduction..... | 235 |
| 1 | LES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES MOBILISEES ET EN VOIE DE MOBILISATION | 236 |
| 1.1 | Les ressources en eau superficielles mobilisées | 236 |
| 1.2 | Les ressources en eau de surfaces en voie de mobilisation | 236 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 1.2.1 | Barrages et prise d'eau | 236 |
| ➤ | Barrage de Boukhroufa (en cours de réalisation) | 240 |
| ➤ | Barrage de Bounamoussa II | 240 |
| ➤ | Barrage de Boulathane | 240 |
| ➤ | Prise d'eau sur Kébir-Est | 240 |
| 2 | TRANSFERTS D'EAU ET INTERCONNEXION DES BARRAGES | 246 |
| 2.1 | Transfert des eaux et interconnexion des barrages pour l'aménagement hydro-agricole de la plaine | 246 |
| 2.1.1 | Transfert Est : de la Prise d'eau sur Oued Kebir-Est vers Boukhroufa et Boulathane | 246 |
| 2.1.2 | Transfert Ouest : de Bounamoussa II vers Boulathane. | 247 |
| 3 | MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES | 250 |
| 4 | LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER | 252 |
| 5 | PROTECTION DE LA QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES | 253 |
| 5.1 | Capacités d'épuration dans la wilaya d'El Tarf | 254 |
| 5.2 | Les systèmes projetés pour la protection des eaux de surface | 257 |
| | Système projeté Centre et Est..... | 257 |
| | Système projeté Sud | 257 |
| | Système projeté Ouest..... | 257 |
| | Système projeté Nord | 258 |
| | Des stations d'épuration de type monobloc..... | 258 |
| 6 | VULNERABILITE DES RESSOURCES SUPERFICIELLES FACE A LA VARIABILITE CLIMATIQUE | 259 |
| 6.1 | Sécheresse climatique et stress hydrique : cas de de l'été 2017..... | 259 |
| 6.1.1 | Les secteurs AEP et AEI affectés par le stress hydrique..... | 259 |
| 6.1.2 | Le secteur d'irrigation privé d'eau..... | 261 |
| 6.1.3 | Un plan d'urgence..... | 262 |
| 6.2 | Les voies et moyens d'atténuation des inondations..... | 264 |
| | Conclusion | 267 |
| | CONCLUSION GENERALE | 268 |
| 1 | Deux hydrosystèmes (haut oued Bounamoussa et haut oued Kébir-Est) contrôlés par barrages : résultats des bilans de régularisation. | 268 |
| 2 | Gestion des crues aux barrages et effets des inondations | 270 |
| 3 | Aménagements contre les inondations : des résultats insuffisants | 271 |
| 4 | Stratégies d'aménagement intégré du bassin versant de la Mafragh | 273 |
| | REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 278 |
| | Bibliographie..... | 278 |

| | |
|--|------------|
| Presse et article des journaux | 294 |
| Référence électronique | 295 |
| Références règlementaires (Lois et décrets) | 295 |
| Liste des abréviations | 296 |
| Liste des Tableaux | 299 |
| Liste des Figures | 302 |
| Liste des Photos | 306 |
| ANNEXES..... | 308 |

INTRODUCTION GENERALE

Dans un contexte de changement climatique et de crise alimentaire mondiale, la question de l'eau revêt un intérêt crucial pour les activités et l'environnement humains (Taabni et al, 2012). Sous le triple choc de la sécheresse, de la pollution et de la croissance spectaculaire des besoins consécutifs à l'augmentation de la population et de la demande sans cesse croissante de l'agriculture et de l'industrie, la ressource en eau est devenue, plus que par le passé, une denrée économique rare (Mutin, 2007).

La gestion durable de l'eau pose de grands défis, en particulier : « *garantir sa disponibilité pour tous et l'efficacité de ses usages, préserver sa qualité et lutter contre ses dégradations, se protéger contre les événements extrêmes, sécheresses et inondations, liés aux changements climatiques* » (UNESCO, 2018).

Dans le bassin méditerranéen, l'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure car le changement climatique et la croissance urbaine et démographique attendus dans la région, risquent d'aggraver la situation de stress hydrique qui frappe déjà la plupart des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée (Mozas et Ghosn, 2013).

La région méditerranéenne a été identifiée comme un « hot spot » du changement climatique, c'est-à-dire une région particulièrement vulnérable où les changements seront marqués en termes d'élévation des températures et de diminution des précipitations moyennes, de variabilité interannuelle et d'événements météorologiques extrêmes (Milano, 2010).

L'Algérie doit aujourd'hui faire face à une situation de rareté de la ressource en eau, à la faveur du bouleversement climatique et une baisse de la pluviométrie qui situent désormais l'Algérie dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydrauliques. Les potentialités en eau de l'Algérie sont estimées à 18 milliards de m³/an répartis comme suit (Mozas et Ghosn, 2013) :

- 12,5 milliards de m³/an dans les régions Nord dont 10 milliards en écoulements superficiels et 2,5 milliards en ressources souterraines (renouvelables)
- 5,5 milliards de m³/an dans les régions sahariennes dont 0,5 milliard en écoulements superficiels et 5 milliards en ressources souterraines (fossiles).

Le volume global d'eaux de surface sera mobilisé au moment où tous les barrages qu'il est possible techniquement et financièrement de réaliser seront installés

Afin de sécuriser l'alimentation en eau et d'optimiser les ressources, le Ministère des Ressources en Eau a prévu de développer l'interconnexion entre les grands barrages. Dans l'Est, outre les réalisations effectives du système de transfert de Beni Haroun près de Constantine et le système des Hautes Plaines Sétifiennes, à l'extrême Est, des études de faisabilité ont été lancées pour le transfert des eaux du barrage de Mexa (wilaya d' El Tarf) vers oued Mellègue dans la région de Tébessa et Aïn Dalia près de Souk Ahras (MRE, 2019).

1 Le cadre de l'étude : la Mafragh, un bassin humide de l'extrême Nord-Est algérien

Le bassin de la Mafragh s'étend sur une superficie de 2762 km² dont 2370 km² sont situés en Algérie et 392.5 km² (soit 14.21%) dans le territoire tunisien. Le bassin versant de la Mafragh représente 82 % de la superficie totale de la Wilaya d'El Tarf. Il constitue, avec les côtières de la Calle, la totalité du bassin versant oriental des Côtières Constantinoises ; il forme le versant Nord du dernier tronçon de la chaîne septentrionale de l'Atlas Tellien. Il prend sa nomination du mot arabe (تـفـرـيـغ de مـفـرـغ) dont l'équivalent en français est : exutoire. Le bassin de la Mafragh est inclus dans le bassin versant des Côtières Constantinoises, codifié sous le numéro 03 de l'ANRH, et s'étend de 7°45 à 8°45 de longitude Est et de 36°20 à 36° 55 de latitude Nord (figure1). Il est limité :

- Au Nord par le massif dunaire de Bouteldja formant obstacle naturel avec la mer Méditerranée ;
- Au Sud par le bassin de la Medjerda ;
- A l'Est par le bassin des côtières de la Calle et les frontières tunisiennes ;
- A l'Ouest par le bassin de la Seybouse.

Ce bassin transfrontalier représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles et souterraines. Sa diversité lithologique lui offre la particularité d'avoir deux milieux différents, l'un favorise l'infiltration et l'autre l'écoulement superficiel, d'où les possibilités considérables pour la mobilisation de la ressource en eau. Une superficie de 1227 km² est contrôlée par les deux barrages de Mexa et de Cheffia (soit 44.42 % de la superficie totale du bassin versant de la Mafragh).

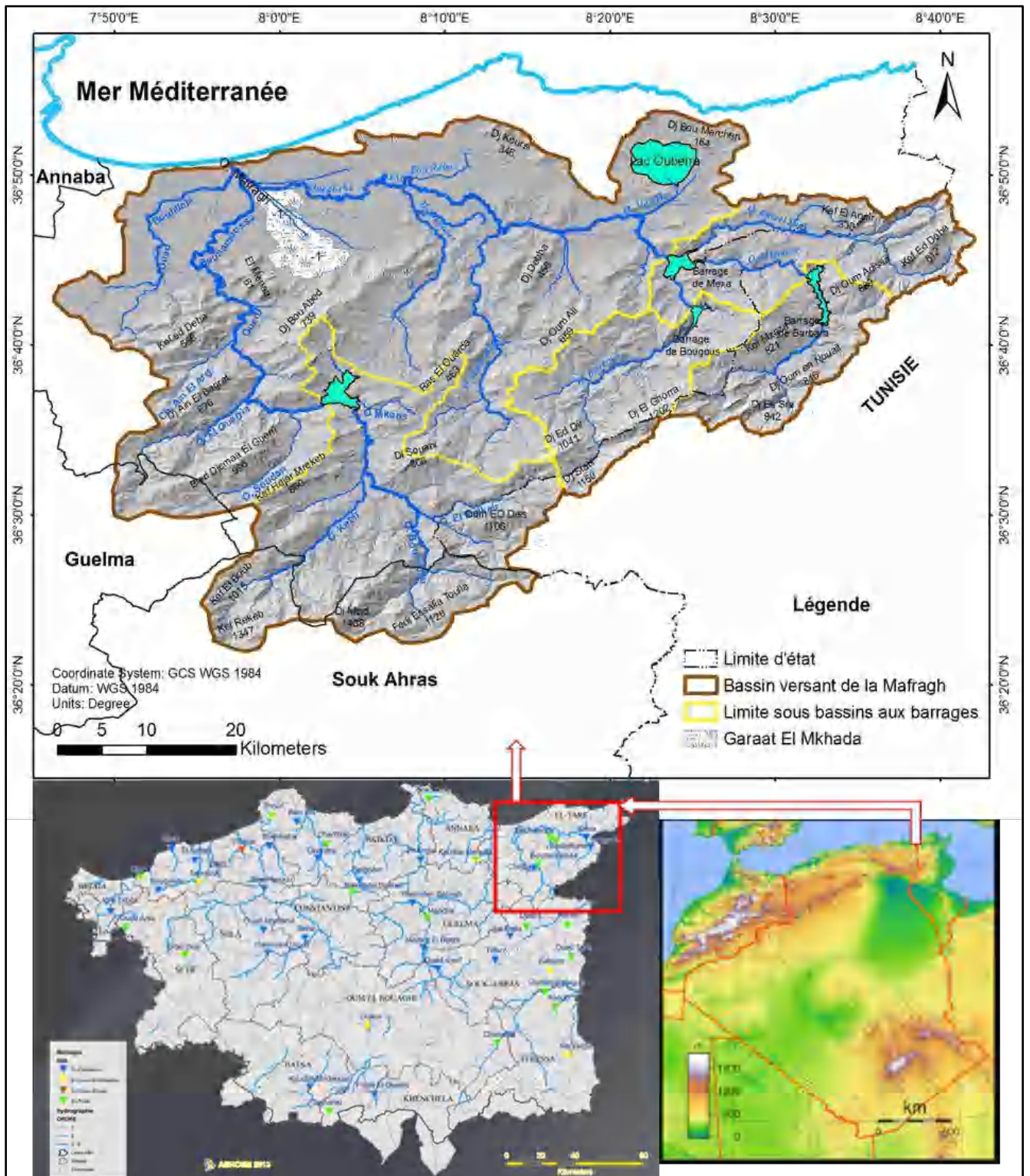


Figure 1. Cadre géographique du bassin versant de la Mafragh

Le bassin de la Mafragh est drainé par deux oueds importants, l'oued Bounamoussa à l'Ouest et l'oued Kebir-Est à l'Est qui confluent à environ 2 km de l'embouchure de la Mafragh dans la mer Méditerranée. Le bassin de la Bounamoussa s'étend sur une surface de 988 km² et draine avec l'oued Bouhllala (169 km²) la partie ouest de la Mafragh (1157 km²). Il forme avec le bassin versant du Kébir-Est (1605 km²) la totalité du bassin versant de la Mafragh

Le modelé du relief se distingue par un relief différencié plaine – montagne. Selon [Marre \(1987\)](#), une première barrière topographique constitue la limite Sud de la basse vallée de la Mafragh (plaine El Tarf-Boutheldja) où l'altitude s'élève à 569 m à Ras Ain Touila- Bougloub, pour atteindre les 739 m à Djebel Bou-Abed. Parallèlement à la chaîne des Monts de la Medjerda, les Monts de la Cheffia constituent une deuxième barrière topographique, mais plus modérée, d'orientation SW-NE ([Marre, 1987](#)), où l'altitude varie entre 996 m à Bled Djemaat El Guerfi (forêt de l'Oued Soudan), 808 m à Djebel Souani, 659 m à Djebel Oum Ali et 463 m à Ras El Ourda. La ligne topographique de la Medjerda est la troisième barrière topographique d'orientation SW-NE qui longe le bassin versant dans sa partie Sud. Le point le plus élevé culmine à 1404 m (Djebel M'Cid). L'altitude s'abaisse progressivement vers le Nord-Est pour atteindre 1041 m à Djebel Dir, 1202 m à Kef Rokba « Ghorrat El Hammam » et 821 m à Kef Mzaza. Elle porte des escarpements rocheux et son versant Nord algérien en pente forte, a un commandement de 500 m et plus. En revanche, Kef Rokba domine une topographie plane qui s'élève de 450 à 500 m sur l'ensemble des massifs de cette région ([Marre, 1987](#)).

Le climat est du type méditerranéen humide de l'extrême Nord-Est algérien, caractérisé par deux saisons distinctes d'inégale durée : l'une froide et humide durant laquelle plus que 80 % des précipitations tombent et dont des apports importants et irréguliers sont enregistrés. L'autre saison est sèche et chaude où l'évaporation atteint sa plus forte intensité ; elle est marquée par l'indigence en apports hydrologiques.

D'après les travaux de [Joleud \(1936, 1946\)](#), de [Laffitte \(1951\)](#) et de [Vila \(1978\)](#), les formations géologiques dominantes sont les grés et les argiles sous-numidiennes. Les grés numidiens affleurent dans toute la région constituant les bordures des plaines et le substratum des formations alluvionnaires sur les deux rives de l'oued Kébir-Est. On les rencontre également au Sud des Monts de la Cheffia. Les argiles sous-numidiennes affleurent à la base de la majeure partie des Monts de la Cheffia, au Sud-Est de Bouteldja (Djebel Hdjar Siah, Bourdim).

Ces formations limitent les alluvions de l'oued Bougous à l'Est et l'oued Guergour à l'Ouest aussi dans la région de Ain Assel. En général, Elles ne sont pas visibles sur le terrain à part quelques petits affleurements, car la végétation les recouvre.

La végétation du bassin versant de la Mafragh est à vocation principalement forestière (figure 2). La forêt, avec une surface de 175318 ha couvre environ 61.91 % de la superficie totale de la wilaya d'El Tarf ([Conservation des forêts, 2022](#)) dont 153000 ha couvrent 64.55 % de la superficie du bassin versant de la Mafragh. Elle constitue une entité écologique exceptionnelle représentée par une mosaïque d'écosystèmes particuliers de type méditerranéen (marin, dunaire, forestier et lacustre).

Le bassin versant de la Mafragh connaît néanmoins une forte pression anthropique, liée au développement des agglomérations urbaines se traduisant par un taux d'évolution des surfaces urbanisées de l'ordre de 6.3 % soit 173 km² de la superficie totale du bassin versant (y compris la surface située en Tunisie) (figure 2).

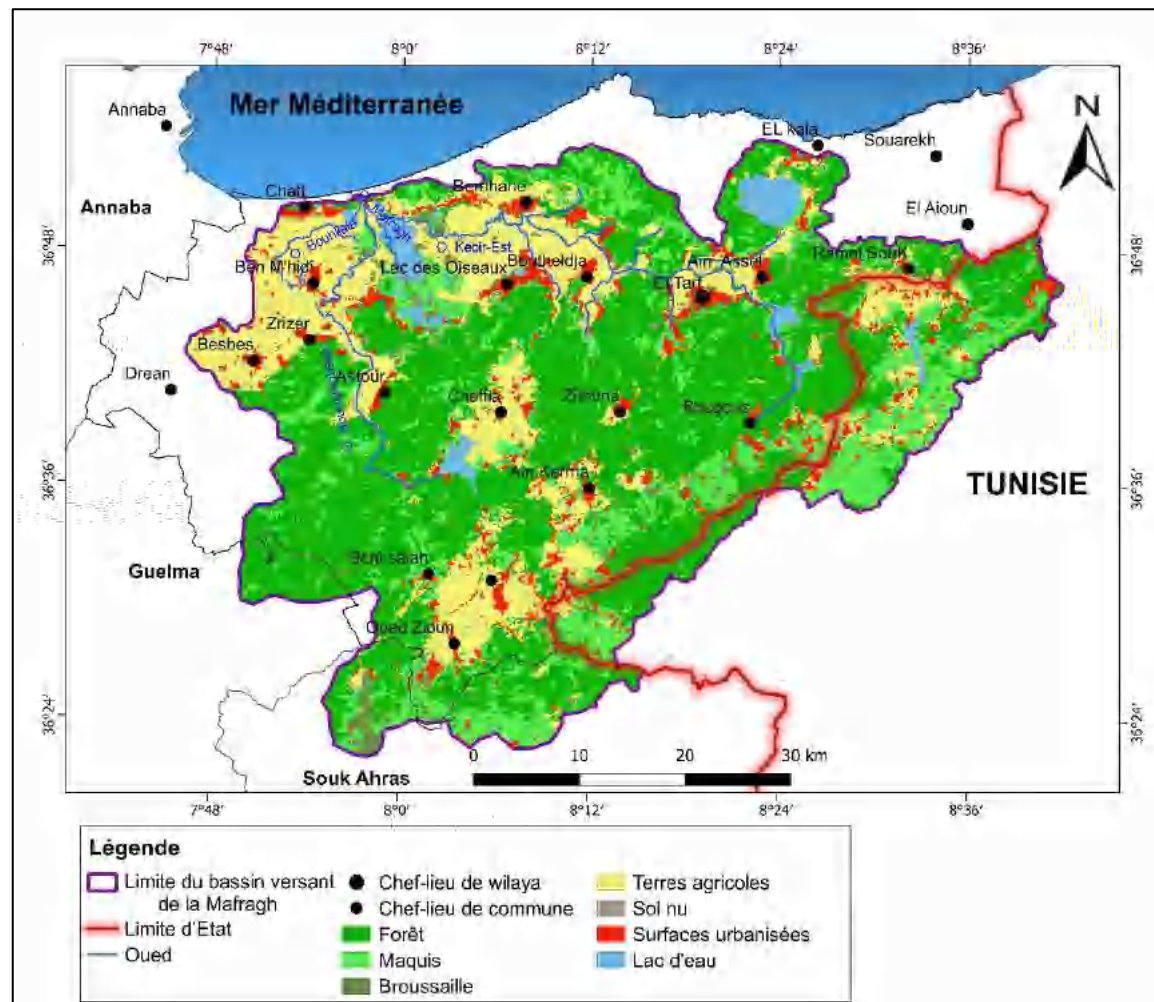


Figure 2. Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Mafragh (réalisée à partir d'une image satellite raster (2020) Sentinel 2 d'une résolution de 10 m).

Les cours d'eau qui prennent naissance dans la partie tunisienne, se répartissent à travers cinq bassins versants d'une superficie variable (Frigui, 2019) : Oued Zarga, affluent de l'oued Kébir de Tunisie dans la région de Tabarka (63 km²), Oued Mellila (104 km²), Oued Barbra en amont du bassin du barrage de Mexa (218 km²). Oued Messelane et Oued Mermel en amont du bassin versant du barrage de Bougous (31 km²), Oued Edir et Oued Melkhir en amont du bassin versant du barrage de Cheffia (81 km²). Le tableau 1 représente les superficies calculées sur la base du MNT et dans le le tabelleau 2, Frigui (2017) donne l'estimation des apports en écoulement des bassins transfrontaliers tuniso-algériens (en amont des barrages de Mexa, Bougous et Cheffia).

Tableau 1. Relief et altimétrie du bassin versant de la Bounamoussa (Modèle Numérique de Terrain téléchargé à partir du site : earthexplorer.com, résolution de 30×30m)

| Bassin Versant | Surface totale du BV (km ²) | Surface du BV en Tunisie (km ²) | Surface du BV en Algérie (km ²) |
|--|---|---|---|
| Bougous | 227 | 23 | 204 |
| Barbara | 175 | 161 | 14 |
| Mexa (bassin intermédiaire) | 250 | 144.5 | 105.5 |
| Total Mexa | 651 | 328.5 | 323.5 |
| Surface du BV à la station hydrométrique de Ain Assel (ANRH) | 680 | 328.5 | 351.5 |
| Cheffia | 575 | 64 | 511 |
| Total BV (Cheffia et Mexa) | 1227 | 392.5 | 834.5 |

Tableau 2. Apports en écoulement des bassins transfrontaliers tuniso-algériens (en amont des barrages de Mexa, Bougous et Cheffia)-(d'après, Frigui, 2017)

| Les bassins | Les oueds aux barrages | Surface en Tunisie (km ²) | Surface en Algérie (km ²) | Apport des bassins Algériens vers la Tunisie (hm ³ /an) | Apport des bassins Tunisiens vers l'Algérie (hm ³ /an) | |
|--|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|----|
| Bassin extrême Nord-Ouest (Tunisie) | Zarga | 41.75 | 21.25 | 9 | | |
| Bassin Versant de la Mafragh (Algérie) | Amont Mexa | Mellila | 104 | | 51 | |
| | | Barbara | 200 | 17.5 | 8 | 91 |
| | Amont Bougous (Messlène et Mermel) | | 23 | 8 | 4 | 11 |
| | Amont Cheffia (Melkhir et Edir) | | 65 | 16 | 7 | 30 |
| Total | | 392 | 62.75 | 28 | 183 | |

2 L'enjeu de la mobilisation des eaux par barrages et de leur gestion

On admet aujourd'hui qu'il existe une grande variété de fonctionnements hydrologiques et donc de processus de l'écoulement (Freeze, 1972 ; Chorley, 1978 ; Dunne, 1983 ; Kirkby, 1988). Le cycle hydrologique doit être appréhendé dans sa globalité par une « gouvernance sociétale » qui, seule, peut garantir la pérennité du couple eau-développement durable, en impliquant gouvernements et citoyens (Froger et al, 2005).

Notre thème de recherche aborde le fonctionnement hydrologique du bassin de la Mafragh à travers les données des deux principaux barrages (Cheffia et Mexa) en cours d'exploitation, et l'interaction des bassins en amont avec la plaine côtière en aval. Dans ce contexte naturel humide, les ressources en eau font face à des contraintes majeures que sont la variabilité et le changement climatiques, les risques d'inondation, les conflits d'usages face à l'accroissement de la demande et les tensions (amont/aval) pour le partage de la ressource d'un cours d'eau transfrontalier.

Le bassin au barrage de Cheffia couvre une surface de 575 km² soit 58.20 % de la superficie totale du bassin versant de la Bounamoussa. Le bassin du haut Kébir-Est au barrage Mexa est symétrique au bassin du barrage de Cheffia ; il couvre une superficie de 651 km² dont 328.5 km² situés en Tunisie. L'aval de la Mafragh correspond à la partie Est de la grande plaine de Annaba, couverte de Garâates au milieu desquelles serpentent des «Khelidjs» (faux bras de rivières où l'eau ne coule parfois que par intermittence et dont le réseau est largement anastomosé (Joleaud, 1936).

Les objectifs de construction des barrages sont nombreux et variés, mais ils sont essentiellement groupés en deux fonctions : réduire les impacts d'une inondation en aval et atténuer les conséquences d'une saison sèche sur les volumes d'eau (Dewals et al, 2011). Ces objectifs multiples sont contradictoires dans la mesure où il faut maintenir la retenue à un volume maximal tout en assurant la sécurité du barrage et en protégeant l'aval du phénomène inondation.

La gestion efficace des réservoirs est un sujet de recherches largement étudié (Castelleti et al, 2008). Il s'agit d'un problème complexe à résoudre, conséquence d'objectifs multiples et conflictuels des réservoirs (Jordan, 2007).

La gestion des réservoirs est un sujet qui implique plusieurs intervenants qui doivent travailler en étroite collaboration pour l'accomplissement de leurs objectifs. Ainsi, plusieurs études récentes ont évalué les impacts des changements climatiques sur la gestion des réservoirs (Christensen et al, 2004 ; Li et al, 2010 ; Raje et Mujumdar, 2010 ; Vicuña et al, 2011 ; Minville et al, 2010a). Cependant, peu de ces études ont évalué des stratégies d'adaptation de la gestion des réservoirs en optimisant les règles de gestion (Eum et al, 2012). L'importance d'une gestion adaptée a été clairement démontrée dans les études de Georgakakos et al (2012) et Vicuña et al (2010). Les changements climatiques peuvent altérer les conditions hydrologiques et il peut en découler une variété d'impacts possibles dans les systèmes hydriques (Simonovic et Li, 2004).

Afin de mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Mafragh, contrôlé dans sa partie amont par deux principaux barrages (Cheffia et Mexa) auxquels s'ajoutent deux barrages en amont de Mexa (Bougous en territoire algérien et Barbara en territoire tunisien). Il est important d'analyser la régularisation des apports par ses ouvrages, leur gestion lors des évènements pluvieux intenses et également leurs impacts sur les zones de plaine situées en aval de ces milieux montagnards abondamment arrosés par la pluie.

3 Risque hydrologique et protection contre les inondations

La région d'El Tarf-Annaba est régulièrement menacée par les inondations qui ne sont pas toujours liées à des situations météorologiques exceptionnelles (comme celle de Mars 1973 qui a touché la Tunisie et le Nord-Est de l'Algérie) (Miossec, 1975), mais elles surviennent suite à des épisodes pluvieux saisonniers principalement printaniers ou hivernaux (mai 2009, février et mars 2012, janvier 2015).

L'influence dominante du facteur climatique, en particulier pluviométrique, rythme la disponibilité des ressources en eau de surface, leur pénurie et leur surabondance récurrentes (Mebarki, 2005).

La région d'El Tarf a connu plusieurs inondations exceptionnelles, parmi lesquelles, celles catastrophiques de mars 1973, de 1984, de 2003 et de février-mars 2012. Les évènements «rares» et «exceptionnels» ont été définis par Ledoux (2006) comme ceux dotés respectivement d'une période de retour de 100 ans et supérieure à 100 ans.

Les agglomérations de la plaine d'E Tarf (basse vallée de la Mafragh) encourent un risque croissant face aux inondations fréquentes. Cette vulnérabilité croissante est l'enjeu majeur

d'une gestion efficace amont-aval face à l'irrégularité des précipitations en particulier ces dernières décennies marquées par de forts aléas hydroclimatiques (sécheresse, inondation). La vulnérabilité aux aléas hydroclimatiques du bassin versant de la Mafragh est fortement accentuée par des facteurs socioéconomiques et environnementaux ; elle est augmentée par l'installation des populations dans la plaine inondable.

La définition la plus courante du risque reste celle qui le définit comme une confrontation aléa-vulnérabilité (Fournier, 1979 ; Barroca, 2006). Selon Barroca (2006) : « Indépendamment des disciplines, le concept risque possède des caractéristiques communes présentes dans les définitions des dictionnaires :

- un « danger éventuel plus ou moins prévisible » Petit Robert.
- un « danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé » Larousse.

« Ces définitions mettent en avant le fait qu'un risque est un concept dual, confrontation d'un événement ou d'une suite d'événements plus ou moins aléatoires (la source du risque) avec des conséquences possibles (qualification du risque) ».

La vulnérabilité est une notion évolutive dans le temps et l'espace, et elle est multiple. Elle caractérise tantôt la dimension matérielle (dégâts) et tantôt la dimension immatérielle (vécu des populations) (Laganier et Scarwell, 2003).

Les crues du Kébir-Est font partie de l'histoire de la création de l'ensemble des localités de la plaine depuis l'époque coloniale. Mussard (2018) a montré que dans le projet de création des centres de colonisation de la plaine d'El Tarf : « ... les contraintes naturelles n'ont pas généré la création de la plupart des villages, situés en plaine. Les difficultés rencontrées à l'usage sont davantage liées aux inondations : le bassin hydrographique important, autour de l'Oued El Kébir, connaît des crues régulières qui conduisent les riverains à demander des fonds – des « secours » – pour procéder à des travaux ».

Le problème d'inondation était à l'origine de la création du plus ancien syndicat du dessèchement de la plaine d'El Tarf en 1905 (Archives Nationales d'Outre-Mer ANOM 93302/34). Mussard (2018) la décrit comme suit : « Cette zone fertile mais régulièrement inondée fait l'objet d'une autre association en 1923 : l'Association pour la défense des terres de la vallée de l'Oued El Kébir, présidée par J. Barris du Penher ». Après la seconde guerre mondiale « la réglementation des nombreux syndicats présents dans la commune mixte montre à l'inverse la participation des agriculteurs algériens et la représentation de ce groupe au sein

des conseils d'administration qui comptent en général un tiers d'Algériens parmi ces membres ».

L'Algérie s'est dotée à partir de 1985 de la loi de prévention des risques majeurs et de gestion des catastrophes. La loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A, 2004). Parmi les quatorze risques majeurs identifiés par l'ONU (Organisation des Nations Unis), dix concernent l'Algérie. Les inondations sont en deuxième position après les séismes et les risques géologiques en termes d'ampleur des dommages. La vulnérabilité des enjeux est étroitement liée à la croissance démographique et à l'urbanisation souvent inappropriée sur les terrains inondables.

Ainsi «689 sites inondables, dont 233 présentent un risque très élevé dont 24 présentent des risques extrêmes, 61 de très hauts risques et 148 à hauts risques.» ont été recensés sur le territoire national (Ministère des ressources en eau, janvier 2019).

4 La nécessité d'aménagement intégré et durable

La gestion intégrée des ressources en eau représente une approche d'avenir mettant en jeu les notions de mobilisation, d'exploitation et de protection de cette ressource de manière efficace et compétente.

Une meilleure gestion des ressources en eau doit être envisagée par une approche intégrée, dont l'objectif sera de :

- Protéger la ressource et améliorer sa connaissance ;
- Planifier l'utilisation de la ressource, et pratiquer une politique d'économie de l'eau ;
- Préserver les écosystèmes et prévenir les risques (érosion, sécheresse, inondations).

Au niveau du bassin versant de la Mafragh, devant l'importance de cette ressource naturelle qui est l'eau, et les concurrences qu'elle suscite, la question se pose quant à la mobilisation optimale et l'utilisation raisonnée de la ressource dans une perspective de développement durable. L'utilisation des eaux non conventionnelles est devenue une priorité de la politique de gestion des ressources en eau en Algérie, après la mobilisation des eaux de surface et les eaux souterraines.

Par ailleurs, l'aménagement des bassins frontaliers algéro-tunisiens nécessite une implication des deux parties (algérienne et tunisienne) dans le cadre d'une gestion optimale et durable des eaux. Une commission technique mixte de l'hydraulique et de l'environnement (C.T.M.H.E) est installée depuis 1985 (première session à Tunis le 20 au 24 mai 1985 ; la dernière session a eu lieu à Tunis le 22-23 décembre 2014). Cette commission est chargée du suivi des aménagements existants et en cours de réalisation ou d'études dans les bassins versants de la Medjerda et le bassin versant de l'oued Kébir-Est, l'annonce des crues et la protection des aménagements contre la pollution (Frigui, 2017). Cette commission opère certainement à un niveau centralisé (le ministère), parce que les gestionnaires des barrages algériens (Mexa, Bougous et Cheffia) semblent ne pas avoir de collaboration avec cette commission, notamment dans le domaine de l'annonce des crues.

5 Axes de recherche de la thèse

Trois grands axes de recherche sont identifiés, d'où l'organisation de cette thèse en trois Parties et 6 Chapitres (figure 3).

L'étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Mafragh est axé sur l'analyse des contextes physiques et des composantes du cycle de l'eau dans les deux sous-systèmes symétriques composant la Mafragh ; l'hydrosystème de la Bounamoussa drainant la partie Ouest jusqu'au barrage Cheffia et celui du Kébir-Est drainant la partie Est jusqu'au barrage Mexa. L'analyse du bilan de régularisation de chaque barrage depuis sa mise en eau est complétée par l'étude des apports de crue et leur gestion (laminage, vidange de fond) au cours des événements extrêmes. L'analyse des crues exceptionnelles et rares comme celles des 22 et 23 février 2012 permet de mettre en évidence le niveau de risques encouru par la population de la plaine d'El Tarf, aggravé par les lâchers des barrages effectués dans l'urgence pour la sécurisation des ouvrages.

Enfin, est abordée la protection de l'hydrosystème de la Mafragh et son aménagement. Ce dernier volet de la thèse consiste en la démonstration de la pertinence de la protection de l'aval (plaine d'El Tarf) contre les inondations et de la gestion durable des ressources en eau à travers un schéma d'aménagement global du bassin versant de la Mafragh. L'importante question de

l'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf (périmètre d'irrigation d'une surface nette de 9118 ha) est mise en avant à travers l'impact du projet de protection des terres agricoles de

la plaine d'El Tarf et les défaillances techniques relevées après trois crues exceptionnelles (février 2012, mars 2012 et janvier 2015).

L'interconnexion des barrages réservoirs existant et ceux projetés par le transfert des volumes d'eau excédentaires peut constituer, pour le moyen et long terme, une solution intéressante et efficace.

Les analyses abordées tout le long de la thèse reposent sur les données statistiques et graphiques brutes et la documentation technique, recueillies auprès des services de l'ANBT, de l'ANRH, de l'ONID (Alger et El Tarf), de la DRE (wilaya d'El Tarf et de Annaba), de l'ABH (agence de Annaba) et du MRE (Alger). Sur le plan cartographique, ces données ont été traitées à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) (ArcGis10.8 et QGIS.V.3.16), tout en utilisant les images Raster à base de MNT du satellite ASTER, prises en 2020.

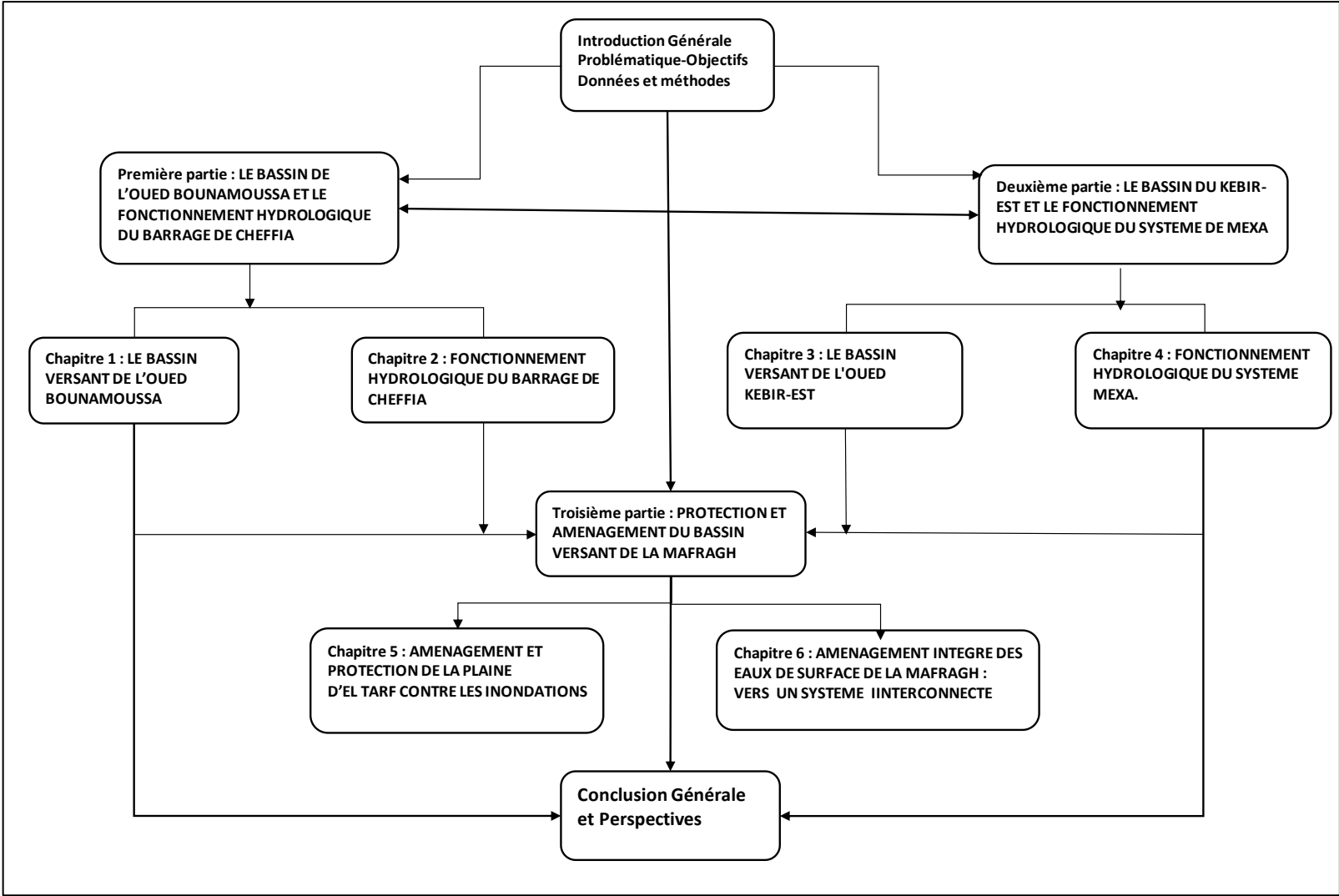


Figure 3. Présentation schématique : organigramme des chapitres de la thèse

PREMIERE PARTIE : Le bassin de l'oued Bounamoussa et fonctionnement hydrologique du barrage cheffia

PREMIERE PARTIE : LE BASSIN DE L'OUED BOUNAMOUSA ET FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BARRAGE CHEFFIA

Introduction de la Première Partie

Selon [Marre \(1987\)](#) : « *les montagnes de l'Est algérien se présentent comme un bourrelet longeant et dominant la mer Méditerranée depuis Bejaia jusqu'à la frontière tunisienne. Malgré la modestie des altitudes, le Tell oriental algérien présente un très net caractère montagnard. Il le doit à la proximité de la mer qui donne aux pentes une très grande raideur* ».

Le bassin de la Bounamoussa s'étend sur une surface de 1157 km² et forme avec le bassin du Kébir-Est le bassin versant de la Mafragh. Il coule du Sud vers le Nord sur une distance d'environ 100 km. Sur les rives de la Bounamoussa d'autres affluents coulent naturellement dans des sous bassins d'une surface variable : Oued Soudan (85 km²), Oued El Guerriah (120 km²), Chaabet Ain El Arg (50 km²) ([Samié, 1956](#)).

Ce bassin versant est ouvert sur le littoral par l'exutoire unique, la Mafragh. Caractérisé par un climat humide et pluvieux de l'extrême Nord-est algérien, il fait partie du tell oriental qui se différencie par « *la présence de grands « châteaux d'eau » sur le Tell et le littoral, directement exposés aux flux humides dominants du Nord et du Nord-Ouest* » ([Mébarki, 2005](#)).

Dans le premier chapitre on va présenter les caractéristiques physiques (relief, pente et paramètres morphométriques et hydroclimatiques du bassin de la Bou-Namoussa. Les formations géologiques et l'occupation du sol seront aussi exposées brièvement.

Le barrage de Cheffia contrôle les écoulements de ce bassin. La construction du barrage de Cheffia sur l'oued Bounamoussa en 1965 répondait à une nécessité économique : l'irrigation du périmètre de la Bounamoussa (17000 ha) dans la plaine d'Annaba, l'alimentation en eau de la ville d'Annaba et du complexe sidérurgique d'El Hadjar et enfin l'écrêtement des crues de l'oued Bounamoussa ([Affoun et al, 2019](#)).

Le deuxième chapitre sera consacré au fonctionnement hydrologique et au bilan d'eau du barrage de Cheffia analysé à l'aide d'une série de données d'observations de 47 ans (1970/71 à 2016/17).

Les crues exceptionnelles qui ont marqué le fonctionnement du barrage de Cheffia depuis sa mise en eau vont être analysées à une échelle journalière et horaire, pour saisir leur impact sur les inondations et pour appréhender le comportement et la gestion du barrage au moment des phénomènes extrêmes.

***CHAPITRE I : LE BASSIN VERSANT DE L'OUED
BOUNAMOUSA***

Introduction

Du Sud vers le Nord, les monts de la Medjerda, surplombent la plaine côtière de Annaba El Tarf. Parallèlement à la chaîne des Monts de la Medjerda, les Monts de la Cheffia constituent une deuxième barrière topographique, mais plus modérée, d'orientation SW-NE (Marre, 1987) où l'altitude varie entre 996 m à Bled Djemaat El Guerfi et 179 m à Kef El M'kouz.

Les plaines littorales correspondent à la basse vallée de la Mafragh, la terminaison extrême Nord-Est de la grande plaine de Annaba s'organise autour de Garaât EL M'khada où convergent les oueds Kebir-Est, Bounamoussa et Bouhllala donnant naissance à l'oued Mafragh avant de se jeter dans la Méditerranée.

Le bassin de l'oued Bounamoussa se décompose en deux parties, du Sud vers le Nord :

- **Bounamoussa amont** (sous-bassin versant au barrage de Cheffia) : il couvre une surface de 575 km² dont 64 km² situés en territoire tunisien (tableau 3). Ce bassin est composé principalement par le bassin de Bouhadjar à caractère montagneux au Sud (Djebel M'cid : 1404 m). Ce bassin constitue la zone d'alimentation du barrage de Cheffia construit depuis 1965.

- **Bounamoussa aval** : il couvre une surface de 413 km² dont 50 % représentent la plaine de Asfour et de Ben M'hidi. Sa topographie est plus modérée. Il est limité au Sud-Ouest par Djebel Bled Djmaa el Guerfi qui culmine à 996 m. L'altitude devient très faible vers le Nord-Est à El Manaa El Sghir (61 m). A la sortie de la plaine de Asfour, l'oued coule du Nord-Ouest vers le Nord-Est en suivant un tracé sinueux jusqu'à sa confluence avec oued Kébir-Est formant l'oued Mafragh sur 2.6 km avant de se jeter dans la Méditerranée (Affoun, 2006).

Tableau 3. Surfaces des bassins de l'oued Bounmoussa et de Bouhllalla (Calculées par ArcGis10.8 à partir du MNT).

| Nom du bassin versant | Surfaces (km ²) | % de la surface total |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Barrage Cheffia | 575 | 58 |
| Bounamoussa Aval | 413 | 42 |
| Bounamoussa | 988 | 100 |
| Surface en Tunisie | 64 | 6.5 |
| Bouhllala | 169 | / |
| Bounamoussa+Bouhllala | 1157 | / |

Sur le plan géologique, la subsidence de la plaine, toujours active, a empêché les oueds de s'encaisser et de dégager des terrasses. Les limites entre les argiles et les grès sont difficilement perceptibles sur le terrain en raison de l'épaisseur du recouvrement et de la couverture végétale. (Marre, 1987). Dans le contexte climatique humide de l'extrême Nord-Est algérien, l'oued Bounamoussa reçoit une lame précipitée moyenne annuelle (autour de 802 mm) variable du Sud vers le Nord. Cette lame produit des apports hydrologiques irréguliers qui se répercutent sur l'hydrogramme des débits au barrage de Cheffia.

1 LE CONTEXTE TOPO-HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DE LA BOUNAMOUSA

1.1 Relief et altimétrie

La partie amont du bassin versant de la Bounamoussa est équipée par le barrage de Cheffia qui contrôle une superficie de 575 km². Le relief est caractérisé par une topographie plus accidentée vers l'amont ; les bassins montagnards de Bouhadjar et de Ain El Karma ont des altitudes qui culminent à 1404 m à Djebel M'cid vers le Sud, 808 m à Djebel Souani vers le Sud-Est et 996 m à Djebel Driah (Bled Djmaa el Guerfi) vers le Sud- Ouest. Le relief est plus modéré vers le Nord-Est où les altitudes se limitent à 402 m à Djebel Nador et 452 m à Djebel Fedj Torba. Les monts de Djebel Bouabed font la limite Nord et Nord-Ouest du bassin versant au barrage de Cheffia avec des altitudes atteignant 739 m à Kef Beni Fredj et 496 m à Kef El Abid.

D'après la figure 4, le relief du bassin versant de la Bounamoussa est caractérisé par les unités physiographiques suivantes :

La plaine côtière : elle borde la mer d'Est en Ouest jusqu'à Ain Assel à l'Est. Elle s'étend sur une surface de 235 km². Elle représente l'aval du bassin versant de la Bounamoussa. L'altitude de la plaine varie de -1 m au niveau du marais d'El M'khada à quelques dizaines de mètres vers le Sud.

Les collines et les basses montagnes : une série de collines et de basses montagnes longent la plaine vers le Sud, d'une orientation Sud-Ouest Nord-Est, représentées par Djebel Debba et Djebel Ain el Bagrat. Les monts de la Cheffia au Nord-Est à Djebel Ras El Ouarda font la limite Nord-Est ; ces formes couvrent une surface de 394 km² soit 34 % (figure 4).

Les montagnes : elles forment la limite Sud et Sud-Ouest du sous bassin versant de la Bounamoussa. Ces terrains accidentés sont caractérisés par des pentes assez fortes à fortes. Ces montagnes d'une altitude supérieure à 500 m couvrent une surface de 525 km² soit 46 % de la superficie totale.

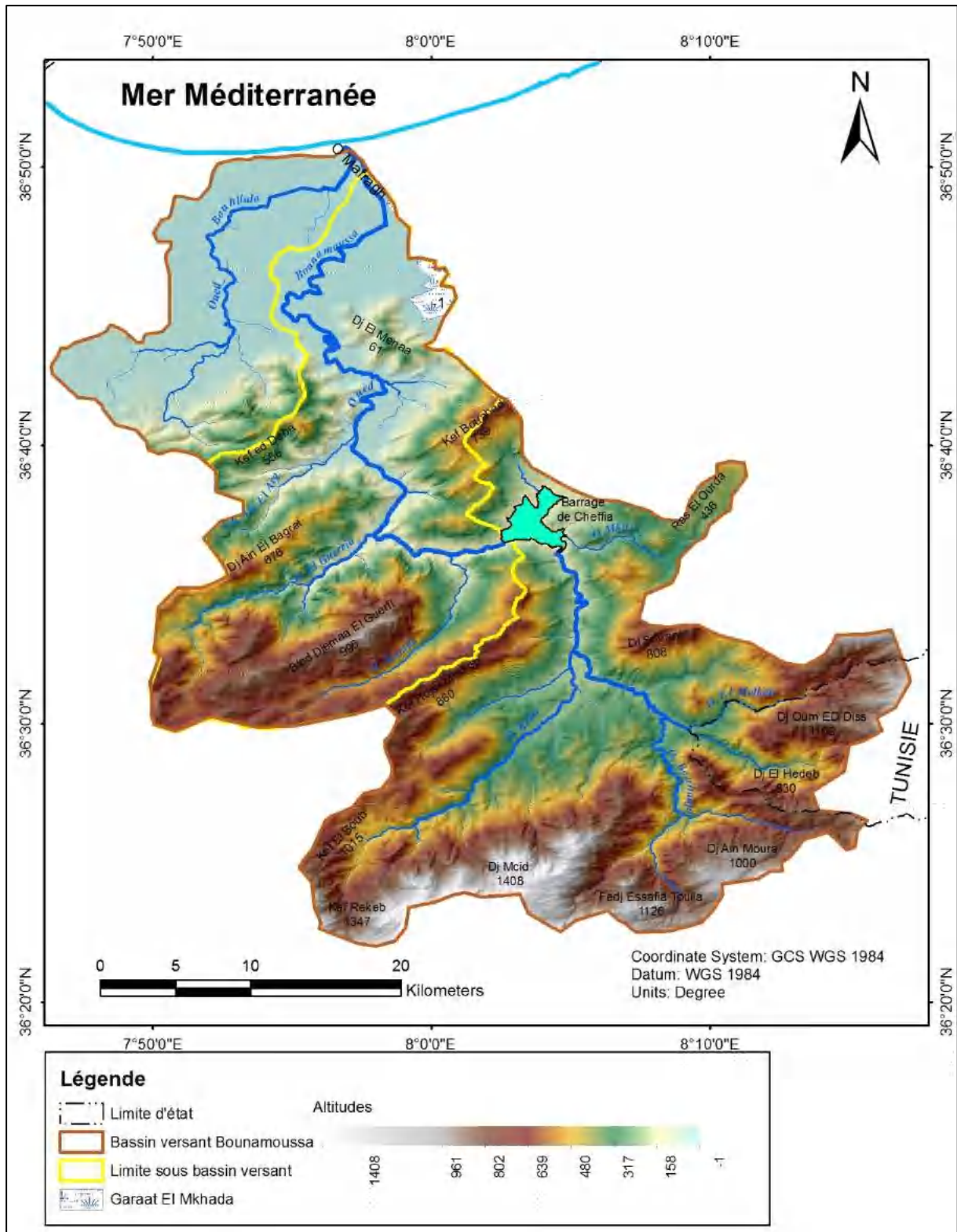


Figure 4. Relief et altimétrie du bassin versant de la Bounamousa (Modèle Numérique de Terrain téléchargé à partir du site : earthexplorer.com, résolution de 30×30m)

1.2 Les paramètres morphométriques

Les paramètres morphométriques des bassins versants : de la Bounamoussa, de Bouhllala et du barrage de Cheffia vont être analysés brièvement afin de voir leur impact dans le fonctionnement de l'hydrosystème.

L'indice de compacité de Gravius est un paramètre indicateur de la forme du bassin versant ; il renseigne aussi sur la vitesse de concentration des débits, la rapidité des crues ainsi que le ruissèlement et l'érosion hydrique. Cet indice est > 1.5 indiquant une réponse hydrologique plus lente pour les deux sous bassins de la Bounamoussa et du sous bassin au barrage de Cheffia.

Les pentes du bassin versant sont faibles à moyennes, et varient entre 0 et 18 %. La pente moyenne du cours d'eau principal est d'une valeur de 24.4 m/km soit 2.45 % dans sa partie aval, par opposition à une pente plus importante à l'amont du cours d'eau principal atteignant 7.95 % ; sur un relief plus accentué, l'altitude varie entre 800 et 1404 m et les pentes sont supérieures à 24 % (figure 5).

D'après le tableau 4 et la figure 5, la classe des pentes inférieures à 5 % représente 27 % de la superficie totale ; elle correspond à la plaine au Nord du bassin versant. Par ailleurs 44 % de la superficie totale est d'une pente inférieure à 10 %. Les pentes supérieures à 30 % sont limitées aux montagnes particulièrement dans le Sud du bassin versant indiquant un relief accidenté.

Tableau 4. Surfaces par classes de pentes du bassin versant de la Bounamoussa et Bouhllalla

| Classe de pente | Surface (km ²) | % de la surface totale |
|-----------------|----------------------------|------------------------|
| 0- 5% | 317 | 27 |
| 5-10% | 188 | 16 |
| 10-20% | 272 | 23 |
| 20-30% | 215 | 19 |
| 30-40% | 125 | 11 |
| 40-50% | 40 | 3 |
| Total | 1157 | 100 |

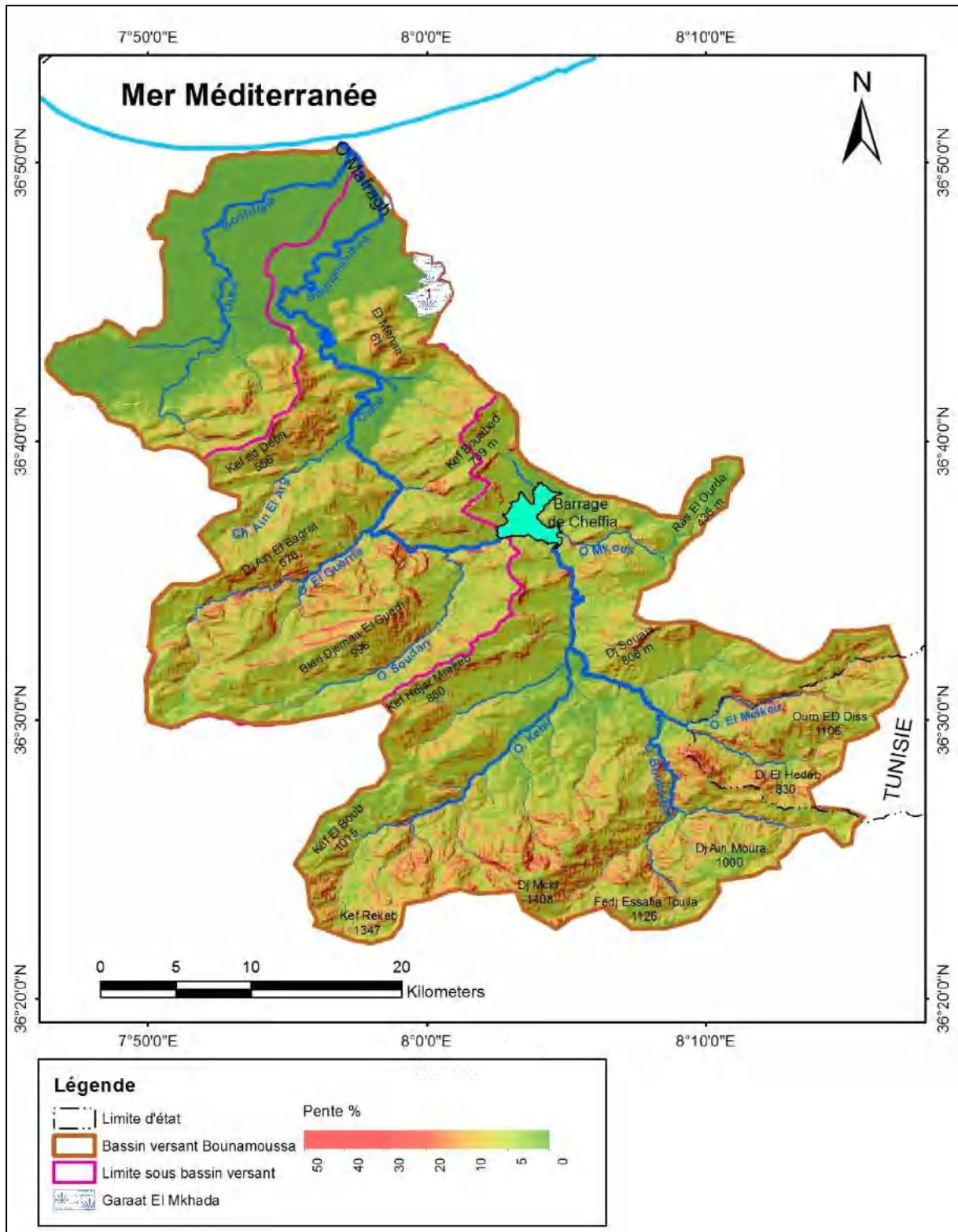


Figure 5. Carte des pentes du bassin versant de la Bounamoussa (Modèle Numérique de Terrain téléchargé à partir du site : earthexplorer.com, résolution de 30×30m)

La pente moyenne du cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence le débit maximal observé. Une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel, tandis qu'une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie dans le sol.

La dénivelée spécifique exprime un relief assez fort ($D_s=186$ m) au niveau du bassin versant au barrage. Le relief est faible pour le bassin versant de Bouhllala car 75 % de la superficie représentent la plaine, où les altitudes varient entre -1 m (au niveau de Garâat El M'khada) et 11 m (tableau 5).

Le temps de concentration T_c a été calculé par les formules empiriques les plus utilisées en Algérie : Formule de Giandotti II, Ventura et de Passini. Les résultats sont portés dans le tableau 5. Le temps de concentration moyen est de 6 heures pour le sous bassin au barrage de Cheffia, de 8 h heures à Bouhllala et 18 heures à Bounamousa, c'est un autre paramètre qui conditionne l'écoulement. La pente hydrographique irrégulière du cours d'eau principal traduit un profil en long concave d'amont en aval (figure 6).

Tableau 5. Caractéristiques morphométriques des sous bassins versants de la Bounamoussa ((1) (DRE, Etude hydrologique, 2013). (2) (Affoun))

| Caractéristiques du relief | Symbole | Bassin versant | | |
|---|-------------------------|----------------|-------------------|---------------------------|
| | | O.Bouhlala (1) | O.Bounamoussa (1) | BV au barrage Cheffia (2) |
| Périmètre (km) | P | 64.17 | 305.5 | 222.55 |
| Surface (km ²) | S | 169.10 | 1160 | 575 |
| Longueur du Thalweg Principal (km) | L Th Prin | 32.42 | 96 | 36.85 |
| Altitude Max (m) | Zmax | 556 | 1414 | 1404 |
| Altitude Min (m) | Zmin | 1 | 1 | 148 |
| Altitude Moyenne (m) | Zmoy | 150.95 | 456.32 | 568 |
| Altitude Médiane 50% (m) | Z _{500/0} | 303.29 | 426.52 | 528 |
| Indice de Pente globale (m/km) | Ig | 1.71 | 1.49 | 7.7 |
| Indice de pente de Roche(%) | I _{PenteRoche} | 2.91 | 0.69 | 0.24 |
| Dénivelée spécifique(m) | Ds | 23 | 50 | 184.86 |
| Indice de compacité de Gravius | Kc | 1.21 | 2.51 | 2.63 |
| Densité de drainage (km/km ²) | Dd | 0.79 | 1.25 | 0.67 |
| Coefficient de torrentialité (%) | Ct | 0.24 | 1.19 | 0.22 |
| Temps de concentration moyen(h) | Tc | 8.01 | 18.53 | 6.3 |
| Vitesse de ruissellement (m/s) | Vr | 4.00 | 5.10 | / |
| Pente moyenne du cours d'eau (m/km) | / | / | / | 24.5 |
| Dénivelée maximale de l'oued (m) | / | / | / | 904 |
| Indice de pente moyenne du bassin versant (%) | / | / | / | 21.11 |

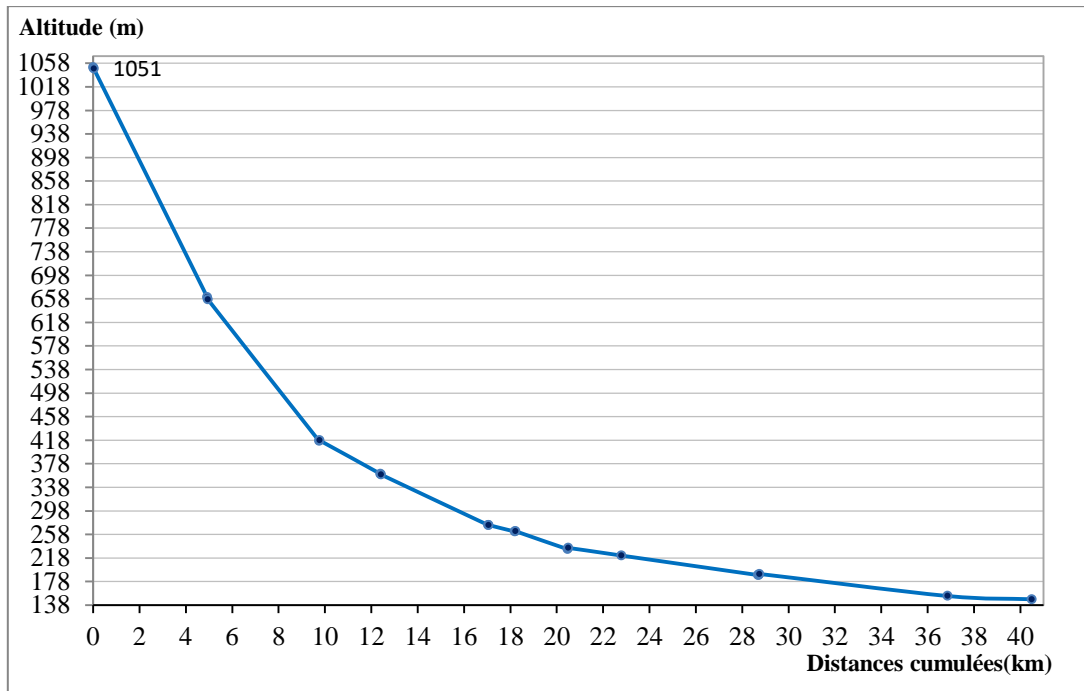


Figure 6. Profil en long de l'oued Bouhadjar : cours d'eau principal du bassin versant au barrage de Cheffia.

1.3 Le réseau hydrographique

L'utilisation de la méthode d'ordination de Strahler nous a permis de retracer le réseau hydrographique en se basant sur son niveau de ramification ; c'est ainsi que le cours d'eau principal a atteint l'ordre 5 à l'exutoire du bassin versant. La densité de drainage est de l'ordre de 0.67 km/km^2 .

L'oued Bounamoussa prend sa source à Djebel M'cid à 1404 m d'altitude (1408 m selon le MNT) et poursuit son cours sous le nom de l'oued El Kebir jusqu'au lac du barrage de Cheffia. Dans une chaîne au relief accusé, son altitude varie de 1263 m à Djebel Mahabouba au Sud-Ouest à 1404 m au Djebel M'Cid au Sud-Est. A hauteur de Bouhadjar (Ex Lamy) et à un niveau de base de 230 m, il reçoit l'oued Bouhadjar sur sa rive droite et l'oued Bou Ralia sur sa rive gauche. Vers le Nord-Ouest le relief est moins accidenté avec 704 m à Kef El Assouad. Oued El Kebir coule vers le Nord jusqu'au lac du barrage de Cheffia. La topographie est plus modérée avec des altitudes variant de 494 m à Kef El Hamra et 575 m à Djebel Benich. Oued Bounamoussa recoupe les structures et s'adapte localement aux accidents tectoniques, ce qui lui donne un tracé en baïonnette (Marre, 1987). Il est guidé localement par des accidents tectoniques d'âge Plio-Quaternaire, et enfin la subsidence de la plaine de Annaba (Marre, 1987).

Dans son cours moyen, de la sortie du barrage de Cheffia à l'entrée de la plaine de Asfour (ex. Combes), l'oued Bounamoussa utilise un réseau de failles ouvertes à la faveur du plissement

eurasien. Il traverse le massif numidien par une série de gorges au plan sinueux et à pente moyenne élevée de 8 % (Samié, 1956). Il reçoit sur sa rive gauche l'oued Soudan (85 km²) puis, avant de déboucher dans la plaine de Combes, l'oued El Guerria (120 km²) et Chaabet Aïn-El-Arg (50 km²) qui portent alors la surface du bassin versant à plus de 830 km².

La Bounamoussa coule sur plus de 100 km avec une pente très faible (0,5 %) (Samié, 1956), décrivant de nombreux méandres dans les alluvions qu'elle a déposées. Le bassin versant au confluent de l'oued Kebir-Est est alors de 1080 km² selon Samié (1956).

Le réseau hydrographique de la Bounamoussa est composé principalement de (figure 7) :

- **Oued El Kebir** (décrit plus haut)

- **Oued Bouhadjar**

L'oued Bou Hadjar est issu du Fedj El Ahmed (1140 m), il draine un bassin versant de 250 km² (Samié, 1956). Oued Bouhadjar reçoit sur sa rive droite oued Messalène. Ce dernier longe la frontière algéro-tunisienne sur plusieurs kilomètres et coule du Nord-Est vers le Sud-Est. Il prend sa source à Djebel el Ghorra à 1202 m, Djebel Dir à 1041 m et Djebel Oum Ed Diss à 1150 m. Vers le Nord il reçoit sur sa rive droite oued Souig avant sa confluence avec oued El Kebir. La topographie est plus modérée avec 808 m à djebel Souani vers le Nord, portant ainsi la surface du bassin versant de l'oued El Kebir en aval du confluent à 420 km². Jusqu'à la Cheffia, la Bounamoussa présente une pente régulièrement décroissante dont la plaine (le lac du barrage actuellement) constituerait le niveau de base (Samié, 1956).

Au-delà de la digue du barrage de cheffia vers l'Ouest, l'oued Bounamoussa coule de l'Est vers l'Ouest et reçoit sur sa rive Sud oued Soudan.

- **Oued Soudan**

Il prend naissance à Ragoubet Ain Missa à 814 m vers le Sud-Ouest ; à Djebel Argoub Saïd l'altitude culmine à 914 m. Djebel Bled Djemaa El Guerfi fait la limite du sous bassin d'oued Soudan où l'altitude atteint 996 m. Djebel Djouat El Medina et Draa Safsaf font la limite Sud avec des altitudes de 798 et 740 m respectivement. Ce cours d'eau draine une surface de 85 km² (Samié, 1956).

Avant les gorges de Asfour (Ex Combe), un deuxième cours d'eau déverse dans l'oued Bounamoussa, oued El Guerria. Il longe le sous bassin d'oued Soudan vers le Nord (figure7).

- **Oued El Guerria**

Il prend naissance à Djebel Ain El Gasbah à 799 m vers le Sud-Est sous le nom d'oued Tafeur qui coule du Sud vers le Nord avant de changer de direction vers l'Est sous le nom d'oued

Kamouna avant de prendre le nom de l'oued El Guerria. Vers le Nord-Est la topographie est plus modérée à Djebel Ain El Begrat, l'altitude est de 671 m. Ras Ain Touila fait la limite Nord avec 514 m. Il draine une surface de 120 km².

Après la confluence de l'oued El Guerria avec oued Bounamoussa, ce dernier change de direction et coule du Sud-Ouest vers le Nord-Est, à 85 m, le niveau de base de l'oued Bounamoussa. Il reçoit chaabet Bouabed sur sa rive droite et change de sens d'écoulement pour la deuxième fois du Sud-Est vers le Nord-Est formant un coude. Entre Kef Oucel à l'Est (295 m) et Ragoubet Ahmed (298 m) à l'Ouest est programmé un deuxième barrage sous le nom de Bounamoussa II pour stocker les volumes excédentaires, d'une capacité de 73.40 hm³. A ce niveau, oued Bounamoussa reçoit sur sa rive Ouest, le dernier affluent important Chaabet Ain El Arg.

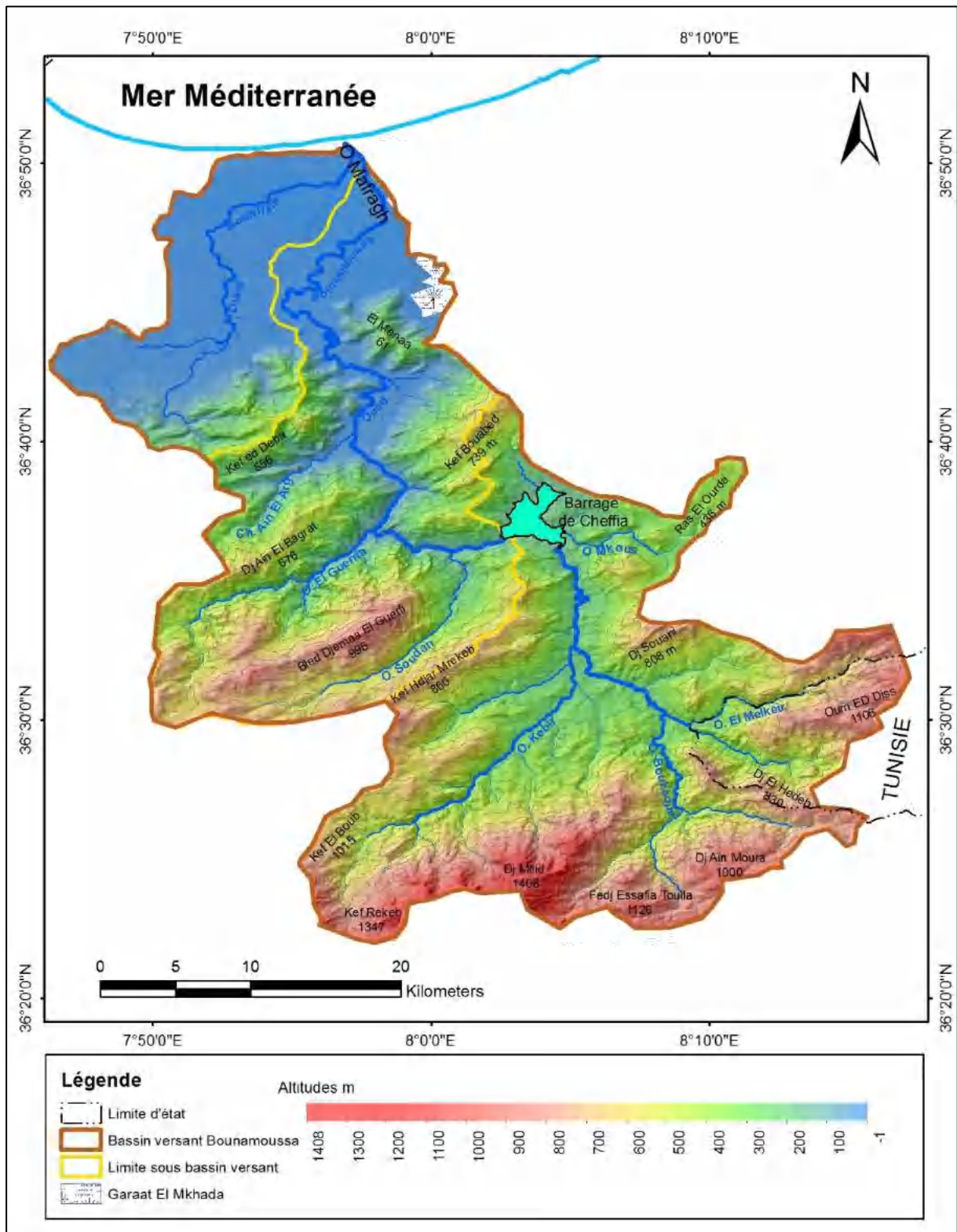


Figure 7. Hydro-orphographie du bassin versant de la Bounamoussa

▪ **Chaabet Ain El Arg**

Elle draine un sous bassin versant de 50 km² (Samié, 1956). Cette Chaaba draine le versant Sud de Djebel El Badoui (604 m) et Djebel Ain El Bagrat (671 m). Du Sud vers le Nord l'oued Bounamoussa suit son tracé, dominé par les collines de Djebel Boukerma à l'Est (323 m) et Kef El Kourate (470 m) à l'Ouest. La surface de la Bounamoussa s'élève à 830 km².

Plusieurs chaabets drainent le versant Nord-Est de la Bounamoussa : chaabat Bouabed, chaabet El Gouaret, chaabet Necha El Agueur et chaabet Geurgour, ces dernières drainent la plaine de Asfour. A la confluence de chaabet El Geurgour, le niveau de base de la Bounamoussa est de 11 m à la sortie de la plaine de Asfour et l'entrée de la grande plaine de Annaba.

A un niveau de base de 11 m, l'oued Bounamoussa traverse la plaine vers le Nord-Est avant de se jeter dans la Mafragh à 0 m.

▪ **Oued Bouhllala**

Oued Bouhllala longe oued Bounamoussa vers le Nord-Ouest après sa confluence avec oued Kébir-Est. Il draine une surface de 169 km² (DRE : HPO et HPE, 2013). Il naît de la confluence de chaabet Draridj à l'Est et l'oued de Besbes à l'Ouest. Sur les monts de Kef El Harch à 435 m et Kef ED Deba à 556 m, chaabet Draridj prend naissance au Sud-Est avant de rejoindre l'oued de Besbes. Sous le nom de l'oued Bou Haded naît l'oued de Besbes à Kef el Fernana à 476 m et Djebel Draa El Arch à 358 m, ils font la limite Sud-Ouest du bassin versant de l'oued Bouhllala. Ce dernier suit sa trajectoire en traversant la plaine vers le Nord-Est avant de se jeter dans la Mafragh à environ 500 m, après la confluence du Kébir-Est et de la Bounamoussa. D'une profondeur moyenne de 1.5 m, il traverse la plaine du Sud vers le Nord avec des niveaux de base allant de 30 m vers le Sud à 1 m au niveau de la Mafragh.

2 CADRE GEOLOGIQUE

Le tracé hydrographique décrit plus haut est très influencé par la géologie de la région. La lithologie joue un double rôle, d'une part sur le régime des cours d'eaux et d'autre part sur l'érosion et le transport solide.

Selon Askri et al (1995) : « le Nord de l'Algérie est un tronçon de la chaîne alpine des Maghrébides, dont la nature et la structure du substratum sont peu connues par suite de la complexité de sa géologie. Le domaine septentrional est constitué de reliefs jeunes, modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins. »

D'après les travaux de Joleaud (1936, 1946), de Laffitte, (1951) et de Vila (1978), le bassin versant de la Mafragh est constitué principalement par deux formations géologiques très répandues dans la région du Nord-Est algérien : les grès numidiens aux niveaux des massifs montagneux à Djebel El Ghorra (1202 m) vers le Sud-Est et à Djebel M'Cid à 1404 m vers le Sud-Ouest et l'argile de Numidie au-dessous des 900 m d'altitude (figure 8).

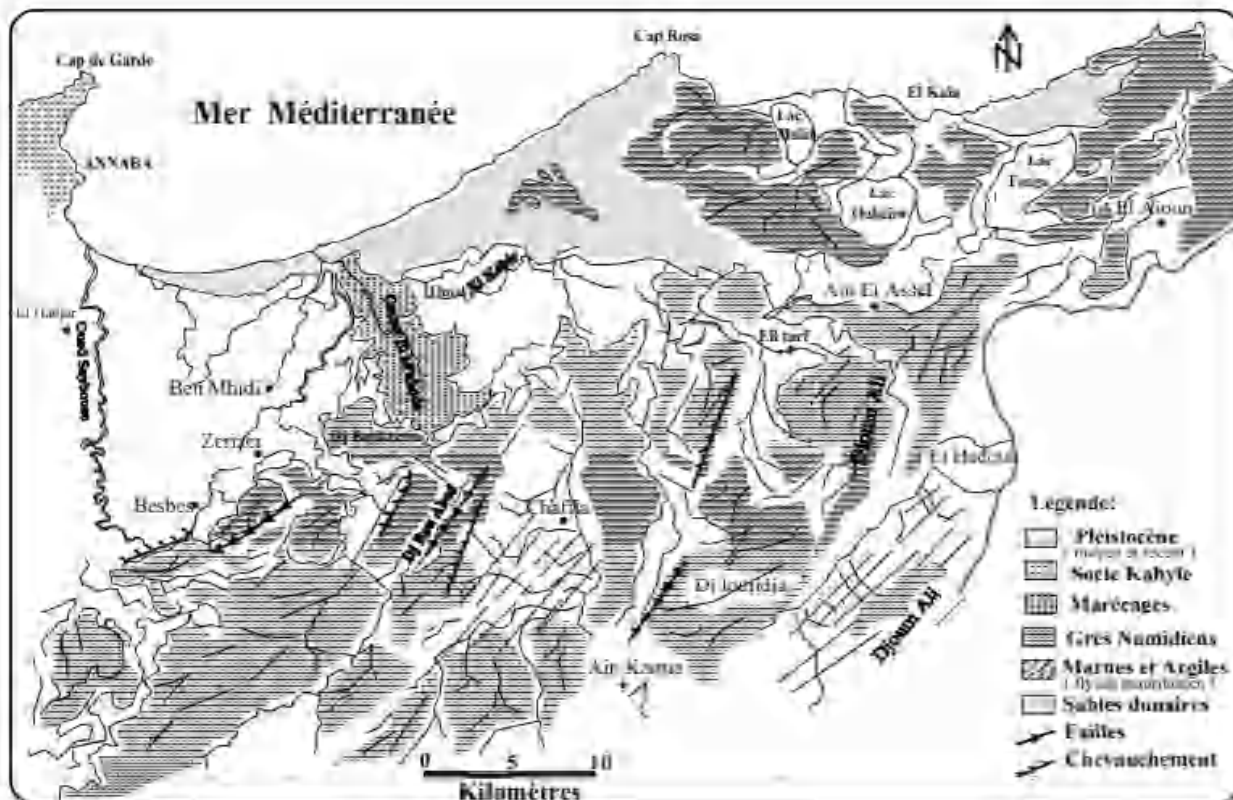


Figure 8. Contexte géologique du Nord-Est Algérien (d'après Marre, 1987).

Les travaux de recherches géologiques de Joleaud (1936), de Flandrin (1955), de Vila (1978) et de Lahondère (1987) ont expliqué la structure des formations géologiques et leur litho-stratigraphie dans le Nord-Est algérien. Vila (1980) et Marre (1987), décrivent le terrain d'étude de la manière suivante : des formations antérieures à la mise en place des nappes (le Numidien, le Tellien) et des formations post-nappes (les formations récentes). Toutes ces unités constituent des alternances de terrains d'origine diverses du fait du charriage de ces masses de terrain, parfois sur de très grandes distances. Les formations qui les constituent sont complètement disloquées, d'où la complexité des traits tectoniques. Ces formations sont principalement d'âge tertiaire et quaternaire (Marre, 1987).

La lithologie du terrain d'étude est composée de quatre principales formations de roches allant du Sénonien à l'Oligocène numidien. Globalement, les structures plissées ont subi des contacts anormaux et des failles.

Les quatre principales formations qui composent le bassin versant de la Bounamoussa sont les suivantes : Les marno-calcaires, les calcaires et calcaires marneux, les conglomérats argileux et les grès numidiens (figure 9).

2.1 Les formations superficielles

D'après Vila (1980) et Wildi (1983), à partir du méridien de Annaba, le Tell prend une direction SW-NE. Plusieurs dépôts quaternaires marquent les étapes de creusement de la vallée de la Bounamoussa (Marre, 1987). Les bordures des massifs sont recouvertes en discordance par une puissante assise argileuse et grés-siliceuse du Numidien. Ces dépôts ont été soumis à des plissements NE-SW en rapport avec la direction générale de la chaîne numidique, trait structural des formations anté-nappes (SONATRACH ; BEICIP, 1969). Les versants sont généralement couverts d'un manteau de débris d'altération « in situ » qui recouvrent le substratum. Les lits des oueds sont remplis de dépôts d'alluviaux, des graviers, des sables et des limons du quaternaire (MDTPR, 1964 ?).

2.2 Les formations quaternaires

Ces formations couvrent la zone des plaines. Cette dernière reçoit chaque année des apports alluviaux issus de l'altération des roches sédimentaires (les grés numidiens). Des formations marno-argileuses sur substratum grés et argiles couvre les versants. Plus vers le haut, le substratum est composé de colluvion (cailloux, galets et blocs). La plaine alluviale est couverte par des sols de textures très fines, d'argile et limon, avec tendance aux sols hydromorphes (Garâat El M'khada) (SONATRACH- BEICIP, 1969)

Deux terrasses sont identifiées à Asfour, la première occupe toute la plaine d'El Asfour, elle est formée de dépôts quaternaires résultant de phénomènes d'érosion des massifs montagneux. La deuxième est représentée par des cailloux, des grès et des galets (Marre, 1987).

2.3 Les marno-calcaires

On les trouve à plusieurs endroits dans les Monts de la Cheffia en série monotone (SONATRACH- BEICIP, 1969). Ils sont constitués essentiellement par les marnes feuilletées avec de minces bancs de calcaires ou en épaisses séries d'argiles grises, comportant des

intercalations de plaquettes gréseuses (ce sont les Flyschs Massyliens). Une série monotone de marnes feuilletées et de minces bancs de calcaires brun-roux affleure de part et d'autre de l'oued Cheffia (Les Flysch à Micro-Brèches) (SONATRACH- BEICIP, 1969).

Dans l'étude géologique de l'emplacement du barrage de Cheffia effectuée par Moussu (1954 et 1955), les flyschs à micro-brèches sont décrits comme une série continue comprenant le Campanien-Maestrichtien, le Paléocène, l'Eocène Inférieur et Supérieur et l'Oligocène.

2.4 Les calcaires et les calcaires marneux

Ils sont définis par Durand-Delga (1969). Ils se caractérisent par une puissante série marneuse s'étendant du Crétacé inférieur au Lutétien inférieur, au milieu de laquelle s'intercale l'unité caractéristique des calcaires noirs fétides datés (Yprésien-Lutétien Inférieur). Ces calcaires noirs ont un faciès classique et sont largement répandus en Algérie du Nord. Il s'agit d'un calcaire en bancs réguliers de 0,5 à 1 m, compacts argileux, comportant de minces lits marneux. L'épaisseur de cette unité est difficile à estimer et peut être de l'ordre de 100 m. Cette formation est très spectaculaire à Sidi Trad (Sud-Est de Zitouna). On la trouve aussi à Bouhadjar et Ain Karma. (SONATRACH- BEICIP, 1969).

2.5 Les grès numidiens et les argiles

2.5.1 Argiles sous-numidiennes

La nappe numidienne désigne la série grés-argileuse principalement oligocène. Cette formation est largement représentée dans le bassin versant de la Bounamoussa. Elle affleure à la base de la majeure partie des Monts de la Cheffia. On la trouve aussi à Zitouna (SONATRACH- BEICIP, 1969).

2.5.2 Les grès numidiens

Ce sont des grès quartzeux plus au moins consolidés de couleur rouge à jaunâtre due à la présence de grains de sables et de fer ; souvent ces bancs de grès sont lenticulaires passant latéralement aux argiles d'âges aquitaniens. L'Aquitaniens présente une intense fracturation, ce qui favorise la circulation des eaux souterraines. Cette formation affleure au Sud des Monts de la Cheffia (SONATRACH- BEICIP, 1969).

2.5.3 *Les argiles supra-numidiennes*

Elles représentent la partie supérieure de la série numidienne d'âge Burdigalien qui se trouve souvent en alternance avec les grés sous-jacents, on les trouve dans les Monts de la Cheffia (SONATRACH- BEICIP, 1969).

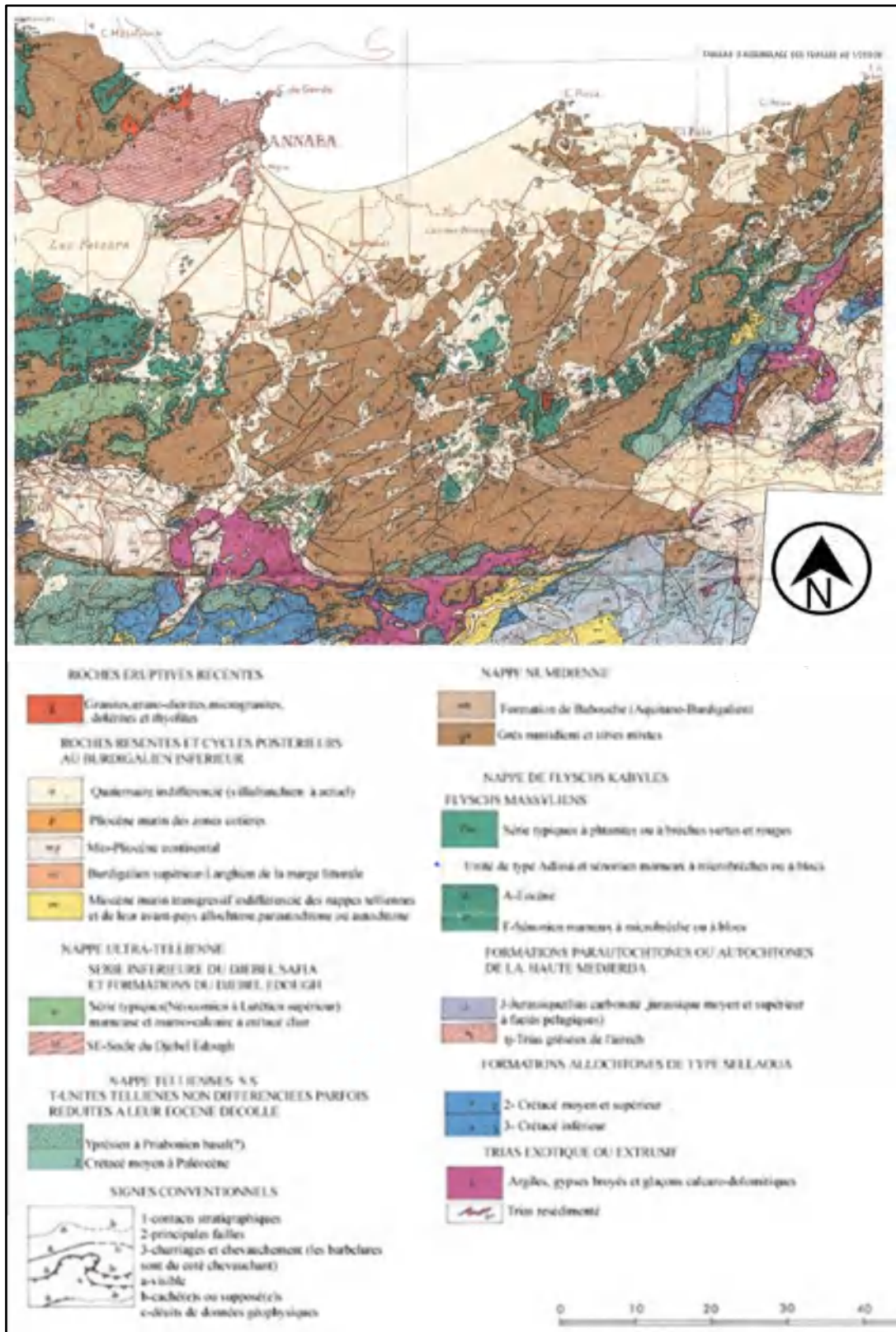


Figure 9. Carte structurale du bassin versant de la Mafragh (Vila, 1980)

Conclusion

Sur le plan géologique, la plaine de Annaba-El Tarf fut depuis la mise en place des nappes un milieu subsident, souvent envahi par la mer. Depuis la fin du Tertiaire, la plaine de Annaba correspond à un bassin d'effondrement dans le quel subsistent quelques petit horsts qui forment aujourd'hui les massifs gréseux du centre de la plaine. Le jeu en subsidence est responsable de la superposition des sédiments néogène, pliocènes et quaternaire de cette région (Marre, 1987).

La subsidence de la plaine, toujours active, a empêché les oueds de s'encaisser et de dégager des terrasses. Les limites entre les argiles et les grès sont difficilement perceptibles sur le terrain en raison de l'épaisseur du recouvrement et de la couverture végétale (MDTPR, 1964 ?).

3 CONTEXTE CLIMATIQUE

Dans le contexte climatique humide de l'extrême Nord-Est algérien, l'oued Bounamoussa reçoit une lame précipitée moyenne annuelle de 802 mm. Cette lame, variable du Sud vers le Nord, produit des apports hydrologiques abondants mais très irréguliers.

3.1 Les précipitations

3.1.1 Pluviométrie annuelle

Afin d'analyser la variabilité des précipitations, on a utilisé les données de précipitations sur une période de 47 ans (1970/71-2016/2017), observés au niveau de la station de Cheffia-barrage. La lame précipitée moyenne interannuelle est de 802 mm. La station climatique de Annaba les Salines, gérée par l'ONM (Office National de la Météorologie en Algérie), est utilisée pour les données climatiques (tableau 6 et figure 10).

Tableau 6. Coordonnées géographiques des stations climatologiques. (A.N.R.H Alger, 2015 ; O.N.M Annaba, 2012 ; A.N.B T Cheffia, 2017 ; SUBD Souk Ahras, 2013)

| Station | Paramètre mesuré | Longitude Est | Latitude Nord | Altitude (m) | Période d'observation |
|--------------------|------------------------------|----------------|------------------|--------------|-----------------------|
| Cheffia barrage | Précipitation | X=942.250 | Y=375.600 | 170 | 1970/71-2016/17 |
| Annaba Les Salines | Précipitation Température | 7° 46 7° 49 | 36° 54 36° 50 | 003 | 1968/69-2011/12 |
| Souk Ahras SUBD* | Température | X=967.25 | Y=342.25 | 590 | 1990/91-2012/13 |

*SUD : Subdivion de l'hydraulique de la wilaya de Souk Ahras

L'aval du bassin versant de la Bounamoussa est représenté par les mesures des précipitations au niveau de la station de Annaba les Salines. La lame précipitée moyenne interannuelle est de 651 mm pour une série d'observation de 44 ans (1968/1969-2011/2012). D'après la carte pluviométrique de l'ANRH (2003) l'aval du bassin versant de la Mafragh est situé entre les isohyètes 600 et 700 mm/an (figure 11). La monographie du barrage Cheffia indique une précipitation moyenne annuelle de 900 mm/an.

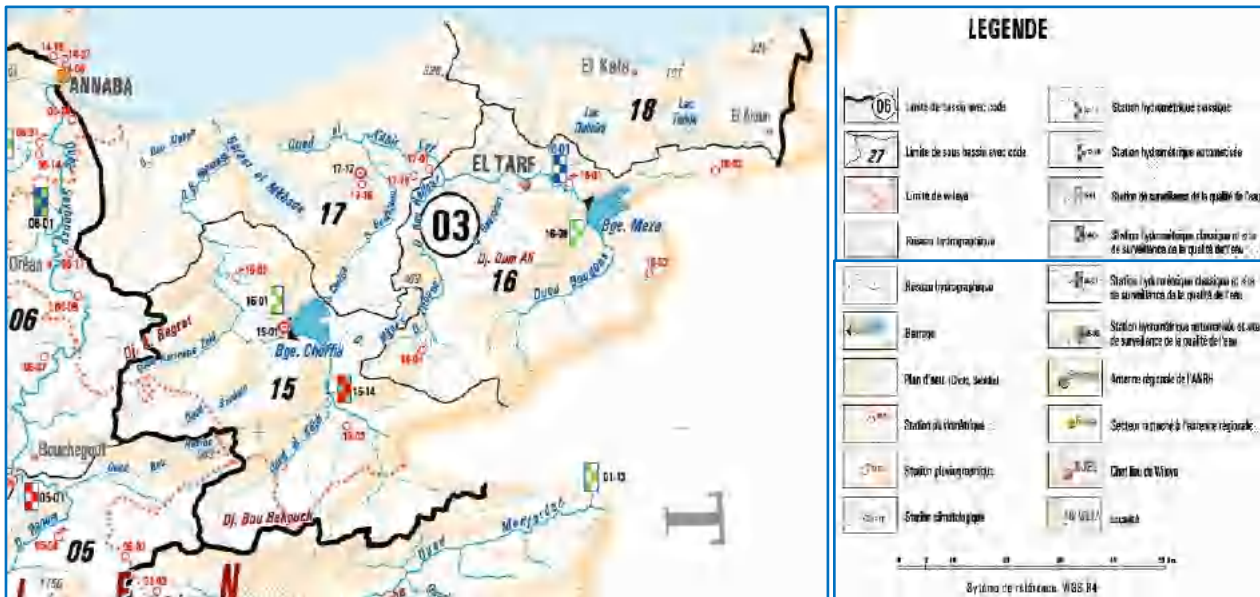


Figure 10. Extrait de la carte du réseau hydro-pluviométrique de l'Algérie (ANRH, 2003)

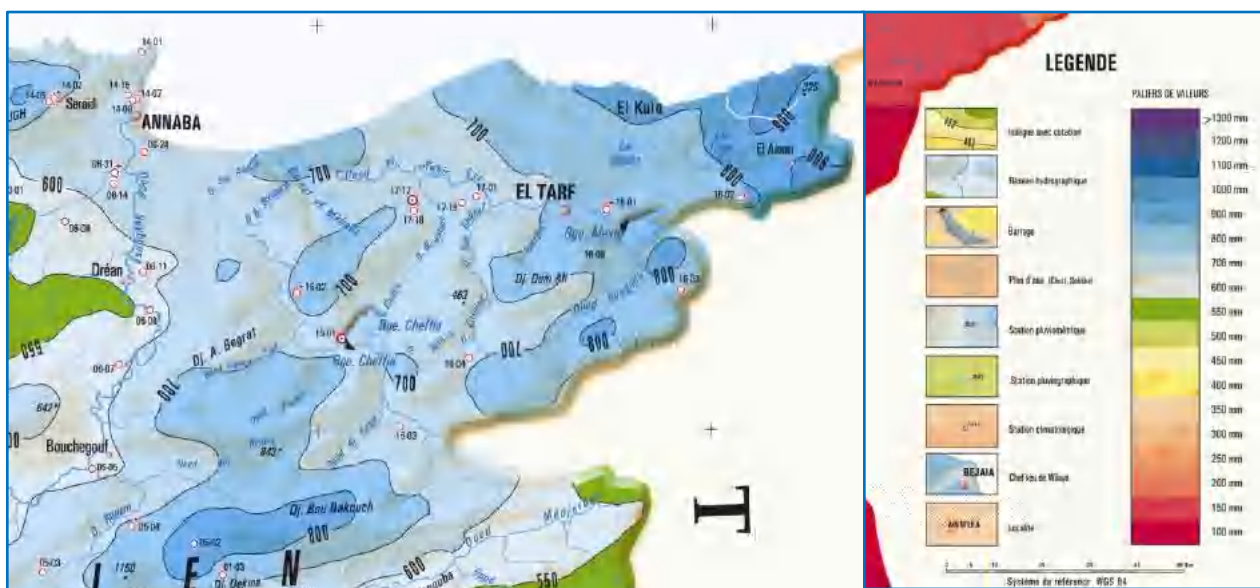


Figure 11. Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie (ANRH, 2003).

3.1.2 Régime pluviométrique saisonnier

Selon le tableau 7, on observe que les deux stations représentatives de l'amont et l'aval de la Bounamoussa enregistrent un maximum de précipitation durant la saison d'hiver : 42 % du total annuel moyen à la station de Cheffia barrage et 41 % à la station de Annaba les Salines. La saison d'hiver est suivie par le printemps pour Cheffia et par l'automne pour Annaba les Salines. Cette répartition exprime un régime saisonnier de Type (H.P.A.E) pour la première et (H.A.P.E) pour la deuxième station.

Tableau 7. Variation saisonnière des précipitations aux stations de Cheffia barrage et Annaba les Salines.

| Période | Station | Pluies | Automne | Hiver | Printemps | Eté | Total annuel |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|---------|--------|-----------|-------|--------------|
| 1970/71- 2016/17 | Cheffia barrage | P _{tot} en mm | 209.10 | 337.36 | 225.30 | 30.43 | 802.20 |
| | | % total | 26.06 | 42.05 | 28.08 | 3.79 | 100 |
| 1968/69- 2011/12 | Annaba les Salines | P _{tot} en mm | 187.37 | 296.44 | 168.32 | 25.88 | 651 |
| | | % total | 28.78 | 41.39 | 25.85 | 3.98 | 100 |

La saison humide s'étend d'octobre à avril et totalise plus que 83.81 % des précipitations annuelles et la saison sèche de mai à septembre. Les précipitations journalières maximales se produisent pendant la période d'octobre à mars.

3.1.3 Analyse des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) des pluies

Les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique et de calculer succinctement des débits de projet et d'estimer des débits de crue ainsi que de déterminer des pluies de projet utilisées en modélisation hydrologique (Chocat et al, 1997 ; Masson, 1980).

D'après les courbes IDF, établies par l'ANRH (2015), l'intensité horaire des pluies à la station de Cheffia-barrage peut atteindre les 41.6 mm/h pour une période de retour de 50 ans et 46.6 mm/h pour une période de retour de 100 ans (tableau 8 et figure 12).

Tableau 8. Intensité des pluies selon les fréquences à la station de Cheffia-barrage (ANRH, 2015).

| I(t, T) | 2 Ans | 5 Ans | 10 Ans | 20 Ans | 50 Ans | 100 Ans |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 16,6 | 24,6 | 29,9 | 35,0 | 41,6 | 46,6 |
| 2 | 10,8 | 16,0 | 19,5 | 22,8 | 27,1 | 30,3 |
| 3 | 8,4 | 12,5 | 15,2 | 17,7 | 21,1 | 23,6 |
| 6 | 5,5 | 8,1 | 9,9 | 11,5 | 13,7 | 15,3 |
| 12 | 3,6 | 5,3 | 6,4 | 7,5 | 8,9 | 10,0 |
| 24 | 2,3 | 3,4 | 4,2 | 4,9 | 5,8 | 6,5 |

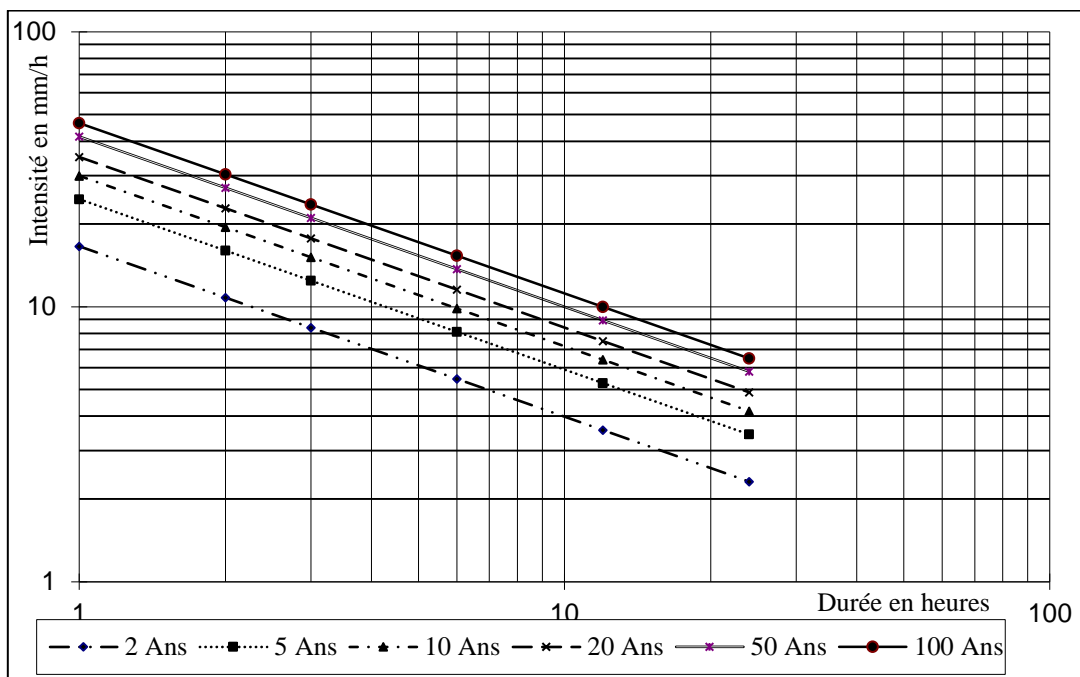


Figure 12. Courbe Intensité-Durée-Fréquence à la station de Cheffia Barrage. (ANRH, 2015).

3.2 Autres facteurs climatiques

3.2.1 Les températures

Pour l'étude des températures, on a utilisé les données de températures mesurées aux stations de Souk Ahras sur une période de 23 ans (1990/91-2012/2013) et de Annaba les Salines sur une période de 41 ans (1971/72-2011/2012) (tableau 9).

Tableau 9. Moyenne interannuelle des températures des deux stations :
Annaba les Salines et Souk Ahras.

| Station | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | JU | A | Moy Annu |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| Annaba les Salines (1971/72 - 2011/12) | 23,1 | 19,4 | 15,4 | 12,3 | 11,2 | 11,5 | 12,9 | 14,9 | 18,1 | 21,8 | 24,3 | 25,3 | 17,5 |
| Souk Ahras (1990/91- 2012/13) | 22,3 | 17,9 | 12,6 | 8,5 | 7,5 | 7,8 | 10,5 | 12,4 | 17,2 | 20,9 | 25,7 | 26,3 | 15,8 |

On a adopté la station de Souk Ahras située au Sud du bassin versant de la Mafragh, car elle est représentative de la partie amont. Elle est située à une altitude de 590 m, elle enregistre une moyenne interannuelle de 15.8 °C et une moyenne intermensuelle de 26.3°C durant le mois le plus chaud (Août). La station de Annaba les Salines donne des températures plus proches à celle de Souk Ahras avec une moyenne interannuelle de 17.50°. Durant l'été, la moyenne intermensuelle du mois le plus chaud est de 25.3°(Août).

3.2.2 Le Bilan hydrique et l'évapotranspiration

La méthode du bilan hydrique de Thorntwaite est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU).

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement (Laborde, 2000).

3.2.2.1 Formule de Thorntwaite

L'estimation de l'ETP mensuelle exprimée en cm ; à partir de la température moyenne mensuelle t (en °C) suivant la relation :

$$ETP = c.t^\alpha \text{ où}$$

c et α sont des constantes pour une zone géographique et climatique donnée.

La constante α se calcule à partir d'un "indice thermique mensuelle i" donné par l'équation :

$$i = (t/5)^{1.514} ; I = \sum_1^{12} i$$

L'indice thermique annuel (I), la somme des 12 indices mensuels, se corrèle linéairement avec α suivant la relation simple proposée par Serra :

$$\alpha = 0.016I + 0.5 ;$$

En définitif, l'équation de Thornthwaite s'écrit :

$$ETP = 1.6 (10t/I)$$

3.2.2.2 Méthode du bilan de Thornthwaite

Avant d'aborder cette méthode, il convient de préciser certains termes qu'il devient impératif d'en connaître les définitions (Beloulou, 2015) :

La réserve facilement utilisable (RFU) représentant en général 2/3 de la réserve utile totale (RU) est la quantité d'eau stockée dans le sol et qui peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes ;

Le bilan hydrique (BH) est, selon Thornthwaite, l'expression de la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle ($BH = P - ETP$) d'un bassin ou d'un sol donné pendant une période déterminée, généralement un mois ;

Le déficit agricole (DA) représente sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures (par l'irrigation) pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. Il est donné par l'expression : $DA = ETP - ETR$;

L'excédent (EXC) est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et la RFU sont satisfaites. Il correspond au surplus d'eau destinée à l'alimentation de l'infiltration et du ruissellement de surface ;

Pour déterminer l'ETR par la méthode du bilan évaporométrique de Thornthwaite, les données suivantes doivent impérativement être disponibles (Beloulou, 2015) :

- la RFU max du sol ou du bassin étudié,
- les pluies et les ETP mensuelles,
- l'état (ou valeur) de la RFU à la fin du mois antérieur à celui où l'établissement du bilan commence.

L'un des deux raisonnements suivants peut être suivi (Laborde, 2000) :

- a- Si la RFU doit être pleine (RFU max ou sol saturé d'eau), ce sera à la fin de la période correspondant à la reconstitution des réserves ; c'est à dire à la fin du dernier mois où la pluie (P) est supérieure à l'ETP.
- b- Si la RFU doit être vide (RFU nulle ou sol à sec), ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la vider ; c'est à dire à la fin du dernier mois où la pluie est inférieure à l'ETP.

L'établissement du bilan de Thornthwaite repose sur les hypothèses suivantes :

- la satisfaction de l'ETP a la priorité sur l'écoulement,

• le remplissage de la RFU a aussi la priorité sur l'écoulement. Le calcul de l'ETR peut s'effectuer suivant les deux cas ci-dessous :

La réserve facilement utilisable maximale la plus représentative des sols algériens varie de 50 à 100 mm. Dans le cas du bassin versant de la Mafragh, on retient une RFU= 100 mm par rapport au type des sols (RFU des sols profonds de texture moyenne à fine). Pour les deux stations du bassin versant de la Bounamoussa l'une situé à l'amont (barrage de Cheffia) et l'autre à l'aval (Annaba les Salines). Le bilan est établi à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie P, de l'ETP et de la RFU (Laborde, 2000) :

Si $P > ETP$, alors :

$$ETR = ETP$$

L'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle ($P - ETP$) est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète, à l'écoulement Q ;

Si $P < ETP$:

On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR, soit :

$$ETR = P + \min(RFU \text{ du mois précédent} ; ETP - P)$$

$$RFU = 0 \text{ ou } RFU \text{ du mois précédent} + P - ETP$$

Si $RFU = 0$, la quantité ($ETP - ETR$) représente le déficit agricole D_a (water deficiency), quantité d'eau correspondant sensiblement à l'apport d'irrigation qu'il faudrait fournir à la plante pour qu'elle évapore au taux maximum.

3.2.2.3 Résultats du bilan hydrique

Les températures utilisées pour le calcul du bilan hydrique à la station de Cheffia sont celle de la station de Annaba les Salines (période commune des températures et des précipitations : 1971/72-2011-2012) (tableaux 10 et 11) et celle de la station de Souk Ahras (période moyenne de T°C (1990/91-2012/13).

Tableau 10. Bilan évaporométrique de Thornthwaite à la station de Souk Ahras (Latitude 36° N : RFU max : 100 mm). Période de P (mm) (1990/1991-2016/2017) et T°C (1990/1991-2012/2013)

| MOIS | T°C | ETPc (mm) | P (mm) | BH (mm) | RFU (mm) | ETR (mm) | DA (mm) | EXC (mm) | CL* |
|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|------|
| SEP | 22,3 | 105,80 | 49,2 | -56,60 | 0 | 49,20 | 56,60 | 0 | 1,03 |
| OCT | 17,9 | 68,90 | 63,4 | -5,60 | 0 | 63,40 | 5,60 | 0 | 0,97 |
| NOV | 12,6 | 34,10 | 100,5 | 66,40 | 66,4 | 34,1 | 0,00 | 0 | 0,86 |
| DEC | 8,5 | 16,70 | 120,0 | 103,30 | 100 | 16,7 | 0,00 | 69,7 | 0,81 |
| JAN | 7,5 | 14,70 | 121,0 | 106,30 | 100 | 14,7 | 0,00 | 106,3 | 0,87 |
| FEV | 7,8 | 15,20 | 104,9 | 89,70 | 100 | 15,2 | 0,00 | 89,7 | 0,85 |
| MAR | 10,5 | 30,30 | 82,4 | 52,20 | 100 | 30,3 | 0,00 | 52,2 | 1,03 |
| AVR | 12,4 | 42,40 | 78,7 | 36,30 | 100 | 42,4 | 0,00 | 36,3 | 1,1 |
| MAI | 17,2 | 80,80 | 52,9 | -27,90 | 72,1 | 80,8 | 0,00 | 0 | 1,21 |
| JUI | 20,9 | 112,80 | 15,1 | -97,70 | 0 | 87,2 | 25,60 | 0 | 1,22 |
| JUI | 25,7 | 161,40 | 2,7 | -152,70 | 0 | 2,7 | 158,70 | 0 | 1,24 |
| AOU | 26,3 | 157,40 | 10,9 | -146,50 | 0 | 10,9 | 146,50 | 0 | 1,16 |
| Année | 15,8 | 840,5 | 801,8 | -38,7 | | 447,5 | 393,0 | 354,2 | |

(*) CL : Coefficient de latitude donné par les tables

Tableau 11. Bilan évaporométrique de Thornthwaite à la station de Annaba les Salines (Latitude 36° N : RFU max : 100 mm). Période commune P (mm) et T° (1971/72-2011/2012)

| MOIS | T°C | ETPc (mm) | P (mm) | BH (mm) | RFU (mm) | ETR (mm) | DA (mm) | EXC (mm) | CL* |
|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------|---------------|---------------|--------------|----------|
| SEP | 23,1 | 107,30 | 38,52 | -68,80 | 0 | 38,50 | 68,80 | 0 | 1,03 |
| OCT | 19,4 | 73,50 | 67,64 | -5,90 | 0 | 67,60 | 5,90 | 0 | 0,97 |
| NOV | 15,4 | 42,80 | 84,45 | 41,60 | 41,6 | 42,8 | 0,00 | 0 | 0,86 |
| DEC | 12,3 | 26,80 | 102,43 | 75,70 | 100 | 26,8 | 0,00 | 17,3 | 0,81 |
| JAN | 11,2 | 24,20 | 90,83 | 66,60 | 100 | 24,2 | 0,00 | 66,6 | 0,87 |
| FEV | 11,5 | 24,90 | 76,56 | 51,70 | 100 | 24,9 | 0,00 | 51,7 | 0,85 |
| MAR | 12,9 | 37,10 | 69,35 | 32,20 | 100 | 37,1 | 0,00 | 32,2 | 1,03 |
| AVR | 14,9 | 51,60 | 58,16 | 6,60 | 100 | 51,6 | 0,00 | 6,6 | 1,1 |
| MAI | 18,1 | 80,80 | 41,81 | -39,00 | 61 | 80,8 | 0,00 | 0 | 1,21 |
| JUI | 21,8 | 114,40 | 14,42 | -99,90 | 0 | 75,4 | 39,00 | 0 | 1,22 |
| JUI | 24,3 | 141,70 | 2,76 | -138,90 | 0 | 2,8 | 138,90 | 0 | 1,24 |
| AOU | 25,3 | 142,60 | 8,91 | -133,70 | 0 | 8,9 | 133,70 | 0 | 1,16 |
| Année | 17,52 | 867,7 | 655,86 | -211,80 | / | 481,40 | 386,30 | 174,4 | / |

L'ETP est respectivement de 840 mm/an à la station de Souk Ahras et de 867 mm/an à la station de Annaba les Salines. L'ETP de la station de Souk Ahras est représentatives du climat de la région Sud du bassin versant de la Mafragh (Bounamoussa et Kébir-Est). Le déficit agricole est de 393 mm/an et l'excédent est de 354 mm/an.

L'extrait de la carte de l'ETP de l'ANRH (2003) donne une ETP moyenne de 1300 mm/an (figure 13), écart qui peut s'expliquer par la différence des séries de températures et des formules utilisées pour le calcul de l'ETP (nouvelle formule de l'ETP_{ANRH} utilisée pour la cartographie des évapotranspirations annuelles moyennes de l'Algérie du Nord).

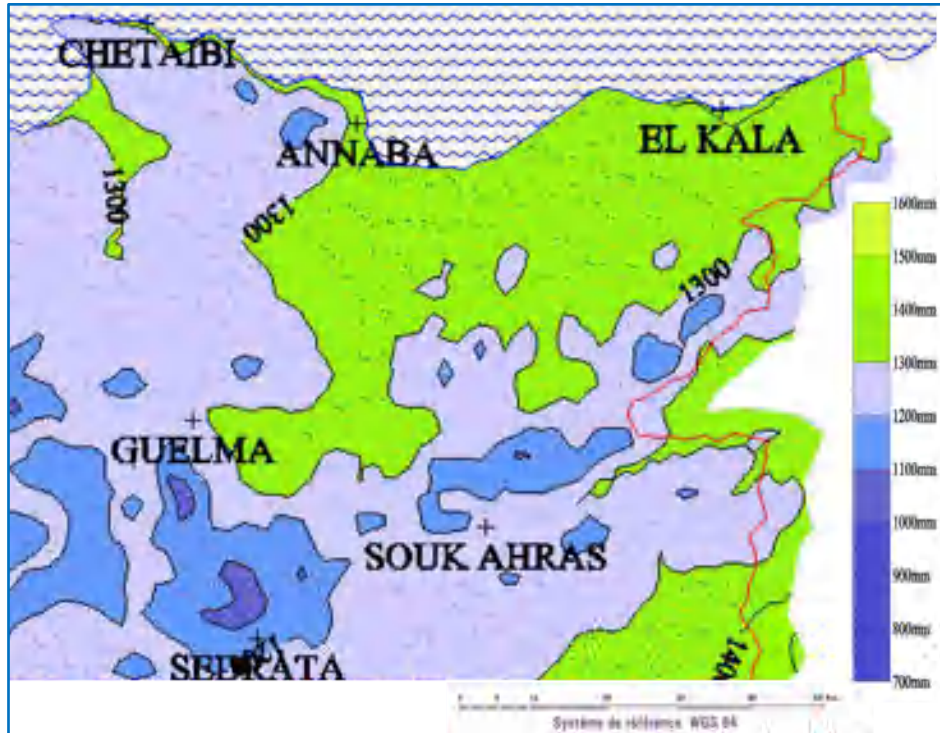


Figure 13. Extrait de la carte de l'évapotranspiration potentielle(ETP) de l'ANRH, 2003.

Le déficit en eau agricole annuel est respectivement de 386.30 et 670.6 mm/an, et cela durant la période déficitaire qui s'étale de mai à octobre (7 mois) pour Cheffia barrage et de juin à octobre (6 mois) pour la station de Annaba les salines.

Le bilan est excédentaire durant les mois de décembre à mars à Cheffia Barrage (140,6 mm/an) et il s'étend jusqu'au mois d'avril à la station de Annaba les salines (188,19mm/an).

On constate que la valeur de l'ETR oscille entre 447.5 à Souk Ahras et 481.40 mm/an à Annaba les salines.

Les figures 14 et 15 mettent en évidence quatre périodes différentes :

A- Période de constitution (deux mois) de la réserve utile : une reconstitution de la RU (recharge du sol) à partir du mois de novembre jusqu'au mois de décembre.

B- Période de saturation (quatre à cinq mois) : la réserve utile est à son maximum de saturation dès le mois de janvier avec un excédent très important qui varie selon les quantités des précipitations.

C- Période d'utilisation (un à deux mois) où l'évapotranspiration réelle se fait alors au détriment du stock de la réserve utile durant le mois de mai.

D- Période de déficit (cinq à six mois) où le surplus est nul : au mois de juin la réserve utile est totalement épuisée. L'épuisement s'étend jusqu'au mois de septembre ou octobre, début des précipitations.

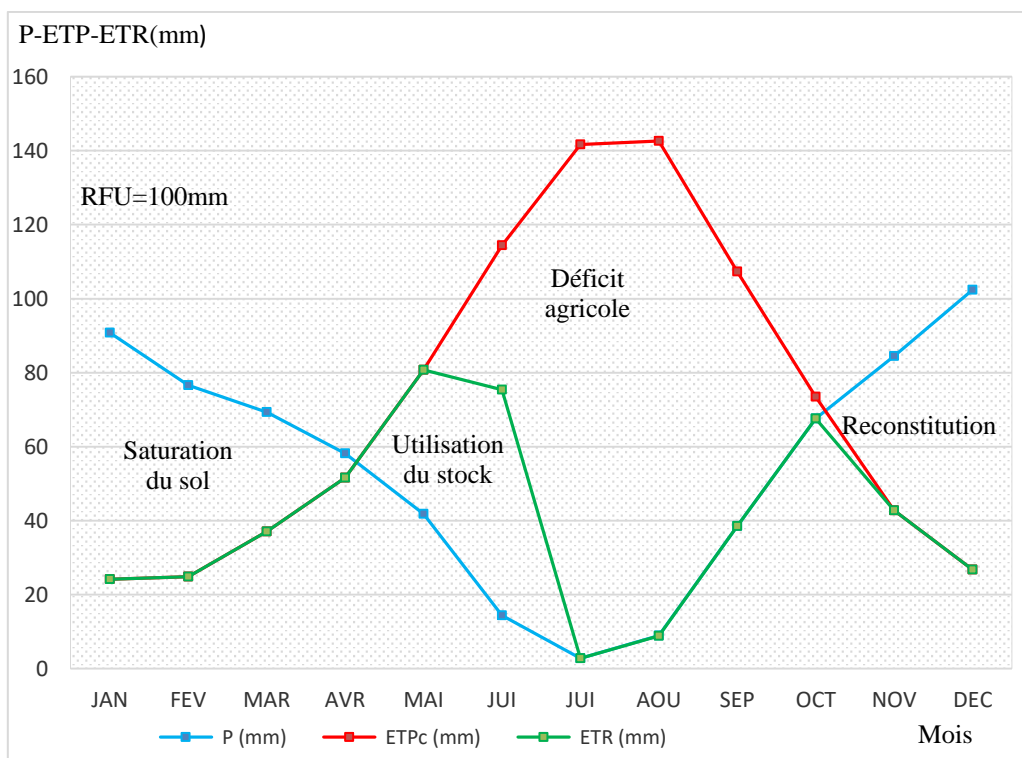


Figure 14. Bilan d'eau de la station de Annaba les Salines (période moyenne commune de Pmm et T° : 1971/72-2011/2012).

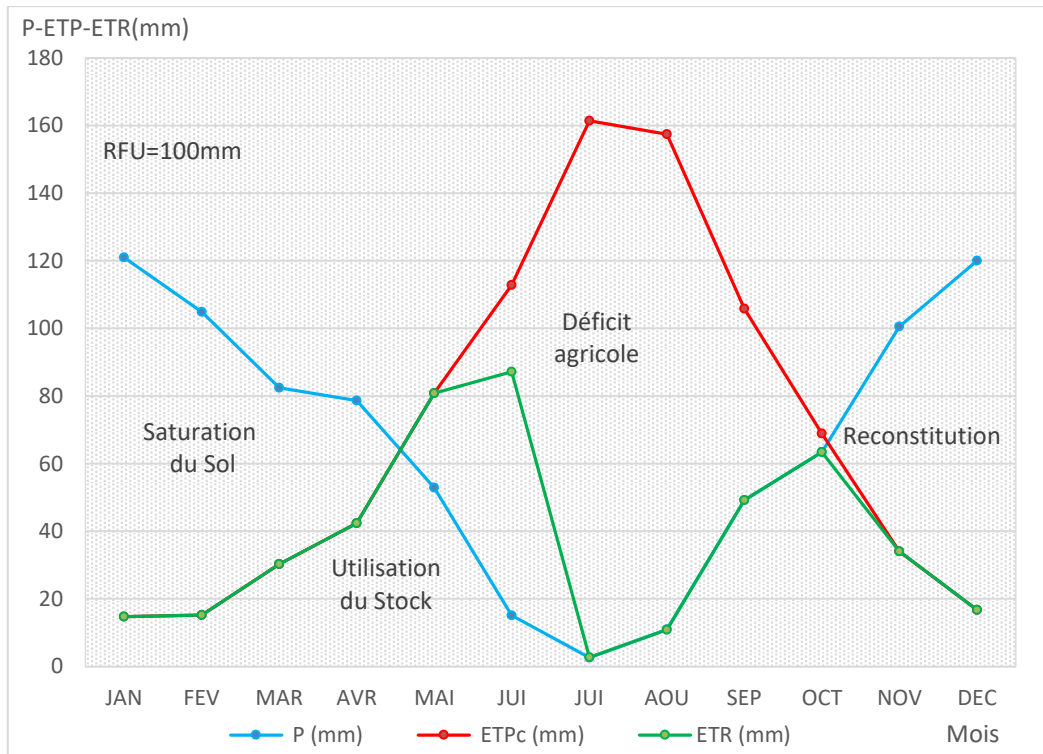


Figure 15. Bilan d'eau de la Station de souk Ahras (période moyenne de Pmm : 1990/91-2016/2017 et de T° : 1990/91-2012/13).

4 CONTEXTE HYDROLOGIQUE

La transformation de la pluie en écoulement (aussi bien superficiel que souterrain) passe par l'intermédiaire du bassin versant. Outre les conditions climatiques qui gouvernent le fonctionnement du bassin versant, ses caractéristiques physiques influencent le volume (en termes de bilan) et la répartition temporelle (en termes d'hydrogramme) des écoulements (Roche, 1963).

Une crue est une réponse hydrologique qui résulte d'une forte pluie. Les facteurs qui influencent la réponse hydrologique sont multiples : les facteurs externes au milieu sont liés aux conditions climatiques (précipitations) tandis que la morphologie, les propriétés physiques du bassin versant, la structuration du réseau et les conditions antécédentes d'humidité sont des facteurs internes.

Le calcul hydrologique est la base de toute étude de protection contre les inondations, car c'est de sa fiabilité que dépend le modèle hydrodynamique et ses résultats se répercuteront sur tous les aménagements projetés.

4.1 Bilan hydrologique annuel et déficit d'écoulement

D'après l'étude hydrologique du bassin versant de la Mafragh (DRE, 2013), les résultats du calcul de l'apport moyen annuel des bassins versant de la Bounamoussa et Bouhlala, basé sur les formules empiriques, sont reportés dans le tableau 12.

Tableau 12. Apport moyen annuel calculé des bassins versants de Bounamoussa et de Bouhlala (DRE, 2013).

| Bassin versant | Samie $A = P^2 \times (293 - 2.2 \times S^{0.5})$ (hm^3/an) | Deri I $A = 0.915 \times P^{2.684} \times S^{0.842}$ (hm^3/an) | Chaumont $A = 600 \times P \times S \times K$ $K = (1 - 10^{-0.36 \times P^2})$ (hm^3/an) | Deri II $A = K \times M_0 \times S$ $M_0 = 11.8 \times P^{2.82}$ $K = 31.56$ (hm^3/an) | Apport moyen annuel (hm^3/an) |
|----------------|---|--|--|--|--|
| Bounamoussa | 155.231 | 180.754 | 216.994 | 217.383 | 192.591 |
| Bouhlala | 27.436 | 35.720 | 31.689 | 31.633 | 31.279 |

Formule de Chaumont ($K = 0.18 - 0.01 \log S$)

Avec :

P = Pluie Annuelle exprimée en mètre ($P = 0.789\text{m}$)

S = Superficie du bassin (km^2)

Le = Lame d'eau écoulée (m) ; $Le = S/A$

Où

L'apport moyen annuel est égal à : $A (\text{hm}^3) = Le(\text{m}) \times S (\text{km}^2)$.

Selon nos calculs, pour la série commune de 47 ans (1970/71- 2016/2017) des précipitations et des apports à la station de Cheffia barrage, la lame d'eau écoulée est de 247 mm/an, le déficit d'écoulement est de 555 mm/an et le coefficient moyen d'écoulement (Cr) est de 31 %. Ce coefficient a atteint 72 % durant l'année hyper humide 2004/2005 et n'a pas dépassé le 1.25 % durant l'année hyper sec (2001/2002) (tableau 13).

Tableau 13. Bilan hydrologique du bassin versant au barrage Cheffia

| Bassin versant | Surface (km^2) | Pluie (mm) | Apport interannuel (hm^3) | Lame d'eau écoulée (mm) | Déficit d'écoulement (mm/an) | Coefficient d'écoulement (%) |
|-----------------|---------------------------|------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Barrage Cheffia | 575 | 802 | 142 | 247 | 555 | 31 |

D'après la carte de l'ANRH (2003), la lame écoulée moyenne a une valeur de 200 mm pour le bassin versant de la Bounamoussa qui s'étend sur une surface de 988 km^2 , et l'apport annuel est estimé à 192 hm^3 (figure 16). La lame d'eau écoulée, à l'amont du barrage de Cheffia, dépasse les 200 mm/an. A la limite Est et Sud du bassin versant, elle atteint les 350 mm sur le

relief accidenté où les pluies orographiques et les orages sont fréquents sur les montagnes d'une altitude supérieure à 800 m. La zone montagneuse du Sud est la zone de château d'eau qui alimente la plaine alluviale du Nord. Le couvert végétal dense (la forêt) témoigne de cette richesse où l'infiltration est importante par opposition à une plaine imperméable où le ruissellement de surface est important.

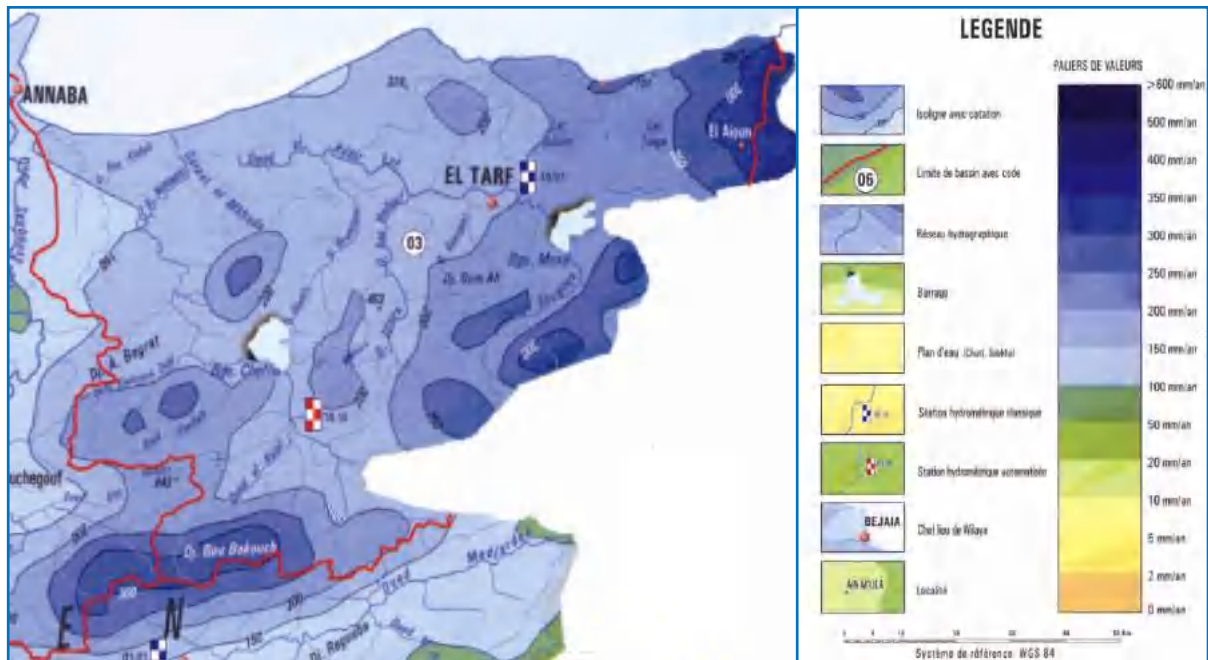


Figure 16. Carte des écoulements (Extrait de la carte ANRH, 2003).

4.2 Débits mensuels et régime saisonnier

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se définit par les variations de son débit, habituellement représentées par le graphique des écoulements mensuels moyens.

Selon la figure 17, la période pluvieuse s'étend du mois de novembre ($5.93 \text{ m}^3/\text{s}$) au mois d'avril ($7.19 \text{ m}^3/\text{s}$). Le pic de débit est enregistré durant le mois de février avec $12.69 \text{ m}^3/\text{s}$. Le régime d'écoulement diminue pour atteindre un minimum durant le mois le plus sec de l'année, le mois de septembre avec un débit moyen mensuel de $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$. Le module annuel est de $4.68 \text{ m}^3/\text{s}$ (débit moyen interannuel).

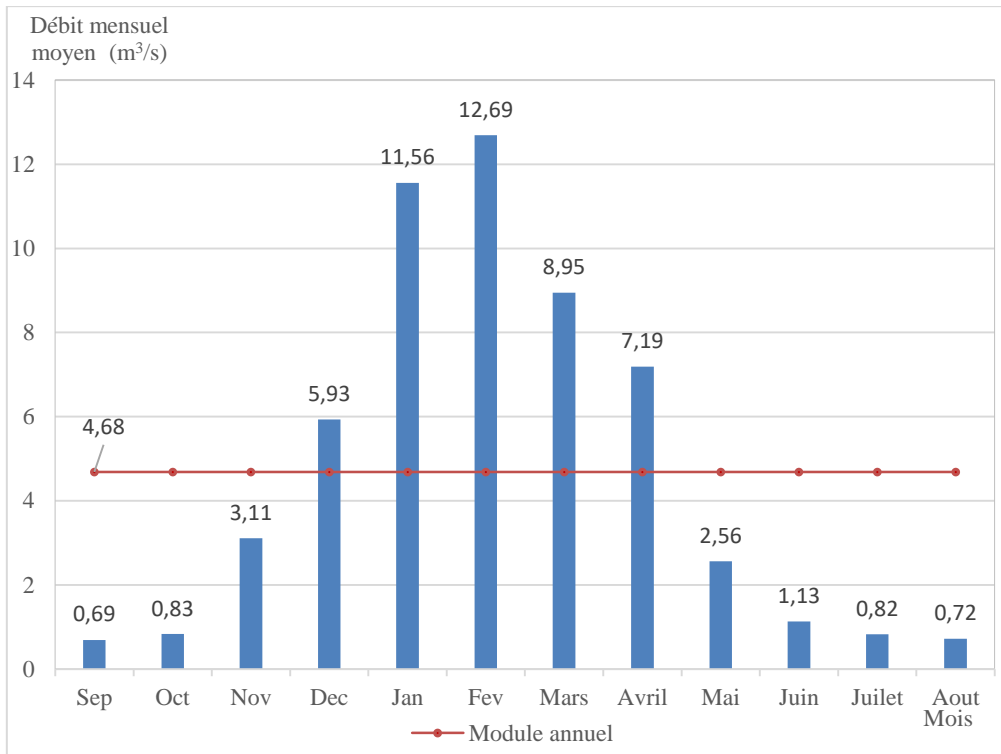


Figure 17. Variation des débits moyens mensuels à la station de Cheffia Barrage (Période 1970/71-2016/2017)

La saisonnalité du régime de débits est conditionnée par les apports pluviométriques hivernaux. Quant à la distribution des crues, elles se concentrent surtout durant les mois les plus pluvieux allant de décembre à avril. L'écoulement des eaux devient important à partir du mois de novembre, période la plus pluvieuse du bassin versant pour atteindre leur maximum au mois de février. Au cours des mois d'automne (de septembre à novembre), commencent à remonter pour donner le départ à un nouveau cycle de crues. Les débits diminuent de façon graduelle, jusqu'au minimum qui survient pendant les mois les plus secs de l'année de juin à septembre, ce dernier est le mois le plus sec.

D'après l'analyse de la variation mensuelle des débits du mois le plus pluvieux (février), on constate que 18 années sur 47 enregistrent une valeur égale ou supérieure à la moyenne interannuelle de ce mois (31 m³/s) (figure 18). Ce mois est caractérisé par des valeurs maximales dépassant les 100 m³/s en 1986/1987, 2011/2012 et 2014/2015 concordant avec les fortes crues enregistrés et qui sont à l'origine des inondations sur la plaine.

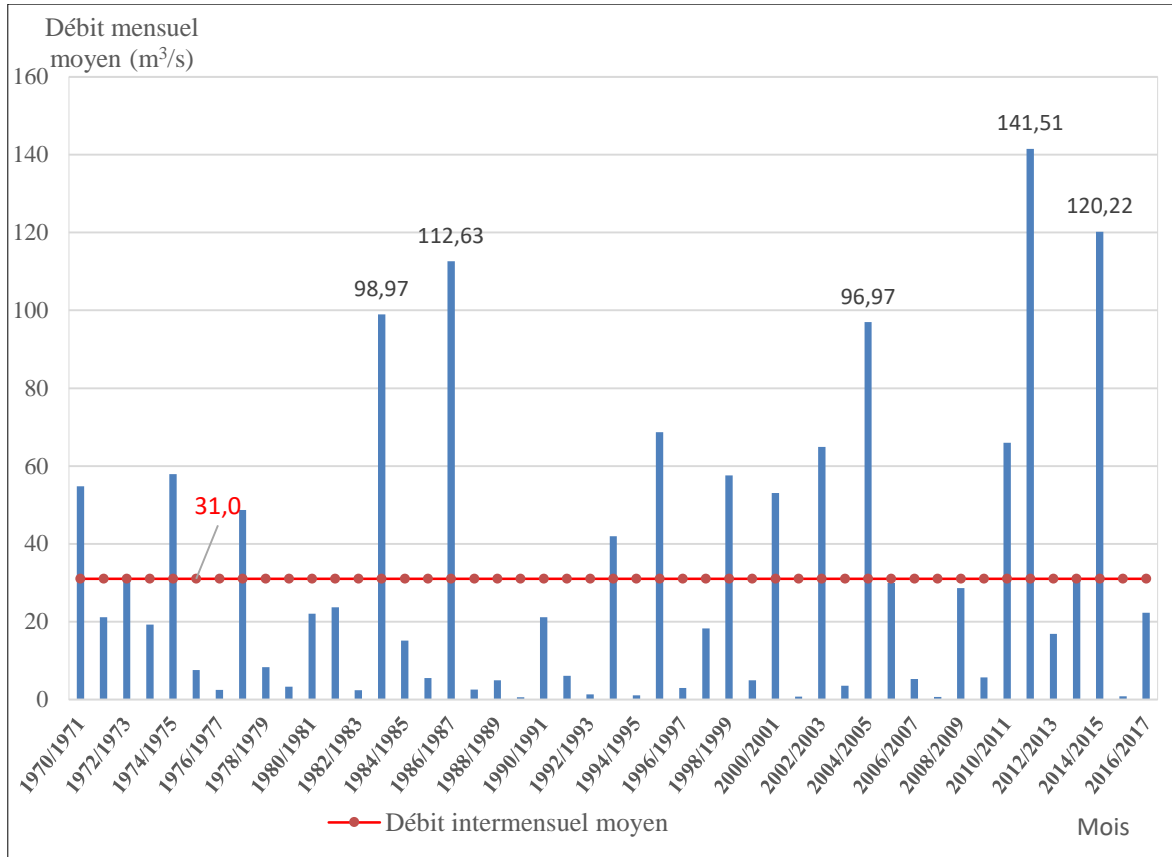


Figure 18. Variation mensuelle des débits du mois de février à la station de Cheffia barrage Période (1970/1971-2016/2017).

Les coefficients mensuels de débits ou rapports des débits moyens mensuels au module de la période considérée, pris pour unité, ont l'avantage de permettre la comparaison des variations saisonnières de régime de cours d'eau de débits très différents. Les coefficients mensuels de débits inférieurs à l'unité correspondent aux mois de basses eaux et les coefficients mensuels de débits supérieurs à l'unité représentent les mois de hautes eaux (figure 19).

La période des hautes eaux s'étend sur 5 mois (de décembre à avril). Le mois de mai marque le début de la saison des basses eaux jusqu'au mois de novembre.

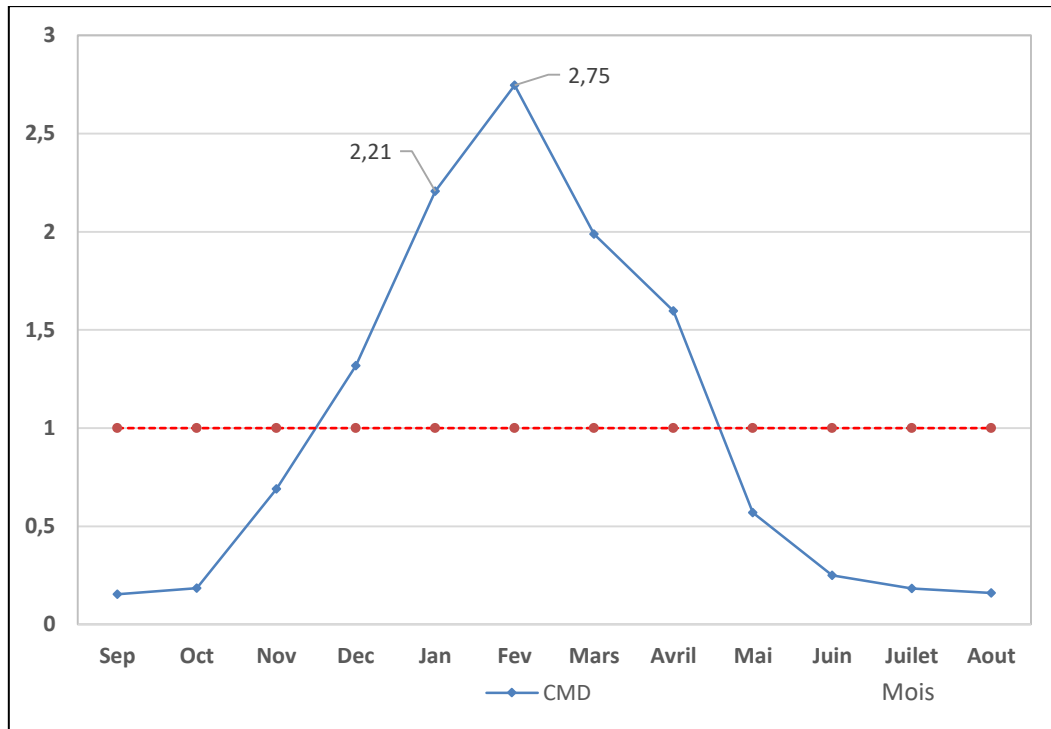


Figure 19. Coefficient mensuel des débits à la station de Cheffia barrage (Période (1970/71-2016/2017)).

4.3 Les débits journaliers maximums

Les débits journaliers maximums moyens ont été calculés à partir des apports journaliers maximums mesurés au niveau du barrage de Cheffia. La figure 20 qui retrace la période de 47 ans (1970/1971-2016/17), montre des pics élevés, avec 1047 m³/s durant la cure exceptionnelle de mars 1973 et 847 m³/s en février 2012. Durant cette période, le mois de février est le plus pluvieux car il enregistre des maximas journaliers pendant 16 ans, suivis du mois de janvier et mars avec 9 ans pour chaque mois. Ces débits extrêmes génèrent généralement des inondations en aval.

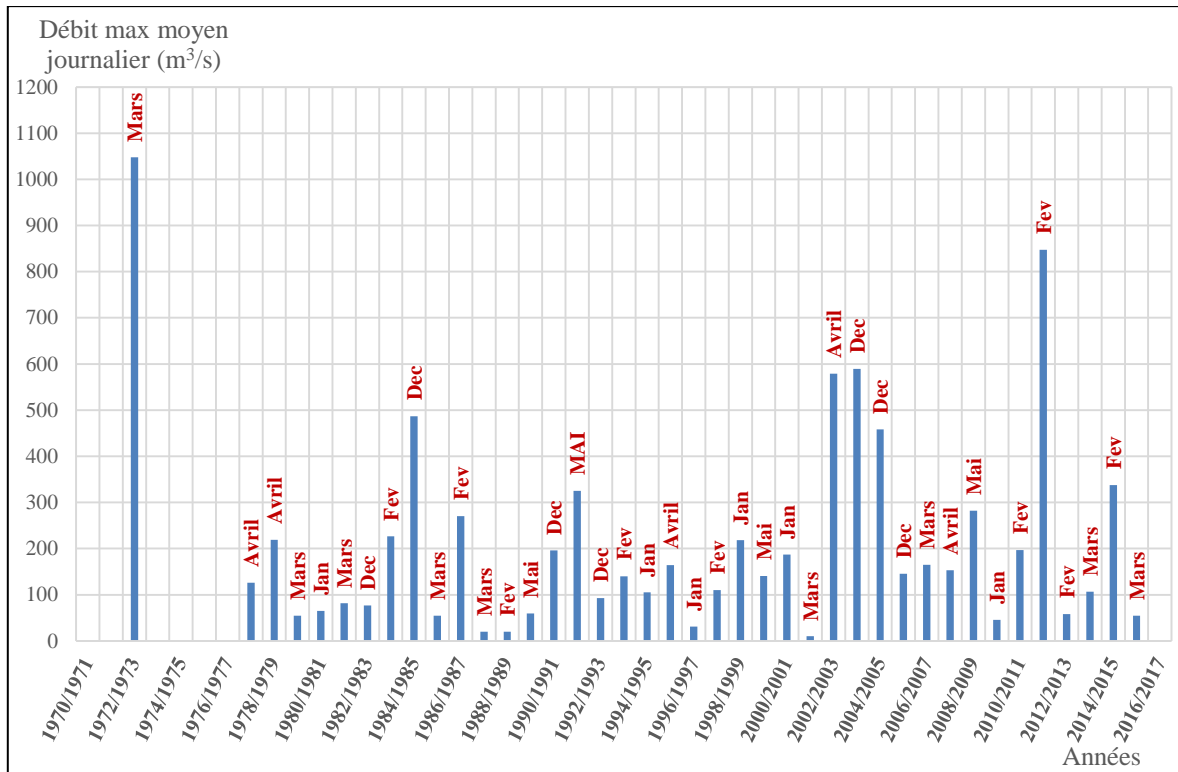


Figure 20. Variation des débits maxima moyens journaliers au barrage de Cheffia (1970/1971-2016/2017)

- **Relation Débit de pointe-Débit maximum journalier moyen**

A l'échelle du bassin versant de l'oued Bounamoussa, le rapport du débit de pointe (débit instantané ou Q_p) d'une crue au débit maximum moyen journalier (Q_{jmax}) a été calculé pour 18 événements enregistrés au niveau du barrage de Cheffia (tableau 14).

Tableau 14: Rapport débit de pointe (débit instantané ou Q_p) au débit maximum moyen journalier (Q_{jmax}) des crues observées au bassin de l'oued Bounamousa

| Année de la crue | Date de la crue | Q_p (m ³ /s) | Q_{jmax} (m ³ /s) | $K = Q_p/Q_{jmax}$ |
|------------------|--|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 1972/1973 | Crue du 27 au 28 Mars 1973 | <u>2096*</u> | <u>1047,8</u> | 2** |
| 1983/1984 | Crue du 3 au 5 Février 1984 | 608,4 | 231,46 | 2,6 |
| 1991/1992 | Crue du 24 au 26 Mai 1992 | 831,11 | 305,7 | 2,6 |
| 2002/2003 | Crue du 1 Février 2003 | <u>736,2</u> | <u>217</u> | 3,4 |
| 2003/2004 | Crue du 12 au 15 Décembre 2003 | <u>1159,6</u> | <u>489,1</u> | 2,4 |
| 2003/2004 | Crue du 22 au 24 Décembre 2003 | 203,6 | 148,8 | 1,4 |
| 2003/2004 | Crue du 30 Décembre 2003 au 5 Janvier 2004 | 900,2 | 342,49 | 2,6 |
| 2004/2005 | Crue du 14 au 16 Novembre 2004 | <u>1319,5</u> | <u>316,6</u> | 4,2 |
| 2004/2005 | Crue du 29 Décembre 2004 au 1 Janvier 2005 | 671,8 | 340,7 | 2,0 |
| 2004/2005 | Crue du 9 Février 2005 | 422,2 | 222,6 | 1,9 |
| 2004/2005 | Crue du 9 au 13 Avril 2005 | 426,4 | 291,3 | 1,5 |
| 2005/2006 | Crue du 14 Décembre 2005 | 556,6 | 168,13 | 3,3 |
| 2008/2009 | Crue du 4 au 5 Avril 2009 | <u>1280,2</u> | <u>608,7</u> | 2,4 |
| 2008/2009 | Crue du 15 au 16 Mai 2009 | 634,4 | 285,5 | 2,2 |
| 2011/2012 | Crue du 22 au 23 Février 2012 | <u>1429,1</u> | <u>843,05</u> | 1,7 |
| 2011/2012 | Crue du 10 au 11 Mars 2012 | 985,62 | 370,4 | 2,7 |
| 2014/2015 | Crue du 26 Février 2015 | 561 | 347,38 | 1,6 |
| 2014/2015 | Crue du 26 Mars 2015 | 467,9 | 167 | 2,8 |
| | | | K_{moyen} | 2.4 |

(*) Débit maximum instatané calculé

(**) Rapport moyen Q_p/Q_{jmax}

Variable entre 1.4 et 4.2, le rapport moyen est de l'ordre de 2.4 dans le dit bassin. Le graphique ci-dessous montre qu'une relation linéaire passant par l'origine décrit de façon satisfaisante le lien existant entre ces deux variables ; le coefficient de corrélation étant de l'ordre de 0.87.

Le Coefficient directeur de la droite de régression (2.14) indique qu'un rapport de 2 peut être utilisé avec une sécurité suffisante pour estimer le débit maximum instantané à partir des débits maxima journalier (figure 21).

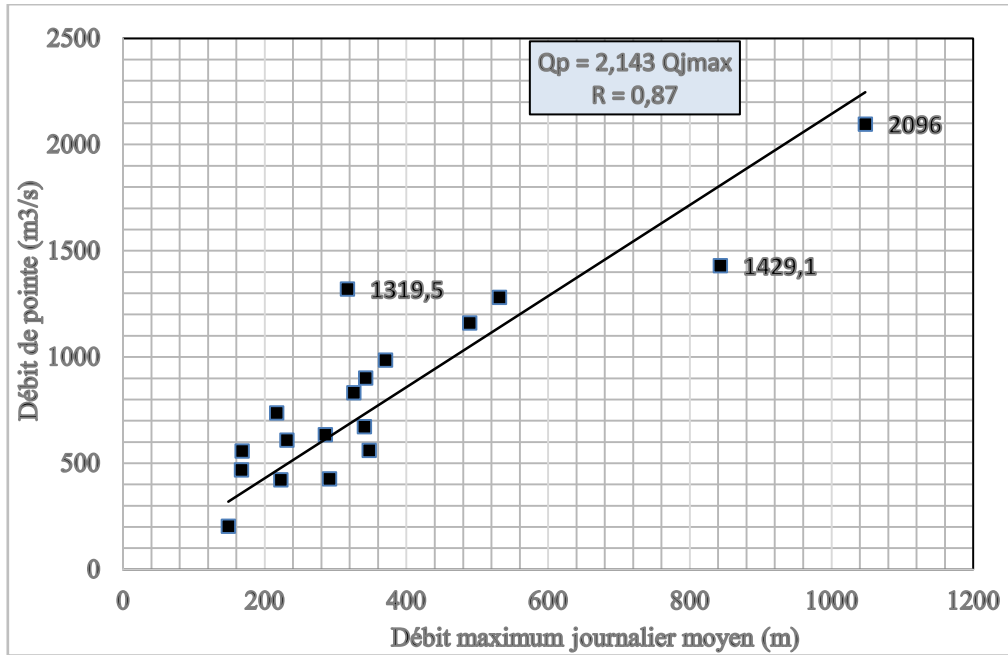


Figure 21. Rapport débit de pointe (débit instantané ou Q_p) au débit maximum moyen journalier (Q_{jmax}) des crues observées au bassin de l'oued Bounamoussa.

5 OCCUPATION DU SOL

La végétation du bassin versant de la Bounamoussa est à vocation principalement forestière. La forêt couvre environ 64 % de la superficie totale avec une surface de 63743 ha ([Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022](#)). Elle joue un rôle de régulateur des crues en limitant les effets de l'érosion et en favorisant l'infiltration sur les grès numidiens fracturés.

Parmi la flore forestière du bassin versant, quatre essences principales, dont deux peuplement naturels (le chêne liège, le chêne zeen), et les deux autres en reboisements artificiels, (Eucalyptus et pin maritime) (tableau 15 et figure 22).

Tableau 15. Répartition de la superficie forestière par essence au niveau du bassin versant de la Bounamoussa ([Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022](#))

| Espèces | Chêne liège | Chêne Zéen | Eucalyptus | Peuplier | Pins Aritime | Oléastre | Autres essence Orne-frene | Maquis | Sol nu | Total |
|------------------------|-------------|------------|------------|----------|--------------|----------|---------------------------|--------|--------|--------|
| Surface (ha) | 15 923 | 3 735 | 2 516 | 381 | 1 768 | 599 | 240 | 36 733 | 1 848 | 63 743 |
| % de la surface totale | 25 | 6 | 4 | 0.6 | 3 | 1 | 0.4 | 57 | 3 | 100 |

5.1 La forêt (peuplements naturels)

a) Série de chêne liège

La subéraie à cystes (chêne liège pur) trouve son optimum sur les altitudes allant de 500 à 700 m. Dans la forêt de Ras El Ourda (à Cheffia) et une grande partie de la forêt de l'oued Soudan (Asfour), la subéraie est bien développée. Cette espèce couvre une surface de 15923 ha soit 25 % de la superficie totale.

b) Série de chêne zéen

Le chêne zéen se développe dans un milieu frais et ombragé. Il élimine les autres essences à partir de 700 m. A oued Zitoun (Djebel M'Cid), sur les altitudes de plus de 1000 m, la forêt de chêne zéen est très développée. Avec une surface de 3735 ha, ce type de peuplement représente seulement 6 % ([Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022](#)) (tableau 15).

5.2 Le peuplement artificiel

Les reboisements d'eucalyptus et du pin maritime se trouvent au niveau des communes de Cheffia, Asfour et Ben M'hidi. Ils couvrent une surface de 4284 ha soit 7%.

5.3 Le maquis

Le maquis représente environ 57 % de la superficie forestière totale. Il couvre les collines et les basses montagnes. Les séries de l'oléo-lentisque, on les trouve sur les terrains lourds et au niveau des piémonts dégradés, autrement dit sur les versants comme sur le versant méridional de Djebel Souani entre Ain Karma et Bouhadjar ; elles se développent sur des marnes argileuses laissant apparaître entre la végétation éparse un sol nu. Ce maquis couvre la majeure partie de la colline de Djebel Boukerma qui fait la limite Sud de Garâat El M'khada ([Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022](#)).

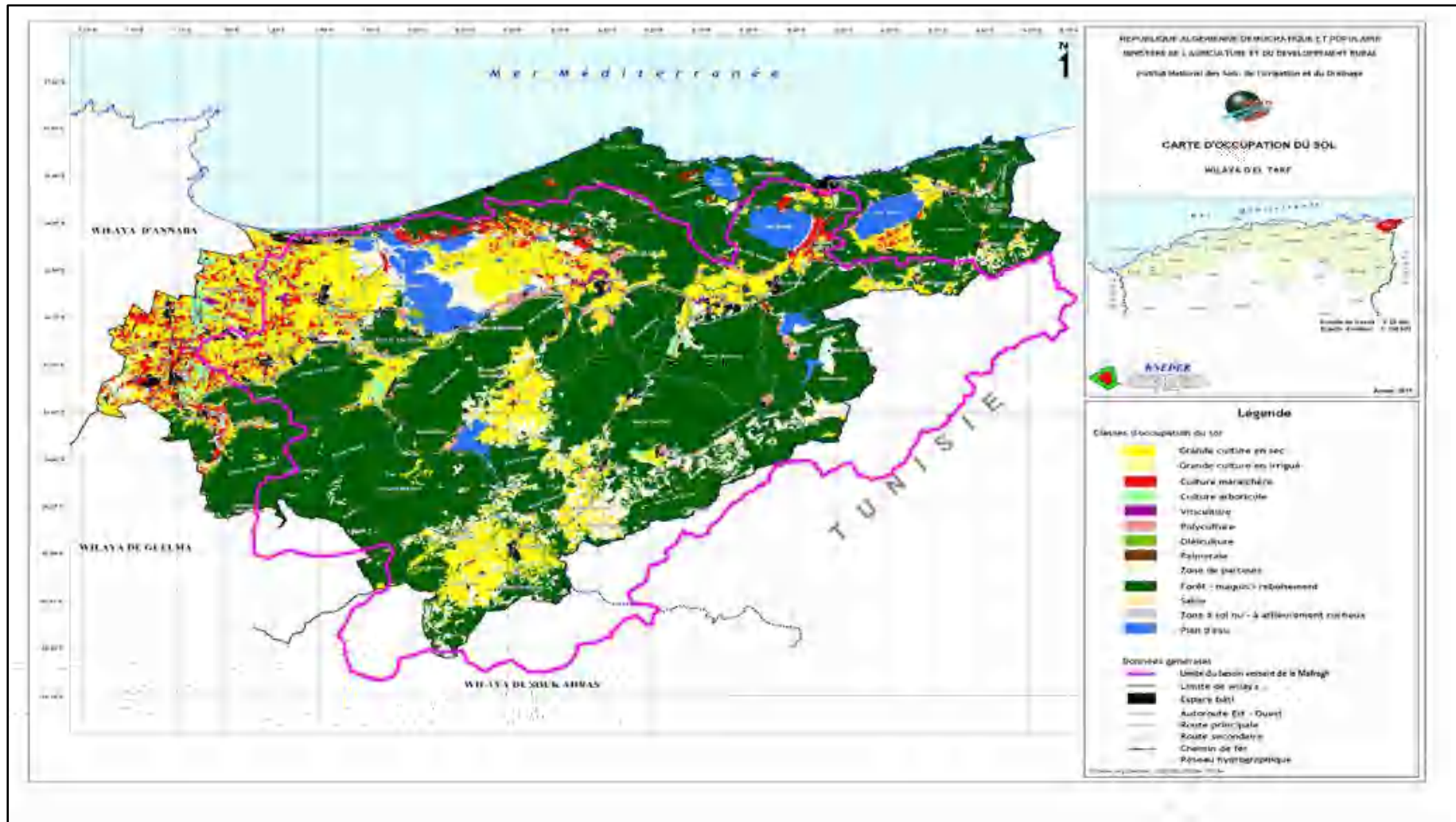


Figure 22. Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf réalisé par BNEDER (2011). (Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022).

Conclusion

L'étude du contexte physiographique a mis en évidence la dualité montagne - plaine qui caractérise le bassin de l'oued Bounamoussa. L'analyse des facteurs climatiques a fait ressortir deux périodes d'inégale durée, l'une froide et pluvieuse durant laquelle plus que 80 % des précipitations tombent, et la deuxième, sèche et chaude, où l'évaporation atteint sa plus forte valeur, autrement dit une période de stockage et une période d'utilisation de la ressource eau. Les déficits hydriques constituent un indice pertinent pour représenter la contrainte hydrique ; ils peuvent être également assimilés aux besoins moyen en eau d'irrigation.

Les écoulements qui drainent la zone maontagneuse (le haut bassin de Bounamoussa) sur une superficie de 575 km² sont depuis 1965 regularisés par le barrage de Cheffia, pour répondre à des besoins multisectoriels et réduire les inondations de la plaine en aval.

***CHAPITRE II : FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE
DU BARRAGE DE CHEFFIA.***

Introduction

Le barrage de Cheffia est situé à environ 43 km au Sud-Ouest de l'agglomération d'El Tarf (chef-lieu de wilaya) et à 50 km au Sud-Est de la ville de Annaba.

Il contrôle le haut bassin de Bounamoussa sur une superficie drainée de 575 km², soit 57.7 % de la superficie totale du bassin versant de l'oued Bounamoussa (figure 23).

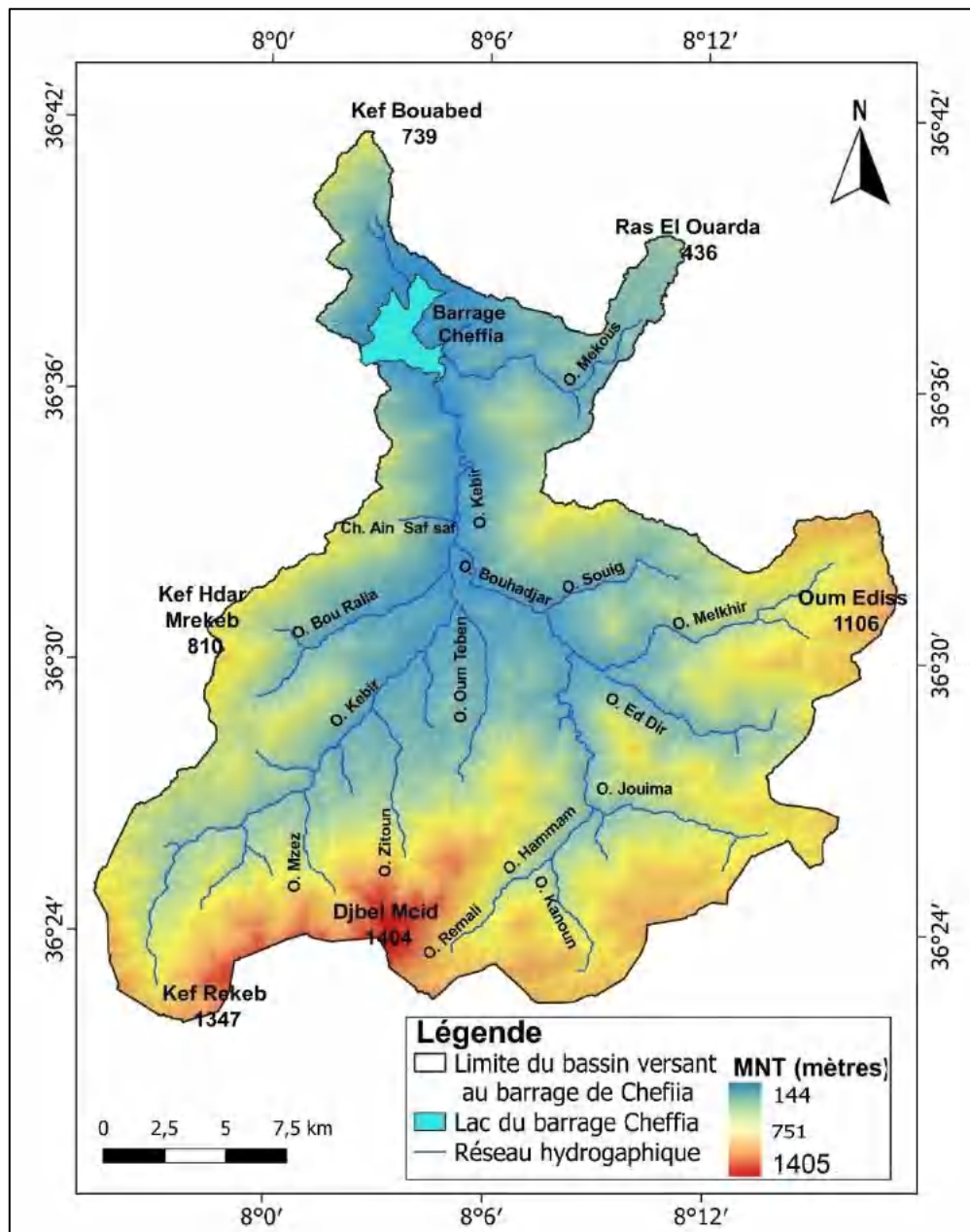


Figure 23. Bassin versant du barrage de Cheffia

La création en 1965 du barrage de Cheffia répondait à des besoins multisectoriels (eau potable, irrigation, eau pour l'industrie). La réduction des inondations de la plaine en aval est l'autre but de cet aménagement. Les travaux de construction de cet ouvrage ont été exécutés de 1959 à 1965 et sa mise en eau a été effectuée à partir du mois d'avril 1965.

Le remplissage de la retenue, d'une capacité initiale de 171.992 hm³, est irrégulier ; il est directement lié aux apports annuels eux même fonction des précipitations. Les crues jouent un rôle conséquent dans l'évolution de la capacité du barrage et les déversements qui s'en suivent. Plusieurs crues ont marqué le fonctionnement du barrage et occasionné des inondations à l'aval. L'analyse de ces apports exceptionnels permet de mieux comprendre l'ampleur des inondations et le rôle des lâchers dans l'amplification des risques encourus.

1 CARACTERISTIQUES DE L'AMENAGEMENT

Le barrage de la Cheffia est un barrage en terre ; il est composé de :

- **une digue** en terre compactée de 50 m de hauteur, comportant à l'amont un masque d'étanchéité constitué par une couche argilo-sableuse compactée et protégée par une recharge en alluvions (figures 24 et 25) ;
- **une retenue** d'une capacité totale de 158,827 hm³ (bathymétrie de 2004) à la cote de retenue normale RN 165 m (capacité initiale : 171.992 hm³) ;
- **un tunnel de prise d'eau et de vidange de fond** d'une longueur de 156,5 m, avec une largeur de 10,69 et une hauteur de 11,80 m. Deux (2) conduites de prise d'eau permettant de débiter 200 m³/s. Le pertuis de la vidange de fond est équipé d'une vanne batardeau, de 2 vannes de garde de type wagon, de 2 vannes de réglage de type secteur et de 4 vannes de dévasement (photo1) ;
- **un évacuateur de crue** qui comporte une tour équipée d'une vanne cylindrique, une galerie d'évacuation et un bassin de dissipation d'une capacité maximum d'évacuation de 1800 m³/s, pour une crue de pointe supérieure à 2000 m³/s (photo 2). Les débits excédentaires sont évacués par le déversoir secondaire de la digue du col d'El Karmet, située à 7 km au Nord- Est du lac du barrage vers oued Cheffia.

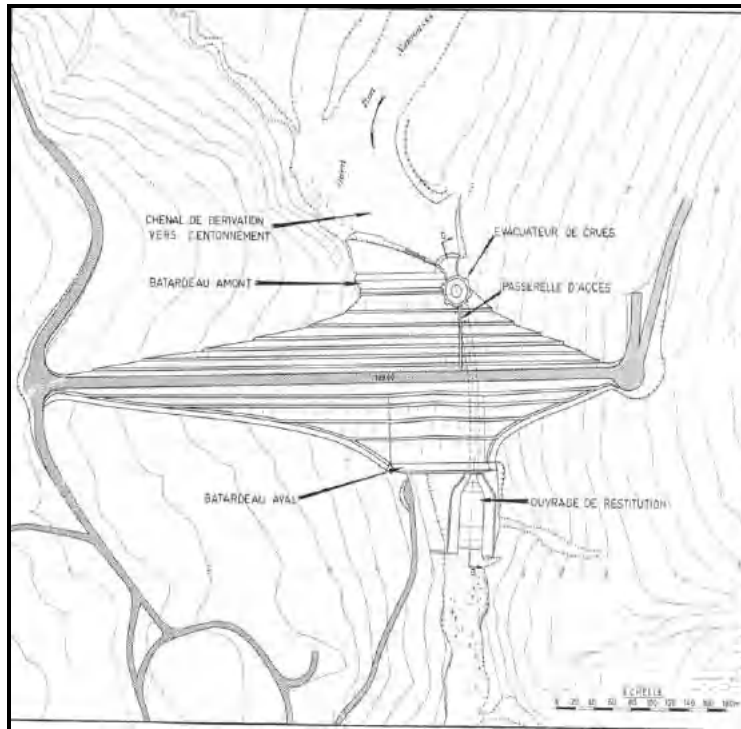


Figure 24. Vue en plan de la digue initiale du barrage (Direction de l'Hydraulique wilaya de Annaba : Rapport technique, le barrage de Cheffia sur l'oued Bounaamoussa ,1963)

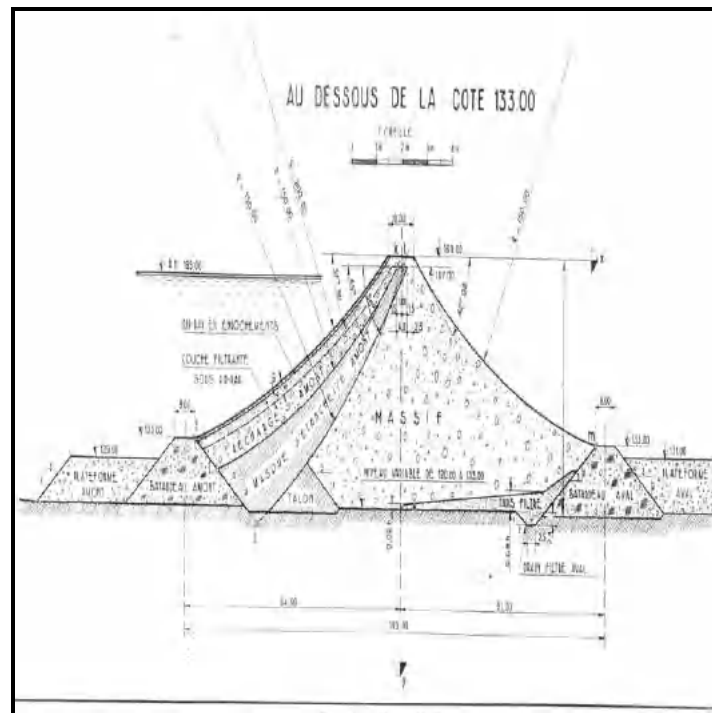


Figure 25. Coupe de la digue initiale du barrage (Direction de l'Hydraulique wilaya de Annaba, rapport technique : le barrage de Cheffia sur l'oued Bou-Namoussa ,1963).



Photo 1 : Tour de prise d'eau du barrage de Cheffia (Affoun, 2018)



Photo 2 : Bassin de dissipation et conduite de restitution du barrage Cheffia (Affoun, 2018)

Selon l'étude de confortement des grands barrages en exploitation, établie en 2006 par l'ANBT, cet évacuateur se compose de deux ouvrages adjacents : un seuil de 212 m d'extension construit en même temps que la digue et un seuil de 110 m d'extension construit lors des travaux de réfection du bassin de dissipation de l'évacuateur de crue (après la crue de 1973, travaux réalisés en 1985).

Le premier seuil était arasé à la cote 165.50 m soit 50 cm au-dessus de la retenue normale du réservoir. Pendant les travaux de construction du deuxième seuil, il a été arasé à la cote 165 m. D'après la Monographie du barrage (MDTPR, 1964 ?), le volume régularisé est de 95 hm³, réparti entre 61 millions m³ pour l'irrigation et 34 millions de m³ pour la ville de Annaba. Ce volume représente environ 67.85 % de l'apport moyen annuel de l'oued Bounamoussa qui a été évalué à 140 millions de m³.

Le tableau 16 récapitule les caractéristiques hydro-techniques du barrage de Cheffia.

Tableau 16. Caractéristiques hydrtechniques du barrage de Cheffia (ANBT, 2015).

| | |
|--|--|
| Digue | <p>Cote de la crête (niveau d'arase) : 169 m Niveau le plus bas des fouilles d'ancrage du massif dans le schiste des fondations : 119 m Longueur de la crête : 650 m Largeur de la crête : 10 m Largeur maximum à la base : 214 m Niveaux des crêtes des batardeaux d'appuis amont et aval : 133 m Hauteur (sur fondation) : 58 m Hauteur maximum en massif : 50 m Largeur en crête des batardeaux d'appuis : 8 m</p> |
| Retenue | <p>Cote Retenue Normale (CRN) : 165 m Plus Haute Eaux (PHE) : 167 m Capacité totale initiale (CRN) : 171.992 hm³ Capacité totale (bathymétrie, 1986) : 168.40 hm³ Capacité totale (bathymétrie, 2004) : 158,827 hm³ Volume régularisé annuel : 95 hm³ Tranche morte : 13.165 hm³ (bathymétrie 2004) Evaporation moyenne annuelle : 8 hm³/an Envasement initial : 0.2 hm³/an (10 hm³ en 50 ans)</p> |
| Evacuateur de crue | <p>Crue décennale : 800 m³/s Crue centennale : 1800 m³/s Crue millénale : 2200 m³/s Crue du projet entrante : 2000 m³/s Crue du projet déversante : 1800 m³/s</p> |
| Tour de prise d'eau et de vidange de fond | <p>Longueur : 156,50 m Largeur : 10,69 m Hauteur : 11,80 m Deux (2) conduites de prise d'eau de 200 m³/s Un pertuis de la vidange de fond équipé de : <ul style="list-style-type: none"> - Une (1) vanne batardeau, - Deux (2) vannes de garde de type wagon, - Deux (2) vannes de réglage de type secteur - Quatre (4) vannes de dévasement </p> |

La vie du barrage de Cheffia a été marquée par un certain nombre d'incidents et de travaux (ANBT, 2006) :

- La crue du 29 avril 1963 survenue pendant les travaux, d'un débit estimé à 1300 m³/s a provoqué des dégâts.
- Dans le but de réaliser des travaux d'étanchement sur la tour de l'évacuateur en 1969, des mouvements importants verticaux et vers l'amont se sont manifestés en partie haute de la digue, provoquant la fissuration de la crête et faisant craindre un début de rupture.
- Les mouvements constatés en 1969 ont conduit à réaliser en 1972/73 des travaux de confortement de la recharge amont de la digue. La partie haute du talus et la mise en place d'un enrochement de protection sur filtre. La crête a également été modifiée et équipé d'un parapet en béton coté amont.
- Le bassin de dissipation a été reconstruit durant la période de 1978-1985 avec des dimensions plus grandes, tant en profondeur qu'en longueur à celles du bassin d'origine détruit durant la crue des 27 et 28 mars 1973. Ce nouveau bassin a subi avec succès la crue des 22 et 23 février 2012 (1400 m³/s.)
- Des inondations récurrentes de la chambre des vannes de vidange sont signalées lors du fonctionnement de l'évacuateur de crue, en particulier au cours de la crue de 2003 où la chambre a été inondée sous une hauteur de 1.50 m. Le service d'exploitation du barrage signale également des battements et mises en vibration des portes blindées.

2 BILAN D'EAU INTERANNUEL, REGULARISATION DES APPORTS ET RYTHME D'ENVAISEMENT

2.1 Données de base et courbes de remplissage

Dans les études hydrologiques, un réservoir est défini comme une dépression artificielle (retenue collinaire, bas fond aménagé, barrage), caractérisée par une courbe de remplissage hauteur-volume dépendant de la précision métrique des courbes de niveau nécessaires à sa réalisation (Girard, 1982 ; Berton, 1988 ; Seguis et al, 1993).

Il est nécessaire de connaître les volumes entrants et sortants ainsi que les variations du niveau d'un plan d'eau. La connaissance précise de la capacité d'un réservoir en fonction de la cote du plan d'eau est un élément essentiel de son contrôle et de sa gestion notamment durant les crues.

L'analyse des éléments constitutifs du bilan et le suivi de l'évolution (journalière, mensuelle, annuelle...) des eaux du barrage sont basés sur une relation simplifiée qui peut être schématisée par la figure 26.

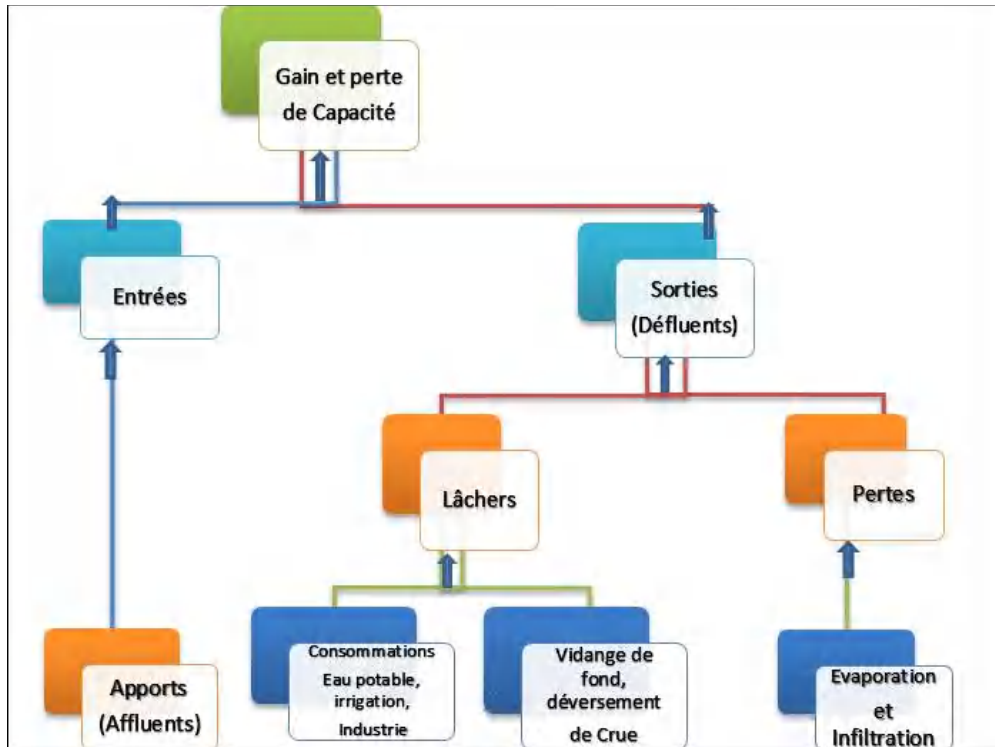


Figure 26. Schéma représentatif des éléments du bilan d'eau du barrage de Cheffia.

Les données des termes du bilan de régularisation du barrage de Cheffia, sont fournies par l'ANBT, issues des mesures in situ et / ou extrapolées de la courbe de remplissage. Cette dernière a évolué selon les données des trois (3) levés bathymétriques effectués en 1965 (courbe initiale établie avant la construction du barrage sur la base des levés topographiques de la cuvette), en 1986 et en 2004.

Les courbes de remplissage du barrage de Cheffia ont été établies, pour une hauteur d'eau tous les 50 cm, en utilisant les données des levés bathymétriques effectués par l'organisme gestionnaire du barrage en 1965 (MDTPR- SEGGTH, 1965) ; en 1986 (ANBT, 1986) et en 2004 (ANBT, 2004) (figures 27 et 28). La hauteur du plan d'eau initial est passée de 125 m en 1965 à 131.38 m en 2004, ce qui représente un volume d'envasement cumulé de 13.165 hm³ pour la période de 39 ans d'exploitation du barrage.

Par ailleurs, les données du bilan d'eau interannuels (période : 1970/71-2016/2017) du barrage de Cheffia sont reportées dans le tableau 17.

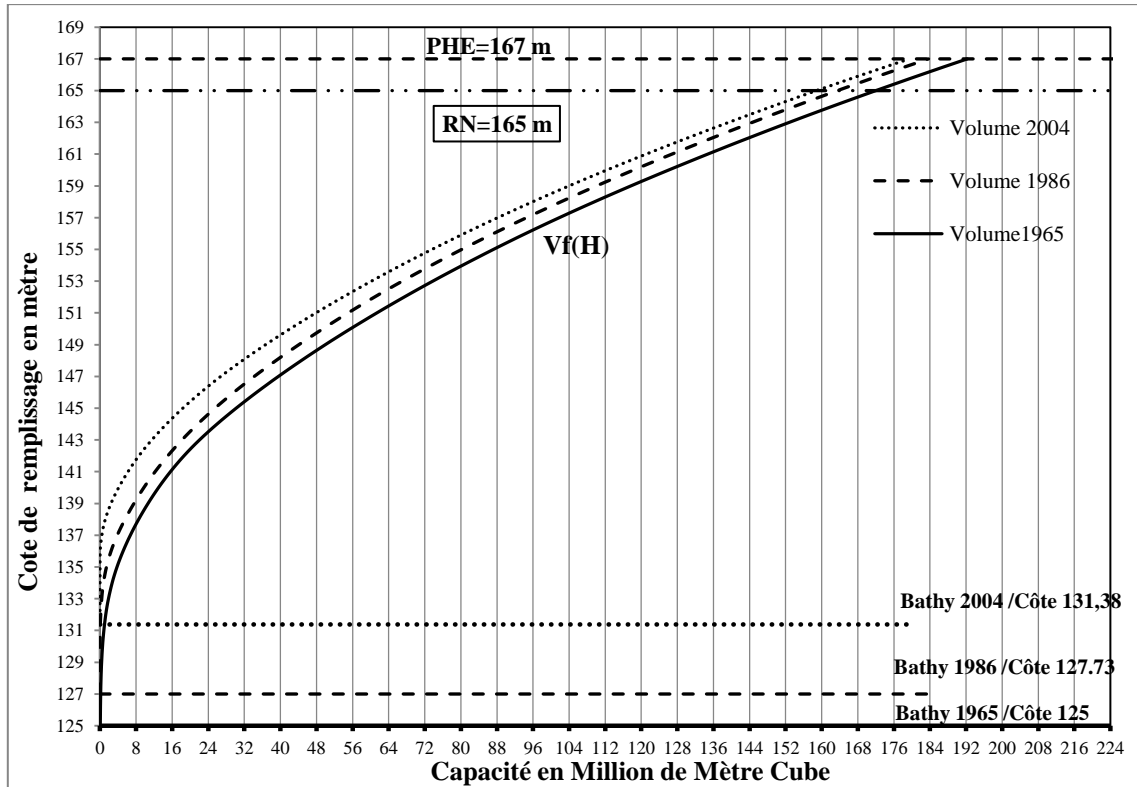


Figure 27. Evolution de la courbe Capacité- Hauteur du barrage de Cheffia. (Affoun, 2017).

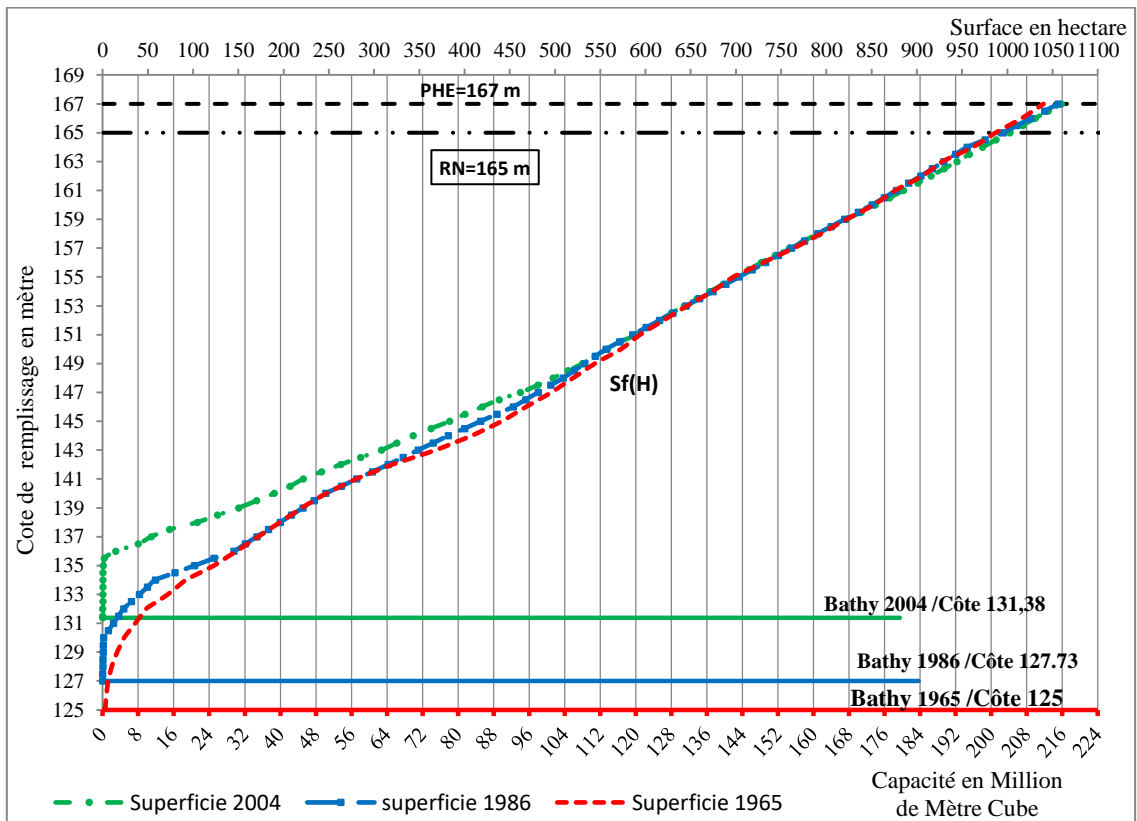


Figure 28. Evolution de la courbe Surface –Hauteur du barrage de Cheffia (Affoun, 2017)

Tableau 17. Bilan interannuel du barrage de Cheffia (période : 1970/71-2016/2017) (Capacité de la retenue : 158.827 hm³) (ANBT, 2017)

| Année | Début d'année | Durant l'année | | | | | | | Fin d'année | |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | Capacité | Consommation AEP | Irrigation 7 | Industrie (EI) | Vidange de fond+ Déversoir | Evaporation | Défluent | Affluent (Apport) | Capacité | Gain /perte de capacité |
| | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 70/71 | 78,223 | 106,782 | 0 | 0 | 65,43 | 9,586 | 181,999 | 217,0 | 116,062 | 37,839 |
| 71/72 | 116,062 | 103,24 | 0 | 0 | 326,05 | 6,582 | 436,008 | 358,6 | 51,209 | -64,853 |
| 72/73 | 51,209 | 109,785 | 0 | 0 | 239,963 | 6,763 | 356,628 | 359,9 | 58,31 | 7,101 |
| 73/74 | 58,31 | 163,28 | 0 | 0 | 4,816 | 5,845 | 173,941 | 179,6 | 58,31 | 0 |
| 74/75 | 58,31 | 126,682 | 11,852 | 0 | 0 | 6,664 | 145,198 | 173,0 | 84,731 | 26,421 |
| 75/76 | 84,731 | 34,94 | 0 | 0 | 0 | 6,332 | 41,272 | 67,5 | 106,624 | 21,893 |
| 76/77 | 106,624 | 36,965 | 0,776 | 0 | 82,127 | 6,852 | 126,72 | 95,2 | 101,525 | -5,099 |
| 77/78 | 101,525 | 38,421 | 9,355 | 0 | 16,454 | 8,33 | 72,55 | 100,1 | 119,638 | 18,113 |
| 78/79 | 119,638 | 41,83 | 23,618 | 0 | 16,302 | 7,493 | 89,243 | 101,1 | 119,351 | -0,287 |
| 79/80 | 119,351 | 39,939 | 21,235 | 3,096 | 76,456 | 7,469 | 148,195 | 86,7 | 44,89 | -74,461 |
| 80/81 | 44,89 | 26,025 | 24,034 | 10,124 | 0 | 7,017 | 67,2 | 94,3 | 59,128 | 14,238 |
| 81/82 | 59,128 | 26,47 | 23,195 | 21,977 | 0 | 6,533 | 78,175 | 111,4 | 76,837 | 17,709 |
| 82/83 | 76,837 | 26,372 | 38,189 | 24,739 | 1,213 | 6,354 | 96,867 | 83,2 | 53,548 | -23,289 |
| 83/84 | 53,548 | 23,887 | 31,107 | 18,106 | 119,123 | 6,923 | 199,146 | 253,1 | 89,756 | 36,208 |
| 84/85 | 89,756 | 26,989 | 36,667 | 18,907 | 123,97 | 6,526 | 213,059 | 227,3 | 88,696 | -1,06 |
| 85/86 | 88,696 | 24,646 | 47,965 | 18,315 | 0 | 5,19 | 96,116 | 55,4 | 30,996 | -57,7 |
| 86/87 | 30,996 | 26,979 | 37,837 | 17,331 | 167,407 | 5,459 | 255,013 | 338,3 | 100,173 | 69,177 |
| 87/88 | 100,173 | 25,688 | 38,216 | 17,169 | 0 | 4,968 | 86,041 | 24,9 | 26,796 | -73,377 |
| 88/89 | 26,796 | 9,151 | 4,083 | 14,002 | 0 | 2,673 | 29,909 | 17,9 | 8,992 | -17,804 |
| 89/90 | 8,992 | 1,241 | 1,529 | 7,968 | 0 | 2,355 | 13,093 | 19,3 | 11,387 | 2,395 |
| 90/91 | 11,387 | 15,151 | 22,051 | 10,906 | 0 | 6,219 | 54,327 | 179,4 | 127,393 | 116,006 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|---------------|---------------|--------------|----------------|-------|----------------|--------------|---------|---------|
| 91/92 | 127,393 | 29,975 | 31,897 | 13,976 | 38,911 | 6,014 | 120,773 | 131,0 | 118,542 | -8,851 |
| 92/93 | 118,542 | 32,569 | 48,881 | 13,42 | 0 | 6,521 | 101,391 | 91,5 | 91,383 | -27,159 |
| 93/94 | 91,383 | 33,903 | 35,514 | 10,052 | 0 | 6,013 | 85,481 | 65,1 | 53,694 | -37,689 |
| 94/95 | 53,694 | 33,655 | 28,326 | 9,787 | 0 | 4,063 | 75,831 | 65,6 | 32,028 | -21,666 |
| 95/96 | 32,028 | 25,019 | 28,999 | 7,127 | 7,17 | 5,048 | 66,193 | 168,1 | 120,219 | 88,191 |
| 1996/97 | 120,219 | 30,37 | 33,017 | 7,245 | 0 | 6,024 | 76,656 | 11,9 | 46,351 | -73,868 |
| 1997/98 | 46,351 | 34,364 | 31,756 | 7,648 | 0,913 | 6,359 | 81,04 | 130,4 | 101,02 | 54,669 |
| 1998/99 | 101,02 | 33,765 | 33,859 | 10,325 | 97,999 | 7,507 | 195,614 | 190,3 | 88,685 | -12,335 |
| 1999/00 | 88,685 | 36,007 | 30,166 | 10,612 | 0 | 6,42 | 93,623 | 73,0 | 61,16 | -27,525 |
| 2000/01 | 61,16 | 38,759 | 30,097 | 11,331 | 0 | 5,941 | 91,378 | 96,1 | 63,775 | 2,615 |
| 2001/2002 | 63,775 | 27,963 | 7,941 | 8,89 | 0 | 3,626 | 48,42 | 5,8 | 14,731 | -49,044 |
| 2002/2003 | 14,731 | 28,358 | 26,342 | 6,955 | 206,81 | 5,963 | 274,428 | 381,7 | 111,351 | 96,62 |
| 2003/2004 | 111,351 | 36,944 | 26,544 | 9,443 | 189,918 | 5,724 | 268,573 | 271,8 | 107,882 | -3,469 |
| 2004/2005 | 107,882 | 44,296 | 30,474 | 8,1 | 326,886 | 7,099 | 416,855 | 413,1 | 103,079 | -4,803 |
| 2005/2006 | 103,079 | 39,385 | 35,579 | 9,624 | 21,906 | 7,389 | 113,883 | 105,8 | 94,11 | -8,969 |
| 2006/2007 | 94,11 | 36,813 | 25,84 | 10,86 | 0 | 6,71 | 80,288 | 91,4 | 103,735 | 9,625 |
| 2007/2008 | 103,735 | 39,207 | 26,911 | 11,01 | 0 | 6,106 | 83,234 | 41,4 | 61,393 | -42,342 |
| 2008/2009 | 61,393 | 37,267 | 15,106 | 12,135 | 93,961 | 6,231 | 164,7 | 221,7 | 117,808 | 56,415 |
| 2009/2010 | 117,808 | 39,48 | 18,469 | 12,572 | 0 | 6,124 | 76,645 | 49,8 | 90,079 | -27,729 |
| 2010/2011 | 90,079 | 40,633 | 16,295 | 11,819 | 27,352 | 6,173 | 102,282 | 132,3 | 119,298 | 29,219 |
| 2011/2012 | 119,298 | 45,273 | 23,451 | 11,424 | 194,097 | 7,021 | 281,266 | 264,0 | 102,018 | -17,28 |
| 2012/2013 | 102,018 | 45,197 | 18,8 | 11,328 | 0 | 4,765 | 80,584 | 61,4 | 81,978 | -20,04 |
| 2013/2014 | 81,978 | 40,423 | 21,554 | 11,483 | 23,171 | 5,371 | 102,02 | 123,0 | 102,018 | 20,04 |
| 2014/2015 | 102,018 | 35,406 | 23,984 | 10,34 | 70,48 | 5,75 | 265,39 | 274,4 | 100,153 | -1,865 |
| 2015/2016 | 100,153 | 44,22 | 25,01 | 5,79 | 0 | 5,65 | 76,66 | 37,6 | 56,423 | -43,73 |
| 2016/2017 | 56,423 | 46,881 | 11,433 | 5,355 | 0 | 4,809 | 68,478 | 34,5 | 22,664 | -33,759 |

2.2 Bilans d'eau du réservoir : résultats et interprétation

2.2.1 Variabilité des apports annuels et de la capacité de fin d'année

L'apport moyen annuel observé sur 47 ans (1970/71-2016/17) est estimé à 142.02 hm³/an pour une lame de précipitation moyenne interannuelle estimée à 808.8 mm. La période de mise en eau, d'avril 1965 à 1969, n'a pas été prise en compte dans notre étude.

Un maximum de 413, 381, 271,8 et 269 hm³ a été enregistré par ordre d'importance durant les années pluvieuses suivantes : 2004/2005 (1124,5 mm), 2002/2003 (1139 mm), 2003/2004 (959 mm) et 2011/2012 (880 mm). Le maximum annuel enregistré durant l'année humide de 2004/2005 avec 413.09 hm³ (écart à la moyenne : +190 %) représente près de 3 fois l'apport interannuel retenu dans la monographie. Il se rapproche de l'apport centennial humide (fréquence au dépassement $F_1 = 0.01$) qui est de l'ordre de 473 hm³, calculé d'après les apports au barrage de Cheffia, en utilisant une loi de distribution Log-normale, avec un degré de confiance de 90 % (SEH- DEMRH, 1975).

L'apport mesuré des années 1970/71, 1983/84 et 2011/12 a atteint respectivement 217, 253 et 264 hm³ ; il se rapproche de l'apport décennial humide estimé à 252 hm³ (SEH- DEMRH, 1975). Le minimum annuel (5,842 hm³) a été enregistré durant l'année hydrologique sévèrement sèche de 2001/2002, soit un écart à la moyenne de - 96 %. Cet apport hydrologique correspond à une période de retour sèche quasiment millénale (18 hm³ est l'apport de fréquence au dépassement $F_1 = 0.001$) (SEH - DEMRH, 1975).

Ces chiffres expriment le caractère aléatoire et irrégulier des apports d'une année à une autre (figure 29).

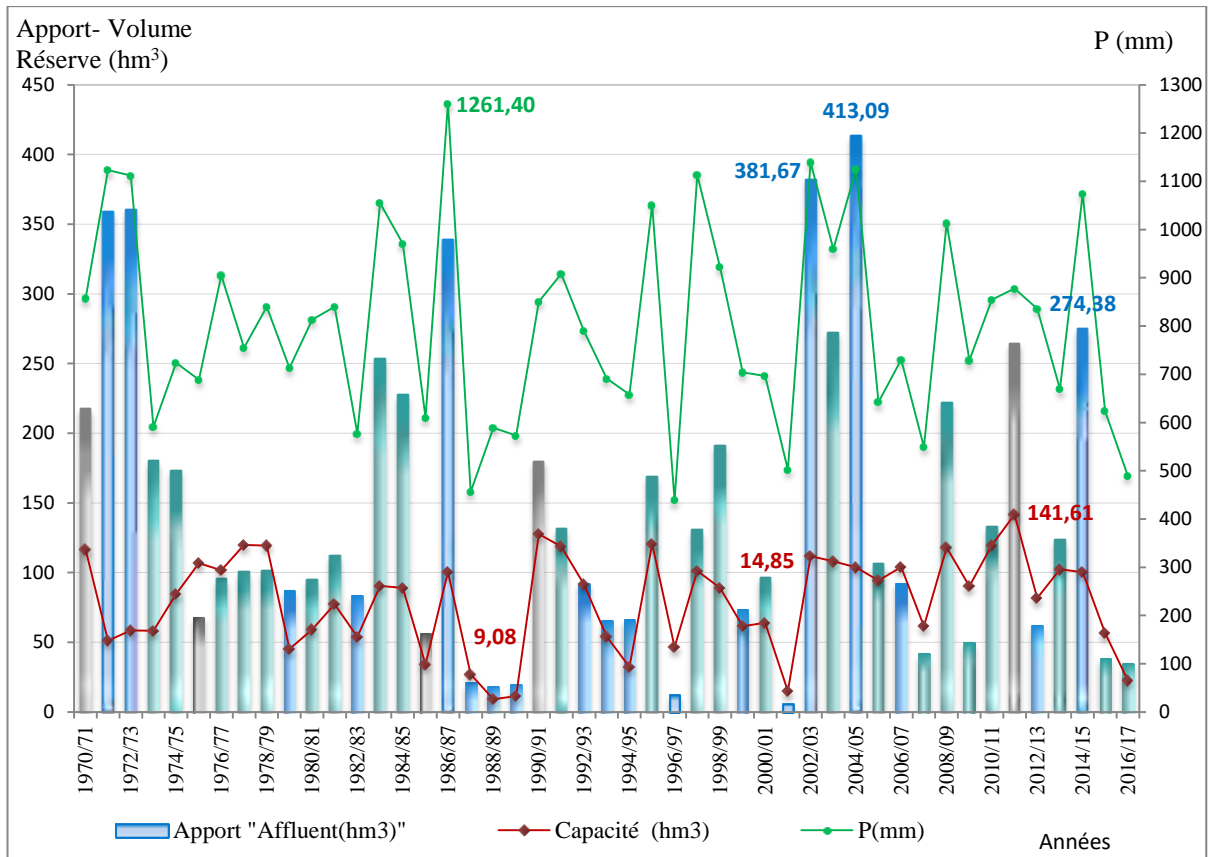


Figure 29. Variations annuelles des principaux éléments du bilan : apports, capacité et précipitations (Précipitation mesurés à la station de Cheffia barrage).

Le remplissage de la retenue durant 47 ans est, en général, directement lié aux apports annuels, eux-mêmes fonction des précipitations (tableau 17 et figure 29). Durant l'année la plus pluvieuse (2004/2005), bien que la capacité de fin d'année (mois d'août) était de 103.817 hm³, seul un volume de 21 % des apports a été stocké au niveau du barrage et qu'un volume de 326.88 hm³ était évacué sous forme de lâchers.

La capacité de fin d'année a atteint un taux maximal de 75.64 % durant l'année hydrologique 1990/1991 (soit un volume de remplissage de 127.393 hm³). Le volume de remplissage mensuel a atteint son taux maximum de 97,78 % durant le mois d'avril 1991, avec un volume de 164,656 hm³ pour une cote de retenue normale (CRN) de 168,402 hm³. Durant l'année de 1972/1973 qui a enregistré des crues exceptionnelles, le volume de remplissage n'a atteint que 162,44 hm³ soit un taux de 94.45 % durant le mois de mars bien que les précipitations enregistrées durant ce mois ont atteint les 392,1 mm. En 2011/2012 le maximum de la réserve était de 143.359 hm³ durant le mois d'avril 2012 avec un taux de remplissage maximum de 90.26 %.

Avec 5.33 %, le taux minimal de remplissage de fin d'année a été atteint en 1988/1989. Aussi, durant l'épisode sec de trois années successives (1987/1988, 1988/1989, 1989/1990), une diminution critique de la capacité est enregistrée en fin d'année (mois d'août), avec respectivement : 26.8, 8,99 et 11.39 hm³. Ces trois années font partie du cycle de sécheresse qu'a connu la région, enregistrant les moyennes annuelles de précipitations les plus faibles durant la période d'étude : 456.3 mm en 1987/88, 589.3 mm en 1988/1989 et 572.9 mm en 1989/1990.

2.2.2 Défluent : évaporation et fuites, vidange de fond, déversements de crue, lâchers

2.2.2.1 Evaporation et fuites

L'évaporation moyenne annuelle varie entre 3.6 et 8 hm³/an. La valeur la plus faible a été enregistrée durant l'année hyper sèche de 2001/2002 et la valeur maximale durant les années les plus pluvieuses (en moyenne 7.5 hm³/an).

Des fuites faibles sont enregistrées durant les premières années du fonctionnement du barrage soit 0.2 hm³/an en 1971/1972 et 0.11 hm³/an en 1972/1973. Cependant, durant la période allant de 1998 à 2000/2001, des fuites importantes de 12.10, 10.42 et 5.25 hm³/an ont été respectivement enregistrées.

2.2.2.2 Vidange de fond et déversement de crue

Dans ce type de barrage en terre, l'évacuation des crues se fait par le biais d'une tour équipée d'une vanne cylindrique prolongée par une galerie qui débouche sur un bassin de dissipation. Les déversements de crues se font par le fond comme pour une vidange de fond.

La vidange de fond est une mesure d'entretien et de dévasement qui se pratique au moment des crues. La vidange de fond a fonctionné depuis la mise en service du barrage, avec précisément un volume de 1.74 hm³ en 1966/67 pour une capacité de fin d'année de 33 hm³. Ce volume a atteint les 280 hm³ alors que le volume total des apports était de 248 hm³ en 1969/1970. La vidange de fond est maximale durant les crues exceptionnelles : elle a atteint respectivement 326.88, 206.81 et 194.10 hm³/an durant les années les plus pluvieuses de 2004/2005, de 2002/2003 et de 2011/2012.

2.2.2.3 Lâchers (AEP, irrigation, industrie)

Depuis la mise en eau du barrage de Cheffia, un volume important (163 hm³/an) était alloué à l'AEP en 1973/74. Après la mise en exploitation du périmètre d'irrigation de la Bounamoussa en 1974/1975, ce volume a connu une baisse considérable (34 hm³/an). Durant les années sèches de 1975/76 et 1976/77, le volume alloué à l'AEP n'a pas dépassé respectivement 34 et 36 hm³.

Le périmètre de la Bounamoussa couvre une surface de 17000 ha ; la superficie équipée est de 16 500 ha. La superficie irrigable de 13826 ha a été mise en service en 1978 ; elle s'étend à raison de 93 % (12826 ha) dans la Wilaya de El Tarf et à raison de 7 % (1000 ha) dans la Wilaya de Annaba.

Le premier volume alloué à l'irrigation du périmètre de la Bounamoussa en 1974/75 était de 11.85 hm³/an. Ce volume a connu des fluctuations selon l'apport hydrologique et le taux de remplissage de la retenue. Durant les années hyper sèches, ce volume varie entre 0 hm³ en 1975/76 et 7.94 hm³/an en 2001/02. Durant l'épisode de sécheresse de 1987 à 1990, les volumes alloués à l'irrigation étaient de 1.53 hm³ durant l'année 1988/89 et 4.08 hm³ en 1989/90.

Durant les années pluvieuses le volume alloué à l'irrigation varie entre 20 et 40 hm³/an. Ce volume dépend aussi des superficies et des cultures souscrites pour l'irrigation au niveau du périmètre de la Bounamoussa.

A partir de 1979/1980 et après la mise en exploitation du complexe sidérurgique d'El Hadjar, le volume alloué à l'industrie était au départ de 3.1 hm³/an. Ce volume a atteint son maximum en 1982/83 avec 24.74 hm³/an. A partir de 1990, ce volume tend à la baisse, et varie entre 5 et 13 hm³/an.

Le volume le plus faible (5.3 hm³) a été enregistré en 2016/2017, année marquée par un stress hydrique important qui a touché les trois secteurs (AEP, irrigation et l'industrie) de la région de Annaba- El Tarf. Cette région a connu une pénurie telle qu'un arrêt du haut fourneau de l'usine sidérurgique d'El hadjar a été décidé pendant une période de 18 jours (du 7 au 24 septembre 2017). Pour l'irrigation du perimètre de Bounamoussa, en juin et juillet 2017, un volume de 2.58 et de 2.72 hm³ était respectivement affecté pour les agrumes et les tomates industrielles avec un système de rotation entre les agriculteurs pour mieux contrôler le gaspillage de l'eau. A partir du mois d'août, un volume de 1.16 hm³ a été livré pour sauver les jeunes plantations. Enfin, durant le mois de septembre, le secteur agricole a été totalement privé d'eau d'irrigation (cf. chapitre 6).

2.2.3 Le volume régularisé

D'après la monographie, le débit régularisé garanti par le barrage correspond à la quantité d'eau qui peut être fournie aux utilisateurs avec les probabilités suivantes :

- 0.8 pour le périmètre d'irrigation
- 0.95 pour la ville de Annaba.

Le débit régularisé garanti par le barrage de Cheffia est de 95 millions m³, répartis entre 61 millions m³ pour l'irrigation et 34 millions de m³ pour la ville de Annaba.

Autrement dit le périmètre d'irrigation peut disposer 8 années sur 10 de 61 millions m³ et les 2 années sur 10 où il ne dispose pas de 61 millions m³, il disposera d'au moins 49 millions m³. La ville de Annaba (AEP et alimentation en eau industrielle) dispose de 34 millions m³ avec la probabilité de 0.95 qui correspond pour ce genre de phénomène à une quasi-certitude. Le volume régularisé réel moyen, calculé sur 47 ans d'exploitation du barrage, est de 74.25 hm³, soit 78.40 % du volume régularisable (théorique) estimé à 95 hm³/an (Affoun et al, 2019). Après les années 1970 /71 -1974/75, le volume regularisé théorique a été atteint une seule fois en 1992/1993 (figure 30).

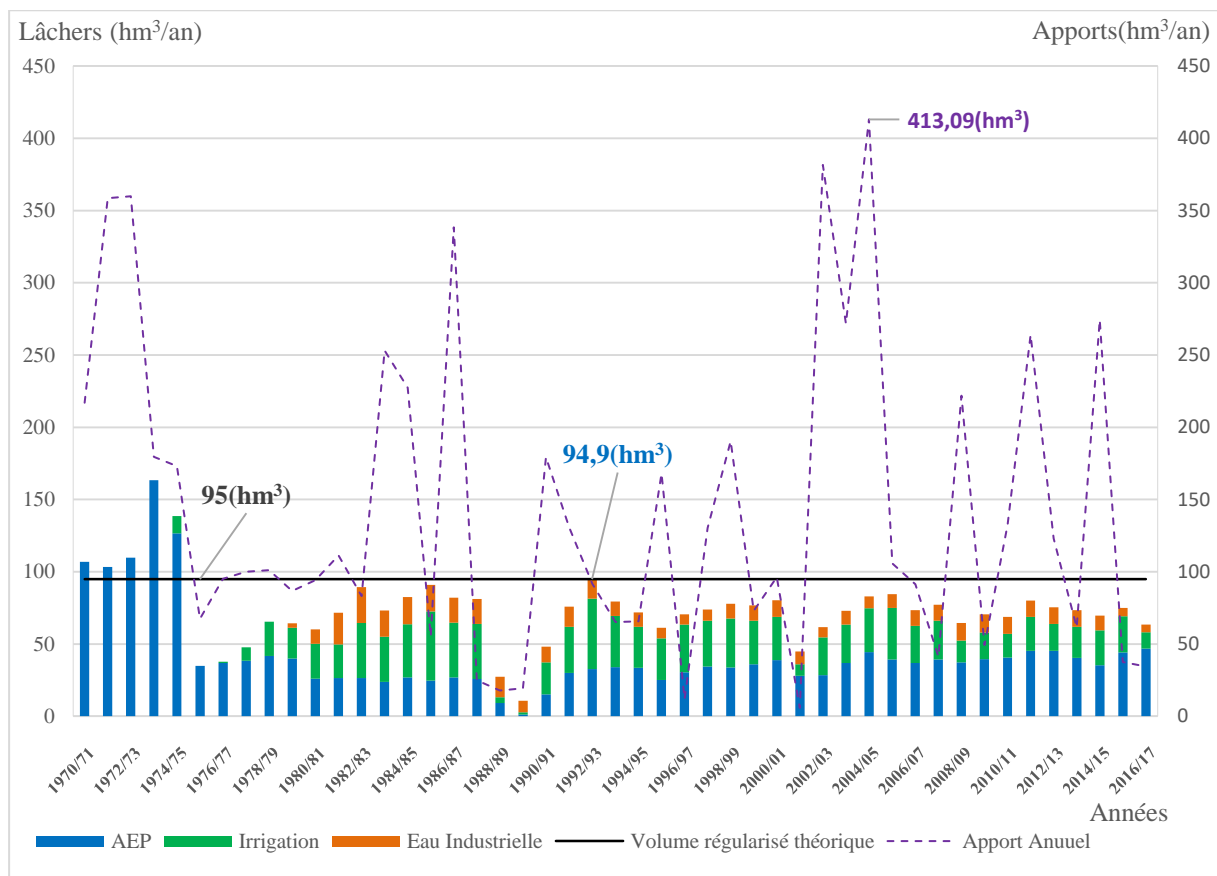


Figure 30. Variation annuelle des lâchers : AEP, irrigation et eau industrielle.

2.3 Rythme d'envasement de la retenue

Le tableau 18 représente les fluctuations de la capacité et de la tranche morte selon les trois bathymétries. D'après la figure 31, on remarque que le volume de la retenue normale a diminué de 13,165 hm³. La surface de la vase du fond du lac (tranche morte) a augmenté de 15,701 ha ; l'influence de l'érosion des berges du lac du barrage après les crues produites sur une période de 39 ans a probablement contribué au phénomène d'envasement (photo 3). Un programme de

plantation de 15000 arbres de chêne liège sur les berges du lac du barrage a été lancé en 2016-2017.

Tableau 18. Evolution de la capacité et de la tranche morte pour différentes bathymétries

| Caractéristiques du barrage | Bathymétrie 1965 (année de mise en eau) | Bathymétrie 1986 (21 ans d'exploitation après la bathymétrie de 1965) | Bathymétrie 2004 (18 ans d'exploitation après la bathymétrie de 1986) | Bilan Bathymétrie 1965/2004 (39 ans d'exploitation depuis l'année de mise en eau) | Bathymétrie estimée en 2017 |
|--|---|---|---|---|-----------------------------|
| Cote maximale du barrage (m) | 169 | 169 | 169 | 169 | 169 |
| Cote PHE du barrage (m) | 167 | 167 | 167 | 167 | 167 |
| Cote minimale (m) | 125.00 | 127.73 (-2.73) | 131.38 (-6.38) | 131.38 (-6.38) | / |
| Volume PHE (hm ³) | 192.287 | 188.917 (-3.370) | 179.45 (-9.467) | 179.45 (-12.837) | 179.45 |
| Surface PHE (ha) | 1040 | 1056.20 (+16.20) | 1059.69 (+3.49) | 1059.69 (+19.69) | / |
| Volume RN (hm ³) à la cote 165 m | 171.992 | 168.402 | 158.827 | 158.827 | 154.78 |
| Perte de capacité (VRN) due à l'envasement (hm ³) | 0 | -3.590 | -9.572 | -13.17 | 4.4 |
| Surface inondable RN (ha) à la cote 165 m | 987.00 | 995.03 (+8.03) | 1002.70 (+7.67) | 1002.70 (+15.7) | / |
| Envasement cumulé (hm ³) | / | 3.590 | 9.572 | 13.17 | 17.57 |
| Taux d'envasement de la période (en m ³ /an) (En % / an) | / | 170952 2.1 % | 531778 5.6 % | 337692 7.7 % | 337692 10.21 % |
| Taux de comblement annuel moyen en (% /an) | / | 0.10 % | 0.33 % | 0.21 % | 0.87 % |

Le taux d'envasement annuel moyen est calculé comme suit :

$$\eta(\%) = ((W_v / W_0) / T) \times 100$$

W_v : Volume de vase en (million de m³)

W_0 : Volume initial de la retenue (million de m³)

T : Durée d'exploitation du barrage en (an).

Taux d'envasement (m³/an) = V_v / T

V_v : volume de vase (million de m³)

T : Durée d'exploitation du barrage entre deux bathymétries.



Photo a.

Photo b.

Photo 3. Dégâts après la crue de février 2012. a .et .b. Erosion des berges du lac du barrage (Affoun, 28 octobre 2017).

Le taux d'envasement moyen mesuré par la bathymétrie, après 39 ans d'exploitation du barrage (1965 -2004), se situe autour de $0.337 \text{ hm}^3/\text{an}$, soit un taux de comblement annuel moyen de 0,20 % et une dégradation spécifique du bassin versant de 939 t/an/km^2 . Ce qui montre que le taux d'envasement moyen a été sous-estimé par l'étude d'avant-projet ($0.199 \text{ hm}^3/\text{an}$).

Sur la période 1965-1986 (21 ans d'exploitation), l'envasement cumulé est de $3,59 \text{ hm}^3$, soit un taux de sédimentation moyen de $0.171 \text{ hm}^3/\text{an}$, et un taux de comblement annuel moyen de 0,10 %. Sur la période 1986-2004 (18 ans d'exploitation), le rythme de sédimentation est plus de 2,5 fois supérieure. La retenue a connu sur cette période un cumul de sédimentation atteignant $9,57 \text{ hm}^3$, soit un taux d'envasement de $0.532 \text{ hm}^3/\text{an}$ et un taux de comblement annuel moyen de 0.31 % , avec un taux d'envasement moyen de $0.337 \text{ hm}^3/\text{an}$, la capacité de la retenue en 2017 est estimée à 154.78 hm^3 (figure 31).

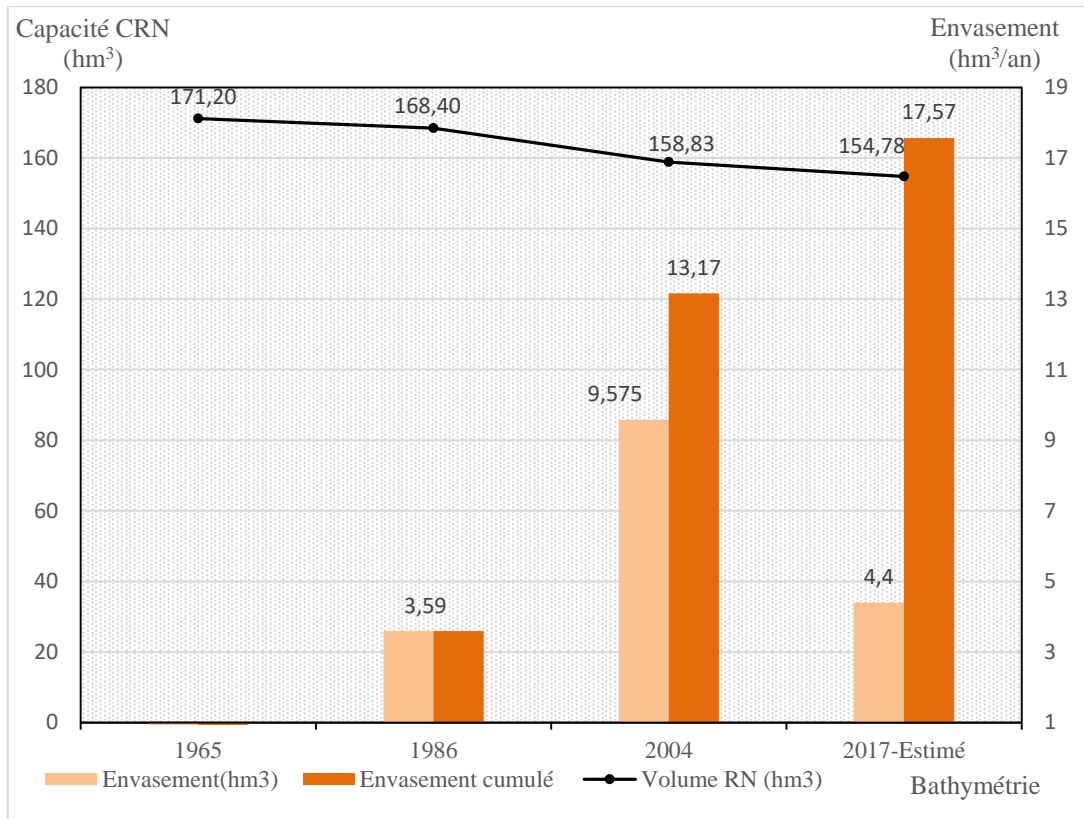


Figure 31. Evolution de la capacité et de la tranche d'envasement du barrage de Cheffia selon les levés bathymétriques

La moyenne annuelle des apports solides de la période d'observation de 1946/47 à 1953/54 a été estimée à 199822 tonnes/an, ce qui correspond à un envasement moyen annuel de 0.125 hm³/an (on admet que 1 m³ de vase pèse 1.6 tonnes dont 1 tonne de matières solides et 0.6 tonne d'eau), soit 6.25 hm³ en 50 ans, selon l'étude d'avant-projet du barrage de Cheffia (MDTPR, 1964 ?).

D'après l'étude de régularisation du barrage de Cheffia effectuée par la SEH- DEMRH (1975), l'apport solide en suspension annuel moyen a été estimé à 122000 tonnes/an pour une période moyenne de 23 ans (1947-1974 avec une lacune de 1962 à 1966). En ajoutant le charriage (50 %), considéré comme très important sur le bassin versant de la Bounamoussa (fortement accidenté à l'amont), le taux d'abrasion moyen du bassin est estimé à 320 tonnes /km²/an.

Or, selon les résultats de la dernière campagne bathymétrique réalisée par l'ANBT en 2004, le taux de sédimentation moyen est de 0.337 hm³/an, d'où une dégradation spécifique (moyenne ramenée à la période de 39 ans) qui s'élève à 939 tonnes/km²/an (Affoun et al, 2019).

3 APPORTS DE CRUE AU BARRAGE, DEVERSEMENTS ET INONDATIONS

3.1 Introduction

L'étude des crues est basée sur les données de l'ANBT relatives aux apports journaliers et instantanés ainsi que les déversements effectués à travers l'évacuateur de crues du barrage de Cheffia.

La région d'El Tarf a connu plusieurs inondations exceptionnelles, voire catastrophiques, comme celles générées par les crues de mars 1973, avril 2003 et février - mars 2012.

Les inondations sont les catastrophes naturelles les plus destructrices et même les plus fréquentes qui provoquent d'importants dégâts humains et matériels. Plusieurs facteurs influent sur l'aggravation de ce phénomène, dont les facteurs météorologiques, topographiques, géologiques, hydrologiques et humains. Ces derniers sont étroitement liés à la croissance démographique et à l'urbanisation souvent inappropriée sur les zones inondables.

(Ledoux, 2006) définit les événements « rares » et « exceptionnels » comme ceux dotés respectivement d'une période de retour de 100 ans et supérieure à 100 ans.

Les crues sont généralement analysées selon un certain nombre de paramètres, tels que le temps de montée, temps de décrue, le pic de crue (débit max de la crue) qui sont déterminés à partir de l'hydrogramme de crue et de l'hétéogramme (représentation des pluies en fonction du temps).

La figure 32 montre un type d'hydrogramme simple enregistré à une station de jaugeage après une averse tombée sur son bassin versant (Musy, 2005 in Beloulou, 2015). La forme générale de l'hydrogramme permet de le diviser comme suit :

- la partie relative à **la montée des eaux** ou courbe de concentration (ou courbe de crue),
- **le débit maximum** observé ou pointe de l'hydrogramme ;
- la zone afférente à la diminution progressive du débit ou **courbe de décrue** ;
- la partie de l'hydrogramme qui matérialise la diminution du débit au bout d'un temps assez long pour que tout ruissellement ait cessé ; le cours d'eau étant alimenté par les nappes souterraines (**courbe de tarissement**) ;
- le **temps de base** est la durée du ruissellement direct (la longueur sur l'abscisse des temps de la base de l'hydrogramme correspondant à l'écoulement de surface).

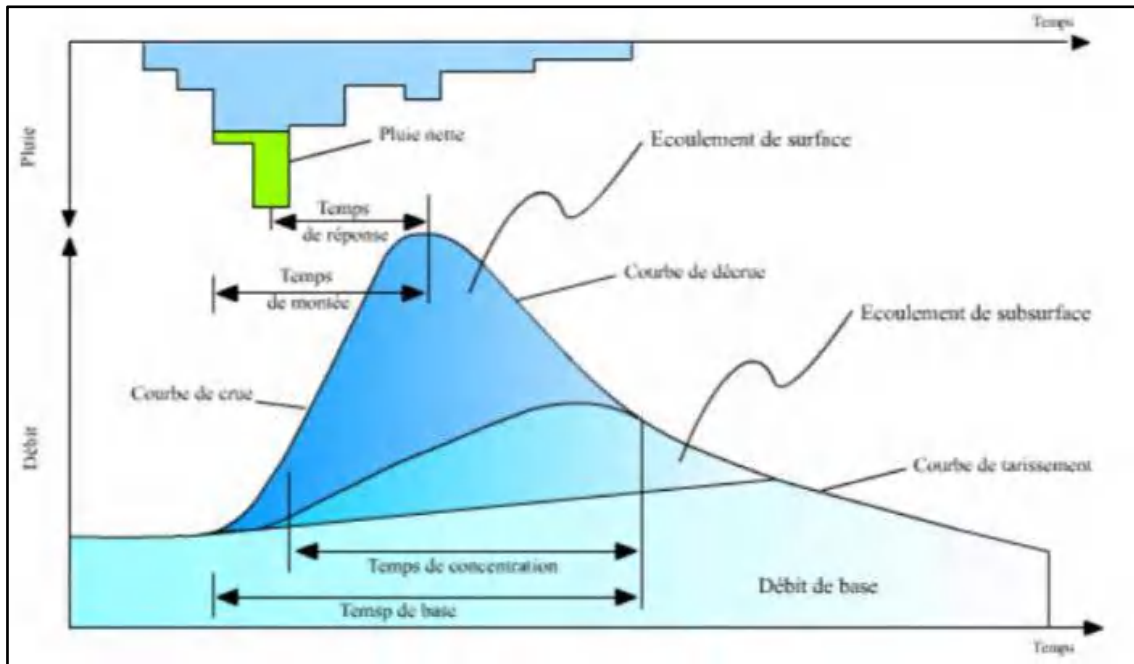


Figure 32. Hyétogramme et hydrogramme afférent à un événement Pluie-Débit (Cours d'hydrologie générale : Musy, 2005 in cours Beloulou 2015).

3.2 La crue de projet du barrage Cheffia

Selon les informations issues de la monographie du barrage Cheffia (MTPR, SEGGTH- SCET, 1964 ?), la crue de projet calculée pour une période de retour de 1000 ans est de 3000 m³/s dont 2000 m³/s évacués par l'évacuateur vanné et 1000 m³/s par l'évacuateur secondaire du Col El Karmet (avant l'agrandissement de celui-ci). La cote des Plus hautes Eaux (PHE) associée à la « crue de projet » est de 167 m.

L'hydrologie des crues de Cheffia a fait l'objet d'une étude de révision complète dans le cadre de l'Etude de confortement du barrage (ANBT, 2006). Les hydrogrammes des crues de fréquence rare sont représentés par la figure 33. En complément de la crue de projet d'une période de retour de 10000 ans, il a été calculé une crue de « sûreté », calculée à partir d'une pluie type selon le modèle pluie-débit PMP-PMF (Probable Maximum Precipitation - Probable Maximum Flood).

Les débits de pointe caractéristiques sont les suivantes :

- Période de retour 1000 ans : $Q_{\text{pointe}} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$ (au lieu de 3000 m³/s précédemment)
- Période de retour 10 000 ans : $Q_{\text{pointe}} = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Crue de sûreté : $Q_{\text{pointe}} = 7500 \text{ m}^3/\text{s}$.

En se référant à cette étude, la crue d'avril 2003 étudiée plus loin, avec un débit de 1300 m³/s, correspondrait à une période de retour de l'ordre de 100 ans. La crue de mars 1973 se rapprocherait de la fréquence millénaire (ouverture de l'évacuateur de crue principal et

secondaire) et la crue de février 2012 correspondrait à une crue d'une période de retour plus que centennale.

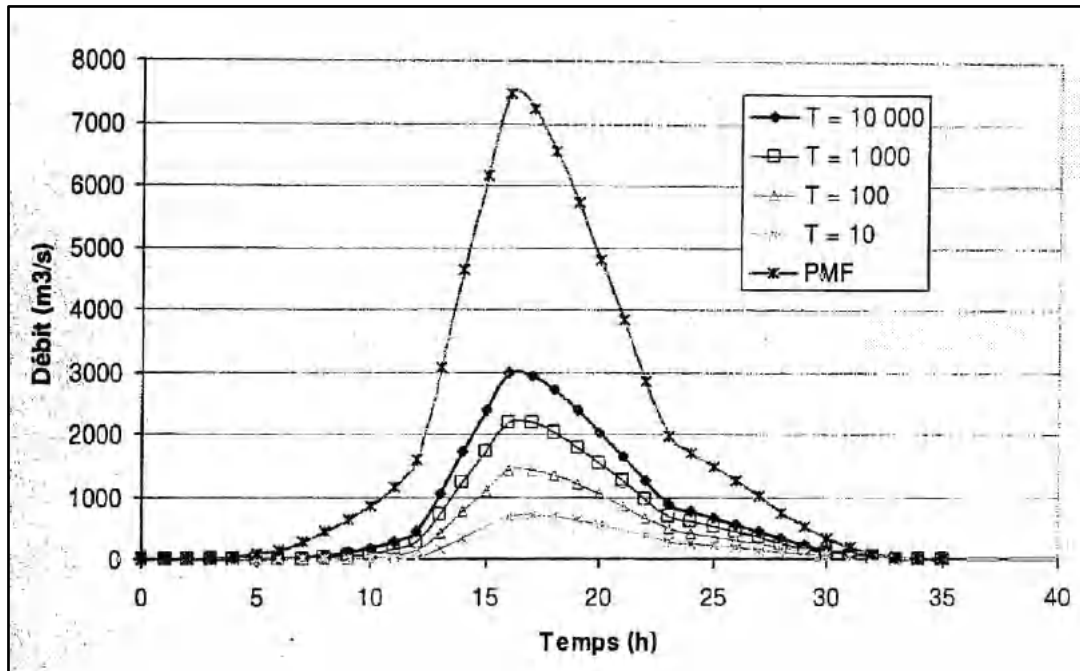


Figure 33: Les hydrogrammes des crues de fréquence rare du bassin versant du barrage Cheffia (étude de confortement, ANBT, 2006)

3.3 Caractéristiques des crues observées au barrage

Selon la monographie du barrage de Cheffia, la première crue importante d'un débit estimé à $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ a été observée le 29 avril 1963 pendant les travaux et a provoqué des incidents et des dégâts sur le chantier.

Depuis la mise en eau en 1965, 13 évènements de crue importants ont marqué la vie du barrage de Cheffia, selon le service d'exploitation (ANBT, 2015) (tableau 19). Ces crues ont provoqué des inondations sur l'ensemble des agglomérations de la plaine d'El Tarf.

Les valeurs des périodes de retour en années des crues (fréquence des crues) sont obtenues par une extrapolation semi-logarithmique entre les crues millénaire et décennaire. Les résultats sont portés dans le tableau 19.

Tableau 19. Historique et caractéristiques des crues du barrage de Cheffia (ANBT, 2017).

| Année hydrologique | Date de la Crue | Apport de crue (hm ³) | Volume évacué (hm ³) | Débit Max Moy journ. (m ³ /s) | Débit Max instantané (m ³ /s) | Cote réserve avant la crue (m) | Cote réserve après la crue (m) | Fréquence (an) (*) | Durée de mesure (heures) | Pluie du mois de la crue (mm) |
|--------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|--|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1972/73 | 27 et 28 Mars 1973 | 139.2 | 121.6 | <u>1047.8</u> | <u>2096**</u> | 151,96 | 163,114 | / | 48 | 283,7 |
| 1991/92 | 24, 25 et 26 Mai 1992 | 46.8 | 19,83 | <u>325.71</u> | <u>831,11</u> 25 Mai 7h 45 | 162,36 | 164,38 | 18 | 33h30' | 138,7 |
| 2002/03 | 1 février 2003 | 20 | 20.59 | <u>217</u> | <u>736.2</u> 1 février A 8h | 163.58 | 148.604 | 16 | 24 | 134 |
| 2002/03 | 4 et 5 Avril 2003 | 65,175 | 69,85 | <u>531.13</u> | <u>1280.2</u> 4 Avril à 16h | 164,13 | 163,64 | 70 | 46 | 123,9 |
| 2003/04 | 12, 13,14 et 15 Dec 2003 | 59.758 | 15.7 | <u>489.1</u> | <u>1159,6</u> 13 Déc à 1h | 157,88 | 163,00 | 45 | 72 | 127,9 |
| 2003/04 | 30,31 Dec 2003 et 01, 02, 03, 04,05 Janv 2004 | 96,298 | 105,5 | <u>342.5</u> | <u>900.2</u> 1 Janv à 15h | 162,86 | 161,82 | 25 | 145 | 139,6 |
| 2004/05 | 14,15 et 16 Nov 2004 | 36,47 | 17,40 | <u>316.66</u> | <u>1319.5</u> 14 Nov à 8h | 158,66 | 160,91 | 100 | 65 | 232.8 |
| 2004/05 | 29, 30,31 Dec 2004 et 01 Janv 2005 | 71,15 | 63,72 | <u>340.7</u> | <u>671,8</u> 30 Dec à 7h | 162,45 | 163,20 | 12 | 88 | 110,7 |
| 2004/05 | 9, 10, 11,12 et 13 Avril 2005 | 73,86 | 75,024 | <u>291.3</u> | <u>426,4</u> 10 Avril à 18h | 163,77 | 163,57 | 6 | 88 | 135,2 |
| 2008/09 | 15 et 16 Mai 2009 | 29.73 | 32.77 | <u>285</u> | <u>634,4</u> 16 Mai à 3h | 163,94 | 163,85 | 10 | 23 | 166,5 |
| 2011/12 | 22 et 23 Février 2012 | 83,247 | 91,769 | <u>843.05</u> | <u>1429,1</u> 22 Fevrier à 19h30 | 163,74 | 162,62 | 100 | 25 | 322.7 |
| 2011/12 | 10 et 11 Mars 2012 | 56,616 | 53,832 | <u>370,4</u> | <u>985,62</u> 09 Mars à 8h30 | 163,00 | 163,26 | 30 | 44 | 74 |
| 2014/15 | 26 Février 2015 | 28.76 | 29 | <u>347,34</u> | <u>561</u> 26 Février à 23h | / | / | 8 | 23 | 280 |

(*) Valeurs obtenues par extrapolation semi-logarithmique entre les crues millénaire et décennaire (Auteur, 2022).

(**) Débit maximum instantané calculé à partir du coefficient $K = (Q_p/Q_{jmax})$

Les crues de l'oued Bounamoussa sont d'origine pluviale. Elles résultent généralement de fortes averses localisées dans l'espace, facteur générateur des crues le plus important dans le bassin. Les conditions physiographiques du bassin agissent sur le temps de base et de montée des crues. Elles se caractérisent par la forme allongée du bassin versant, des pentes moyennes à faibles à l'aval, un couvert végétal important favorisant l'infiltration sur une lithologie plus perméable vers l'amont. En revanche, la lithologie est plutôt imperméable à l'aval (des sols argileux à texture fine et lourde) et les pentes assez fortes à l'amont. Le temps de concentration moyen est

L'analyse de la répartition temporelle des débits de crue de la Bounamoussa a permis de constater qu'ils sont concentrés sur la période pluvieuse et qu'ils surviennent entre les mois de décembre et le mois de mai. Le printemps se présente comme une saison de grand risque hydrologique, en raison de l'état de saturation des sols et le taux important de remplissage des barrages.

Les régions en altitude caractérisées par un relief accidenté vers l'extrême Sud du bassin versant (Djebel M'cid 1404 m) reçoivent des pluies fort abondantes. Néanmoins, l'efficacité de ces pluies comme facteur générateur de crue est liée à leur intensité. Durant la crue de mars 1973, la lame d'eau précipitée tombée en 24 h était de 173.6 mm, soit 44.2 % du total mensuel (392.7 mm) ; pour la crue du 22 février 2012, une lame de 128.4 mm a été enregistrée en 24 h, soit 39.8 % du total mensuel (322.7 mm).

Le caractère le plus marqué des crues de la Bounamoussa est leur rapidité. Plusieurs crues ont eu des temps de montée de 12 à 14 heures. Ces durées sont quelques fois allongées et constituent un grand risque pour les riverains en aval associés aux lâchers effectués pour la sécurité du barrage. En raison de la difficulté de déclencher une alerte en temps réel, le débordement des oueds fait que la population des agglomérations situées dans la plaine est souvent surprise par la montée rapide et soudaine du niveau de l'eau et par la vitesse d'écoulement.

Les crues du bassin de la Bounamoussa s'étalent sur des périodes pouvant s'allonger jusqu'à une semaine (145 heures, soit 6 jours, pour la crue du 30 décembre 2003 au 5 janvier 2004). Sur 11 événements de crues, les temps de base les plus fréquents sont de 24 à 72 heures. Les débits maximums sont assez variables d'une crue à une autre selon l'état du bassin versant avant et durant la crue. Il en résulte des hydrogrammes complexes et étalés dans le temps dont le laminage est assuré par le déversoir de crue du barrage Cheffia, comme le montrent les hydrogrammes reportés dans les Annexes 1 à 9.

3.4 Analyse des crues exceptionnelles

Les hydrogrammes de quatre crues exceptionnelles (crue du 27-28 mars 1973, crue des 3,4 et 5 avril 2003 et les crues des 22-23 février et 10-11 mars 2012) seront analysés dans le détail, en relation avec les pluies, les déversements de crue et les réserves en eau dans la retenue (figures 34, 35, 36, 37 et 38). Ces crues exceptionnelles ont marqué le fonctionnement du barrage Cheffia et occasionné des inondations à l'aval.

Durant la crue de mars 1973, la lame d'eau précipitée était de 173.6 mm en 24 heures, soit 44.2 % du total mensuel (392.7 mm). Pour la crue des 3-4 avril 2003, la lame d'eau précipité était de 58.8 mm en 24 h et de 100 mm en 48 h soit respectivement 37 et 62 % du total du mois correspondant. Concernant la crue du 22 février 2012, la lame d'eau précipitée était de 128.4 mm en 24 h soit 39.8 % du total mensuel (322.7 mm) enregistré. Enfin, la crue des 10 et 11 mars 2012, la lame d'eau précipité était de 28.4 mm en 24 h et de 49 mm en 48 h soit respectivement 38 et 66 % du total mensuel (74 mm) enregistré à Cheffia barrage.

3.4.1 Crue des 27 et 28 mars 1973

3.4.1.1 Variations journalières des apports et volumes évacués

En l'absence de mesures de jaugeage de la crue de mars 1973, nous avons utilisé les données journalières de l'épisode de crue enregistrées au barrage de Cheffia (figure 34).

Pour un apport maximal journalier de 90.543 hm³, le débit maximum journalier moyen est de l'ordre de 1047.9 m³/s (Affoun et al, 2019).

L'apport hydrologique a atteint 139.2 hm³ durant 48 heures, ce qui représente 73.9 % du total mensuel (188.3 hm³). Le volume total de vidange de fond effectué en deux jours était de 121.6 hm³ soit 75.20 % du total mensuel.

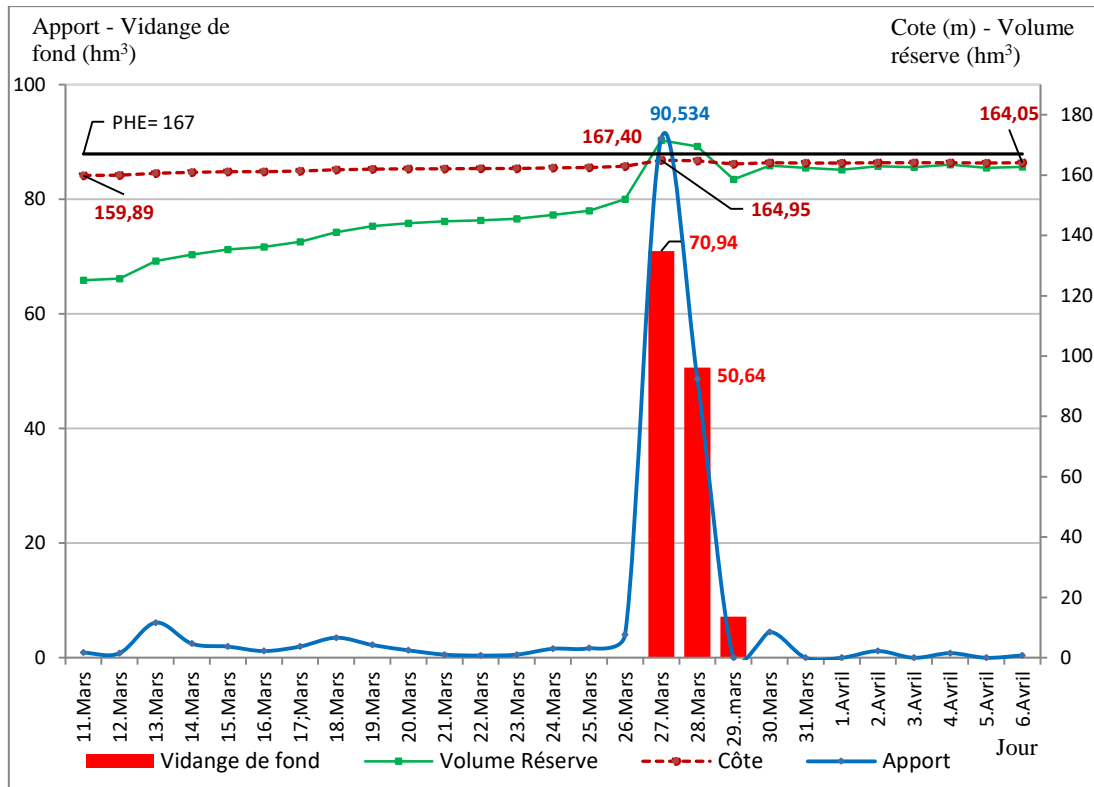


Figure 34. Crue de mars 1973 : variations journalières des apports, volumes évacués, réserves et hauteurs d'eau au barrage Cheffia

D'après deux rapports établis par la DPRH (1973a, 1973b), le déroulement de la crue de mars 1973 peut être résumé dans ce qui suit :

- Le mardi 27 mars à 8 :00, le niveau du lac du barrage était déjà à 164.95 m. A 11 :00 (3 heures après), le niveau du lac du barrage a atteint la cote PHE (167 m). A 18 :15, au plus fort de la crue (moment de pointe), le plan d'eau a dépassé la cote PHE pour atteindre 167.40 m environ et le débit évacué était de 1650 m³/s. Le niveau d'eau monte à l'aval d'environ 1 m au-dessus de la plate-forme provoquant la submersion du puit de pompage des eaux de fuites et l'inondation des galeries de contrôle et de drainage.

Le rapport d'expertise de l'étude de confortement des grands barrages en exploitation (ANBT, 2006), précise que : « Le problème de cette crue, est que le débit entrant est non connu et les documents d'archives disponibles au niveau de l'exploitation sont contradictoires et ne permettent pas sa reconstitution. La vanne cylindrique a été totalement ouverte à une cote supérieure ou égale à la cote de retenue normale. Le débit relâché à l'aval a donc atteint la valeur de la crue du projet soit 1800 m³/s. Le déversoir d'El Karmet (digue secondaire) a fonctionné sous une charge non connue et peut être avant l'ouverture de la vanne cylindrique. Cette dernière qui était commandée automatiquement par un flotteur, ne s'est pas ouverte à

temps et qu'un laps de temps s'est écoulé avant l'ouverture manuelle de cette vanne explique que le plan d'eau a dépassé la cote 165 m».

Nous donnons, à titre indicatif, les données de mesure de cette crue et de l'averse enregistrée du 24 au 28 mars 1973 au niveau de la station hydrométrique de Ain Assel, contôlant le bassin de l'oued Kébir-Est (tableau 20).

Tableau 20. Caractéristiques de la crue mesurée du 24 au 28 mars 1973 à la station de Ain Assel, oued Kébir-Est (ANRH, 2015)

| Paramètres | Valeurs |
|--|---------|
| Surface du bassin versant (km ²) | 681 |
| Pluie totale de l'averse (mm) | 282 |
| Temps de l'averse (minute) | 4868 |
| Débit Max instantané (m ³ /s) | 588 |

3.4.1.2 Dégâts de la crue des 27 et 28 mars 1973

Lors de la crue de mars 1973, les lâchers remarquables (121,6 hm³ en 48 heures dont 70 hm³ évacués le 27 mars, premier jour de la crue) ont causé de graves dégâts sur la plaine de Annaba-Tarf ; la hauteur d'eau a dépassé 1 m sur les zones à très faible pente de Ben M'hidi et Asfour (d'après notre enquête auprès des habitants de la région).

D'après un rapport du chef d'exploitation du barrage (ANB, 1985) :

- Lors de la crue de mars 1973 le barrage a été mis en danger, le bassin de dissipation a été endommagé, impliquant de sérieuses répercussions sur l'exploitation du barrage. Les conséquences de l'évacuation ont été catastrophiques pour le bassin de dissipation qui a été entièrement détruit (photo 4).
- En 1985 : « La non remise en état du bassin de dissipation de crues, et ce, depuis 1973, nous a obligé de déverser dans l'oued Bounamoussa, près de 50 Mm³ chaque année. Pendant 1983/1984 on a déversé près de 120 Mm³ et en 1984/1985 près de 110 Mm³ afin de maintenir le plan d'eau dans les normes, et permettre ainsi la stabilité de l'ouvrage. Cette contrainte demeure jusqu'à 1985 une perte sèche, ce qui n'est pas fait pour garantir au barrage la jouissance de son plein rendement ».
- L'ouvrage est resté exposé aux risques jusqu'à 1986 (année de mise en service du nouveau bassin de dissipation).

Il est signalé qu'en 1976 des travaux confortatifs de la digue du Col d'El Karmet ont été réalisés.



Photo a.



Photo b.



Photo c.

Photo 4 : Vue générale des dégâts sur le bassin de dissipation après la crue des 27 et 28 mars 1973(SEH, 1973). a. Vue à partir de la digue. b. Vue de la sortie du bassin de dissipation. c. Nettoyage des amas de béton après la crue.

3.4.2 Crue des 3, 4 et 5 Avril 2003

Cette crue est marquée par plusieurs pics (figure 35). Après un premier pic de $584.5 \text{ m}^3/\text{s}$, un cinquième pic représente l'onde de la crue d'un débit maximum instantané de $1280 \text{ m}^3/\text{s}$, ce dernier avoisine le débit de crue d'une période de retour $T=100$ ans ($1300 \text{ m}^3/\text{s}$), issu de l'hydrogramme des crues rares, révisé en 2006.

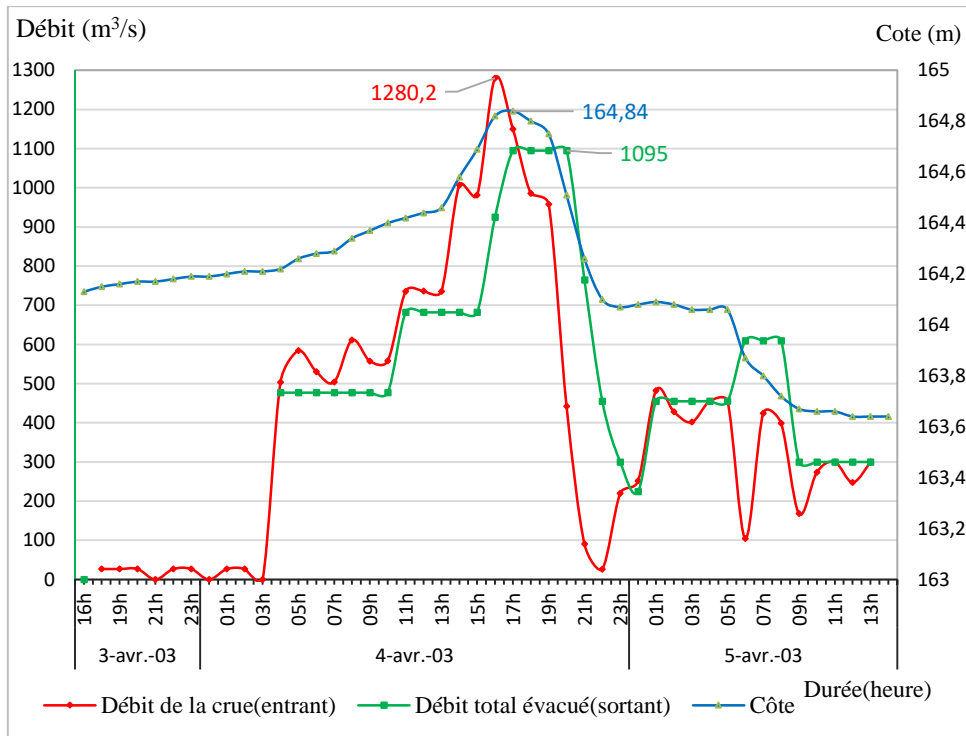


Figure 35. Hydrogramme horaire de la crue du 03-05 avril 2003 au barrage de Cheffia

L'évacuateur de crue a fonctionné après la montée de la crue : le débit sortant initial était de 477 m³/s ; une heure après l'onde de la crue maximale (1280 m³/s), le débit évacué a atteint 1095 m³/s pendant 4 heures successives soit un volume de 15.768 hm³. L'onde de la crue est survenue le 5 avril avec un apport journalier maximum de 50.046 hm³ et la vidange a concerné un volume journalier de 55.868 hm³ (tableau 21).

Durant cette crue, le volume maximal de la réserve d'eau du barrage a été atteint, soit 160.961 hm³ à une cote de 164.84 m, très proche de la cote CRN de 165 m.

Néanmoins, on constate que l'inondation survenue en aval était moins grave et n'a pas fait de dégâts énormes, comparativement à la crue de février 2012 qui sera étudiée plus loin.

3.4.3 Crues de février et mars 2012

3.4.3.1 Hydrogrammes journaliers

Dès le début du mois de février, les pluies extrêmes enregistrées durant l'épisode pluvieux ont généré des débits importants lors des crues des 22 et 23 février et des 9 et 10 mars 2012 au niveau du sous bassin contrôlé par le barrage de Cheffia. Pour analyser ces deux crues, nous avons mis à profit les mesures effectuées par la direction d'exploitation du barrage de Cheffia (figure 36). Les hydrogrammes journaliers illustrent les deux crues survenues consécutivement durant et après le mois le plus pluvieux de l'année hydrologique 2011/2012 (le mois de février

avec 322.7 mm soit 37 %, des précipitations annuelles). Lors de la crue du 22 février, le débit maximum instantané enregistré était de 1429.1 m³/s. L'apport maximum journalier était de 73.2 hm³ (51.72 % du total mensuel estimé à 141.5 hm³) et la vidange de fond effectuée en 24 heures était de 83.8 hm³.

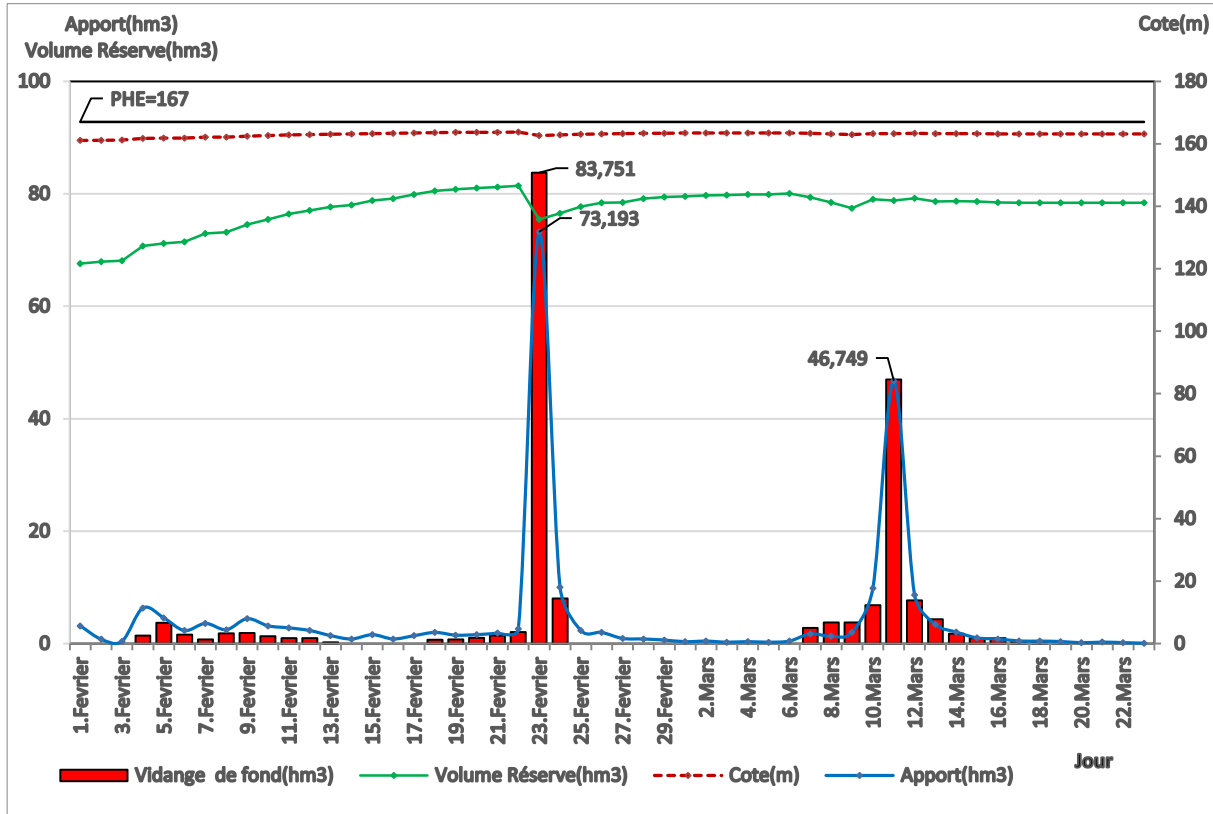


Figure 36. Variations journalières des apports, volumes évacués, réserves et hauteurs d'eau au barrage Cheffia : Crues de février et mars 2012

3.4.3.2 Hydrogramme horaire et dégâts de la crue de février 2012

L'hydrogramme horaire de la crue des 22-23 février 2012 reproduit les enregistrements disponibles au barrage sur une durée de 25 heures (figure 36). Cette crue complexe montre plusieurs pics avec des débits de 364.7 m³/s, 688 m³/s, 1114.6 m³/s, et 1261.1 m³/s. Le débit de pointe de 1429.1 m³/s a été enregistré après 12 h30 (temps de montée de la crue). Ce débit représente 1,6 fois le débit moyen maximum journalier qui est de 847.2 m³/s. Le débit maximum évacué (1537.3 m³/s) a dépassé le débit maximum entrant.

L'onde de la crue est survenue le 23 février avec un maximum d'apport journalier de 73.19 hm³ et un déversement journalier de 83.75 hm³. Dès le premier jour de la crue, le laminage est opéré dans le but d'atténuer l'onde de la crue (figure 37).

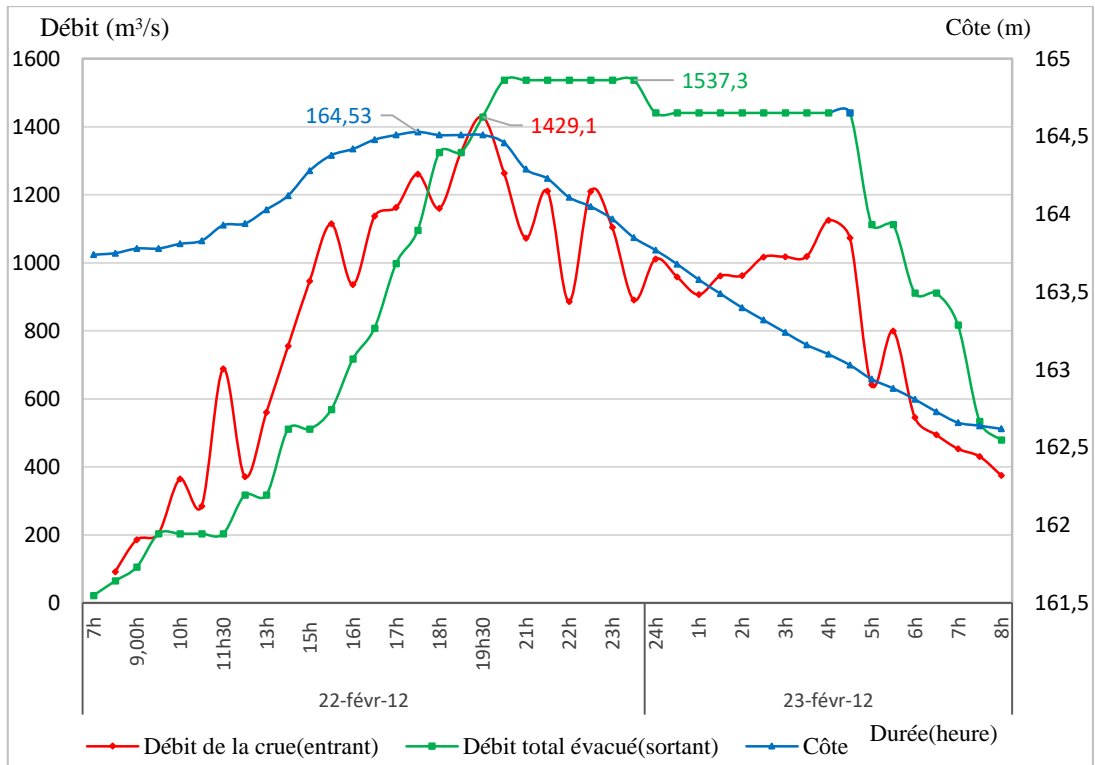


Figure 37. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia : Crue des 22-23 février 2012

Cette courbe reproduit un débit sortant supérieur à un débit entrant (amorce de la décrue) pendant une durée de 14 heures.

Le volume de la réserve du barrage durant cette crue est passé de la cote 164,53 m au moment de l'onde de la crue (154.247 hm^3) pour chuter à la cote 162,62 m (135.802 hm^3) lors de la décrue.

Les conséquences de cette crue se traduisent par des dégâts importants, en particulier ceux liés aux graves inondations touchant les agglomérations et les terres agricoles, en aval.

✓ Au niveau du barrage de Cheffia :

- Dégradation du talus à l'exutoire du bassin de dissipation sur la rive gauche (photos 5 et 6).
- Détérioration d'un tronçon de la conduite d'irrigation .



Photo 5. Destruction d'un tronçon de la conduite d'irrigation (Affoun, 20 novembre 2018).



Photo 6 : Dégradation du talus à l'exutoire du bassin de dissipation sur la rive gauche (Affoun, 20 novembre 2018)

✓ *A l'aval du bassin versant.*

Plus à l'aval, sur la plaine de Annaba-El Tarf, le secteur hydro-agricole a été extrêmement touché, la surface totale exposée aux inondations a été estimée à 9300 ha (DRE El Tarf, 2012). Les photos montrent les dégâts causés par la crue du 22 février 2012 : terres agricoles submergées, débordement sur les rives de l'oued Kebir-Est où la hauteur d'eau a dépassé la hauteur des digues de protection des terres agricoles réalisées dans le cadre du projet d'aménagement hydro-agricole de la plaine El Tarf –Bouteldja. Suite à l'inondation de la route nationale 44 reliant l'agglomération de Bouhallala (Daira de Ben M'hidi) et Annaba, la hauteur d'eau a dépassé les 80 cm (photos 7, 8, 9 et 10).



Photo 7. Inondation de l'agglomération de Bouhllala (Daira de Ben M'hidi) RN 44 vers Annaba (Wilaya d'El Tarf, 2012)



Photo 8: Inondation du nouvel aéroport d'Annaba vers la commune d'Echatt (RN84A) (Wilaya d'El Tarf, 2012)

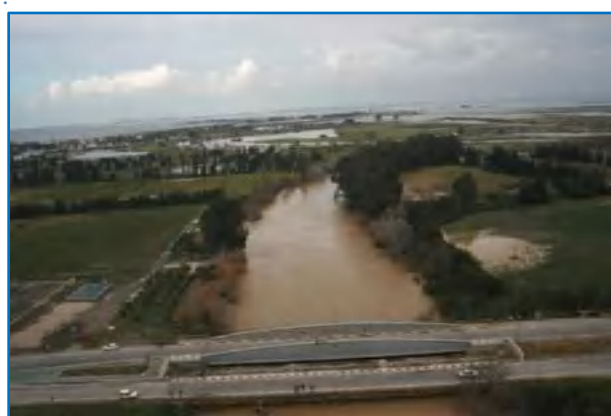


Photo 9: Inondation sur les rives de la Bounamoussa, pont à l'entrée de Ben M'hidi sur la RN44. Crue des 22-23 février 2012. (Wilaya d'El Tarf, 2012).



Photo 10 : Inondation à l'aval de l'oued Bounamoussa. Crue du 22-23 février 2012 (Wilaya d'El Tarf, 2012).

Sur les 24 communes de la région, 15 ont été touchées par les inondations dont 9 communes ont encouru un risque élevé sur une surface de 40 km² (DRE d' El Tarf, 2012). Le bilan des services de la protection civile de la wilaya d'El Tarf fait part du décès de 3 personnes, le sauvetage de 142 personnes et de 17 familles (DPC d'El Tarf, 2012). D'autres sources signalent un total de 700 familles sinistrées à l'échelle de la wilaya. Le coût économique a été estimé à environ 1 milliard de dinars concernant aussi bien les opérations de réaménagement au niveau de plusieurs secteurs, que l'indemnisation des agriculteurs (DRE El Tarf, 2012 ; DSA El Tarf, 2012).

3.4.3.3 Hydrogramme horaire et laminage de la crue de mars 2012

La crue des 9-10 mars 2012 s'est déroulée quinze jours après la crue précédente. L'hydrogramme horaire montre une crue complexe avec deux pics, respectivement 305,4 et 985,6 m³/s (figure 38). L'apport total est évalué à 50 hm³ et le volume total évacué équivaut à 48.6 hm³, impactant les zones inondables à l'aval. Pour sécuriser l'ouvrage, le passage de l'onde de crue exige d'effectuer le déversement dans l'urgence d'un maximum d'apport, tout en préservant un niveau maximum d'eau dans la retenue par rapport à la Cote Normale de Retenue (CRN).

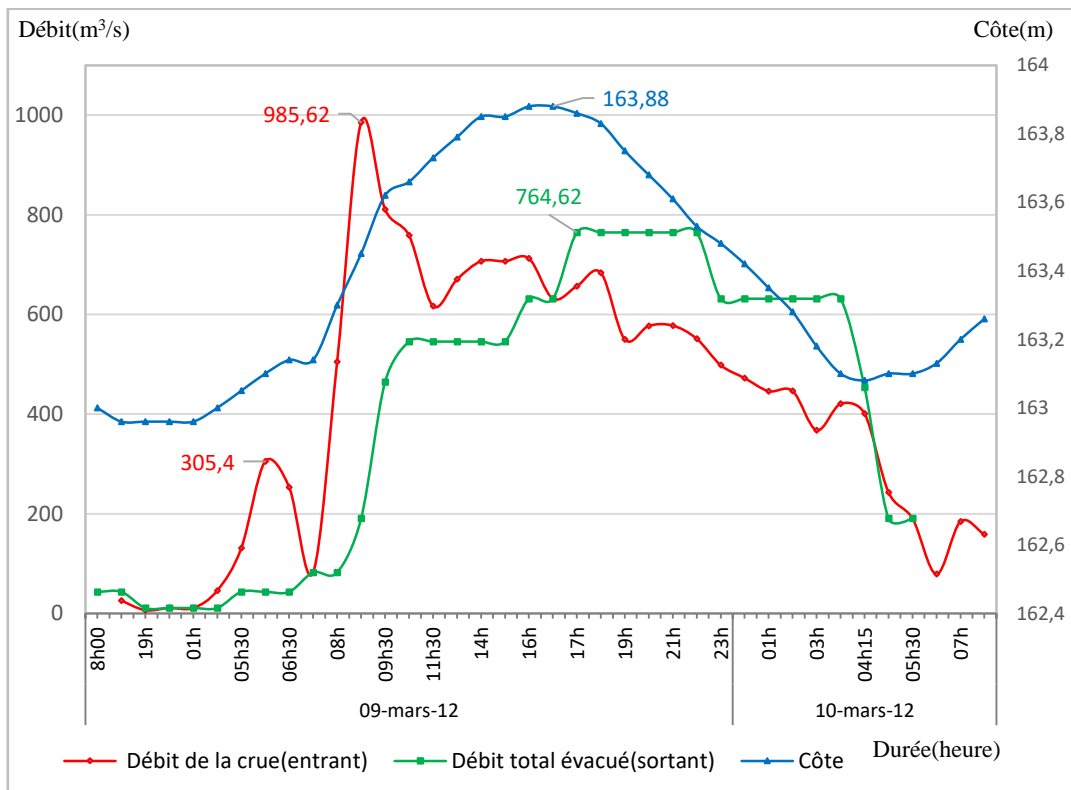


Figure 38. Crue des 9-10 mars 2012 : hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia

3.4.4 Gravité et gestion des évènements de crue

Les tableaux 21 et 22 résument les données caractéristiques des crues exceptionnelles de 2003 et de 2012 ayant transité par le barrage de Cheffia.

Tableau 21. Caractéristiques des crues exceptionnelles de 2003 et de 2012 au barrage de Cheffia

| Barrage Cheffia | | | | |
|---|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| Paramètres | | Crue 22 et 23 février 2012 | Crue 10 et 11 mars 2012 | Crue 3 et 5 avril 2003 |
| Avant la crue | Cote (m) | 163,71 | 163.00 | 164.15 |
| | Capacité (hm ³) | 146,143 | 139.369 | 154.234 |
| | Apport (hm ³) | 1,884 | 2.015 | 0.420 |
| | Lâchers (hm ³) | / | 3.750 | / |
| Premier jour de la crue (Onde de la crue) | Cote (m) | 163,75 | 163.30 | 164.84 |
| | Capacité (hm ³) | 146,529 | 142.214 | 160.961 |
| | Apport (hm ³) | 2,621 | 9.867 | 50.046 |
| | Lâchers (hm ³) | 2.072 | 6.861 | 55.868 |
| Deuxième jour de la crue | Cote (m) | 162,62 | 163.26 | 163.72 |
| | Capacité (hm ³) | 135,802 | 141.833 | 150.120 |
| | Apport (hm ³) | 73,193 | 46.749 | 11.528 |
| | Lâchers (hm ³) | 83.751 | 46.971 | 5.400 |
| Fin de la crue | Cote (m) | 162,82 | 163.34 | 163.64 |
| | Capacité (hm ³) | 137,694 | 142.595 | 149.361 |
| | Apport (hm ³) | 10,054 | 8.645 | 5.051 |
| | Lâchers (hm ³) | 8.018 | 7.718 | 4.680 |
| Cote Maximale de la crue | | 164.53 | 163.88 | 164.84 |
| Capacité maximale correspondante (hm ³) | | 154.247 | 147.786 | 160.961 |
| Débit max évacué (m ³ /s) | | 1537.3 | 764.62 | 1095 |
| Débit max instantané de la crue (m ³ /s) | | 1429.1 | 985.62 | 1280.2 |

Tableau 22. Gestion durant les 3 premiers jours des crues exceptionnelles de 2003 et de 2012.

| Crue | Date | Apport (hm ³) | Lâchers (hm ³) | % Lâchers /Apport |
|--------------------------------|------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| Crue des 22 et 23 février 2012 | 22 | 2.621 | 2.072 | 79 |
| | 23 | 73.193 | 83.751 | 114 |
| | 24 | 10.054 | 8.018 | 79 |
| Crue des 10 et 11 Mars 2012 | 10 | 9.867 | 6.861 | 69 |
| | 11 | 46.749 | 46.971 | 100 |
| | 12 | 8.645 | 7.718 | 89 |
| Crue des 03-05 avril 2003 | 03 | 0.420 | / | |
| | 04 | 11.224 | 8.586 | 76 |
| | 05 | 50.046 | 55.868 | 111 |
| | 06 | 11.528 | 5.400 | 47 |

Le niveau d'aléa lié à la crue est principalement lié à sa fréquence (période de retour), sa durée (temps de montée des eaux), sa vitesse d'augmentation, sa soudaineté de réalisation en un lieu donné, son ampleur, son extension spatiale et sa vitesse de propagation le long du cours d'eau.

La gestion d'un barrage est un enjeu important ; des manœuvres régulières s'effectuent pour sécuriser un barrage et protéger la population riveraine à l'aval.

Selon le directeur de l'exploitation, la gestion du barrage de Cheffia se fait malgré les contraintes existantes (fuite des portes blindées, ascenseur en panne). La gestion de crue diffère d'une saison à une autre. Il est impératif de respecter le planning des tâches de l'année hydrologique afin de prévenir et gérer des éventuelles crues.

La gestion au moment de la crue débute suite à un bulletin météorologique spécial d'intempérie (BMS), sachant que le temps de concentration du bassin versant du barrage de Cheffia est de 6 h, par conséquent la première lecture du niveau de la cote de la réserve d'eau sur l'échelle millimétrique se fait obligatoirement après 5h (le temps d'arrivée de l'eau du point le plus éloigné du bassin versant à l'exutoire représenté par la digue du barrage). Dans le cas des précipitations locales, la lecture se fait toutes les heures en mesurant les apports entrants. A l'amont du barrage, une sortie sur terrain s'impose au niveau de l'oued Bounamoussa, pour une inspection réelle du niveau d'eau à l'aide des repères naturels (roche, arbre).

Quand le niveau de la réserve atteint la cote de 163 m (cote maximale de sécurité par rapport à la Cote de Retenue Normale 165 m = Niveau de déclenchement d'alerte en aval), la lecture se fait chaque heure voire moins d'une heure en fonction des débits entrants. Les lâchers commencent par l'ouverture des vannes de vidange comme mesure d'entretien et de dévasement et afin d'amortir l'énergie de la chute d'eau du déversoir principal après l'ouverture de la vanne cylindrique.

La gestion des crues au niveau des barrages du bassin de la Mafragh devrait prendre en compte l'ordre de priorité suivant :

- 1- Préserver la sécurité des ouvrages
- 2- Stocker un maximum de volume tout en écrêtant les crues
- 3- Protéger les habitations à l'aval
- 4- Un modèle de gestion en temps réel des phénomènes extrêmes

La protection des habitations de l'aval nécessite une démarche de prévention basée sur la réduction de la vulnérabilité des populations à l'aval des ouvrages.

L'impact de la gestion du barrage de Cheffia dépend donc de la nature de la crue et de l'importance de l'apport à l'échelle du bassin versant de la Bounamoussa notamment l'importance des apports des sous-bassins intermédiaires, non contrôlés. Le débit évacué au

moment des crues est majoré par un débit venant des bassins versants des oueds à l'aval de la digue du barrage, oued El Guerria, oued Soudane et Chaabet Ain El Arg qui drainent une superficie totale de 255 km². Si le débit évacué du barrage de Cheffia est de 200 m³/s, le débit atteignant Asfour serait de l'ordre de 400 m³/s, ajouté à l'état de saturation des sols et les quantités des précipitations tombant directement à l'aval.

Le fonctionnement de ce système hydrologique s'avère complexe et nécessite obligatoirement une gestion intégrée du bassin versant de la Bounamoussa afin de maîtriser les inondations au moment opportun.

Le tableau 23 récapitule les dégâts enregistrés au moment des inondations, selon un rapport sur les données historiques concernant les crues de 1973, de 2003 et 2004, de 2009, de 2012 et de 2015 qui ont eu lieu dans la wilaya d'El Tarf (DPC, 2017).

Tableau 23. Dégâts des inondations causés par les crues (Rapport de la Direction de la Protection Civile de la wilaya d'El Tarf, 2017 ; SEH, 1973 et enquête sur terrain).

| Date de la crue | Inondations et dégâts |
|--|--|
| Crue du 27 et 28 mars 1973. | Hauteur supérieure à 1m sur l'ensemble de la plaine de Annaba El Tarf pendant 17 jours, débordement de l'évacuateur de crue secondaire d'El Karmet sur la commune de Cheffia |
| Crue du 04, 05 et 06 avril 2003 | 1 mort, sauvetage de 10 familles relogées temporairement dans les écoles à Ben M'hidi (Sidi Kaci) et 11 familles à Dréan. 350 familles sinistrées à Ben Amar et 100 familles à Bouhllala |
| Crue du 12, 13, 14 et 15 décembre 2003 | Inondation de la plaine pendant plusieurs jours |
| Crue du 30,31 décembre 2003 et 01, 02, 03, 04 et 05 janvier 2004 | Inondation à Dréan, 1 mort emporté par les eaux d'oued Seybouse, débordement de l'oued Seybouse, sauvetage de 40 familles |
| Crue 15 et 16 mai 2009 | A Ben M'hidi : 36 familles sinistrées (cité Daïra Moustpha, sauvetage de 6 familles (21 personnes). Sauvetage des ouvriers de la société COJAAL Coupure des routes : CW105 entre Ben M' hidi et Asfour, CW118, entre Berrihane et Boutheldja et la RN44 à Ben M'hidi |
| Crue 22 et 23 février 2012 | 18 communes touchées : 03 décès, sauvetage de 144 personnes et 17 familles et coupure de plusieurs routes |
| Crue 9 et 10 mars 2012 | 03 décès, submersion de la plaine pendant 10 jours, et coupure de plusieurs routes. |
| Crue du 26 février 2015 | Inondation de la plaine pendant 7 jours et coupures de quelques routes. |

Conclusion

Le barrage de Cheffia est caractérisé par des apports hydrologiques très irréguliers dont dépendent les trois secteurs utilisateurs de l'eau (la ville d'Annaba, l'industrie et l'agriculture irriguée).

Le remplissage irrégulier de la retenue durant 47 ans est directement lié aux apports annuels eux-mêmes fonction des précipitations. Le volume de remplissage a atteint un taux maximum de 97,78 % avec un volume de 164,656 hm³ durant le mois d'avril 1991. Durant l'épisode de sécheresse, une diminution critique de la capacité a été constatée en 1988/1989 avec un volume de 9.082hm³ en fin d'année (mois d'août), soit un taux de remplissage de 5.40 %.

Les trois campagnes bathymétriques réalisées sur la retenue (courbes hauteur-capacité-surface) ont mis en évidence l'évolution de la tranche morte due à l'envasement. L'altitude minimale est passée de 125 m (1965) à 131.38 m (2004), soit une sédimentation sur une tranche de 6.38 m depuis la mise en exploitation du barrage, entraînant une diminution de 13.165 hm³ du volume de la retenue normale.

Cet ouvrage est destiné à satisfaire des objectifs multiples, de la satisfaction des besoins en eau à la protection d'une plaine fortement urbanisée.

Les crues de l'oued Bounamoussa résultent généralement de fortes averses ; le cumul des précipitations joue un rôle décisif dans la genèse et la propagation rapide des crues jusqu'au lac du barrage. Les exemples des trois crues de mars 1973, avril 2003 et de février-mars 2012 ont montré le risque encouru par les zones aval du barrage (plaine d'Annaba-El Tarf) où les inondations se produisent sur des sols saturés et une topographie plane et mal drainée, d'où la faible capacité d'évacuation de l'oued Mafragh.

Ces crues exceptionnelles ont conduit à s'interroger sur les possibilités d'adaptation des consignes de gestion pour réduire les dommages sur l'aval. Le caractère antagoniste entre évacuation des crues et remplissage maximum du réservoir exige une gestion optimale de la ressource en eau du barrage.

DEUXIEME PARTIE : Le bassin de l'oued Kebir-Est et le fonctionnement hydrologique du systeme de mexa

DEUXIEME PARTIE : LE BASSIN DE L'OUED KEBIR-EST ET LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SYSTEME DE MEXA

Introduction de la Deuxième Partie

Le bassin du Kébir-Est s'étend sur une surface de 1605 km² (dont 328.5 km² située en territoire tunisien soit 20.46 %) et forme la partie orientale du bassin versant de la Mafragh. Il coule du Sud vers le Nord sur une distance d'environ 120 km (Affoun, 2006).

Son cours supérieur est formé par la réunion de trois oueds qui a lieu dans la petite plaine précôtère du Mexenna, juste avant les gorges, courtes et encaissées, par lesquelles le Kébir-Est franchit le dernier chaînon de la chaîne numidienne (Samié, 1956). L'oued Kébir proprement dit prend sa source à Aïn Draham (759 m) et draine un bassin de 150 km². L'oued Ballouta, issu du Djebel Sra (942 m), draine un bassin versant de 240 km². Enfin, l'oued Bougous prend sa source en territoire tunisien à Statir (1150 m), avec un bassin versant de 250 km² ; il est l'artère maîtresse du bassin versant du haut Kébir-Est (Samié, 1956).

Le Kébir-Est coule alors de l'Est (Ain Assel) vers l'Ouest (en longeant le cordon dunaire sur environ 73 km), conflue avec la Bounamoussa et rejoint la Méditerranée par l'exutoire unique la Mafragh (MRE, 2003) et (Samié, 1956).

Dans le chapitre 3, on va présenter les caractéristiques physiographiques (relief, paramètres morphométriques, géologie) et hydroclimatiques des bassins aux barrages du haut Kébir-Est.

Le chapitre 4 sera consacré au fonctionnement hydrologique et au bilan d'eau des trois barrages en cascade dont un barrage (Barbara) se situe en territoire tunisien.

L'objectif visé par les deux barrages algériens en exploitation (Mexa et Bougous) est la satisfaction des besoins en eau potable des deux wilayates de Annaba et El Tarf ainsi que la protection de la plaine d'El Tarf-Bouteldja contre les inondations récurrentes.

Les crues exceptionnelles de février et mars 2012 qui ont marqué le fonctionnement du barrage de Cheffia dans le bassin de l'oued Bounamoussa (chapitre 2), constituent également des crues de référence à l'échelle de l'hydrosystème du Kébir-Est.

Malgré le rôle de laminage exercé par les barrages, les effets des inondations à l'aval sont parfois catastrophiques.

CHAPITRE 3 : LE BASSIN VERSANT DU KEBIR-EST

Introduction

L'oued Kébir-Est est le deuxième principal affluent du bassin de la Mafragh. La superficie drainée par l'oued Kébir-Est (1605 km²) représente 58 % de la superficie totale du bassin versant de l'oued Mafragh. A la limite de la digue du barrage de Mexa, le haut Kébir-Est (651 km²) est un système équipé par trois barrages en cascade. Il s'agit des barrages de Mexa et Bougous en Algérie et le barrage de Barbara en Tunisie.

Vers le Sud, l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceinturent complètement. Des vallées étroites drainent ce bassin avant de rejoindre l'oued Kebir-Est qui met en communication le bassin d'El Tarf avec la plaine de Bouteldja vers l'Ouest par un couloir étroit, les gorges du Kébir-Est entre Djebel Hdjar Siah sur sa rive Est et Kef Makouz sur sa rive Ouest (Marre, 1987). Vers le Nord, le massif dunaire est un obstacle naturel imposant à son parcours.

Il traverse les plaines littorales du bassin d'El Tarf -Ain Assel et le Lac Oubëira qui est une véritable plaine interne. Ce lac fait la limite Nord-Est entre le bassin versant du Kébir-Est et le bassin des côtiers de la Calle (El Kala) ; il joue un rôle important dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Kébir-Est.

La plaine de Bouteldja-El Tarf, basse vallée du Kébir-Est, est occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, des Nechaas et des Khelidjs). Le Kébir-Est rejoint l'oued Bounamoussa avant de se jeter dans la Méditerranée via la Mafragh.

L'oued Kébir-Est longe plusieurs agglomérations d'ordre différent : El Tarf (chef-lieu de wilaya), Ain Assel, Bouteldja, et un peu plus loin vers le Nord, Berrihane et Lac des Oiseaux. Son débordement engendre un danger permanent pour les agglomérations limitrophes.

1 CONTEXTE ORO-HYDROGRAPHIQUE

1.1 Cadre général du bassin versant du Kébir-Est

1.1.1 Oro-hydrographie du Kebir -Est

L'altitude du bassin versant du Kébir-Est varie de -1 m au niveau de Garâat El M'khada au Nord à 1202 m à Djbel El Ghorra au Sud (figure 39). La tranche d'altitude inférieure à 100 m couvre une surface de 601 km² soit 37 % de la superficie totale du bassin versant. Une surface de 771 km² a une altitude qui varie entre 100 et 500 m soit 48 %. Le relief accidenté des massifs montagneux où les altitudes sont supérieures à 600 m, localisé au sud du bassin versant, ne représente que 15 % (233 km²) de la superficie totale.

Le cordon dunaire fait la limite Nord du bassin versant ; les altitudes sont faibles : 329 m à Djebel El Kourssi et 164 m à Djebel Bou Merchen au Nord du lac Oubéira. A l'Est, Kef El Aouir (330 m) borde le bassin versant en Algérie. En Tunisie, l'altitude s'élève pour atteindre les 812 m à Kef Ed Debba et 889 m à Djebel Oum Adissa. Vers le Sud, l'altitude est de 942 m à Djbel Es Sra. A la limite de la frontière algéro-tunisienne, l'altitude culmine à 1202 m à Djbel El Ghorra et 1150 m à Djebel Statir. Le Sud-Ouest du bassin versant est limité par Djebel Souani (808 m) et enfin, le versant Nord de Kef Bouabed (739 m) surplombe Garâat El M'khada.

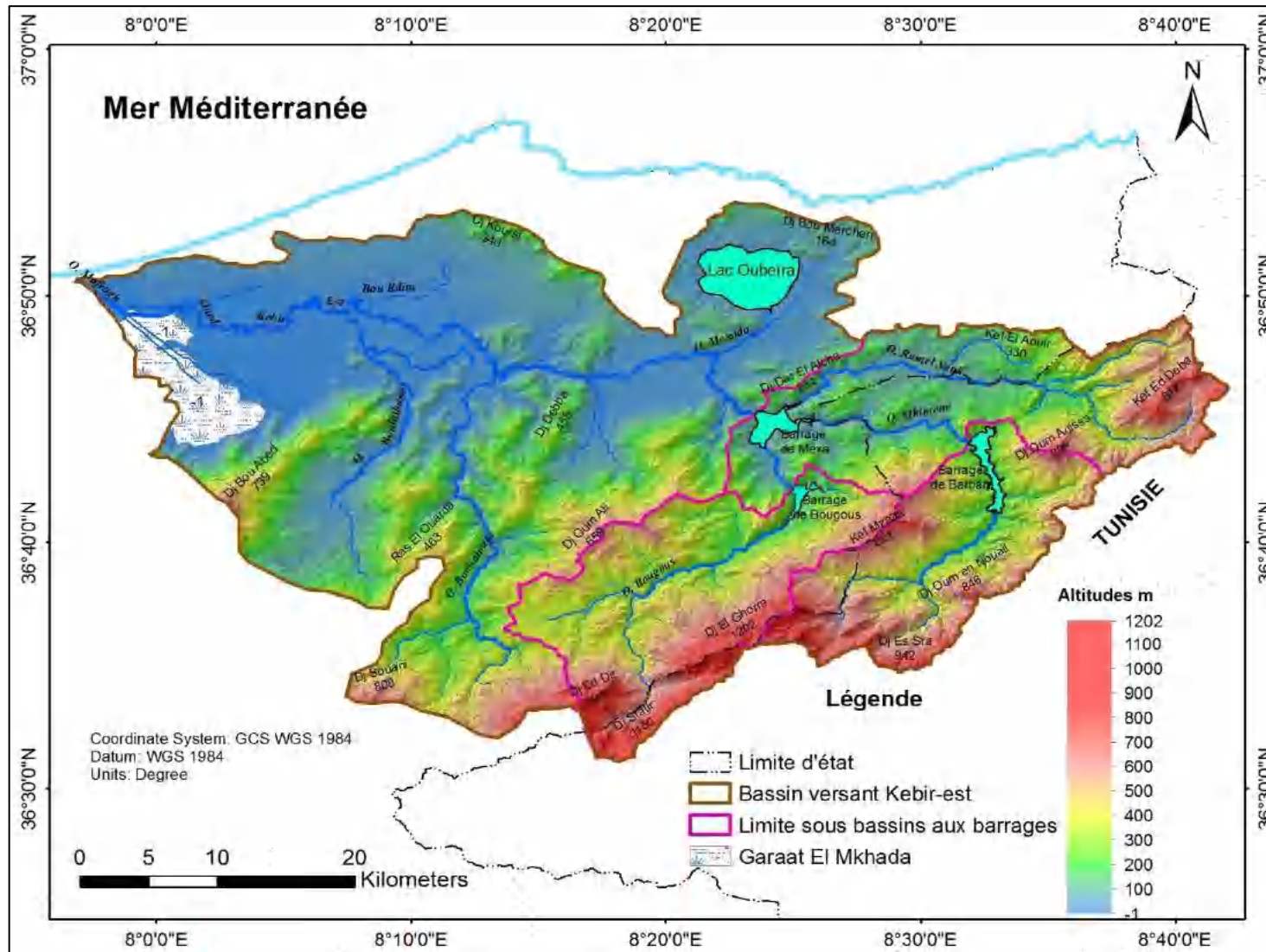


Figure 39. Hydro-oro-graphie du bassin versant du Kébir-Est

Après avoir traversé les gorges de Mexa, le Kébir-Est coule du Nord-Est vers le Nord-Ouest parallèlement à la côte méditerranéenne à travers la plaine d'El-Tarf. Il est le cours d'eau principal de la plaine d'El Tarf-Bouteldja avec ses affluents : El Guergour, Bouhalloufa et Boulathane (figure 39).

Sur sa rive droite, l'oued Kébir-Est reçoit les eaux de l'oued Missida, cours d'eau drainant Lac Obéira avec oued Kébir-Est. Plus loin vers le Nord, il collecte les excédents (les exutoires) du massif dunaire de Bouteldja (Oued Bouredim et Oued Bhaim). La basse vallée du Kébir-Est est constituée essentiellement par le marais d'El M'Khada.

1.1.2 *Les unités de paysage du Kebir -Est*

1.1.2.1 *Les plaines littorales*

- *La Plaine de Bouteldja (basse vallée du Kébir-Est)*

Tout à fait à l'Est, la plaine de Bouteldja correspond à la basse vallée de l'oued Kebir-Est. Occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, Région de Righia), elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'oued.

- *Les Bordures de la Plaine de Annaba (Basse vallée de la Mafragh)*

La partie Est de la grande plaine de Annaba correspond au bassin du secteur aval de la Mafragh ; cette partie est couverte de garâats, au milieu des quelles serpentent des «Khelidjs» (Khelidj Eesseba, Khelidj en Nakhla, Khelidj Eddib). Ces «Khelidjs» sont des faux bras de rivières où l'eau ne coule parfois que par intermittence et dont le réseau est largement anastomosé (Joleaud, 1936). Notons l'absence de toutes les lignes directrices dans l'hydrographie locale hors oued Chourka et Chaabet Rebeib : des côtes de -1 m sont relevées entre oued Chourka et oued Bounamoussa à l'Ouest et oued Kébir-Est à l'Est (d'après le Modèle Numérique de Terrain). Des côtes de -1 m représentent les points les plus bas de la plaine d'Annaba (figure 40).

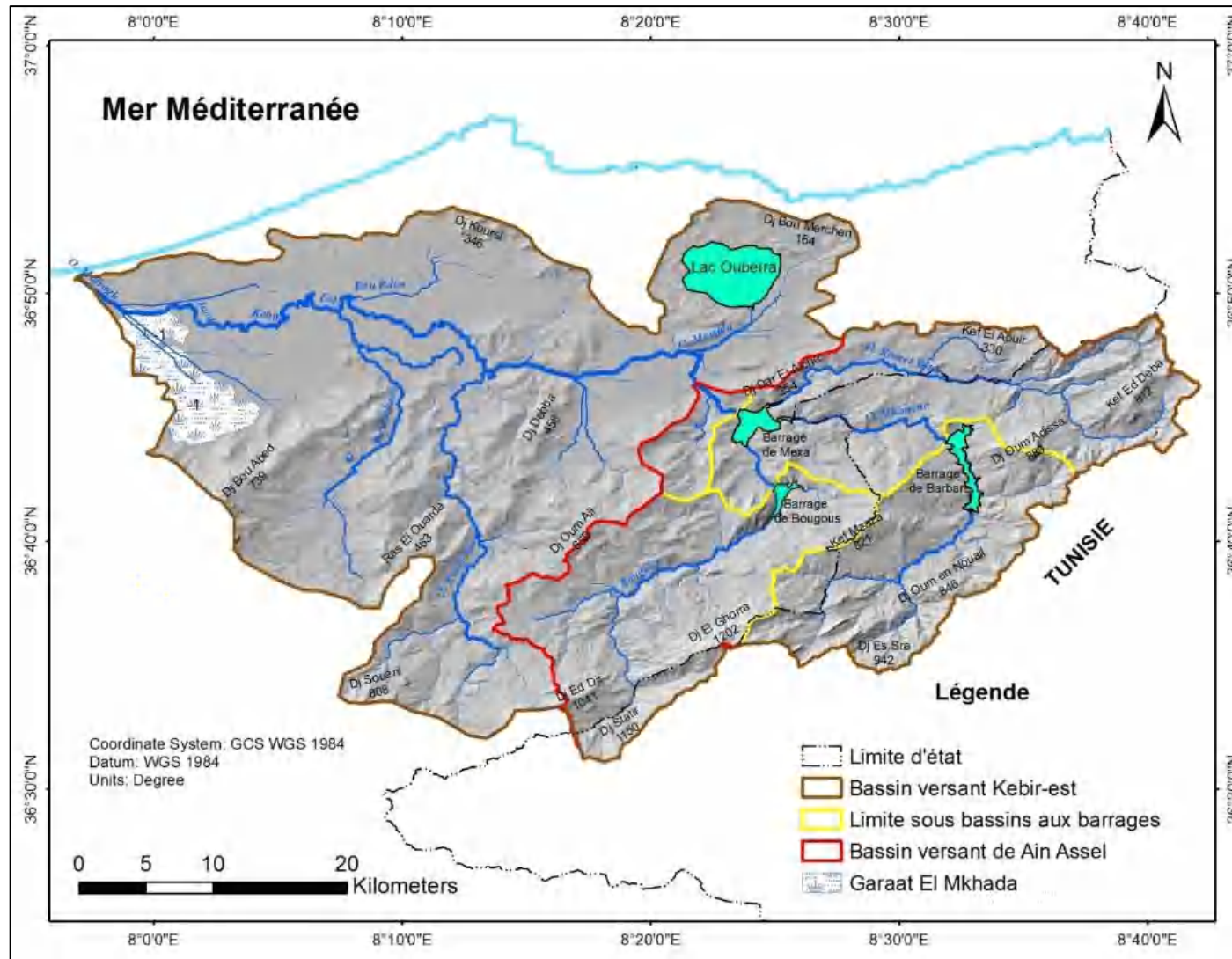


Figure 40. Réseau hydrographique du bassin versant du Kébir-Est

1.1.2.2 Garâat (Marais) El M'Khada

La plaine de Annaba s'étend sur des altitudes très basses (-1 m) par rapport au niveau de la mer. La toponymie de Garâat El M'khada vient du mot arabe « المخذة » qui veut dire l'oreiller ». Elle exprime un écoulement calme avec une vitesse très faible sur des pentes quasi nulles (1.3 %) (Affoun, 2006).

C'est une zone humide palustre d'une surface de 8900 ha, classée site Ramsar en 2003, située sur une plaine argileuse et inondable de la basse vallée de la Mafragh, séparée de la Méditerranée par le cordon dunaire. Le marais est alimenté par trois oueds : oued Bounamoussa, oued Chourka et oued Kebir-Est. El M'Khada est un marais temporaire profond de 0.4 à 1 m durant la période des hautes eaux. Lors de son assèchement, et même quand la nappe d'eau émerge, il est utilisé comme terre de pacage par les riverains (photo 11). Du fait de l'influence directe de la Méditerranée qui se propage à l'intérieur de ces terres, des tamarix couvrent une partie de la région et les poissons marins arrivent durant cette saison dans la nappe d'eau (aloses, muges). Vers le Sud, la colline de Djebel Bou-Kerma d'une altitude de 356 m surplombe Garâat El M'khada.



Photo 11: Pâturage dans Garâat 'Khada. Village El Feid (commune Lac des Oiseaux) (Affoun, 16 mars 2006).

Selon Burgis et Symoens (1987) : « Les variations saisonnières du niveau de l'eau sont bien marquées, avec inondation pendant la première partie de l'année et assèchement presque total de juin à novembre. Il subsiste cependant des mares comme l'indique la présence de genres tels que Gammarus qui ne peuvent résister à un assèchement complet. Un court exutoire est situé à l'extrémité ouest de la Garâat et rejoint la mer à travers le cordon dunaire ».

L'eau est douce à oligo-haline (eau très légèrement salée, sa salinité est comprise entre 0,5 et 3 ‰). La végétation émergente couvre plus de 90 % de la surface du marais. Les macrophytes (végétaux aquatiques d'eau douce visible à l'œil nu) comprennent de nombreuses espèces (lacustris, *S. maritimus*). La végétation submergée est aussi abondante. On trouve également des tamarix par endroits ainsi que *lemna-minor* (Burgis et Symoens, 1987).

1.1.2.3 *Le bassin intérieur de plaine*

Au Nord-Est, le bassin d'El Tarf -Ain Assel est une véritable plaine interne. L'altitude du fond plat varie de 2 à 28 m. Elle est drainée par oued Kebir-Est. Au Nord-Est, le Lac Oubeïra occupe une dépression et prolonge cette plaine. Plus au Sud l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceinturent complètement (Marre, 1987). Des affluents étroits drainent ce bassin avant de rejoindre oued Kebir qui met en communication le bassin d'El Tarf avec la plaine de Bouteldja vers l'Ouest par un couloir étroit.

1.1.2.4 *Les hautes montagnes (Djebels)*

- *Les monts de la Calle (El Kala)*

Les monts de la Calle font la continuité des Monts de la Cheffia à travers une zone de reliefs découpés par les quatre vallées transversales, des oueds : Boulathane, Bouhalloufa, Guergour et Bougous, tous tributaires de l'oued Kebir-Est (Marre, 1987).

- *Les monts de la Medjerda*

Le long de la frontière algéro-tunisienne, les monts de la Medjerda constituent une barrière topographique d'orientation SW-NE dont le point le plus élevé culmine à 1406 m (Djebel M'cid) (Marre, 1987). L'altitude s'abaisse progressivement vers le Nord-Est pour atteindre 1041 m à Djebel Dir, 1202 m à Kef Rokba « Ghorrat el Hammam » et 821 m à Kef Mzaza. La ligne topographique de la Medjerda est la troisième barrière topographique qui longe le bassin versant dans sa partie Sud (Marre, 1987).

1.1.2.5 *Le Lac Oubeïra*

Le lac Oubeïra, classé site Ramsar en 1982, fait partie du complexe lacustre et marécageux d'El Kala. Il occupe une surface totale de 2200 ha ; il est situé à la côte 25 m (Burgis et Symoens (1987)). C'est un lac d'eau douce endoréique de forme sub-circulaire, avec une profondeur maximale autour de 4.2 m et un fond uniforme à très faible pente (Grimes, 2005). Il est alimenté essentiellement par les oueds Messida et Bouhachicha au Sud et par l'oued Legraa au Nord. Ce lac est séparé du Lac Melah par un seuil de 44 m de hauteur. Il joue un rôle de réservoir permettant la maîtrise des crues, de l'oued El-Kebir et constitue un réservoir de dépôt des

sédiments charriés par les eaux de crues. Les carpes et le barbot sont les espèces dominantes. La végétation est essentiellement constituée d'halophytes, de scirpes, de roseaux, de châtaignes d'eau et de nénuphar jaune (Grimes, 2005).

Le bassin versant du lac Oubeira (98 km² avec le plan d'eau du lac) est un bassin exceptionnel par sa relation avec oued Kebir-Est. L'oued Messida au Sud joue à la fois le rôle d'affluent et celui d'émissaire du lac selon que l'on se trouve en période de crue ou en période d'étiage. Durant la période des hautes eaux, les apports de l'oued Kébir-Est alimente le lac. En été et durant la période des basses eaux le lac alimente oued Kébir-Est (MPRH, 2016).

D'après le Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques (MPRH, 2016), l'apport moyen annuel en eau vers le lac Oubeira à partir de son bassin versant par l'écoulement de ses affluents est estimé à 23 hm³/an. Le volume du lac, calculé à partir des données de la bathymétrie effectuée en printemps 2004 a donné un volume de 45.3 hm³/an en situation de hautes eaux. L'apport annuel moyen direct sur le plan d'eau par les précipitations est égal à 18 hm³/an (calculé à partir d'une précipitation moyenne annuelle égale à 796 mm/an mesurée à la station d'El Kala).

1.1.2.6 *Le cordon dunaire*

Le long du littoral, le massif dunaire qui s'étend depuis l'embouchure de la Seybouse jusqu'au Cap Rosa, constitue la limite Nord du bassin versant du Kébir-Est. Peu large et peu épais à l'Ouest, il se développe vers l'Est où il atteint 120 m d'altitude et 7 à 8 km de large (Affoun, 2006). Il constitue aussi une véritable barrière entre la plaine intérieure et la mer, ce qui gêne le drainage. Seul l'oued Mafragh est capable de la traverser, bien qu'il soit souvent obstrué en hiver. Trois importants oueds drainent le cordon dunaire (Bourdim, Bouglez et Bhaim). L'oued Bourdim prend sa source à Koudiat El Fegaia à 325 m, Chaabet Ain Bouglez prend sa source dans les dunes d'une altitude entre 50 et 70 m et l'oued Bhaim coule à partir des dunes de Djbel El Koursi (329 m).

Ainsi l'ensemble de la région dunaire dessine une pente plus raide vers la méditerranée que vers l'intérieur des terres.

- *Les Nechaas*

Nechaa Oum El Agareb et Nechâa El Righia longent l'oued Kébir-Est sur sa rive droite vers le Nord d'une altitude inférieure à 20 m. De l'Est vers l'Ouest, plusieurs Garâats sont éparpillées de part et d'autre sur le cordon dunaire : Garâet Ben Cherinat, le Lac noir, EL Goureâte, Garâet

El Oзера (Affoun, 2006). Garâet El Khoubzi est le plus grand marécage situé au milieu du cordon dunaire vers le Nord. Le marais d'eau douce de Bourdim est de faible profondeur qui s'assèche en été ; alimenté au Nord par la nappe libre dunaire à partir de l'oued Bourdim, sa superficie est de 11 ha et son altitude moyenne est de 25 m.

- ***Tourbière du lac noir***

D'après Grimes (2005), la tourbière du lac noir est l'unique tourbière de l'Algérie. Le lac noir occupe une dépression dunaire près de la RN 84A (Ex- chemin de wilaya CW109), aux environs de Bordj Ali Bey, d'une superficie de 5 ha et d'une altitude moyenne de 35 m. Cette tourbière était un ancien lac asséché accidentellement. Ce site est classé comme tourbière et réserve intégrale au sein du Parc National El Kala(PNEK) et site Ramsar en 2003.

1.1.3 ***Les classes de pentes du bassin du Kébir-Est***

Par définition, le relief peut être considéré comme un ensemble de systèmes de pentes, l'horizontalité parfaite étant très rare dans la nature. Les pentes s'associent pour donner des formes élémentaires de relief (versant, talus, colline). On déduit que parallèlement à la topographie du bassin versant, les pentes reproduisent les formes du relief qui sont définies par les classes de pentes suivantes (figure 41) :

- Une classe des pentes faibles inférieures à 5 % qui couvre une surface de 615 km² (soit 38 % de la superficie totale du bassin versant). Cette classe représente les terrains plats (les plaines de Ain Assel, El Tarf et Boutheldja) ;
- 50 % de la surface (799 km²) ont une pente moyenne qui varie entre 10 et 15 %. Cette classe représente les basses montagnes ;
- La classe des pentes fortes ne représente que 12 % et couvre une surface totale de 191 km². Elle représente les escarpements rocheux des hautes montagnes.

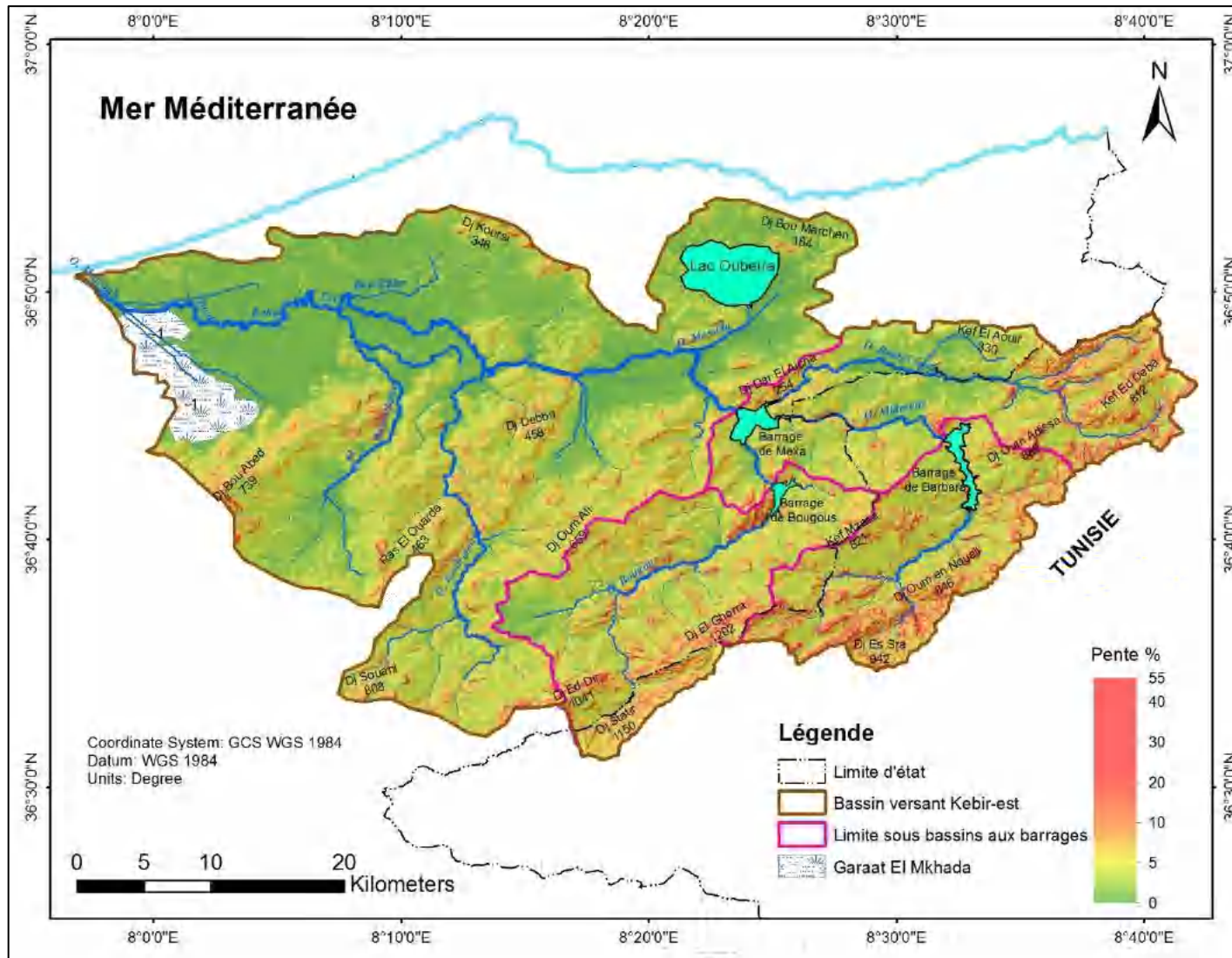


Figure 41. Carte des pentes du bassin versant du Kébir-Est.

1.2 Les bassins versants aux barrages (Mexa, Bougous et Barbara)

1.2.1 Hydrographie des bassins aux barrages

Le bassin versant au barrage de Mexa contrôle le haut Kebir-Est sur une surface de 651 km² (surface calculée sous ArcGis à partir du MNT). Le barrage est alimenté par trois principaux affluents, l'oued Bougous, l'oued Ballouta et l'oued El Kébir dont la confluence se trouve à environ 2 km au Sud de la digue du barrage de Mexa. La station hydrométrique de Ain Assel est implantée à 2 km au Nord du site du barrage de Mexa contrôlant un bassin hydrographique de 680 km² ([ANRH, 2015](#)) (figure 42).

Deux sous-bassins sont contrôlés par barrages à l'amont de Mexa : le barrage de Barbara sur l'oued épinome contrôlant une surface de 177 km² ([ONAGRI, 2019](#)) et le barrage de Bougous sur l'oued du même nom contrôlant une surface de 236 km² ([ANBT, 2017](#)) (tableau 24).

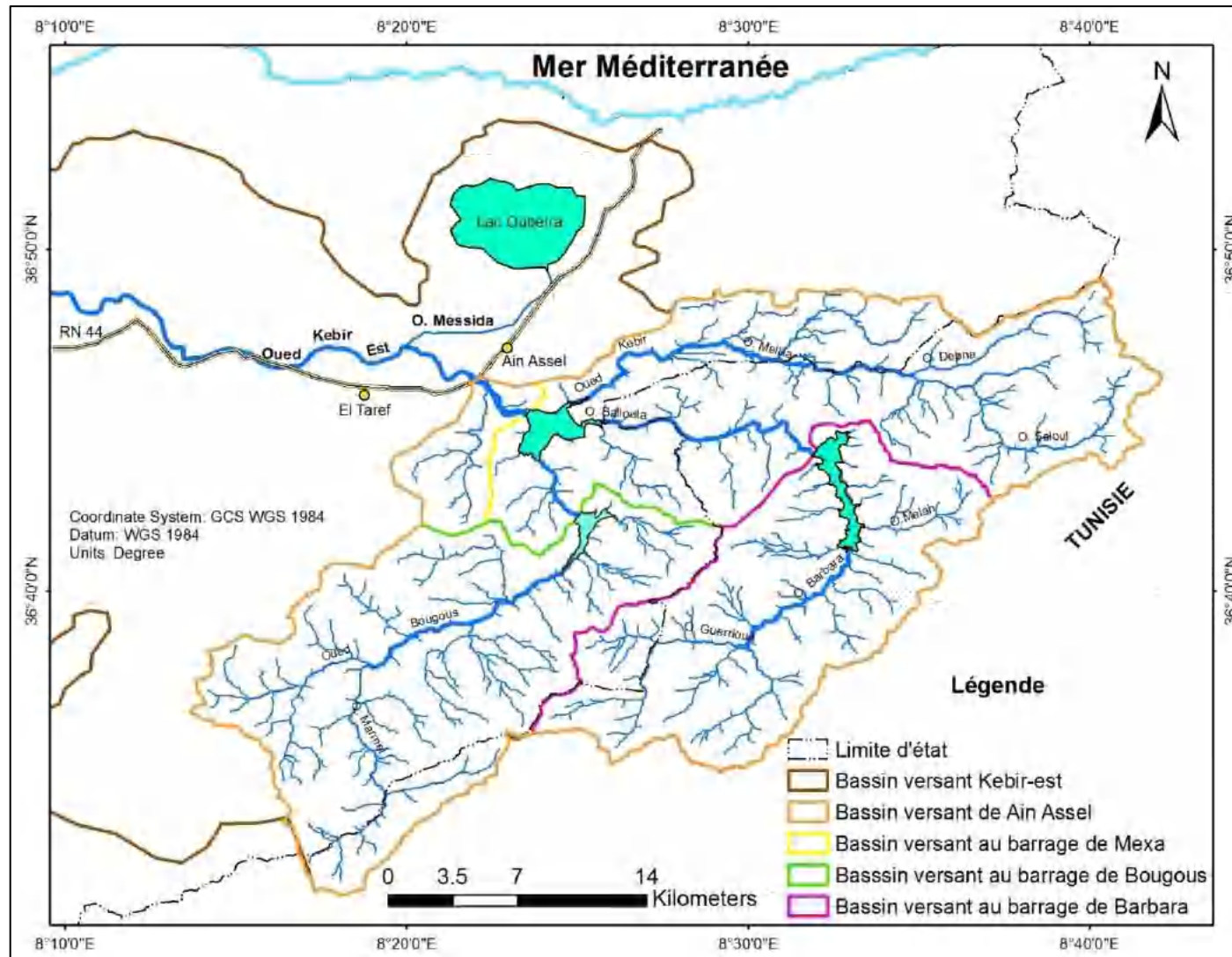


Figure 42. Les bassins versants aux barrages : Barbara, Mexa et Bougous sur oued Kébir-Est

Tableau 24. Superficies des sous bassins transfrontaliers du Kebir-Est contrôlés par barrages

| Nom du Bassin versant | Surface en Tunisie (km ²) | Surface en Algérie (km ²) | Surface du BV (MNT 30 m) (km ²) | Surface selon ANBT, ONAGRI, ANRH (km ²) |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Bougous | 23 | 204 | 227 | 236 (ANBT, 2017) |
| Barbara | 161 | 14 | 175 | 177 (ONAGRI, 2019) |
| Mexa (bassin intermédiaire) | 144.5 | 105.5 | 250 | / |
| Mexa (surface totale) | 328.5 | 323.5 | 651 | 650 (ANBT, 2017) |
| Surface du BV à la station de jaugeage Ain Assel (ANRH) | 328.5 | 351.5 | 678 | 680 (ANRH 2015) |

Le réseau hydrographique est composé de plusieurs affluents :

- **Oued Kébir-Est**

Oued Kebir-Est est le plus important, il prend sa source dans les massifs montagneux de la Kroumirie à la frontière Algéro-Tunisienne. Il est formé de l’oued Roum Souk et l’oued Ballouta. Oued Mellila prend naissance en Tunisie, il résulte de la jonction d’oued Debna qui prend naissance vers le Nord à Djebel El Dhib à 615 m, Djebel Oum Skek à 572 m et Argoub Round el Mekmen à 850 m. Chaabet M’ter Msila naît à djebel El Fersig à 826 m vers l’Est et vers le sud à Djebel Oum Adissa à 748 m et Kef el Mekmen à 889 m d’altitude en Tunisie avant de prendre le nom d’oued Roum Souk en Algérie (figure 41).

- **Oued Seloul**

Il prend naissance à Djebel Bir (Ain Draham à 1014 m) en Tunisie et rejoint oued Roum Souk et forme oued Mellila. Il prend le nom de Mellila après sa confluence avec oued Leben avant de prendre le nom d’oued El Kébir. En Algérie, Oued Leben prend naissance à Koudiet el Fras à 510 m, Kef Aouir à 330 m qui fait la limite Nord-Est du bassin versant de Mexa. Oued El Kébir prend naissance à Djebel Ard El Kef (Koudiet Sidi Abdallah) 874 m à l’Est en Tunisie, avant de prendre le nom d’oued Ramel El Souk (Roum Souk) en Algérie, il poursuit son parcours sous le nom d’oued Mellila. D’autres affluents se jettent dans l’oued Mellila vers le Nord. Plusieurs chaabats alimentent Oued El Kébir, générant des apports importants. Oued Ballouta rejoint oued El Kébir à environ 2 km à l’Est de la digue du barrage de Mexa.

- ***Oued Ballouta***

Il prend naissance dans le territoire Tunisien sous le nom d'oued Barbara. Son bassin est limité vers le Sud et le Sud-Est par les monts de la Medjerda à Djebel Sra d'une altitude de 942 m et Kef Mzaza à 821 m vers le Sud-Ouest. Le tracé d'oued Barbara suit la direction Sud-Est, après il se dirige vers le Nord-Ouest sous le nom d'Oued Mkimene à la limite de la frontière tunisienne. Sous le nom d'oued Ballouta, il rejoint le territoire algérien. Il est contrôlé par le barrage de Barbara (Zouitina) sur une surface de 175 km² en Tunisie.

- ***Oued Bougous***

L'oued Bougous prend naissance vers le Sud à Djebel Oum Ed Diss (1106 m) et Djebel Statir (1150 m). Il longe les frontières et coule de l'Ouest vers l'Est sous le nom d'oued El Messlane avant de prendre le nom de l'oued Mermel, et enfin oued Bougous. Oued Bir Jeddi draine le Sud-Ouest du bassin versant de Bougous. Il naît à Djebel Dir à 1041 m avant sa confluence avec oued Bougous. Oued Kerrata draine l'Ouest, il coule de Djbel Loulidja à 359 m. Plusieurs affluents (oueds et chaabats) coulent du Sud vers le Nord et drainent le flanc Nord de Djebel El Ghorra, comme oued Bellata avant de se jeter dans oued Bougous.

Après la confluence de l'oued El Kébir et l'oued Ballouta, l'oued Bougous les rejoint à 2 km plus loin vers le Nord-Ouest et constitue le dernier affluent qui coule du Sud vers le Nord avant de former l'oued Kébir-Est. Ce dernier est contrôlé par le deuxième barrage algérien, Bougous.

1.2.2 ***Morphométrie des bassins aux barrages***

Les paramètres morphométriques du bassin versant contrôlé par la station hydrométrique de Ain Assel (680 km²) sont résumés dans le tableau 25. L'altitude minimale est de 30 m et maximale de 1202 m à Djebel el Ghorra, limite Sud du bassin versant. La densité de drainage est estimée à 3 km⁻¹ et le coefficient de torrentialité est de 16.3 % (DEMRRH, 1975).

Le bassin versant de l'oued Barbara est classé dans la catégorie de relief très fort selon la dénivelé spécifique (Ds=510 m), ce qui explique le caractère accidenté du bassin versant, et lui confère une grande sensibilité à l'érosion hydrique (Souadi, 2011) (tableau 25).

Tableau 25. Paramètres morphométriques des bassins versants de : Ain Assel, Bougous et Barbara (1) DEMRH, 1975 (2) Souadi, 2011 (3), APD barrage Mexa, 1997).

| Bassin Versant | Surface (km ²) | Périmètre (km) | Indice de Compacité | Longueur thalweg principal (km) | Altitude (m) | | | Pente moy du thalweg principal % | Densité de drainage (km/km ²) | Indice Global de pente Ig (%) m/km |
|--|----------------------------|----------------|---------------------|---------------------------------|--------------|------|-----|----------------------------------|---|------------------------------------|
| | | | | | Min | Max | Moy | | | |
| Oued Kébir-Est (Station Ain Assel (1)) | 680 (1) | 115 | 1.23 | 50 | 30 | 1202 | 410 | / | 3 | / |
| Oued Barbara (Barrage Barbara) (2) | 175 | 84.95 | 1.8 | 32.79 | 150 | 1202 | 550 | / | / | 0.038 |
| Oued Bougous (Barrage Bougous) (3) | 236 | 109 | 1.98 | 29 | 75 | 1202 | 458 | 2.3 | 0.65 | 0.14 |

2 CADRE GEOLOGIQUE

2.1 Les formations dominantes du bassin de Mexa

La nature de la roche joue un double rôle : d'une part, sur le régime du cours d'eau, et, d'autre part, sur l'érosion et le transport solide.

La roche caractéristique de la région du bassin versant est constituée par des grès numidiens et des argiles. Ces roches se présentent soit en couches massives visibles sous forme d'affleurements, soit avec des couches intercalées d'argiles schisteuses verdâtres et grisâtres (MRE- ANBT, 2011). La puissance des argiles varie de 10 cm vers le haut à 20 m vers le bas (MRE- ANBT, 2011). Les versants sont généralement couverts d'un manteau de débris d'altération « in situ ». Le lit des oueds est rempli de dépôts d'alluviaux des graviers, des sables et des limons.

La lithologie du bassin versant présente peu de variétés, trois principales formations allant du Sénonien à l'Oligocène numidien. Cette région possède des structures plissées qui ont subi, pour la plupart, des contacts anormaux et des failles (Marre, 1987) (figure 43).

Le mélange des grès et des argiles constitue l'ensemble des formations lithologiques dans le bassin. Les limites entre les argiles et les grès sont difficilement perceptibles sur le terrain en

raison de l'épaisseur du recouvrement et de la couverture végétale, à l'exception de la partie amont de l'oued Bougous où prédominent les argiles sur les niveaux gréseux (MRE-ANBT, 2011).

2.1.1 *Le Quaternaire*

Ces formations alluviales issues de l'altération des roches sédimentaires (les grès numidiens) couvrent les cuvettes des sous bassins (Marre, 1987) (figure 43).

a. Le quaternaire ancien (post Pliocène)

Il correspond aux alluvions de la haute et moyenne terrasse, de la vallée de l'oued El-Kebir-Bougous, il se compose de sable, de gravier, et de conglomérats de petites tailles.

b. Le Quaternaire actuel (L'Holocène)

Il correspond aux alluvions actuelles des lits des oueds (lit actuel et basse terrasse de l'oued Bougous). Ce sont des dépôts composés de limon sableux fin et d'argile limoneuse.

2.1.2 *Le Plio-Quaternaire*

La série des grès présente des anticlinaux et des synclinaux de direction SO-NE. La faille de l'oued Bougous de même direction est un exemple d'accident tectonique du même âge. Le flanc Sud-Est de ce synclinal gréseux constitue la barre du Djebel El Ghorra (Marre, 1987).

L'ensemble des couches subordonnées aux grès apparaît comme étant des roches assez tendres plus facilement attaquées par l'érosion que la masse gréseuse supérieure. Il en résulte une inversion du relief comme c'est le cas des Djebels Rhorra et Mekmene Djaballah (Marre, 1987).

a. Le Mio-Pliocène

Les formations conglomératiques sont réparties au Sud-Ouest, au centre et au Nord-Est du bassin. Il se présente en lambeaux sous forme de dépôts continentaux argilo-détritiques, de sables et dépôts du fond des vallées de l'oued Barbara et l'oued El Kébir (Tourki, 2010). Au Nord, sur les piémonts de Djebel Dir (entre 200 et 400 m d'altitude), des formations argilo-conglomératique tranché par l'altération mécanique (figure 43).

b. L'Oligocène

Les grès numidiens et les argiles de l'Oligocène sont moins étendus dans le bassin. Les grès représentent la masse des reliefs du bassin versant de Kébir-Est occupé par la forêt de chêne liège et des maquis. Ils sont quartzeux, plus au moins fortement consolidés. Leur modelé comporte de petites crêtes déchiquetées et des roches abruptes (Marre, 1987) (figure 43).

c. Le Crétacé

Le marno-calcaires est d'âge Sénonien à Eocène s'étend du Nord-Est, à Ain Drahem, jusqu'au Sud-Ouest non loin du Djebel Rhorra. Ils forment une topographie assez forte de collines morcelées parmi lesquelles figurent Djebel Sra (942 m) et Djebel Tadj Zit (846 m).

a. Les calcaires et les calcaires marneux

Cette formation s'étend du Sud-Ouest au Nord-Est en Tunisie. Au pied de la barre gréseuse de Djebel Sra, un large piémont se développe composé de calcaire marneux de l'Eocène et du Crétacé (Tourki, 2010).

De nature lithologique assez vulnérable, cette formation est fortement disséquée par les affleurements de l'oued Ballauta. A Sidi Trad, elle jalonne un ensemble en anticlinal du Crétacé constitué essentiellement de marne et calcaire du Crétacé, d'Eocène marneux et marno-calcaire (Tourki, 2010).

2.1.3 *Le Trias*

Des formations gypso-salifères, de faible étendue, affleure en divers lieu à Ain Drahem jusqu'au Djebel Ghedir (713 m). Le Trias est très attaqué par les eaux courantes qui entraînent les argiles gypsifères et laissent en saillie les brèches calcaires. Dans les confins de la Kroumerie, les zones déprimées, dont le terrain triasique, correspondent à des anticlinaux et les crêtes à des synclinaux. L'érosion linéaire, en particulier, a créé, partout, un modelé de relief ressemblant aux badlands (Tourki, 2010) (figure 43).

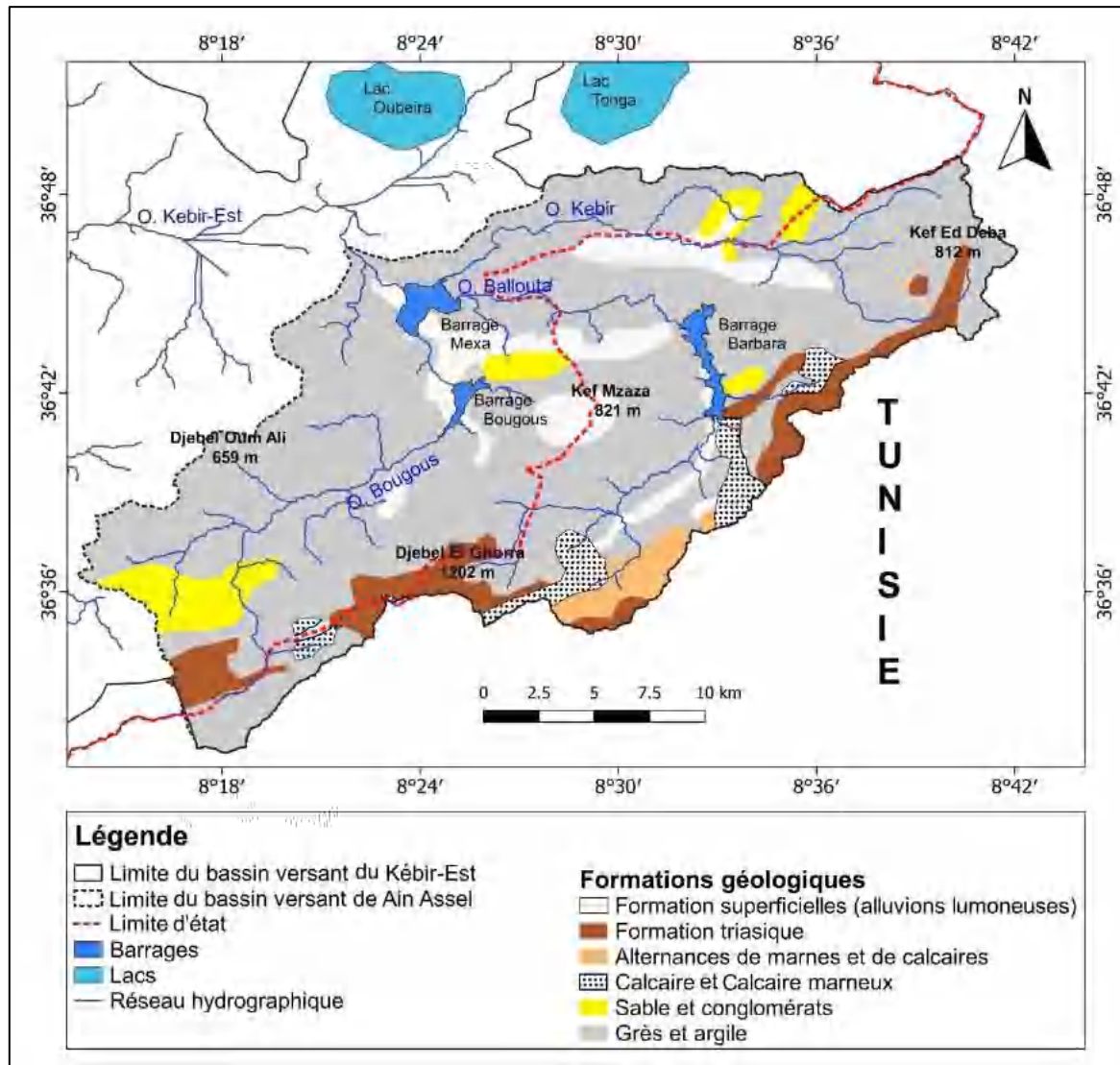


Figure 43. Carte géologique du Haut Kébir-Est. (Tourki, 2010 ; complétée)

2.2 Contexte géologique du sous bassin de l’oued Bougous

D’après la monographie du barrage de Bougous (MRE-ANBT, 2011), une coupe géologique de la nappe numidienne montre que les argilites prédominent sur les niveaux gréseux (cf. chapitre 1 figure 8).

La vallée de l’oued Bougous est creusée dans les formations de type flyschs numidiens. Ces flyschs sont des alternances de grès parfois épais (métriques) de couleur jaune-ocre, « noyés » dans des argiles de couleur variées, mais la dominance est grisâtre. Les grès sont souvent fissurés, à remplissage d’oxydation de fer (hématite, et d’hydroxydes et carbonate de cuivre (figure 43) (MRE-ANBT, 2011). Les limites entre les argilites et les grès sont difficilement discernable sur le terrain en raison de l’épaisseur du recouvrement et de la couverture végétale.

L'oued Bougous au niveau du site du barrage a emprunté son lit sur deux directions de failles : la direction NO-SE et la direction globalement E-O. Ces failles se traduisent dans la morphologie des deux rives par des épontes rocheuses très fracturées sur plusieurs mètres ainsi que l'existence de litho-classes nombreuses présentant des stries de glissement. Les remplissages sont grés-argileux (MRE-ANBT, 2011).

2.3 Le contexte géologique du sous bassin de l'oued Barbara

D'après Souadi (2011), des formations de flyshs numidiens de la chaîne montagneuse de la Kroumerie caractérisent le Nord et Nord-Ouest du bassin et constituent un domaine de grès aux éboulis sur des marnes, ensemble formé du Lutécien supérieur au Miocène. La partie Est, est limitée par les diapirs triasiques (présence du gypse) à Ain Draham et au voisinage du Djebel Ghedir (713 m).

La partie centrale suivant l'axe Nord-Est/Sud-Ouest, est occupée par les reliefs d'un anticlinal calcaire marneux d'âge crétacé très disloqué par le même diapir. La partie méridionale Est/Sud comprend essentiellement le flanc Nord-Ouest d'un anticlinal à axe sénonien en marquant ainsi le Crétacé supérieur et présentant un grand développement du complexe lagunaire néogène à base calcaire et argile (Belkhouja et al, 1973).

3 CONTEXTE CLIMATIQUE

3.1 Données disponibles

Le bassin du haut Kebir-Est est équipé de stations gérées par l'ANRH et de l'ONM (Office National de la Météorologie) en Algérie et de l'INM (Institut National de la Météorologie) en Tunisie (tableau 26).

Nous retenons les stations pluviométriques de : Ain Assel, Mexa barrage et Bougous barrage. Avant 2010, les stations de Roum El Souk et Ain Fedden étaient fonctionnelles mais leurs séries de données sont incomplètes, comportant plusieurs lacunes.

Pour les données climatologiques, nous utilisons la station climatologique (ONM) d'El Kala ainsi que la station de Ain Draham (739 m d'altitude), gérée par l'INM, l'une des plus anciennes stations de Tunisie dont les données ont été utilisées comme référence dans la monographie du barrage de Bougous (MRE- ANBT, 2011).

En l'absence de données à l'échelle journalière, nous avons complété l'analyse des caractéristiques hydroclimatiques journalières sur la base des documents de synthèse du barrage

de Bougous (ANBT, 1997) et la monographie sur l'aménagement du barrage de Bougous (MRE - ANBT, 2011).

Sur le plan hydrométrique, l'amont de l'oued Kébir-Est (680 km²) est contrôlé par la station de jaugeage de Ain Assel, située au niveau du pont sur l'oued Kébir- Est sur la route RN 44 menant vers Ain Assel à 2 km à l'aval de la digue du barrage de Mexa.

Les séries de données traitées dans cette étude sont :

- Séries pluviométriques de la station de Ain Assel (1968/69 à 2016/2017) et de la station de Ain Draham (1900-1980 et 1981-2010).
- Les données climatologiques mesurées aux stations d'El Kala (1968/69-2003/04) et de Barbara (1983-2005).
- Série hydrologique de la station de Ain Assel (1947/48-2002/2003)
- Données des apports mesurés aux barrages de Mexa, Bougous et Barbara, pour des séries de longueur différente.

Tableau 26. Caractéristiques des stations climtologiques et hydrométriques du bassin du Kébir-Est (1) ONM , station El El Kala ; (2) Souadi, 2011 ; (3) ANRH, 2015 ; (4) Bousaidi, 2012 et ANBT, 2017).

| Station ou barrage | Paramètre mesuré | Coordonnées géographiques | | Altitude (m) | Période d'observation |
|---|--------------------------------------|--|--|--------------|---|
| | | Longitude E | Latitude N | | |
| Ain Assel Code ANRH 031601 | Précipitation | 8°22 X (Km) Lambert : 1005.65 | 36°35 Y (Km) Lambert : 400.05 | 35 | 1968/69- 2016/17 |
| El Kala(1) ONM | Précipitation Température | 8° 27' | 36°53 | 11 | 1968/69- 2003/2004. 1972/73- 2003/2004 |
| Oued Barbara (2) Code INM 1483489001 (INM Tunisie) | Précipitation | 8°32 | 36°40 | 200 | 1983/84- 2004/05 |
| Ain Assel station Hydrométrique (3) Code ANRH 031603 | Débit Apport liquide et solide | X (Km) Lambert : 1014.95 | Y (Km) Lambert : 390.63 | 35 | (1947/48- 200/2003) |
| Barrage Mexa | Apport, Déversement | | | / | 2003/04- 2019/20 |
| Barrage Bougous | Apport Déversement | | | / | 2011/12- 2019/20 |
| Barrage Barbara | Apport, Déversement | | | / | 2001/02- 2016/17 |
| Ain Draham(4) Code INM 6071002 Tunisie | Précipitation Température | 8.7 | 36.8 | 739 m | 1900 à 1980 1981 à 2010 |

3.2 Analyse pluviométrique

3.2.1 Précipitations annuelles moyennes

La lame précipitée moyenne interannuelle observée sur 49 ans (1968/69-2019/2020) à la station de Ain Assel est de l'ordre de 835 mm/an. La valeur de la lame précipitée est de 769 mm à la station d'El Kala pour une période de 44 ans (1968/69-2011/2012). D'après la monographie du barrage de Bougous, les précipitations sont relativement abondantes avec une moyenne interannuelle au niveau du bassin versant de 1076 mm.

D'après la carte de l'ANRH (2003), sur la partie algérienne du bassin de Mexa, l'isohyète 700 mm forme la limite inférieure des précipitations moyennes annuelles. Elle s'étend sur le relief de basses montagnes, alors que l'isohyète de 800 mm couvre les zones montagnardes où l'altitude dépasse les 800 m, Djebel El Ghora au Sud (1202 m), Djebel Oum Ed Diss (1106m), Djebel Statir (Kef Bouhamoud) 1150 m et Djebel Bessouagui 969 m (cf. chapitre 1 figure11). Le bassin versant de l'oued Barbara dans l'extrême Nord-Ouest de la Tunisie, fait partie de la zone montagnarde de la Kroumirie, qui est la plus arrosée de la Tunisie avec des précipitations moyennes interannuelles enregistrées à la station de Ain Draham de 1513 mm/an sur une période de 80 ans (1900-1980) et 1542 mm pour la période allant de 1981 à 2010 (Bousaidi, 2012) (tableau 27).

Tableau 27. Précipitations mensuelles et annuelles moyennes du bassin du Kébir-Est.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | Av | Mai | Juin | Juill | Août | Moy Annuelle (mm) |
|-----------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------------------|
| Stations | | | | | | | | | | | | | |
| Ain Draham 1900 à 1980 | 70,35 | 143,15 | 208,5 | 262 | 243,8 | 186,1 | 141,6 | 135,6 | 76,1 | 25,5 | 5,75 | 15,5 | 1513.15 |
| Ain Draham 1981 à 2010 | 71,7 | 137,9 | 263,6 | 251,6 | 237,5 | 147,8 | 156,3 | 144,2 | 76,3 | 21,1 | 10,7 | 23,5 | 1542.1 |
| Ain Assel Période 1968/2020 | 48 | 86 | 119 | 127 | 123 | 107 | 89 | 75 | 40 | 11 | 3 | 8 | 835 |
| El Kala Période 1968//2004 | 45,8 | 93,7 | 114,9 | 112,9 | 113,5 | 84,7 | 74,2 | 65,1 | 38,9 | 10,3 | 3,5 | 11,7 | 769.13 |

Les pluies orographiques expliquent l'effet de l'altitude qui agit fortement sur la zone amont du Nord-Est du bassin versant de Mexa.

Les pluies orographiques caractérisent aussi le Sud du bassin versant sur Djebel Oum Ed Diss (1150 m) et Djebel El Ghorra (1202 m) jusqu'au Kef Mzaza (829 m) et qui forment la terminaison des monts de la Medjerda.

D'après Souadi (2011), sur une période de 22 ans de (1983/84-2004-2005), les données enregistrées à la station d'oued Barbara donnent une lame d'eau moyenne annuelle précipitée de 782 mm et une lame d'eau moyenne ruisselée sur le bassin versant de l'oued Barbara de 200 mm. Cette zone montagneuse très accidentée est caractérisée par un réseau hydrographique très ramifié et par des ruissellements extrêmement irréguliers et très agressifs.

3.2.2 Régime saisonnier

Selon le tableau 28, on observe que les quatre stations enregistrent un maximum de précipitations durant la saison d'hiver soit : 40 % du total annuel moyen à El Kala, 45 % à Ain Draham et Ain Assel et 48 % à la station de Barbara. La saison d'hiver est suivie par l'automne, le printemps et enfin l'été qui enregistre la part minimale des pluies (moins de 3 %). Cette répartition exprime un régime saisonnier de Type (H.A.P.E) pour les trois stations (tableau 28). La saison humide s'étend d'octobre à avril et totalise plus que 85.1% des précipitations annuelles et la saison sèche de mai à septembre. Les précipitations journalières maximales se produisent pendant la période d'octobre à mars.

Tableau 28. Variation saisonnière des précipitations dans le bassin du Kébir-Est (1) Bousaidi, 2012 ; (2) Souadi, 2011 ; (3) ANRH, 2015 ; DRE et ANBT, 2017 ; (4) Office National de la Météorologie).

| Période | Station | Pluies | Autom ne | Hiver | Printemps | Eté | Pluie Totale annuelle (mm) |
|-------------------------------------|-------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|----------------------------------|
| 1900 à 1980 (Bousaidi, 2012). | Ain Draham (1) | P _{tot} en mm | 422 | 691.1 | 353.3 | 46.75 | 1513.15 |
| | | % total | 27.88 | 45.67 | 23.34 | 3.08 | 100 |
| 1981 à 2010 Bousaidi (2012.) | Ain Draham (1) | P _{tot} en mm | 473.2 | 636.9 | 376.8 | 55.3 | 1542.2 |
| | | % total | 30.68 | 41.29 | 24.43 | 3.58 | 100 |
| 1983 à 2005 Souadi (2011) | Barbara(2) | P _{tot} en mm | 204,4 | 376.3 | 181.2 | 20.2 | 782 |
| | | % total | 26.13 | 48.12 | 23.17 | 2.58 | 100 |
| 1968 à 2020 ANRH et ANBT | Ain Assel (3) | P _{tot} en mm | 253,2 | 357.1 | 203.6 | 20.8 | 835 |
| | | % total | 30.3 | 42.8 | 24.4 | 2.5 | 100 |
| 1968 à 2004 ONM | El Kala (4) | P _{tot} en mm | 254.43 | 311.02 | 178.18 | 25.50 | 769 |
| | | % total | 33.08 | 40.44 | 23.17 | 3.31 | 100 |

3.2.3 Les pluies journalières maximales

Le calcul des pluies maximales journalières a été établi à partir des données de Ain Karma et Ain Assel pour la période de 1968/69-1992/93 (Monographie sur l'aménagement du barrage de

Bougous) (MRE- ANBT, 2011). Les résultats des ajustements à une loi log-normale montrent que pour une période de retour de 100 ans, la pluie journalière maximale s'élève à 180 mm (tableau 29). Cette valeur peut atteindre les 197 mm vers l'amont de Mexa (bassin versant d'oued Barbara).

La moyenne interannuelle de la pluviométrie maximale journalière à la station de Ain Drahem est de 100 mm. La pluie maximale journalière a dépassé les 200 mm durant quelques années comme 2003, 2004 et 2017 (Frigui, 2019) (figure 44).

Tableau 29. Les quantiles des pluies journalières maximales à Bougous et Barabra. (ANBT ; Monographie sur l'aménagement du barrage de Bougous, 2011 et ANBT ; APD : Rapport de synthèse Volume IV, Bougous-Mission III, 1997.ENHYD).

| Période de retour T(Années) | Bougous : Pjmax (24h) (mm) | Barbara : Pjmax 24h (mm) | Fréquence au non dépassement |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 20 | 131 | 152 | 0.95 |
| 100 | 180 | 197 | 0.99 |
| 1.000 | 255 | 261 | 0.999 |
| 10.000 | 336 | 326 | 0.9999 |

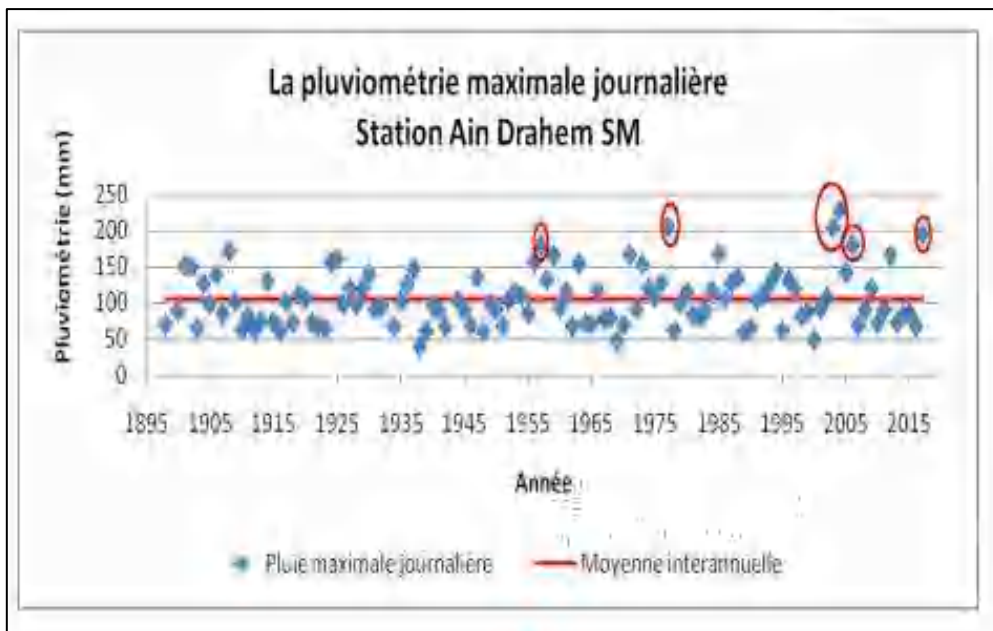


Figure 44: Précipitations journalières maximales à la station de Ain Drahem (période 1895-2018) (Frigui, 2019).

3.2.4 Analyse des courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) : station de Ain Assel

D'après les courbes IDF-enregistrées au niveau de la station de Ain Assel (ANRH, 2015) pour une période de retour de 50 ans l'intensité horaire (t=1h) des pluies peut atteindre les 50.7 mm/h à la station de Ain Assel, elle est de 55.5 mm/h pour une période de retour de 100 ans (tableau 30).

Tableau 30. Intensité des pluies selon les fréquences à la station de Ain Assel (ANRH, 2015).

| I(t, T) | Période de retour (ans) | | | | | |
|-----------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 1 | 26,5 | 34,3 | 39,4 | 44,4 | 50,7 | 55,5 |
| 2 | 16,8 | 21,7 | 24,9 | 28,1 | 32,1 | 35,1 |
| 3 | 12,8 | 16,6 | 19,1 | 21,5 | 24,5 | 26,9 |
| 6 | 8,1 | 10,5 | 12,1 | 13,6 | 15,5 | 17,0 |
| 12 | 5,1 | 6,6 | 7,6 | 8,6 | 9,8 | 10,7 |
| 24 | 3,2 | 4,2 | 4,8 | 5,4 | 6,2 | 6,8 |

3.3 Autres facteurs climatiques

3.3.1 Les températures

Vu l'absence de données thermiques sur le bassin de Ain Assel, on a utilisée celles de Ain Draham, d'El Kala et de Souk Ahras (tableau 31). Cette dernière présente des caractéristiques géographiques similaires à celle du bassin versant de Mexa, elle est située à 590 m. La station d'El Kala est située sur le littoral à 11 m d'altitude et la station de Ain Draham est située en montagne à 739 m.

Tableau 31. Les températures mensuelles moyennes à la station de Ain Draham et El Kala ((1) Bousaidi, 2012 ; (2) ONM, 2004 ; (3) Souk Ahras SUBD, 2013)

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | Av | Mai | Juin | Juil | Aout | Moy (Ann) °C |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Station | | | | | | | | | | | | | |
| Ain Draham 1900-1980 (1) | 21.6 | 17.1 | 10.9 | 7.9 | 6.5 | 7.5 | 9.85 | 12.1 | 16.5 | 20.5 | 23.9 | 24.6 | 14.9 |
| Ain Draham 1981-2010(1) | 21.5 | 18.1 | 13.1 | 8.4 | 5.3 | 8.3 | 8.6 | 12.2 | 16.7 | 20.3 | 23.7 | 24.3 | 15.04 |
| El Kala 1972-2004(2) | 23,7 | 20,0 | 16,5 | 13,0 | 12,2 | 12,4 | 13,7 | 15,3 | 18,5 | 21,8 | 25,0 | 25,4 | 18.1 |
| Souk Ahras (1990/91-2012/13)(3) | 22,3 | 17,9 | 12,6 | 8,5 | 7,5 | 7,8 | 10,5 | 12,4 | 17,2 | 20,9 | 25,7 | 26,3 | 15,8 |

Le régime thermique est frais durant l'hiver et modéré à chaud pour le reste de l'année. Pour deux périodes différentes, la moyenne interannuelle des températures est respectivement de 18°C à El Kala, de 15°C à Ain Draham et de 15.8°C à Souk Ahras. La différence des températures du mois de janvier est remarquable, elle dépasse les 7°C (12°C à El Kala, 7°C à Souk Ahras et 5°C à Ain Draham). Durant le mois d'Août, les stations enregistrent une température équivalente soit 25.4°C, 24.6°C et 26.3°C à Souk Ahras respectivement. On conclut que les températures sont relativement basses à cause de leur situation géographique en altitude (tableau31).

3.3.2 *Les chutes de neige*

Pendant la saison pluvieuse, quelques chutes de neiges sont enregistrées sur le sommet des montagnes. D'après [Bousaidi \(2012\)](#), les chutes annuelles de neige en Kroumirie tombent régulièrement chaque année entre janvier et février et souvent aux mois de décembre et mars dans les régions d'altitude supérieure à 400 m ; la neige peut atteindre un mètre d'épaisseur sur Djebel El Bir (1014 m) à Ain Drahem, Djebel Oum Eddiss (1106 m) et Djebel Statir à Kef Bouhamoud (1150 m). En Algérie, le sommet de Djebel El Ghorra (1202 m) reçoit des chutes de neige intermittentes.

3.4 **L'évapotranspiration potentielle et le bilan hydrique**

L'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne varie entre 1200 et 1300 mm d'après la carte de l'ANRH (2003) (cf. chapitre 1 figure 15). L'évaporation moyenne annuelle estimée dans le bassin du barrage de Bougous se situe entre 1098 et 1260 mm/an ([MRE -ANBT, 2011](#)).

Le bassin versant du Kébir -Est fait partie du bassin des côtières Constantinois de l'extrême Est, qui renferme plusieurs lacs naturels auxquels s'ajoutent les plans d'eau des lacs artificiels des barrages (Mexa, Bougous et Barbara) contribuant à l'évaporation durant la période sèche qui s'étend sur 6 mois. L'écosystème lentisque environnant les lacs lui confère un taux d'humidité élevée durant la période sèche.

Le bilan hydrique a été bien détaillé dans le chapitre 1 (formule de calcul et analyse). Pour la station de Ain Assel (Latitude 36° N) on a utilisé les températures de la station de Souk Ahras : les valeurs de l'ETP sont de 840.5 mm/an et le déficit agricole de 412.5 mm/an (tableau 32). La figure 45 montre les quatre périodes de constitution de la réserve utile, de saturation, d'utilisation et la période de déficit agricole.

L'ETP est calculée en utilisant les températures mesurées à la station de Annaba les Salines et il donne des résultats représentatifs du climat de la région pour la période commune de (1971/72-2011/12). Le déficit agricole est proche de celui calculé en utilisant les températures de la station de Souk Ahras, il est de 380.9 mm/an.

Tableau 32. Bilan évaporométrique de Thornthwaite à la station de Ain Assel
(Latitude 36°N : RFU_{max} : 100 mm) (période de Pmm
: 1990/1991-2016/2017 et T°C de Souk Ahras(1990/91-2012/13).

| MOIS | T° C | ETPc (mm) | P (mm) | BH (mm) | RFU (mm) | ETR (mm) | DA (mm) | EXC (mm) | LC |
|---|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| SEP | 22,3 | 105,80 | 47,4 | -85,50 | 0 | 47,40 | 58,80 | 0 | 1,03 |
| OCT | 17,9 | 68,90 | 83,1 | 14,10 | 14,1 | 68,90 | 0,00 | 0 | 0,97 |
| NOV | 12,6 | 34,10 | 124,9 | 90,80 | 100,00 | 34,10 | 0,00 | 5 | 0,86 |
| DEC | 8,5 | 16,70 | 126,1 | 109,40 | 100 | 16,70 | 0,00 | 109,4 | 0,81 |
| JAN | 7,5 | 14,70 | 120,7 | 106,00 | 100 | 14,70 | 0,00 | 106 | 0,87 |
| FEV | 7,8 | 15,20 | 105,3 | 90,10 | 100 | 15,20 | 0,00 | 90,1 | 0,85 |
| MAR | 10,5 | 30,30 | 80,7 | 50,40 | 100 | 30,30 | 0,00 | 50,4 | 1,03 |
| AVR | 12,4 | 42,40 | 82,9 | 40,50 | 100,00 | 42,40 | 0,00 | 40,5 | 1,1 |
| MAI | 17,2 | 80,80 | 37,7 | -43,20 | 56,8 | 80,80 | 0,00 | 0 | 1,21 |
| JUI | 20,9 | 112,80 | 12,0 | -100,80 | 0 | 68,90 | 44,00 | 0 | 1,22 |
| JUI | 25,7 | 161,40 | 2,4 | -159,00 | 0 | 2,40 | 159,00 | 0 | 1,24 |
| AOU | 26,3 | 157,40 | 6,3 | -151,10 | 0 | 6,30 | 151,10 | 0 | 1,16 |
| Année | 15,8 | 840,5 | 829,4 | -11,1 | | 428,0 | 412,5 | 401,4 | / |
| Résultats du bilan calculé en utilisant la T°C de la station de Annaba les Salines (1971/72-2011/12) | | | | | | | | | |
| Année | 17,5 | 867,7 | 829,4 | -38,3 | | 486,7 | 380,9 | 342,7 | |

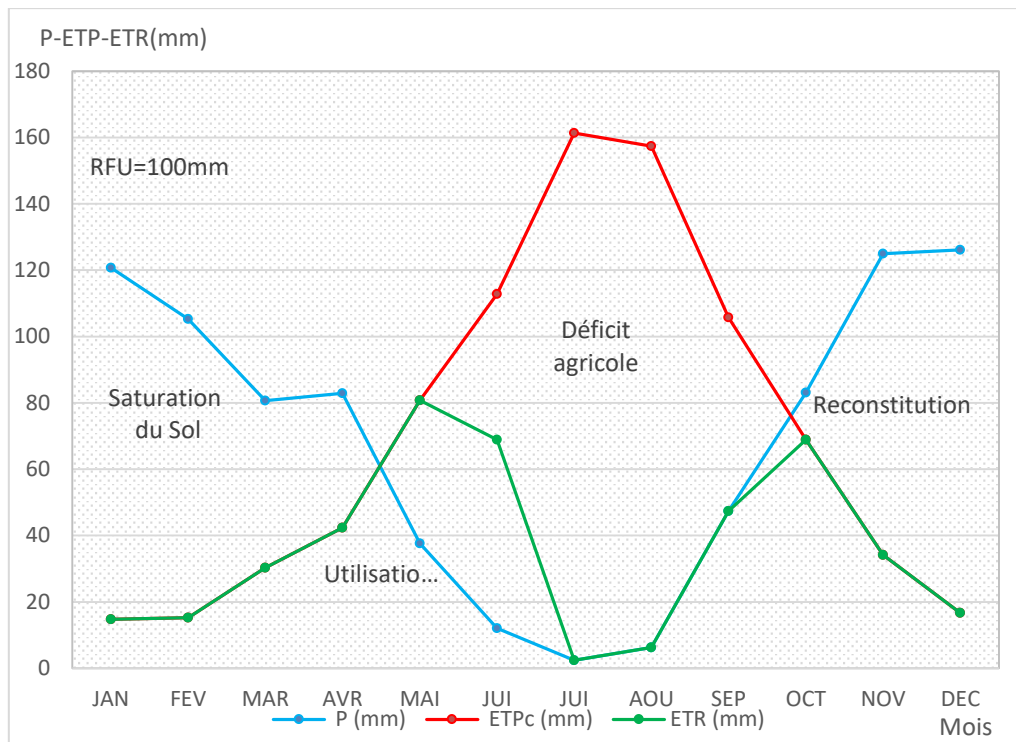


Figure 45. Bilan d'eau de la station de Ain Assel (période moyenne : 1990/91-2016/2017).

4 CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Dans ce qui suit, nous analyserons le bilan hydrologique, les variations de l'écoulement, annuelles et saisonnières ainsi que les écoulements extrêmes du bassin versant du Kébir-Est. D'après la carte des écoulements annuels de l'ANRH (2003), la moyenne annuelle de la lame d'eau écoulee varie entre 150 et 200 mm/an (cf. chapitre 1 figure 16). A l'amont du barrage de Mexa, cette lame dépasse les 200 mm par an au niveau des basses montagnes. A la limite Est et Sud du bassin versant, elle atteint les 350 mm sur le relief accidenté où des pluies orographiques et des orages sont fréquents sur les montagnes d'une altitude supérieure à 800 m.

4.1 Les apports annuels

Les données hydrométriques utilisées sont celles enregistrées à la station hydrométrique de Ain Assel (ANRH) sur 51 années d'observations (de 1947/48 à 2002/2003) avec des lacunes durant la période 1955-1960.

L'apport interannuel moyen mesuré est de 211.38 hm³, soit une lame d'eau moyenne écoulee de 311 mm.

L'apport maximum est de 463.47 hm³ enregistré durant l'année pluvieuse de 1986/1987 avec une pluviométrie annuelle de 1162,4 mm. Le minimum a été enregistré durant l'année

hypersèche 2001/2002 avec un apport de 14.89 hm³ et une pluviométrie annuelle de 489.3 mm. Cette année hypersèche a influencé l'apport interannuel moyen durant cette période.

Après la mise en eau du barrage de Mexa en 2003, les apports sont enregistrés au niveau du barrage par l'ANBT sur une période de 17 ans (2003/2004-2019/2020). L'apport moyen interannuel est de 380.12 hm³. Cet apport est nettement supérieur à celui observé au niveau de la station hydrométrique avant la réalisation du barrage de Mexa et celui de Barbara dans le territoire tunisien. Un maximum de 687 hm³ a été enregistré durant les années pluvieuses 2004/2005 et 2011/2012, avec une pluviométrie annuelle de 1150 mm et 1120 mm respectivement. L'apport le plus faible (121 hm³/an) a été enregistré à Mexa durant 2015/2016.

On constate qu'après l'année hypersèche, des années humides se succèdent, ce qui a nettement influencé l'apport interannuel.

Selon les données des apports annuels mesurés aux barrages, la lame d'eau moyenne écoulée aux barrages de Mexa, Bougous et Barbara est respectivement de 585, 310 et 472 mm par an, soit un apport moyen interannuel de 380.12, 70.4 et 83.65 hm³/an (tableau 33).

Tableau 33. Lame d'eau écoulée annuelle aux barrages de Mexa, Bougous et Barbara

| Bassins versant au barrage | Surface calculée (km ²) | Lame d'eau écoulée (mm) | Apport interannuel (hm ³ /an) |
|---|-------------------------------------|-------------------------|--|
| Sation Ain Assel (1947/48 -2002/2003) | 680 (ANBT) 678 (selon MNT) | 311 | 211.38 |
| Barrage Mexa (2003/2004-2019/2020). | 650 (ANBT) 651 (selon MNT) | 585 | 380.12 |
| Barrage Bougous (2011/12-2019/2020. | 236 (ANBT) 227 (selon MNT) | 298 310 | 70.4 |
| Barrage Barbara (Tunisie) (2000/01-2016/2017) | 177 (ONAGRI). 175 (selon MNT) | 502 | 87.9 |

4.2 Bilan hydrologique : station de Ain Assel et barrage de Mexa

Pour la série commune de précipitations et des apports disponibles sur 34 ans (de 1968/69 à 2002/2003) à la station de Ain Assel, avant la mise en eau des barrages, nous avons calculé le bilan moyen interannuel de l'écoulement du bassin dont la superficie est de 680 km² (tableau 34).

E (mm/an) = P (mm/an) - D (mm/an) ; Le Déficit d'écoulement $D = P - E$

Pluie moyenne = **819 mm/an**,

Lame d'eau écoulée = **305 mm/an** (Apport =207.42 hm³)

Déficit d'écoulement = **514 mm/an**.

Pour la série des apports mesurés au niveau du barrage de Mexa pour une période de 17 ans (2003/2004-2019/2020), le bilan hydrologique est le suivant :

Pluie moyenne = **869 mm/an**.

Lame d'eau écoulée = **585 mm/an** (Apport = **380,12 hm³**)

Déficit d'écoulement = **284 mm/an**.

Ce bilan exprime l'impact des précipitations sur l'abondance de l'écoulement mais aussi le déversement important des deux barrages de l'amont (Barbara et Bougous). A titre d'exemple durant les deux années humides 2011/2012 et 2014/2015, les deux barrages ont déversé un volume total de 233.32 hm³ et 252.33 hm³ respectivement (cf.chapitre 4).

La période entre 2003/04 et 2019/20 (17 ans) n'a pas connu des années extrêmement sèches. Elle est marquée par une succession d'années pluvieuses. Depuis la mise en eau du barrage de Mexa, le déficit d'écoulement moyen interannuel est de 284 mm (tableau 34).

Le coefficient d'écoulement est de 37 % pour la série de mesures de la station de Ain Assel. Ce coefficient atteint une valeur extrême de 67 % pour la série de mesures au barrage de Mexa sur 17 ans de (2003/2004 à 2019/2020) (tableau 34).

La valeur élevée du module annuel 12.20 m³/s du bassin versant au barrage de Mexa (651 km²) par rapport au modul annuel (6.57 m³/s) enregistré à la station de Ain Assel(680 km²) avant la mise en eau du barrage est due au fait que l'apport mesuré au barrage de Mexa est soutenu par les lâchers des barrages en amont. Ceci exprime le mode de fonctionnement des barrages en cascade dans cette région.

Tableau 34. Bilan hydrologique (station de Ain Assel et barrage de Mexa)

| Paramètres Hydrologique | Surface du Bassin versant (km ²) | P moyennes annuelles (mm) | Apport interannuel moyen (hm ³ /an) | Lame d'eau écoulée (mm) | Déficit d'écoulement (mm) | Coefficient d'écoulement C (%) | Module annuel (m ³ /s) |
|---|--|---------------------------|--|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Station Ain Assel (1968/1969-2002/2003) | 680 | 819 | 207.42 | 305 | 514 | 37 | <u>6.57</u> |
| Barrage de Mexa (2003/2004-2019/2020) | 651 | 869 | 380.12 | 585 | 284 | 67 | <u>12.20</u> |

4.3 Etude des apports mensuels

4.3.1 Variation des débits moyens mensuels au cours de l'année

Les relevés des débits à la station de Ain Assel sur une période de 65 ans (1947/48 -2002/2003) montrent des variations en fonction des principaux facteurs influençant l'écoulement : le régime des précipitations, la nature du bassin versant, l'infiltration, etc.

L'apport mensuel moyen maximum est enregistré durant la période pluvieuse de l'année. Les mois de janvier, février et mars enregistrent des valeurs extrêmes, soit 53.85, 55.59 et 40.08 hm³ respectivement ce qui représente 60 % du total annuel. En revanche, des apports très faibles sont enregistrés durant la période d'été ou sèche avec des valeurs allant de 0.74 à 1.65 hm³. L'irrégularité des apports mensuels pendant l'année hydrologique se traduit par des inondations durant la période pluvieuse (période des crues) et un stress hydrique durant la période sèche. Pour la période complète (1947/48 à 2019/2020), les débits moyens mensuels maximums correspondent aux mois les plus pluvieux. La période pluvieuse s'étend du mois de novembre au mois d'avril avec un débit moyen mensuel allant de 6.23 à 20.52 m³/s. Un pic de débit est enregistré durant le mois de février avec 23.25 m³/s. Le régime d'écoulement diminue pour atteindre un minimum durant le mois le plus sec de l'année, le mois d'août avec un débit moyen mensuel de 0.33 m³/s. Le module annuel est de 8.11 m³/s (débit moyen interannuel) (figure 46).

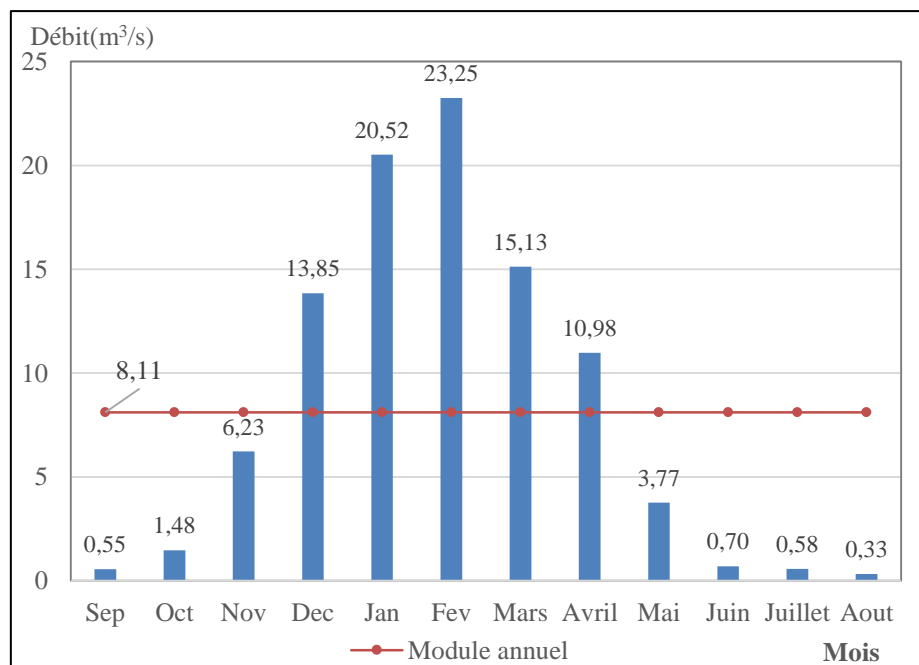


Figure 46. Variation des débits moyens mensuels à la station de Ain Assel (Période 1947/1948-2019/2020)

4.3.2 Coefficients mensuels de débits et régime saisonnier

Sur la période de 65 ans (1947/48 -2002/2003), les coefficients mensuels de débits à la station de Ain Assel représentent un régime saisonnier caractérisé par deux périodes (figure 47). La période des hautes eaux s'étend sur 6 mois (de novembre à avril). A partir du mois de mai le CMD enregistre une valeur inférieure à l'unité marquant le début de la saison des basses eaux jusqu'au mois d'octobre. Le graphique montre deux pics exprimant deux mois à écoulement élevé (janvier et février).

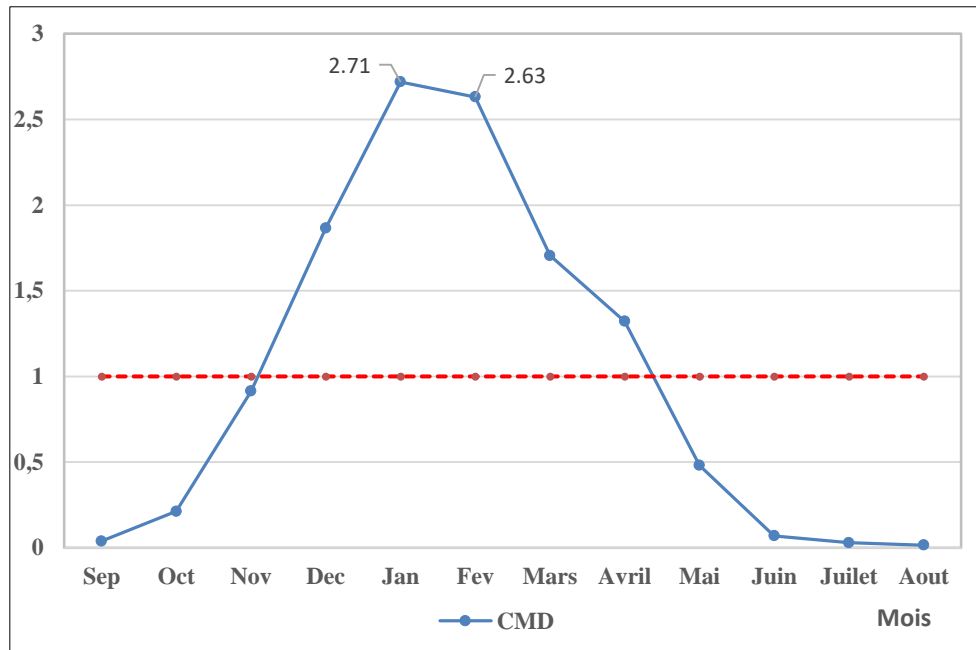


Figure 47. Coefficients mensuels des débits à la station de Ain Assel (période moyenne : 1947/1948-2002/2003).

Le module est de 6.75 m³/s pour la série hydrométrique mesurée à la station de Ain Assel (de 1947/1948- 2002/2003) avec un maximum de 18.35 m³/s durant le mois de février. Après la mise en eau du barrage de 2003/2004 à 2019/20, il atteint les 12.20 m³/s avec un maximum mensuel de 39.72 m³/s durant le mois de février. Ce débit est calculé à partir de l'apport journalier enregistré au barrage (tableau 35) :

$$Q_{\text{moy}} = \text{Apport journalier moyen (m}^3\text{)}/86400(\text{s})$$

Tableau 35. Module annuel enregistré à Ain Assel selon les différentes périodes

| Période | Module (m ³ /s) | Débit mensuel interannuel maximum (m ³ /s) | Apport mensuel maximum (hm ³ /mois) |
|---------------------|----------------------------|---|--|
| 1947/1948-2002/2003 | 6.75 | 18.35 (Janvier) | 49.15 (Janvier) |
| 2003/2004-2019/2020 | 12.20 | 39.72 (Février) | 96.75 (Février) |

On constate, que le mois des débits extrêmes s'est décalé de janvier et décembre avant les années 1980 à février à partir de cette date. A première vue, la saisonnalité du régime de débits est conditionnée par les apports pluviométriques hivernaux. L'écoulement des eaux devient important à partir du mois de novembre pour atteindre leur maximum au mois de février.

En février, on constate que 25 années sur 65 enregistrent une valeur égale ou supérieure à la moyenne interannuelle de ce mois (17.3 m³/s avant la mise en eau du barrage et 39.72 m³/s) durant la période d'exploitation du barrage) (figures 48 et 49).

Au cours des mois d'automne (de septembre à novembre), l'écoulement commence à remonter pour donner le départ à un nouveau cycle de crues. Les débits diminuent de façon graduelle, jusqu'au minimum qui survient pendant les mois d'été (de juin à août). La moyenne la plus basse a lieu au mois d'août.

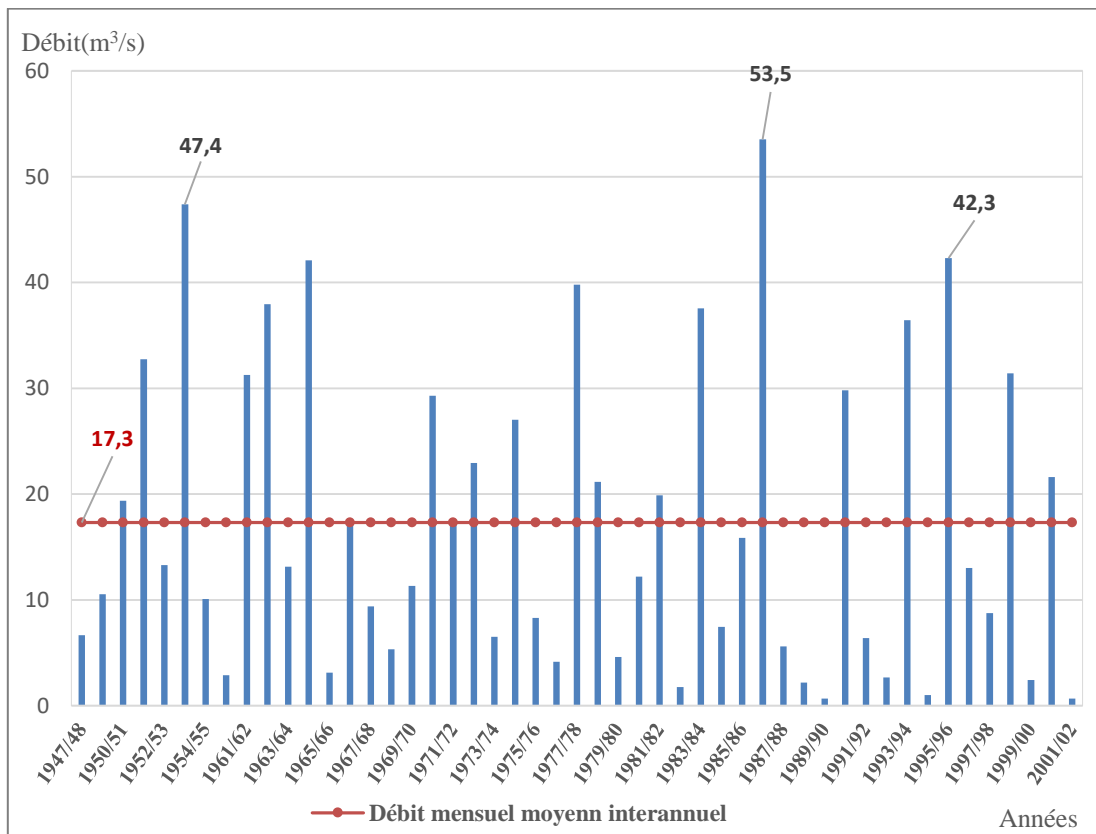


Figure 48. Variation interannuelle des débits du mois de février à la station de Ain Assel (Période 1947/1948 – 2002/2003).

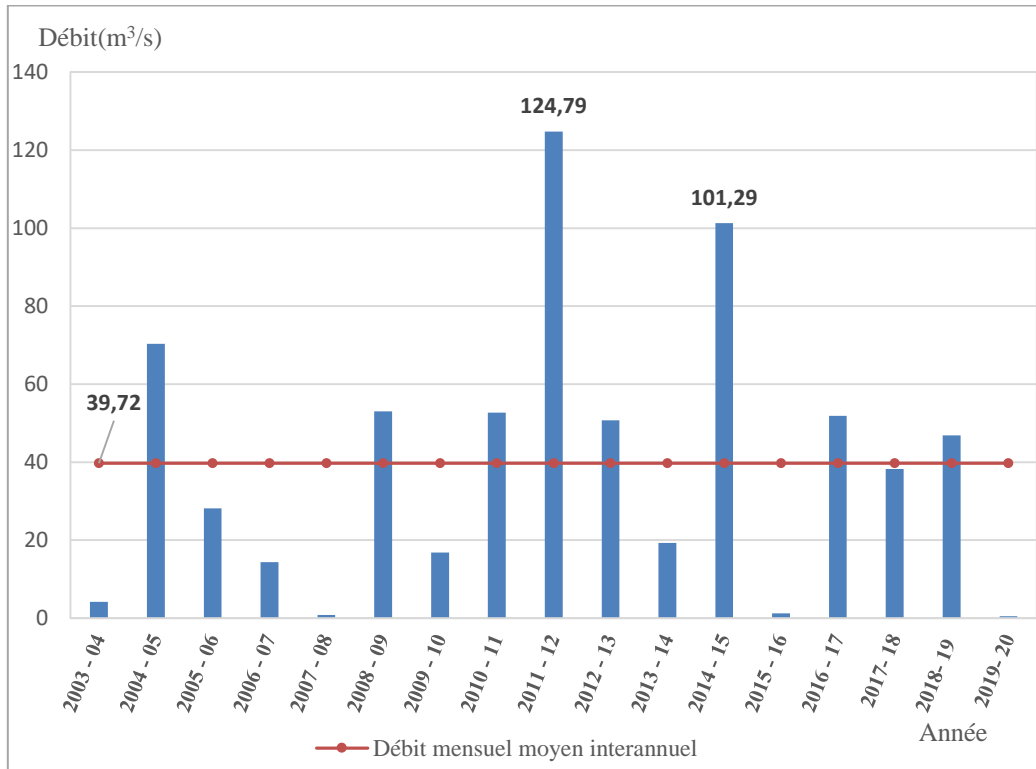


Figure 49. Variation interannuelle des débits du mois de février durant la période d'exploitation du barrage Mexa (Période 2003/2004-2019/2020).

4.4 Étude des débits moyens journaliers maximums

D'après la figure 50, les débits moyens journaliers maximums sont enregistrés durant la période pluvieuse s'étendant de décembre à avril ; ils représentent un taux de 88 % des débits moyens journaliers maximums de la série de 51 ans (de 1947/1948-2002/2003). Le mois de février représente 20 % des maximas enregistrés.

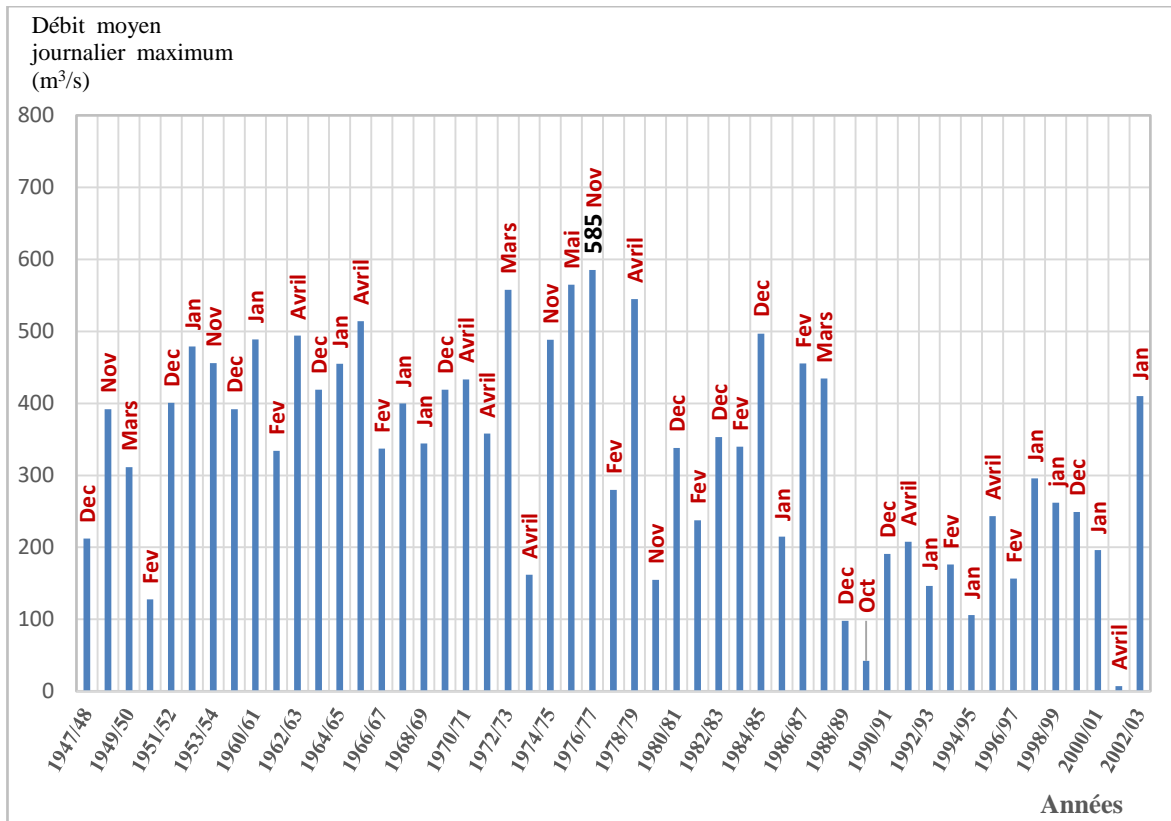


Figure 50. Variation selon le mois de l'année du débit moyen journalier maximum à la station de Ain Assel (Période 2003/2004-2019/2020).

La figure 51 montre la variation des débits moyens journaliers maximums pendant la période de 17 ans (2003/04-2019/20), au barrage Mexa ; avec des pics élevés, soit 1000 m³/s durant la crue exceptionnelle de février 2012.

Le mois des débits moyens journaliers maximums s'est décalé de janvier et décembre avant les années 1980 (avec seulement 4 années de maxima journalier enregistré durant le mois de février) à partir de cette date 9 années ont enregistré des maxima journaliers durant le mois de février.

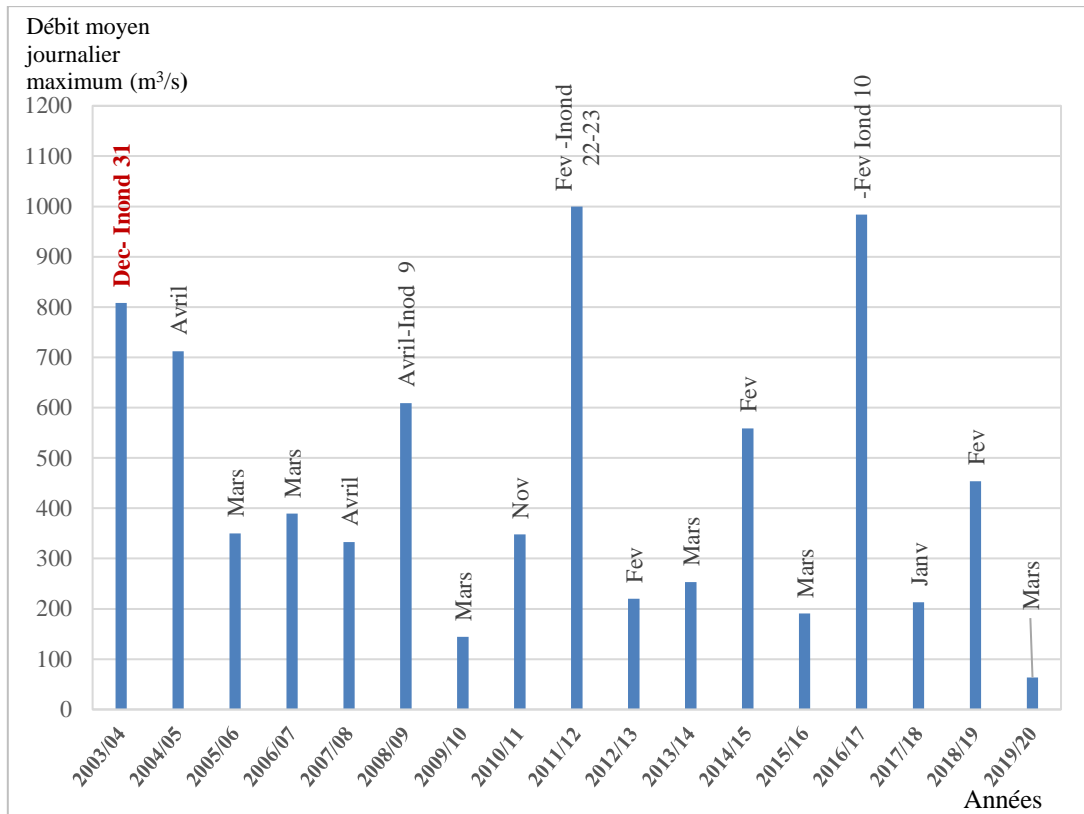


Figure 51. Variation selon le mois de l'année du débit moyen journalier maximum au barrage de Mexa (Période (2003/2004-2019/2020))

4.5 Les débits d'étiage

Le dictionnaire français d'hydrologie de surface (Roche, 1986) inscrit cet événement (l'étiage) dans un contexte annuel : "niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau en un point donné". Il est défini aussi comme le débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, qu'il ne faut pas confondre avec les basses eaux saisonnières habituelles, même s'il en est l'exacerbation.

Les étiages où les débits exceptionnellement faibles des cours d'eau, sont dus à des sécheresses prolongées qu'aggravent des températures élevées. Les cours d'eau, en l'absence de pluie, étant uniquement alimentés par les eaux souterraines, un appauvrissement des nappes au cours des années ou saisons précédentes, contribue aussi à la faiblesse des débits ainsi que les prélèvements d'eau, précisément multipliés en ces périodes critiques.

Pour les débits mensuels d'étiage, d'après Mebarki (2005), les calculs de QME (débit mensuel d'étiage ou débit moyen du mois dont la moyenne interannuelle est la plus faible) et de QMNA (débit mensuel minimal annuel ou minimum annuel des débits moyens mensuels) montrent, à l'évidence, que ce sont les QMNA qui prennent les valeurs les plus faibles car elles traduisent la moyenne interannuelle du débit mensuel minimal enregistré chaque année. Ce débit, en

fonction de la pluviosité, ne conserve pas forcément le mois du même nom pendant toutes les années d'observation (Mebarki, 2005).

Pour la série d'observation de 51 ans (1947/48 - 2002/2003) à la station de Ain Assel la variable QME est enregistrée essentiellement durant le mois d'août (132 l/s) et secondairement durant le mois de juillet (207 l/s) (tableau 36).

Pour le QMNA il est enregistré essentiellement au mois d'août pendant 35 années d'observation, au mois de septembre pendant 12 années, au mois de juillet pendant 3 années, et au mois de juin pendant une (1) seule année (figure 52).

Tableau 36. Débits mensuels d'étiage et modules annuels observés à la station de Ain Assel.

| Série d'observation | Surface (km ²) | Module annuel Q (m ³ /s) | Module annuel spécifique q (l/s/km ²) | Débit mensuel minimal annuel QMNA (l/s) | Débit mensuel d'étiage QME Juillet (l/s) | Débit mensuel d'étiage QME Août (l/s) | Débit mensuel spécifique d'étiage qME Août (l/s/km ²) |
|-------------------------|-------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| 1947/1948- 2002/2003 | 680(2) | 6.75 | 9.92 | 52 | 207 | 132 | 0.19 |

qME : Débit mensuel spécifique d'étiage ; il est calculé comme suit :

- $qME = QME_{(Août)} / Surface = 132 / 680 = 0.19$

- QME : débit mensuel d'étiage ou débit moyen du mois dont la moyenne interannuelle est la plus faible ;

- QMNA : débit mensuel minimal annuel ou minimum annuel des débits moyens mensuels.

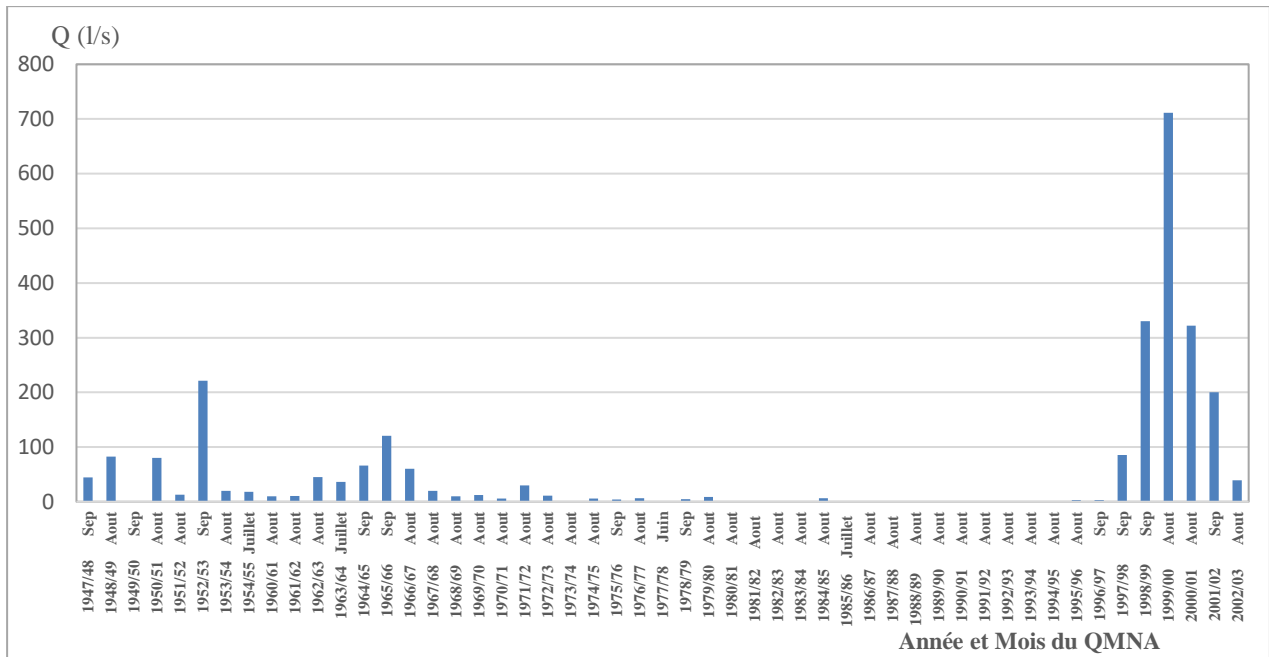


Figure 52. Variations annuelles du débit mensuel minimal annuel (QMNA) à la station de Ain Assel (période 1947/48 -2002/2003)

Sur une série de 41 ans (1961/1962 -2002/2003), on a recensé 1187 jours à sec répartis sur 6 mois (Juin, Juillet, Aout, Septembre, Octobre et Novembre). Le mois d’août est le mois le plus sec de l’année avec 457 jours à sec (15 mois sur 41 mois ont été sans écoulement), suivi par le mois de septembre avec 337 jours et juillet avec 190 jours à sec. L’année la plus sèche est celle de 1993 avec 5 mois et 20 jours successifs sans écoulement du 11 juin au 30 novembre 1993.

5 OCCUPATION DU SOL

La région d’El-Tarf constitue un milieu naturel remarquable par sa biodiversité exceptionnelle en Algérie et dans le Bassin Méditerranéen (Slimani et al, 2008). La combinaison des facteurs physico-géographiques tels que le climat, le relief, auxquels s’ajoute le facteur humain (mise en culture, défrichement et reboisement) conditionne le développement des formations végétale, qui jouent un rôle important dans l’écoulement superficiel et la protection des sols contre l’érosion.

Le couvert végétal est assez dense, cependant le surpâturage et les incendies sont à l’origine de la régression du couvert végétale depuis les années 90. Selon le bilan des incendies (Conservation des forêts de la wilaya d’El Tarf) durant la période allant de 2007 à 2017, une surface totale incendiée de 9023 ha (toute espèce confondue). L’année 2017 était

exceptionnelle, elle recense une surface de 2513.84 ha incendiée soit 28 % sur un total de 11 ans ([Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2017](#)).

Le couvert végétal du bassin versant de l'oued Kébir-Est est illustré par la carte d'occupation du sol (figure 53). La forêt couvre une superficie totale de 87625 ha dont 632 ha de vide soit 54.5 % de la superficie totale du bassin versant du Kébir-Est.

Parmi la flore forestière du bassin versant, quatre essences principales, dont deux peuplement naturels (le chêne liège, le chêne zéen) avec une surface de 33629 et 2701 ha respectivement soit 40% du total de la forêt. La forêt mixte est composée de ces deux espèces avec un sous-bois plus au moins dense. Sur les dunes consolidées et les grès fracturés couverts de formations quaternaires épaisses, le chêne liège montre une exigence hydrophile ([Affoun, 2006](#)). L'Eucalyptus est peu évolué dans l'aire d'étude, mais il couvre avec le pin maritime une surface de 18967 ha soit 21 % de la couverture forestière du bassin versant du Kébir-Est (tableau 37 et figure 53).

Tableau 37. Répartition de la superficie forestière par essence au niveau du bassin versant de la Bounamoussa ([Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022](#)).

| Espèces | Chêne liège | Chêne Zéen | Eucalyptus | Peuplier | Pins Maritime | Oléastre | Autres essence Orne-frene | Maquis | Sol nu | Total |
|------------------------|-------------|------------|------------|----------|---------------|----------|---------------------------|--------|--------|--------|
| Surface (ha) | 33 629 | 2 701 | 9 178 | 565 | 9 789 | 355 | 898 | 30 510 | 1 632 | 89 257 |
| % de la surface totale | 37.6 | 3 | 10 | 1 | 11 | 0.40 | 1 | 34 | 2 | 100 |

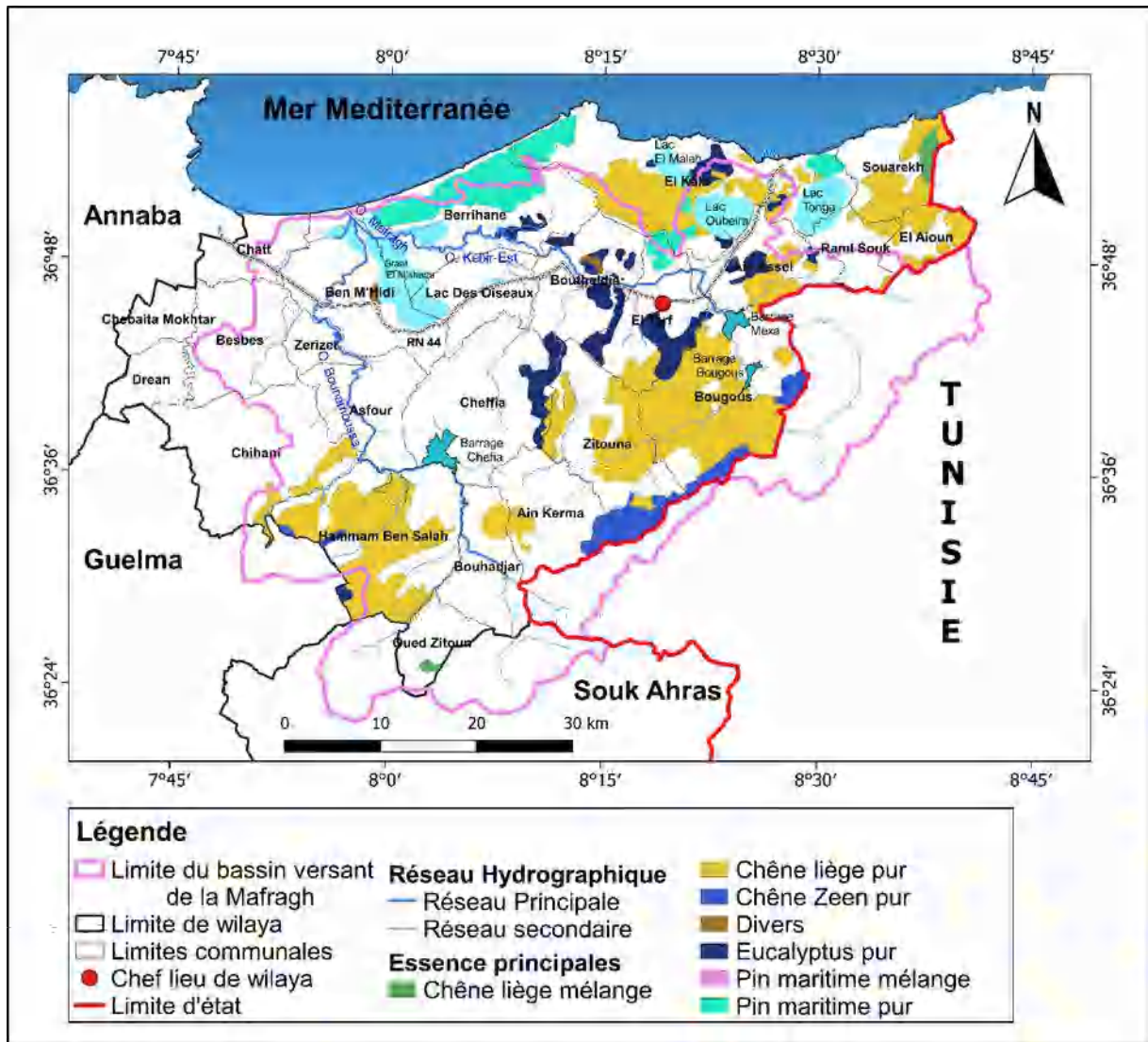


Figure 53. Répartition de la forêt par essence de la wilaya d'El Tarf conservation des forêts, 2022 ; complétée).

Conclusion

En symétrie avec le bassin de l'oued Bounamoussa, le contexte physiographique du bassin du Kébir-Est se caractérise par la dualité montagne -plaine.

Le relief accidenté des monts de la Medjerda caractérise le sud du bassin versant, les pluies orographiques des orages fréquents sont importantes. La station météorologique de Ain Draham (en territoire tunisien) enregistre des pluies journalières maximales extrême et exceptionnelle dépassant les 200 mm (2003 et 2004).

L'apport maximum pour une série d'observation de 51 ans (1947/48 à 2002/2003) , est de 463.47 hm³ enregistré durant l'année pluvieuse de 1986/1987 avec une pluviométrie annuelle de 1162,4 mm/an. Le minimum a été enregistré durant l'année hypersèche 2001/2002 avec un apport de 14.89 hm³ et une pluviométrie annuelle de 489.3 mm/an.

Après la mise en eau du barrage de Mexa, les apports sont enregistrés au niveau du barrage par l'ANBT sur une période de 17 ans (2003/2004-2019/2020), un maximum de 687 hm³ a été enregistré durant les années pluvieuses 2004/2005 et 2011/2012, avec une pluviométrie annuelle de 1150 mm et 1120 mm respectivement. L'apport le plus faible (121 hm³/an) a été enregistré à Mexa durant 2015/2016.

Les débits moyens journaliers maximums sont enregistrés durant la période pluvieuse s'étendant de décembre à avril, avec des pics élevés, soit 1000 m³/s durant la crue exceptionnelle de février 2012.

L'indigence d'écoulement durant la saison sèche est caractérisée par un débit mensuel minimal annuel durant plusieurs mois (le mois d'Août est le mois le plus sec de l'année avec 457 jours à sec (15 mois sur 41 mois ont été sans écoulement). 5 mois et 20 jours successifs sans écoulement du 11 juin au 30 novembre 1993 sans aucune goutte d'eau ont été enregistré durant l'année sèche de 1993.

Le sous bassin de Barbara est caractérisé par une sensibilité moyenne à forte à l'érosion (terrains dégradés ou faiblement recouverts par la végétation permanente) en raison de la nature du substrat (des sols argileux et marno-calcaires). Ce phénomène nécessite des mesures de protections pour limiter l'envasement des barrages à long terme malgré la couverture forestière importante dans la partie algérienne. .

L'étude des facteurs physiques et hydroclimatiques va être complétée par une analyse du fonctionnement hydrologique des barrages du système Mexa ([Chapitre 4](#)).

**CHAPITRE 4 : FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU
SYSTEME MEXA**

Introduction

Après avoir esquissé les grands traits physiographiques et climatiques du bassin du Kebir-Est en particulier à l'amont du site du barrage de Mexa, ce chapitre s'efforce d'analyser le fonctionnement hydrologique des barrages à travers les données des bilans d'eau disponibles (entrées, sorties et réserves).

La mise en exploitation en 2003 du barrage de Mexa sur l'oued Kébir-Est (capacité 30.27 hm³/an) est un élément majeur de l'objectif de gestion intégrée des eaux de la Mafragh, bassin transfrontalier très arrosé du Nord-Est d'Algérie.

Depuis sa mise en eau, le barrage de Mexa est confronté à des apports hydrologiques importants et très irréguliers. Il est également le réceptacle des lâchers des deux barrages, situés en amont : Bougous, dans la partie algérienne et Barbara dans la partie tunisienne du bassin (figure 54).

Le but de ce chapitre est l'analyse des apports hydrologiques au barrage de Mexa en relation avec le bilan de régularisation, la gestion et les déversements des volumes excédentaires en périodes de crues.

En années pluvieuses, les déversements effectués à partir de Mexa peuvent être très élevés en particulier de décembre à avril. Ils constituent un facteur d'aggravation des inondations sur les habitations et les terres agricoles en aval.

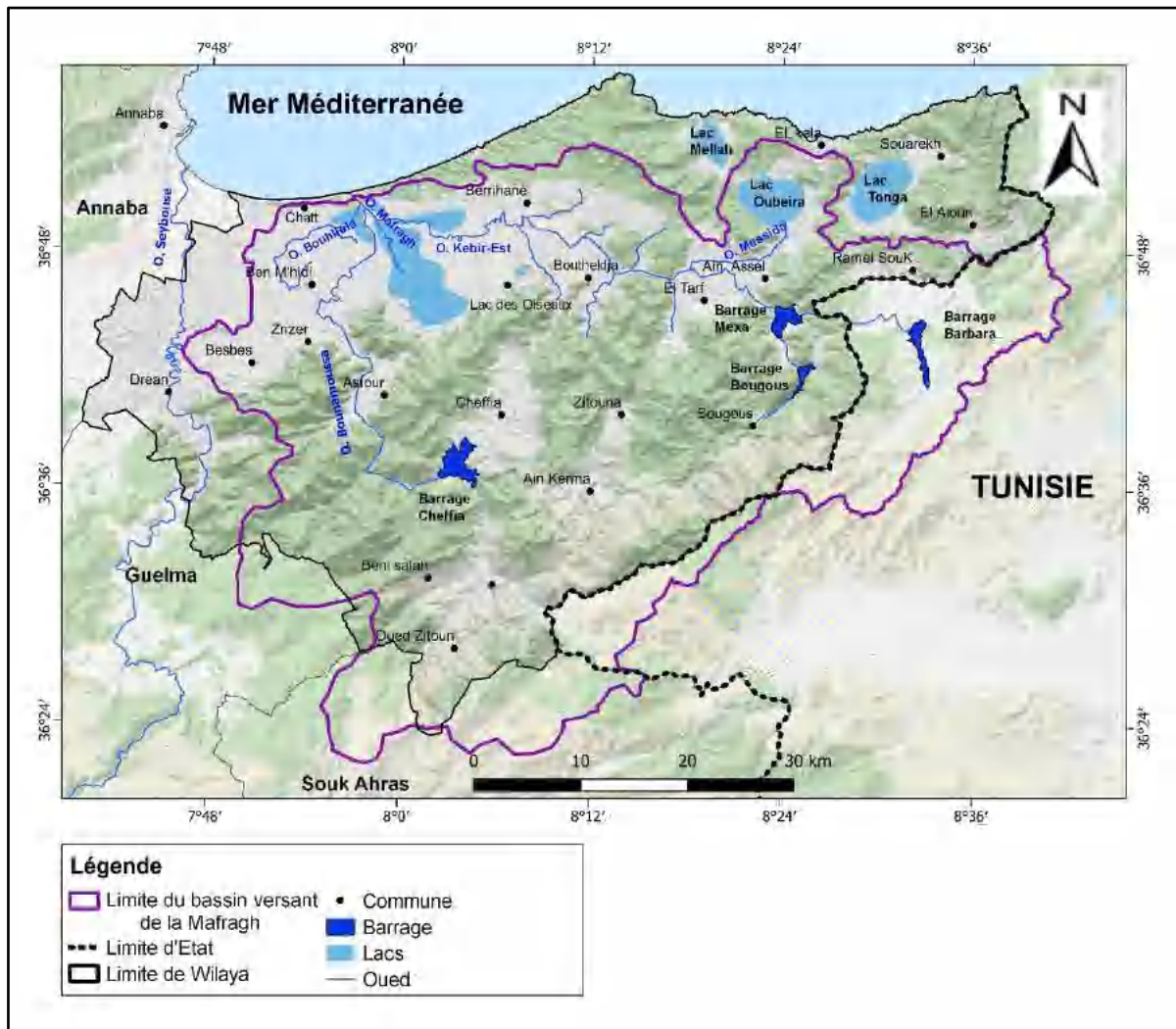


Figure 54. Localisation des barrages Mexa, Bougous et Barbara

1 CARACTERISTIQUES DES AMENAGEMENTS : LES BARRAGES MEXA, BOUGOUS ET BARBARA

1.1 Historique des barrages dans le bassin du Kébir-Est

-Le barrage de Mexa est situé à 70 km à l'Est de la ville de Annaba et à 10 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya d'El Tarf. Il a été réalisé entre 1994 et 2002. L'objectif de cet ouvrage est l'alimentation en eau potable des villes de Annaba, El-Tarf, El Kala et Bouteldja. Suite au réaménagement du barrage de Mexa (Mexenna selon l'ancienne appellation), un deuxième barrage a été construit sur l'oued Bougous.

Le projet de réalisation du barrage de Mexa a été inscrit en 1982 pour un délai de réalisation de 44 mois avec le groupement espagnol « ENHUA », sur la base de l'étude d'A.P.D réalisée par Hydrotechnic Corporation USA. C'était un barrage de type enrochement à la cote 85 m NGA étanche à noyau en argile. D'une capacité totale de 295 hm³ et un volume régularisé de 175 hm³/an (ANBT, 2017).

En 1984, l'Entreprise Nationale Hydrotechnique (ex. ENRB) a été désignée suivant le marché avec ENHUA espagnol pour la réalisation du projet. Mais, après 60 mois (1989), le taux de réalisation n'était que 5% en raison des difficultés que rencontrait l'entreprise pour l'exécution des travaux de remblais en enrochements (d'après la Monographie sur l'aménagement du barrage de Bougous (MRE- ANBT, 2011).

En 1990, une décision d'adaptation du projet pour le rendre compatible avec les capacités de l'entreprise a été prise : changement des enrochements par des remblais en alluvions. L'étude d'exécution ENHYD- Alger en association avec Hydrostory-Bulgarie a été achevée en 1991.

Suite à ces retards d'un côté, et de l'autre il y'a eu la manifestation de la partie tunisienne en 1991 à propos du plan d'eau du lac du barrage qui devrait inonder environ 180 ha du territoire tunisien, un réaménagement du projet a été retenu. Il ramène la cote de la retenue normale de 78 m NGA à 58 m NGA soit une réduction de la réserve d'environ 248 hm³ (la capacité totale initiale de 295 hm³ a été ramenée à 31.27 hm³). Le volume régularisé annuel est passé de 175 à 47 hm³.

Pendant cette période de retard (de 1982 à 1994) de lancement des travaux de réalisation du barrage de Mexa, les tunisiens ont procédé à la construction du barrage de Barbara, achevé en 1999 (ONAGRI, 2019).

La construction du barrage de Mexa s'est déroulée entre 1994 et 2000. La mise en eau a été effectuée en 2003 selon l'ANBT (ANBT, 2017).

Après la mise en eau du barrage, des travaux de confortement ont été réalisés : le contrôle de stabilité par mesures topo-métriques de haute précision, réalisé par le bureau d'études Hydro-consulte, et le Plan ORSEC élaboré entre 2006 et 2010 par le bureau d'études ENERGOPROJECT (ANBT, 2010).

Le barrage de Bougous est situé à 10 km en amont de Mexa, à 20 km de la ville d'El Tarf et à 80 km de Annaba. Il contrôle la partie Sud-Ouest de l'amont du bassin versant de Mexa. Ce barrage a été construit entre 2005 et 2010 et mis en exploitation en 2011 (MRE- ANBT, 2011).

Le projet de Bougous avait été prévu en complément du barrage de Mexa pour répondre aux besoins en eau des wilayates de Annaba et El Tarf (MRE- ANBT, 2011).

Un avant-projet détaillé (APD) avait été élaboré par le bureau d'étude ENHYD (Algérie) en 1997. Le développement du projet a subi trois étapes correspondant aux modifications du volume régularisé prévu, selon l'étude d'APD (Rapport de synthèse Volume-IV, Bougous-Mission. III, 1997). Initialement, l'Agence nationale des barrages avait fixé une consommation de 90 hm³ (volume régularisé net). En considération de cette exigence, ont été étudiés les sites de barrage de I à V. Les avantages ont été portés au site de Bougous II, site actuel du barrage. Pour d'autres raisons économiques, l'ANBT a arrêté cet aménagement hydraulique à une Cote de Retenue Normale de 139 m (Rapport de synthèse Volume-IV, Bougous-Mission. III, 1997).

-Le barrage de Barbara (ou Zouitina), est situé à 15 km au Sud-Ouest de Aïn Draham (Gouvernorat de Jendouba) en Tunisie.

C'est un barrage réalisé entre 1995 et 1999, financé par la Banque Africaine de Développement (Rapport final de la banque africaine de développement, 2001). Situé à environ 20 km à vol d'oiseau au Sud-Est du barrage de Mexa., cet aménagement a pour objectif de contribuer au développement économique et social en milieu rural en Tunisie. Il est interconnecté avec le barrage de Sidi Salem à travers le barrage de Bou Heurthma. Les eaux du barrage sont pompées pour l'amélioration de la qualité de l'eau du barrage de Sidi Salem, situé sur la vallée de la Medjerda (Gouvernorat de Beja) et ce, par le transfert d'un volume de 80 hm³ d'eau annuellement (Gafrej, 2017 ; ONAGRI, 2019).

1.2 Caractéristiques des aménagements

1.2.1 Caractéristiques hydrotechniques des barrages algériens (Mexa et Bougous)

Le barrage de Mexa est un barrage de type remblai alluvionnaire. Ses caractéristiques sont les suivantes, selon la fiche technique du barrage (ANBT, 2010 ; ANBT, 2017) :

-**Une digue** zonée en matériaux alluvionnaires, d'une cote en crête de 60 m et d'une longueur de 402 m (longueur en crête). La cote de terrain au fond de l'oued est de 30 m (photo 12).

-**Une retenue** d'une capacité de 30.27 hm³ (bathymétrie de 2004) à la cote de retenue normale (CNR) de 52 m, alors que la capacité initiale était évaluée à 47 hm³. La cote des plus hautes eaux (PHE) est de 58.33 m. Le volume régularisé est de 47 hm³/an. Le volume utile est de 24 hm³. La surface du lac de la retenue est de 518.7 ha à la cote 52 m.

-**Un évacuateur de crue**, constitué d'un déversoir latéral à seuil libre avec un coursier et un saut de ski. L'évacuateur a une longueur de 60 m et une capacité d'évacuation de 1800 m³/s pour la crue de projet d'une période de retour de 100 ans (photos 12 et 13).

-**Une vidange de fond** : le puits de la vidange de fond est équipé d'une vanne batardeau, une vanne de garde de type wagon, d'une vanne de réglage de type secteur et de deux (2) vannes de dévasement.

-**Un tunnel de prise d'eau** d'une longueur de 327 m, de 4,6 m de diamètre avec un débit maximal de 75 m³/s. Il est composé de deux conduites de prise d'eau de 1250 mm de diamètre.



Photo 12 : Digue et évacuateur de crue du barrage de Mexa. (ANBT Mexa, 2017).



Photo 13 : Evacuateur de crue du barrage de Mexa. (ANBT Mexa, 2017).

Les caractéristiques hydrologiques du barrage de Mexa sont résumées dans le tableau 38.

Tableau 38. Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Mexa (ANBT, 2017 ; ANBT, 2010 et Rapport de Synthèse-Volume IV, 1997).

| | |
|--------------------------------------|---|
| Digue | Cote de la crête (niveau d'arase 0) : 60 m Longueur en crête : 402 m Largeur en crête : 7 m Hauteur de la digue à partir du terrain (fond de l'oued) : 30 m Hauteur de la digue à partir des fondations : 40 m La cote de terrain au fond de l'oued est de : 30 m |
| Retenue (photo 14) | Cote Retenue Normale RN : 52 m Volume à CRN (bathymétrie de 2004) : 30.27 hm ³ Cote Plus Haute Eaux PHE : 58.33 m Cote maximale : 59 m Volume PHE (bathymétrie 2004) : 68.06 hm ³ Cote de la crête (avec parapet NGA) : 61 m Volume régularisé : 47 hm ³ . Capacité initiale à la côte C.R.N : 47 hm ³ Tranche morte : 16.37 hm ³ (50 ans) Pente du parement amont de la digue : 2.0/1.0 Pente du parement aval de la digue : 1.8/1.0 Capacité maximale de la prise d'eau : 10 hm ³ Envasement annuel : 0,11 hm ³ /an. Evaporation moyenne annuelle : 7 hm ³ /an Evaporation moyenne annuelle : 2 hm ³ /an (après la mise en eau du barrage de Bougous). Surface du lac de la retenue à la CRN : 518.7 ha |
| Evacuateur de crue (photo 15) | Longueur du déversoir : 60 m Capacité de l'évacuateur de crue maximale : Crue de projet : 1800 m ³ /s |
| Vidange de fond | Un puits de vidange de fond équipé de : - une vanne batardeau, - une vanne de garde de type wagon, - une vanne de réglage de type secteur et deux (2) vannes de dévasement avec un débit de 200 l/s |
| Tour de prise d'eau | Un tunnel de prise d'eau et de vidange de fond d'une longueur de 327 m et d'un diamètre de : 4.6 m Deux conduites de prise d'eau d'un diamètre de : 1250 mm |

- Le barrage de Bougous est de type remblai avec noyau vertical en argile (photo 14). Il comprend les ouvrages suivants (ANBT, 2011) :

- Une digue, y compris les ouvrages nécessaires à la construction (batardeau, galerie de dérivation).
- Un voile d'étanchéité

- Une galerie de dérivation transformée en galerie équipée d'une conduite de prise d'eau, en galerie de vidange de fond et en galerie d'exploitation.
- Une tour de prise d'eau avec une passerelle
- Un évacuateur de crues avec un pont (photo15)
- Les pistes d'accès.

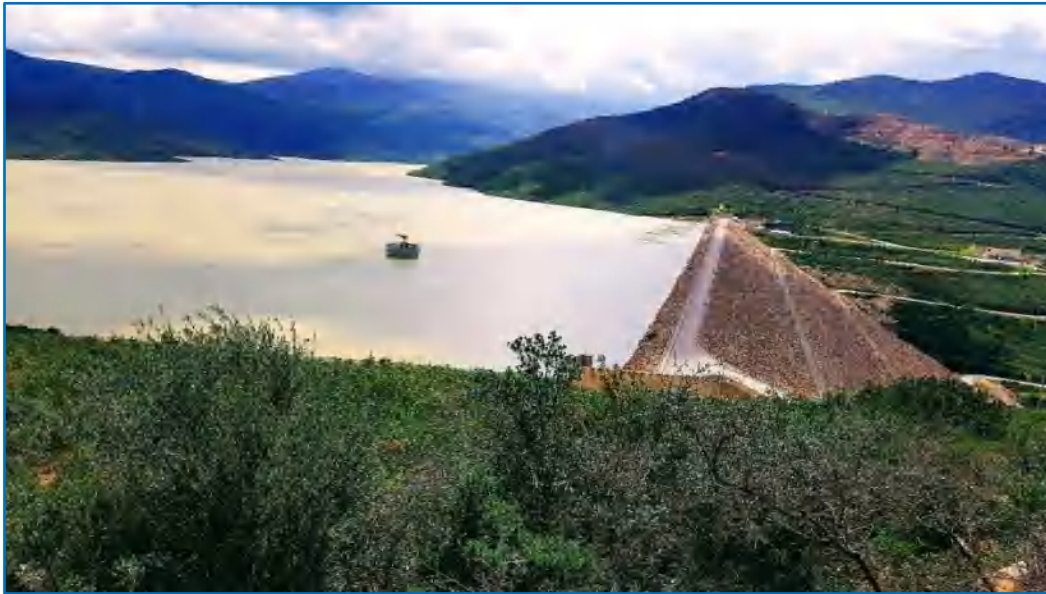


Photo 14: Vue générale du barrage de Bougous. (ANBT, 2015).



Photo 15: Evacuateur de crue du barrage de Bougous (ANBT ,2011)

Les caractéristiques hydrotechniques du barrage de Bougous sont portées dans le tableau 39.

Tableau 39 : Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Bougous (ANBT, 2011)

| | |
|--------------------------------------|---|
| Hydrologie | Apport interannuel : 70.4 hm ³ Débit moyen annuel : 2.20 m ³ /s Evaporation moyenne annuelle : 1098 mm. |
| Digue | Cote de la crête : 143.60 m Longueur en crête : 636 m Largeur en crête : 9 m Hauteur de la digue au-dessus de fondation : 71.40 m Hauteur de la digue à partir des fondations : 40 m |
| Retenue | Cote Retenue Normale RN : 139 m NGA Capacité initiale à la côte C.R.N : 66.2 hm ³ Volume à CRN (bathymétrie mars 2012) : 65.2 hm ³ Cote Plus Haute Eaux PHE : 142.2 m Cote maximale : 143.6 m Volume utile : 55 hm ³ Niveau minimum d'exploitation : 102.8 m Tranche morte : 10.20 hm ³ en 50 ans Envasement annuel : 0.204 hm ³ /an Evaporation moyenne annuelle : 2 hm ³ /an Surface du lac de retenue à la CRN : 238.6 ha |
| Evacuateur de crue (photo 15) | Largeur du déversoir : 100 m Longueur du coursier : 200 m Largeur du coursier : 20 m Longueur de la galerie : 283 m Crue maximale de la crue projetée T=10000 ans : 1300 m ³ /s |
| Tour de prise d'eau | Hauteur du puits vertical du au-dessus de la fondation : 76 m Diamètre de la tour : 10 m Hauteur de la tour avec fondation : 85 m 4 vannes à glissière : 4 prises étagées (93 m, 103 m, 113 m et 123 m) 4 vannes papillons d'un diamètre de : 2 fois Ø1200 mm Débit de prise maximal : 2.5 m ³ /s Vidange de fond : 2 vannes wagon et un lot de blindage. Conduite de prise d'eau : 2 conduites 1200 mm, d'une longueur de 2×450 m. Galeries d'injection et de drainage sous le noyau en argile d'une longueur de : 750 m. |

Concernant les crues et selon la monographie du barrage de Bougous, la méthode d'ALEXEEV, est traitée comme méthode représentative pour les crues du barrage de Bougous, en adoptant les caractéristiques suivantes des crues (tableau 40) :

Tableau 40. Caractéristiques des crues selon la méthode adoptée d’ALEXEEV(ANBT, Rapport de synthèse Volume-IV, Bougous-Mission. III, 1997).

| Probabilité | Période de retour (années) | Débit de crue (m ³ /s) | Volume de la crue (hm ³) |
|-------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 0.9999 | 10000 | 1300 | 57.1 |
| 0.999 | 1000 | 960 | 35.43 |
| 0.99 | 100 | 630 | 19.18 |
| 0.95 | 20 | 415 | 10.92 |
| 0.90 | 10 | 340 | / |

Les caractéristiques hydrologiques qui ont été prises en compte pour le dimensionnement du barrage de Bougous sont les suivantes :

- La crue de chantier est de 415 m³/s
- La crue de projet est de 1300 m³/s (crue entrante : 1245 m³/s)
- La crue maximale probable est de 1923 m³/s.

1.2.2 *Caractéristiques du barrage tunisien de Barbara*

D’une capacité totale initiale de 74.82 hm³, sa capacité utile actuelle est de 64.7 hm³ (ONAGRI, 2019). L’apport moyen annuel est de 83.65 hm³/an. Le volume régularisé calculé est de 80 hm³/an et le débit maximum évacué est de 1370 m³/s (tableau 41). Le lac du barrage occupe une surface de 283 ha à la cote de retenue normale CRN = 182 m (ONAGRI, 2019) (photo 16).

Tableau 41. Caractéristiques hydrologiques du barrage de Barbara (ONAGRI, 26/09/2019).

| Apport Moyen annuel (hm ³) | Capacité totale initiale (hm ³) 2019 | Capacité utile actuelle (hm ³) 2019 | Volume régularisé calculé (hm ³) | Débit Max évacué (hm ³) | Envasement de la retenue | | | |
|--|--|---|--|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | | | | | Mesuré (hm ³) 2019 | Annuel (hm ³ /an) | Pourcentage d’envasement %. 2019 | Erosion du BV (mm/an) |
| 83.65 | 74.82 | 64.70 | 80 | 1370 | 10.12 | 0.78 | 13.53 | 4.40 |



Photo 16: Vue générale du lac du barrage de Barbara et de son bassin versant
<https://www.google.com/imgres>

Selon Frigui (2017) ; « la Tunisie, depuis 1999, régularise un volume de $83 \text{ hm}^3/\text{an}$ à partir du barrage de Barbara, ce qui a réduit les apports véhiculés annuellement vers l'Algérie à $137 \text{ hm}^3/\text{an}$ au lieu de $220 \text{ hm}^3/\text{an}$. En réalité, les bilans des échanges d'eau dissimulent la variabilité de l'écoulement et peuvent être différents selon l'approche adoptée et la qualité des données d'observation étudiées ».

Une commission technique mixte de l'hydraulique et de l'Environnement (C.T.M.H.E) est théoriquement chargée du suivi des aménagements existants et des aménagements en cours de réalisation ou d'étude dans les bassins versants de la Medjerda et de l'oued El Kébir-Est (Barbara, Mellila), l'annonce des crues et la protection des aménagements contre la pollution (Frigui, 2017).

2 BILANS EN EAU ET REGULARISATION DES APPORTS AUX BARRAGES

L'analyse du fonctionnement hydrologique du barrage de Mexa est réalisée à travers les données des bilans d'eau disponibles (entrées, sorties, réserves), fournies par l'ANBT. Le bilan de régularisation dépend également du fonctionnement et des lâchers des deux barrages (Bougous et Barbara) situés en amont.

2.1 Bilan d'eau du barrage de Mexa.

2.1.1 Courbe de remplissage et données du bilan 2003/2004-2016/2017

Un levé bathymétrique de la retenue du barrage de Mexa a été effectué par l'ANBT en 2004, une année après la mise en eau du barrage). D'où la courbe de remplissage (hauteur-surface-

volume d'eau) réalisée d'après les données de l'étude de l'APD de la prise sur oued Kébir-Est (ANBT, HPO et CENOR, 2017) (figure 55). Le taux d'envasement initial a été estimé à 0.11 hm³/an.

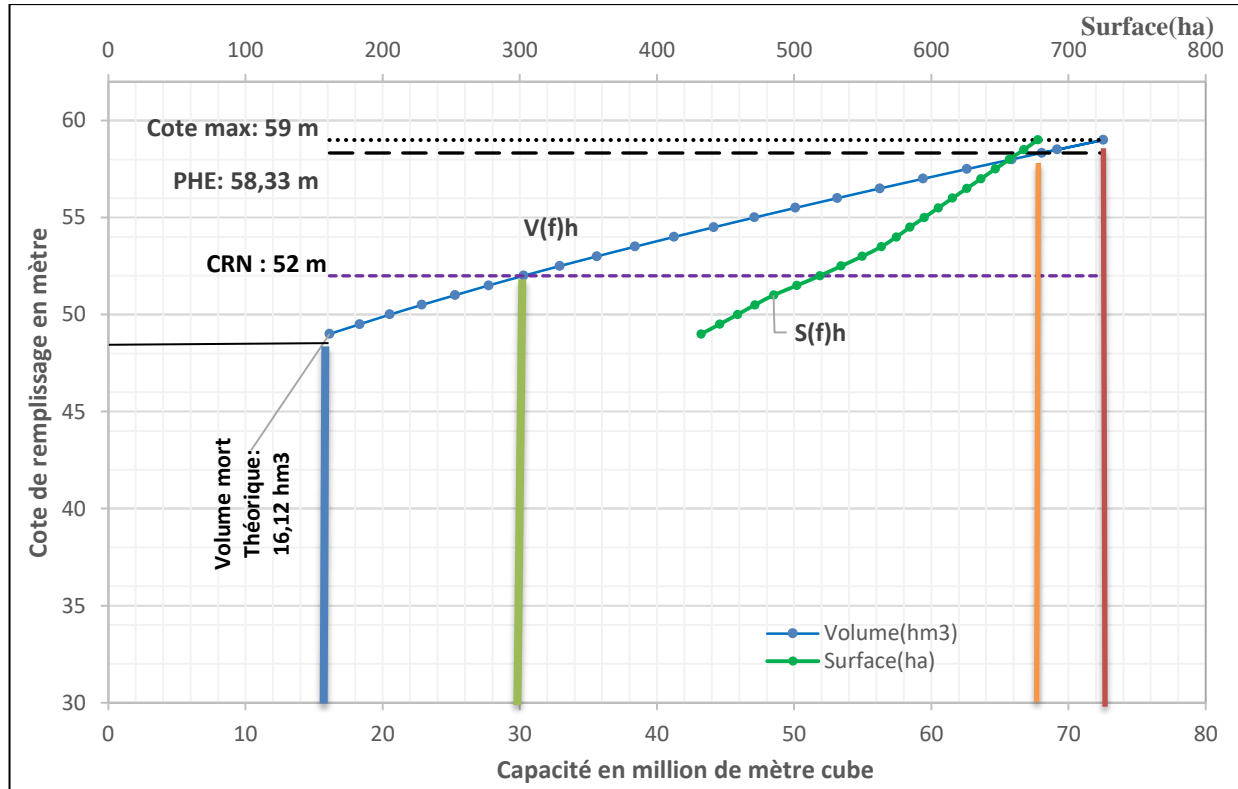


Figure 55. Courbe Capacité-Surface-Hauteur du barrage de Mexa (bathymétrie de 2004).

Les données du bilan d'eau fournies par l'ANBT couvrent une période de 17 ans (2003/2004-2019/2020) (tableau 42).

Pour une capacité initiale de la retenue de 47 hm³, la réserve de fin d'année varie entre 20 et 29 hm³/an soit un taux de remplissage qui varie entre 67 et 96 % à l'exception de l'année 2011/2012 qui a enregistré une faible réserve de 16.17 hm³ soit un taux de remplissage de 53% (figure 56).

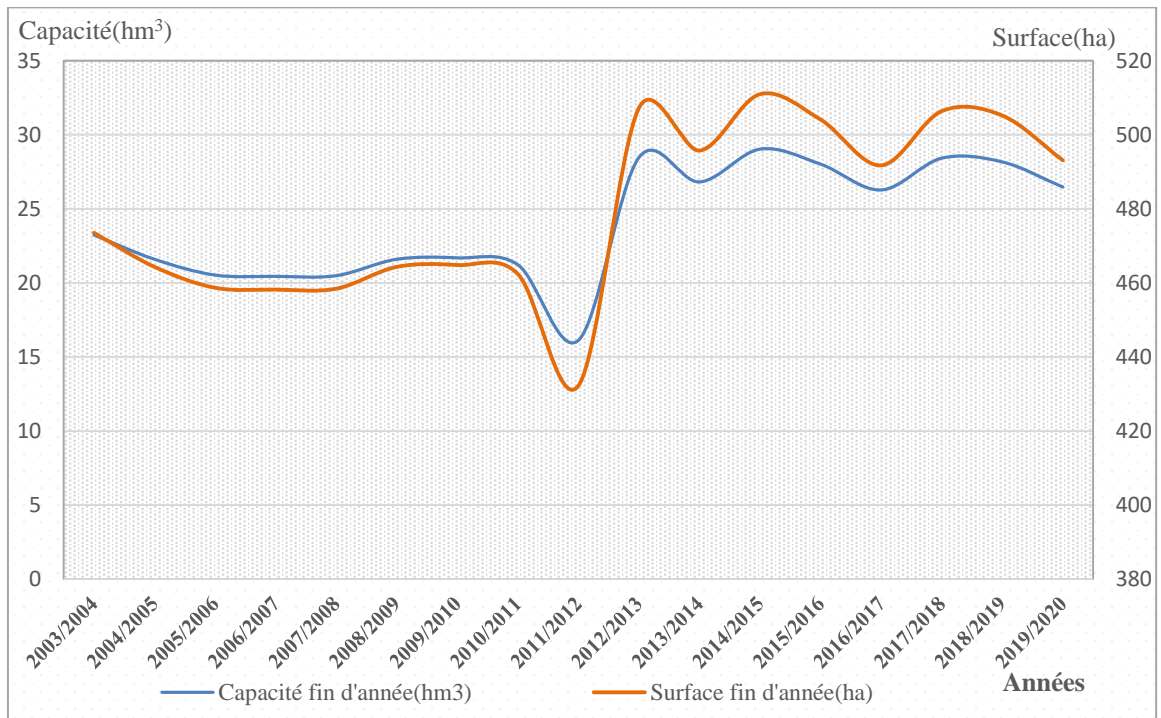


Figure 56. Variation de la surface du lac de la retenue en fonction de la capacité de fin d'année.

Tableau 42. Bilan d'eau du barrage de Mexa de la période : 2003/2004-2019/2020 (Capacité de la retenue : 30.27 hm³) (ANBT, 2020)

| Année | Début d'année | Durant l'année | | | | | | Fin d'année | | Lâchers à partir de : | | |
|-----------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|---|---|--------------------|
| | Capacité (Hm ³) | Consom- mation AEP | Vidange de fond | Déversoir | Evaporation | Défluent | Affluent (Apport régularisé) | Capacité (Hm ³) | Gain /perte de capacité (Hm ³) | Bougous : Déversement +Vidange de fond | Barbara : Déversement +dévasement | |
| | | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) | | | (Hm ³) | (Hm ³) | (Hm ³) |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | 7 | 8 | 9 |
| 2003/2004 | 26,37 | 14,72 | 2,09 | 419,443 | 7,81 | 444,07 | 442,56 | 23,24 | -3,14 | | 79,92 | |
| 2004/2005 | 23,24 | 14,97 | 5,15 | 659,305 | 8,86 | 688,28 | 686,942 | 21,60 | -1,64 | | 144,58 | |
| 2005/2006 | 21,60 | 26,36 | 0,00 | 282,958 | 7,49 | 316,81 | 315,46 | 20,53 | -1,07 | | 66,80 | |
| 2006/2007 | 20,53 | 25,84 | 4,47 | 237,981 | 3,70 | 293,00 | 288,08 | 20,44 | -0,09 | | 44,02 | |
| 2007/2008 | 20,44 | 28,67 | 0,00 | 141,883 | 4,69 | 175,24 | 175,24 | 20,49 | 0,04 | | 26,76 | |
| 2008/2009 | 20,49 | 29,51 | 11,12 | 586,284 | 3,18 | 632,43 | 634,16 | 21,60 | 1,11 | | 110,33 | |
| 2009/2010 | 21,60 | 32,13 | 0,33 | 177,25 | 3,71 | 213,42 | 213,19 | 21,69 | 0,09 | | 39,61 | |
| 2010/2011 | 21,69 | 31,65 | 10,60 | 300,983 | 3,08 | 346,31 | 344,84 | 21,23 | -0,46 | | 67,11 | |
| 2011/2012 | 21,23 | 40,08 | 56,40 | 590,989 | 3,16 | 690,64 | 687,01 | 16,12 | -5,10 | 85,78 | 147,54 | |
| 2012/2013 | 16,12 | 46,82 | 60,35 | 169,355 | 1,90 | 278,42 | 290,20 | 28,47 | 12,35 | 49,55 | 58,32 | |
| 2013/2014 | 28,47 | 54,99 | 17,35 | 254,609 | 2,12 | 329,08 | 324,99 | 26,82 | -1,66 | 60,57 | 46,04 | |
| 2014/2015 | 26,82 | 53,93 | 19,16 | 597,664 | 2,78 | 673,54 | 685,03 | 29,03 | 2,22 | 124,38 | 127,95 | |
| 2015/2016 | 29,03 | 53,61 | 0,67 | 66,698 | 1,68 | 122,67 | 121,53 | 28,02 | -1,02 | 15,45 | 33,38 | |
| 2016/2017 | 28,02 | 52,75 | 1,40 | 123,78 | 0,93 | 178,85 | 178,00 | 26,27 | -1,75 | 21,57 | 25,76 | |
| 2017/2018 | 26,27 | 51,56 | 38,89 | 292,03 | 1,78 | 384,25 | 386,36 | 28,42 | 2,15 | 45,69 | | |
| 2018/2019 | 28,42 | 53,53 | 34,93 | 450,01 | 2,23 | 540,69 | 539,95 | 28,17 | -0,25 | 137,64 | | |
| 2019/2020 | 28,17 | 58,18 | 12,98 | 76,85 | 1,95 | 149,96 | 148,43 | 26,47 | -1,70 | 25,07 | | |

2.1.2 Variabilité des affluents et des défluent de Mexa

L'apport moyen annuel observé sur 17 ans (2003/2004-2019/2020) est estimé à 380.12 hm³/an pour une lame de précipitation moyenne interannuelle estimée à 869 mm (figure 57).

Le maximum annuel a été enregistré durant l'année humide 2004/2005 avec 686.94 hm³/an (écart à la moyenne : +80 %) et un total annuel de précipitations de 1150.6 mm/an. Ce volume représente près de 2 fois l'apport interannuel moyen produit par le bassin versant durant la période étudiée. L'apport mesuré de l'année sèche de 2015/2016 est descendu à 106 hm³.

Des valeurs extrêmes sont enregistrées comme c'est le cas des années hydrologiques hyper humides de 2004/2005, 2011/2012 et 2014/2015 (figure 57).

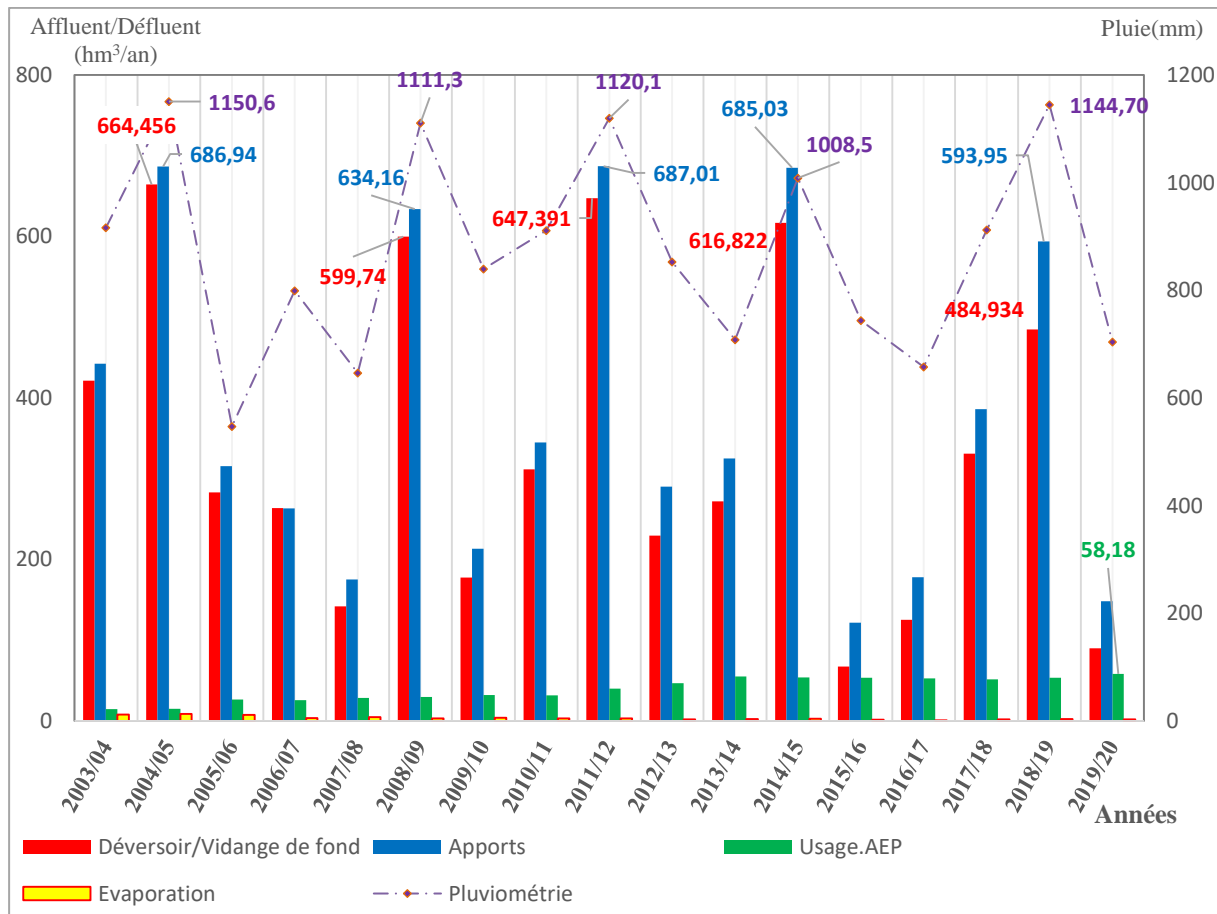


Figure 57. Variations annuelles des principaux éléments du bilan d'eau du barrage de Mexa (période 2003/2004-2019/2020).

Depuis la mise en eau du barrage de Mexa, l'apport mesuré a connu une augmentation importante en raison des lâchers effectués à partir du barrage de Barbara (déversement et dévasement). En 2004/2005 le barrage de Mexa a enregistré un apport de 686.94 hm³/an dont un volume de 144.58 hm³/an a été déversé à partir du barrage de Barbara. A partir de 2011/2012,

année de mise en eau du barrage de Bougous, un autre volume de 85.78 hm³/an est déversé au barrage de Mexa à partir de ce dernier en plus d'un volume de 147.54 hm³/an déversé à partir du barrage de Barbara soit un volume total de 233.32 hm³/an (tableau 42).

Pendant l'année 2014/2015, l'apport mesuré au niveau du barrage de Mexa est de 685.03 hm³/an dont 252.33 hm³/an ont été déversés à partir des deux barrages de Bougous (124.38 hm³/an) et de Barbara (127.95 hm³/an).

L'année hydrologique de 2001/2002 est une année hyper sèche, avec un apport total de 14.89 hm³/an mesuré à la station de Ain Assel. L'année suivante était une année pluvieuse marquée par le déversement d'un volume de 133.11 hm³/an à partir du barrage de Barbara, ce qui a impacté l'apport mesuré au niveau de la station de Ain Assel, atteignant 667.85 hm³/an.

A cause de l'importance des déversements et des vidanges de fond effectués par le barrage de Mexa, seules 5 années (2008/2009, 2012/2013, 2014/2015, 2017/2018 et 2018/2019), ont enregistré un affluent supérieur au défluent.

Les déversements se traduisent par des inondations catastrophiques au niveau de l'aval du bassin versant (la plaine d'El Tarf -Boutelja, Ain Assel et Ben M'hidi) comme celle des 22-23 février 2012 avec des pertes de productions agricoles, et destructions d'infrastructures hydro-agricoles. La surface inondée en milieu urbain était estimée à 40 km² alors que 21000 ha de terres agricoles de la basse plaine de la Mafragh étaient submergés.

La figure 58 exprime l'évolution du rapport lâchers/apports (en %) durant 17 années d'exploitation du barrage. Ce taux dépasse les 90 % durant les années pluvieuses, avec un maximum de 97 % durant l'année hyper humide de 2004/2005.

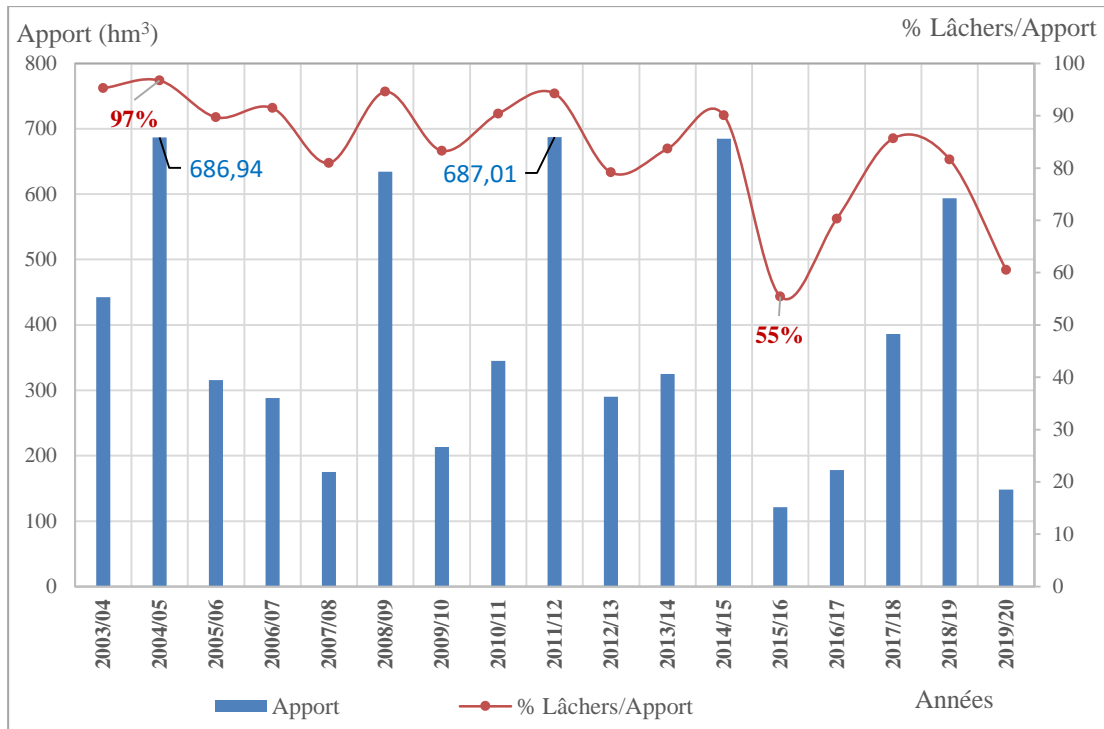


Figure 58. Apports annuels et courbe de variation du rapport lâchers / apports au barrage de Mexa

A l'échelle intra-annuelle, l'irrégularité des apports mensuels est importante, particulièrement pour l'année pluvieuse de 2011/ 2012. Pour un apport annuel de 687.01 hm³/an, la valeur mensuelle des apports a atteint un maximum de 312.7 hm³ durant le mois le plus pluvieux (février) avec un maximum de précipitations de 287.2 mm. La valeur la plus faible est enregistrée durant le mois le plus sec (juillet) soit 0,0480 hm³. Pour cette même année, le volume du déversement et vidange de fond (dévasement) était exceptionnel : un total annuel de 647.39 hm³ a été évacué dont 312.8 hm³ durant le mois de février. Pour un apport de crue journalier de 86.4 hm³, le déversement a atteint 69.3 hm³ le 22 février (figure 59). La cote du plan d'eau a dépassé la cote normale, elle a atteint 55.57 m le 23 février avec un volume de la réserve de 50.51 hm³.

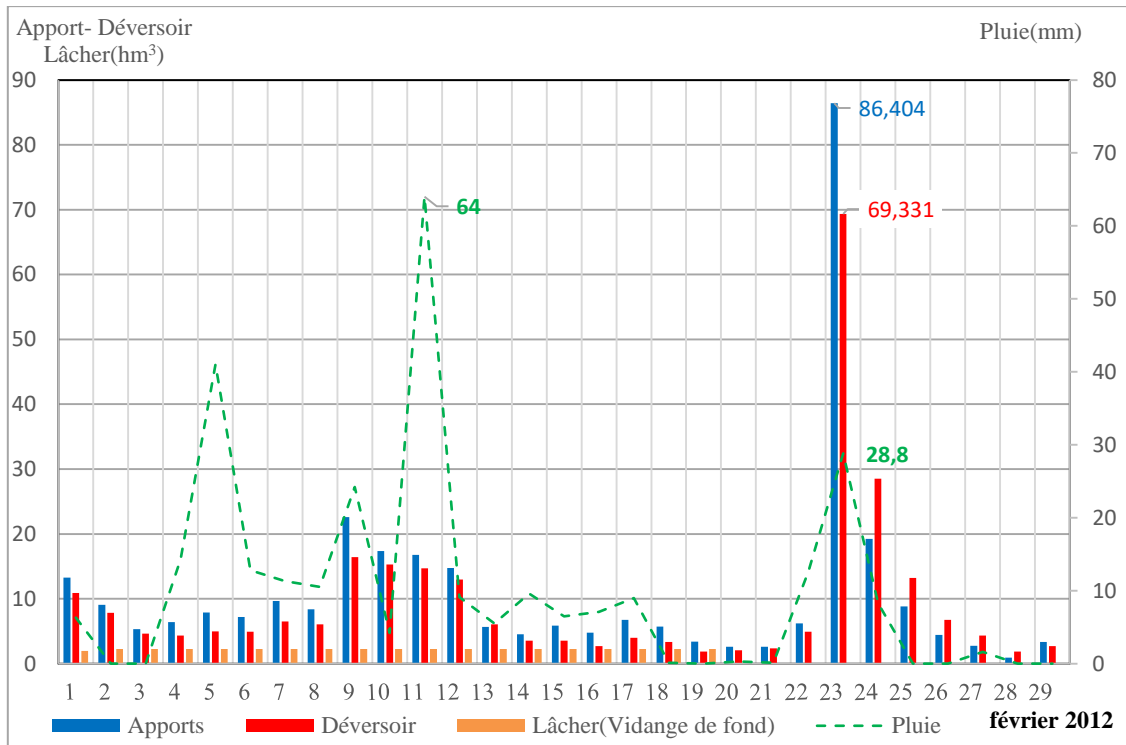


Figure 59. Hydrogramme journalier du mois de février 2012 (Apport, déversement, lâchers et pluie) au barrage de Mexa

2.2 Bilan d'eau du barrage de Bougous et contribution au volume régularisé de Mexa

2.2.1 Bilan d'eau (2011/2012-2019/2020)

La vocation du barrage de Bougous est la compensation du faible volume régularisé du barrage de Mexa en aval. Sa capacité initiale était de 66.2 hm³ à la cote 139 m (figure 60) (ANBT, 2011). Suite au levé bathymétrique réalisé sur la retenue du barrage, cette capacité a été ramenée à 65.2 hm³ le 28 mars 2012 (ANBT, 2017).

Selon les données du bilan d'eau du barrage de la période 2011/2012-2019/2020, la capacité de la fin d'année varie entre 46 et 62 hm³/an soit un taux de remplissage qui varie entre 71 et 77 %, à l'exception de l'année 2011/2012 qui a enregistré un taux de remplissage maximum de 96 %, en raison des faibles lâchers (9.55 hm³) effectués au profit du barrage de Mexa (tableau 43).

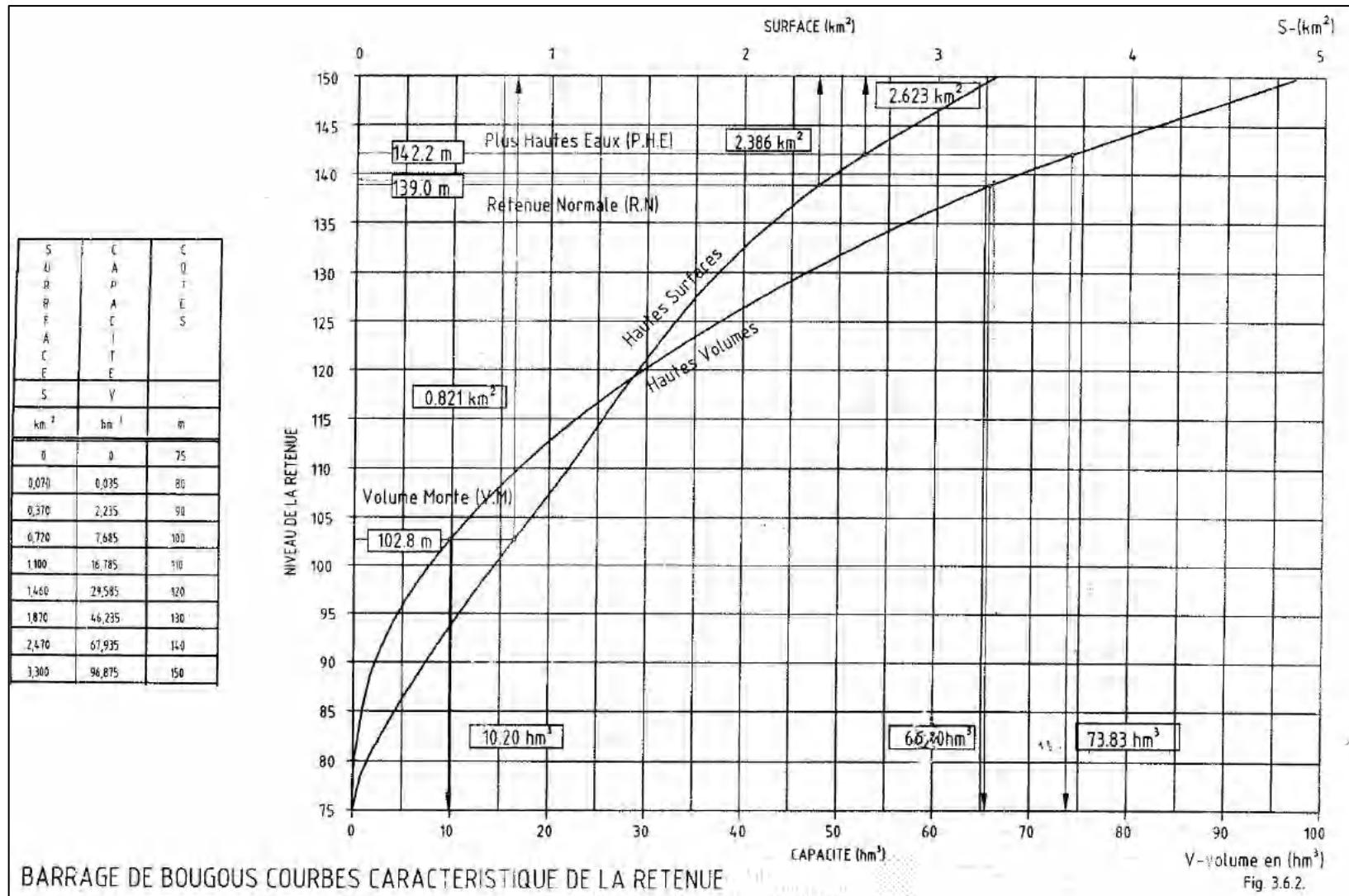


Figure 60. Courbe surface-capacité-hauteur du barrage de Bougous. (MRE- ANBT, 2011).

Tableau 43. Bilan du barrage de Bougous de la période 2011/2012-2019/2020. (Capacité de la retenue : 65.2 hm³)(ANBT, 2020)

| Année | Début d'année | Durant l'année | | | | | | Fin d'année | |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| | Capacité | Fuites | Vidange de fond | Déversoir | Evaporation | Défluent | Affluent (Apport) | Capacité | Gain /perte de capacité |
| | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) | (hm ³) |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 2011/2012 | 32,716 | 0,61 | 14,00 | 71,78 | 2,58 | 88,97 | 129,75 | 62,439 | 29,61 |
| 2012/2013 | 62,439 | 0,96 | 47,74 | 1,80 | 2,60 | 53,11 | 41,62 | 50,102 | -12,53 |
| 2013/2014 | 50,102 | 0,91 | 19,15 | 41,42 | 2,87 | 64,36 | 66,54 | 49,707 | -0,37 |
| 2014/2015 | 49,707 | 0,09 | 44,09 | 80,29 | 4,11 | 128,58 | 126,48 | 46,253 | -3,44 |
| 2015/2016 | 46,253 | 0,07 | 15,45 | 0,00 | 2,33 | 17,85 | 17,63 | 46,141 | -0,11 |
| 2016/2017 | 46,141 | 0,01 | 21,57 | 0,00 | 3,12 | 24,70 | 26,64 | 46,685 | 0,55 |
| 2017/2018 | 46,685 | 0,0 | 26,48 | 19,21 | 2,66 | 48,35 | 57,25 | 51,842 | 5,16 |
| 2018/2019 | 51,842 | 0,0 | 29,97 | 107,67 | 1,79 | 140,03 | 144,29 | 53,582 | 1,74 |
| 2019/2020 | 53,582 | 0,0 | 24,23 | 0,84 | 2,10 | 27,54 | 23,09 | 48,673 | -4,91 |

2.2.2 Volume régularisé du complexe Mexa- Bougous

L'exploitation du barrage de Bougous se fait d'une manière conjointe et complémentaire avec celui de Mexa durant la saison sèche. Ses lâchers sont destinés à des fins d'alimentation en eau potable (MRE- ANBT, 2011 ; ANBT, 2017). Grâce aux apports de Bougous à partir de 2011/2012, le volume théorique de régularisation de Mexa est passé de 47 à 71,37 hm³/an (figure 61).

Le volume régularisé réel total du barrage de Mexa (au profit de l'AEP) a évolué en 17 années d'exploitation, passant de 14,72 hm³ en 2003/04 à 58,18 hm³ en 2019 /2020.

En incluant les lâchers de Bougous, le taux de régularisation de Mexa (VR réel /VR théorique) a atteint son maximum de 81, 52 % en 2019/2020.

L'eau traitée est destinée pour 66 % à l'approvisionnement de la ville de Annaba et pour 33 % à l'AEP de la wilaya d'El Tarf.

Le volume d'eau total traité à la station de traitement de Ain Assel, située à environ 2 km à l'aval du barrage de Mexa, est de 14 hm³/an en 2003/2004. Ce volume a pratiquement doublé (26 hm³) après deux ans d'exploitation.

Le volume de régularisation total du complexe Mexa-Bougous prévu dans la monographie nécessite la réalisation d'une deuxième station de traitement des eaux.

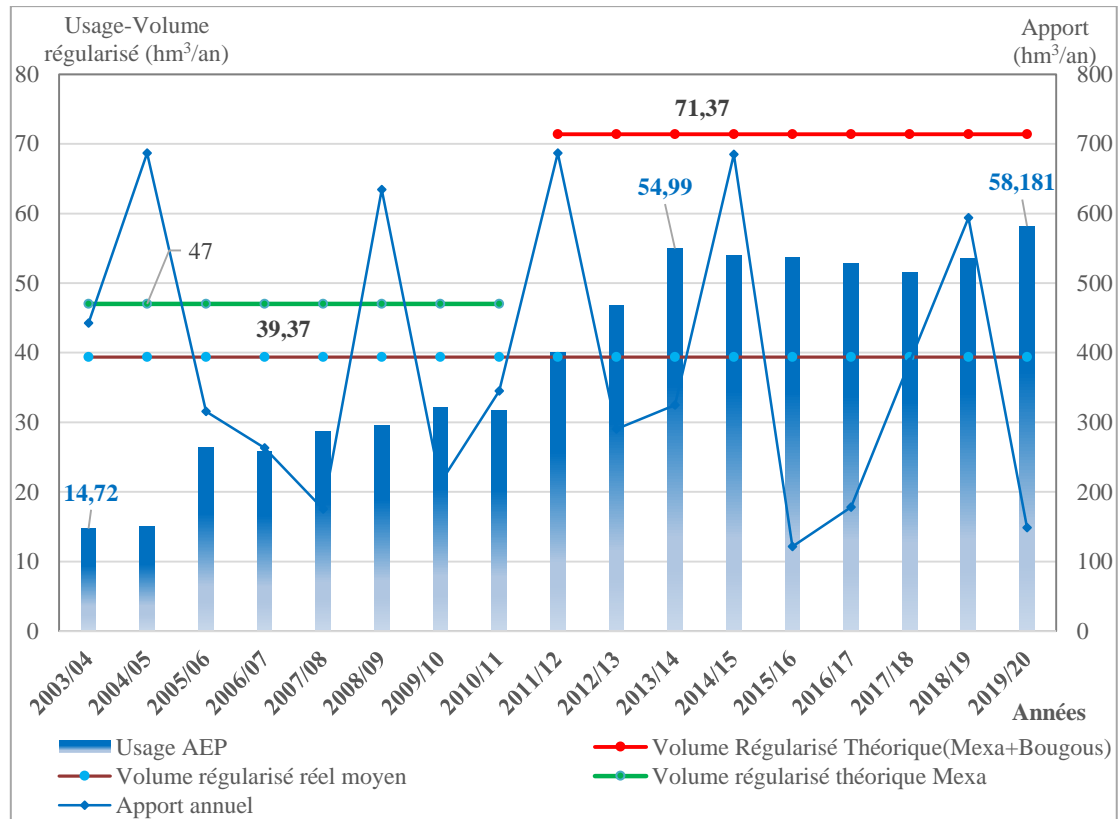


Figure 61. Variation interannuelle du volume régularisé (usage AEP) des barrages Mexa – Bougous

2.2.3 Traitement de l'eau du complexe Mexa- Bougous

La station de traitement de Ain Assel a atteint une capacité maximale de traitement de 1.84 m³/s en 2019/2020 (tableau 44).

Tableau 44. Evolution de la consommation de l'eau potable à partir des barrages de Mexa – Bougous (2003/04-2019/2020).

| Année | Volume Annuel destiné à l'AEP (hm ³ /an) | Volume régularisé Réel (%) Mexa et Bougous | Capacité de traitement moyenne (m ³ /s) | Consommation journalière (m ³ /j) | Volume Lâché à partir de Bougous période (hm ³) |
|-----------|---|--|--|--|---|
| 2003/2004 | 14,72 | 31,33 | 0,47 | 40328 | |
| 2004/2005 | 14,97 | 31,84 | 0,47 | 41013 | |
| 2005/2006 | 26,36 | 56,09 | 0,84 | 72219 | |
| 2006/2007 | 25,84 | 54,99 | 0,82 | 70794 | |
| 2007/2008 | 28,67 | 60,99 | 0,91 | 78547 | |
| 2008/2009 | 29,51 | 62,79 | 0,94 | 80847 | |
| 2009/2010 | 32,13 | 68,36 | 1,02 | 88027 | |
| 2010/2011 | 31,65 | 67,34 | 1,00 | 86718 | |
| 2011/2012 | 40,08 | 85,28 | 1,27 | 109808 | 9,55 |
| 2012/2013 | 46,82 | 65,60 | 1,48 | 128282 | 24,80 |
| 2013/2014 | 54,99 | 77,05 | 1,74 | 150658 | 17,93 |
| 2014/2015 | 53,93 | 75,56 | 1,71 | 147764 | 32,04 |
| 2015/2016 | 53,61 | 75,12 | 1,70 | 146882 | 15,45 |
| 2016/2017 | 52,75 | 73,91 | 1,67 | 144510 | 21,51 |
| 2017/2018 | 51,56 | 72,24 | 1,63 | 141260 | 17,16 |
| 2018/2019 | 53,53 | 75,00 | 1,70 | 146658 | 10,98 |
| 2019/2020 | 58,18 | 81,52 | 1,84 | 159397 | 23,98 |

Le barrage de Mexa est équipé de deux conduites manœuvrées par quatre vannes (deux pour chaque conduite), d'un diamètre de 1200 mm destinée à l'alimentation en eau potable. L'eau est lâchée gravitairement vers la station de traitement des eaux de Ain Assel, située à l'aval du barrage.

Un volume moyen journalier de 150.000 m³/jour (145000 en hiver à cause de la turbidité de l'eau) est lâché avant d'être traité au niveau de la station de Ain Assel. Durant la période sèche (de juin à octobre), les lâchers dans l'oued sont interdits afin de préserver le maximum de réserve dans la retenue, aussi parce que parallèlement, la station de traitement des eaux rejette dans l'oued un volume de 5000 m³/jour qui représente le débit écologique durant la période d'étiage.

Après la mise en eau du barrage de Bougous, des lâchers additionnels sont effectués constamment à partir du mois de juin jusqu'au mois d'octobre pour garantir le volume alloué à l'AEP à partir du barrage de Mexa. Ce système fonctionne comme suit : une demande des besoins en eaux potable de l'ADE (L'Algérienne Des Eaux) est adressée au directeur de la station de traitement de Ain Assel qui est ensuite transmise au directeur du barrage de Bougous. Ce dernier, en collaboration avec le directeur de Mexa, décide du volume à lâcher en fonction

du niveau de la réserve du lac de Mexa à la cote normale 52 m correspondant à la capacité maximale de 30.27 hm³.

Une augmentation de la température accélère les phénomènes d'oxydation, ce qui entraîne une diminution du taux d'oxygène dissous allant de pair avec une diminution de la solubilité de l'oxygène. L'activité métabolique des organismes aquatiques est également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. C'est ainsi que des lâchers d'eau froide à partir du barrage de Bougous sont opérés pour équilibrer la température de l'eau du lac du barrage de Mexa. Les basses températures, freinent les réactions d'oxydation, simulent l'auto épuration des eaux du lac du barrage de Mexa, ce qui permet d'améliorer la qualité des eaux du barrage et de réduire le coût de traitement du m³ d'eau.

2.3 Bilan d'eau du barrage tunisien de Barbara

2.3.1 Variations annuelles des éléments du bilan d'eau

D'après les données du bilan d'eau annuel du barrage de Barbara disponibles sur une période de 17 ans (2000/2001-2016/2017), les apports sont supérieurs aux défluent (tableau 45). Le bilan du barrage de Barbara s'explique par un maximum de stockage pour le transfert des volumes d'eau vers le barrage de Sidi Salem dont il est interconnecté à travers le barrage de Bou Heurthma.

Le barrage a enregistré l'apport le plus faible (17.15 hm³) durant l'année hyper-sèche de 2001/2002 et l'apport maximum (191.94 hm³) durant l'année 2002/2003 (tableau 45 et figure 62) (ONAGRI, 2019 ; (Gafrej, 2017). En 2002/2003 a été enregistré le déversement d'un volume de 133.14 hm³ et en 2012/2013 le déversement a atteint son maximum de 147.54 hm³. Les déversements de Barbara profitent au barrage de Mexa depuis la mise en eau de ce dernier. Il a un impact direct sur le fonctionnement hydrologique du barrage de Mexa à l'aval :

- Au moment de crues exceptionnelles, il joue un double rôle. D'un côté il constitue un risque potentiel par les lâchers des débits excédentaires sous une charge inconnue par rapport au gestionnaire algérien à l'aval.
- Le barrage de Barbara assure une protection du barrage de Mexa à l'aval contre l'envasement par la rétention d'un transport solide d'environ 136 869,17 tonnes/an (soit un taux d'envasement moyen annuel de 1.044.810.24 m³/an).

Tableau 45. Bilan d'eau annuel du barrage de Barbara (Période : 2000/2001-2016/2017)
(Données d'après DGPTH in Gafrej, 2017).

| Année | Apport (hm ³) | Déversement/ Dévasement (hm ³) | Evaporation (hm ³) | Usage (hm ³) | Lame écoulee (mm) | Pourcentage Lâchers /Apports |
|---------|---------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------|
| 2000/01 | 63,454 | 25,335 | 2,767 | 35,352 | 358,5 | 39,93 |
| 2001/02 | 17,682 | 1,543 | 1,732 | 14,407 | 99,9 | 08,73 |
| 2002/03 | 191,944 | 133,114 | 3,555 | 55,275 | 1084,4 | 69,35 |
| 2003/04 | 116,699 | 79,919 | 3,801 | 32,979 | 659,3 | 68,48 |
| 2004/05 | 155,769 | 144,577 | 4,358 | 6,834 | 880,1 | 92,82 |
| 2005/06 | 73,862 | 66,796 | 4,931 | 2,135 | 417,3 | 90,43 |
| 2006/07 | 52,568 | 44,024 | 4,766 | 3,779 | 297,0 | 83,75 |
| 2007/08 | 39,250 | 26,761 | 4,351 | 8,138 | 221,8 | 68,18 |
| 2008/09 | 141,241 | 110,332 | 4,481 | 26,428 | 798,0 | 78,12 |
| 2009/10 | 46,685 | 39,610 | 4,651 | 2,424 | 263,8 | 84,85 |
| 2010/11 | 75,615 | 67,111 | 4,977 | 3,527 | 427,2 | 88,75 |
| 2011/12 | 161,381 | 147,545 | 5,441 | 8,395 | 911,8 | 91,43 |
| 2012/13 | 66,930 | 58,319 | 4,582 | 4,029 | 378,1 | 87,13 |
| 2013/14 | 69,845 | 46,038 | 4,737 | 19,070 | 394,6 | 65,91 |
| 2014/15 | 137,606 | 127,950 | 10,713 | / | 777,4 | 92,98 |
| 2015/16 | 43,104 | 33,384 | 4,821 | 4,898 | 243,5 | 77,45 |
| 2016/17 | 40,754 | 25,756 | 4,193 | 10,805 | 230,2 | 63,20 |

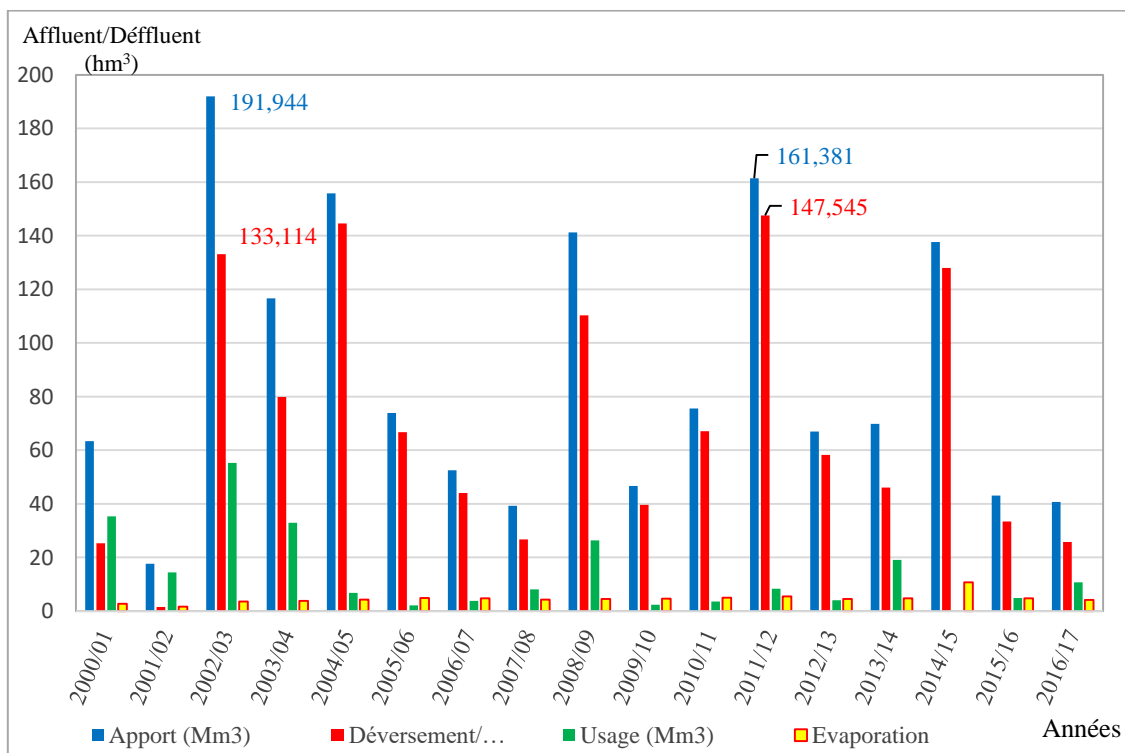


Figure 62. Variations annuelles des principaux éléments du bilan d'eau du barrage de Barbara (période 2000/2001-2016/17).

D'après [Gafrej \(2017\)](#) durant l'année pluvieuse de 2004/2005, la lame écoulée est de 880.1 mm/an ; elle est de 1084 mm/an durant l'année 2002/2003. Pour l'année sèche de 2001/2002, la lame écoulée est minimale avec une valeur de 99.9 mm/an.

2.3.2 Apports mensuels de l'année 2011/2012

D'après le tableau 46, l'irrégularité des apports mensuels est importante pour l'année pluvieuse de 2011/2012. La valeur mensuelle des apports a atteint un maximum de 71.96 hm³ durant le mois le plus pluvieux (février) qui a enregistré un maximum de précipitations soit 332 mm. La valeur la plus faible (0,450 hm³) est enregistrée durant le mois le plus sec (août). Pour la même année, le volume du déversement et dévasement était exceptionnel soit un total annuel de 147.54 hm³/an, avec 71.96 hm³ durant le mois de février (29.38 hm³ les 22 et 23 février). L'apport de crue était de 24.3 hm³ le 22 février et le déversement était de 15.79 hm³. La cote du plan d'eau a dépassé la cote normale, atteignant 184.16 m le 23 février correspondant à une réserve d'eau de 84.409 hm³ (figure 63). La deuxième crue survenue le 10 mars a engendré un apport au barrage de 11, 58 hm³.

*Tableau 46. Bilan mensuel du barrage de Barbara : année hydrologique 2011/2012
(Données DGPTH in Gafrej, 2017).*

| Mois | Apport (Mm ³) | Pluie (mm) | Irrigation | Dévasement (m ³) | Déversement (m ³) | Pompage (m ³) | Evap (m ³) |
|-------|---------------------------|------------|------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Sept | 0,162 | 18 | 0 | 0 | 0 | 820127 | 478448 |
| Oct | 8,241 | 197 | 181658 | 0 | 19800 | 222417 | 305564 |
| Nov | 6,502 | 106 | 43355 | 11722364 | 1301480 | 0 | 200747 |
| Dec | 24,893 | 216 | 0 | 18645640 | 617400 | 0 | 152704 |
| Jan | 20,192 | 111 | 0 | 12728928 | 5720620 | 0 | 166820 |
| Fev | 71,968 | 332 | 133617 | 46500984 | 25150746 | 0 | 104648 |
| Mars | 21,200 | 89 | 0 | 15456664 | 4697720 | 0 | 263896 |
| Avril | 6,779 | 113 | 79279 | 3931776 | 813350 | 0 | 377312 |
| Mai | 0,674 | 11 | 0 | 0 | 234360 | 0 | 617552 |
| Juin | 0,160 | 0 | 0 | 0 | 0 | 258021 | 981940 |
| Juil | 0,160 | 4 | 0 | 0 | 0 | 505240 | 875246 |
| Aout | 0,450 | 77 | 296669 | 0 | 0 | 629686 | 916044 |
| Total | 161,381 | 1274 | 734578 | 108986356 | 38555476 | 2435491 | 5440921 |

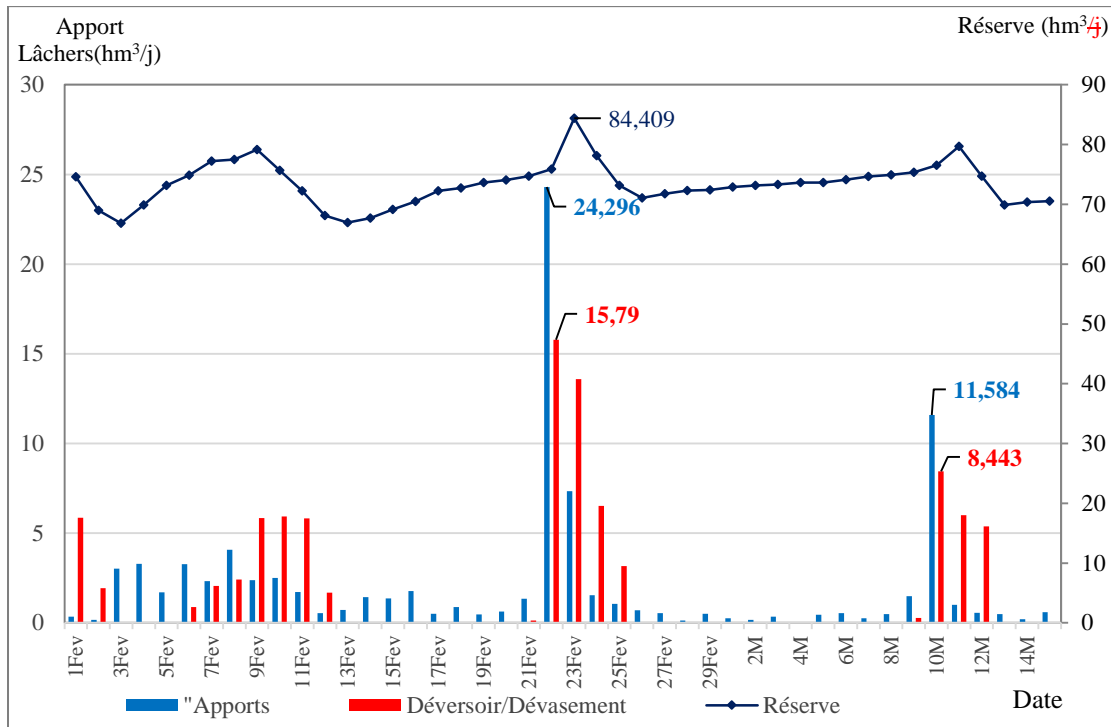


Figure 63. Variations journalières des apports et des déversements durant les deux crues exceptionnelles de février et mars 2012 au barrage de Barbara.

2.4 Envasement des barrages

2.4.1 Les débits solides et l'envasement du barrage de Mexa

2.4.1.1 Estimation de l'envasement du barrage de Mexa

L'envasement du barrage de Mexa est calculé à partir des données de débits moyens journaliers solides (en kg/s) disponibles sur une série de 21 ans (de 1969/70 à 1989/90) à la station de Ain Assel. La moyenne interannuelle des apports solides est de 961.58×10^3 tonnes, ce qui correspond à un taux d'envasement moyen annuel de $600987 \text{ m}^3/\text{an} = 0.60 \text{ hm}^3/\text{an}$ (on admet que 1 m^3 de vase pèse 1.6 tonnes dont 1 tonne de matières solides et 0.6 tonne d'eau).

Le volume mort théorique au barrage de Mexa a été estimé à 16.37 hm^3 pour une période d'exploitation de 50 ans. Le taux d'envasement moyen calculé dans la monographie du barrage est $= 16.37 \text{ hm}^3/50 \text{ ans}$ soit $0.327 \text{ hm}^3/\text{an}$ (ANBT, 2017). Ce taux est sous-estimé selon notre analyse.

Si on analyse le bassin emboîté de Mexa on constate que :

- le barrage de Barbara retient annuellement une vase estimée à $1.044 \text{ hm}^3/\text{an}$.
- le barrage de Bougous retient $0.204 \text{ hm}^3/\text{an}$ ce qui peut contribuer dans la longévité de vie du barrage de Mexa à l'aval.

2.4.1.2 Variations annuelles et mensuelles du transport solide de l'oued Kebir- Est

D'après la figure 64 représentant les variations annuelles du transport solide de l'oued Kebir- Est mesuré à la station de Ain Assel, on constate que l'année 1969/1970, marquée par la crue de l'automne 1969, a enregistré un maximum de transport solide de 6840 tonnes, soit sept fois le volume annuel moyen.

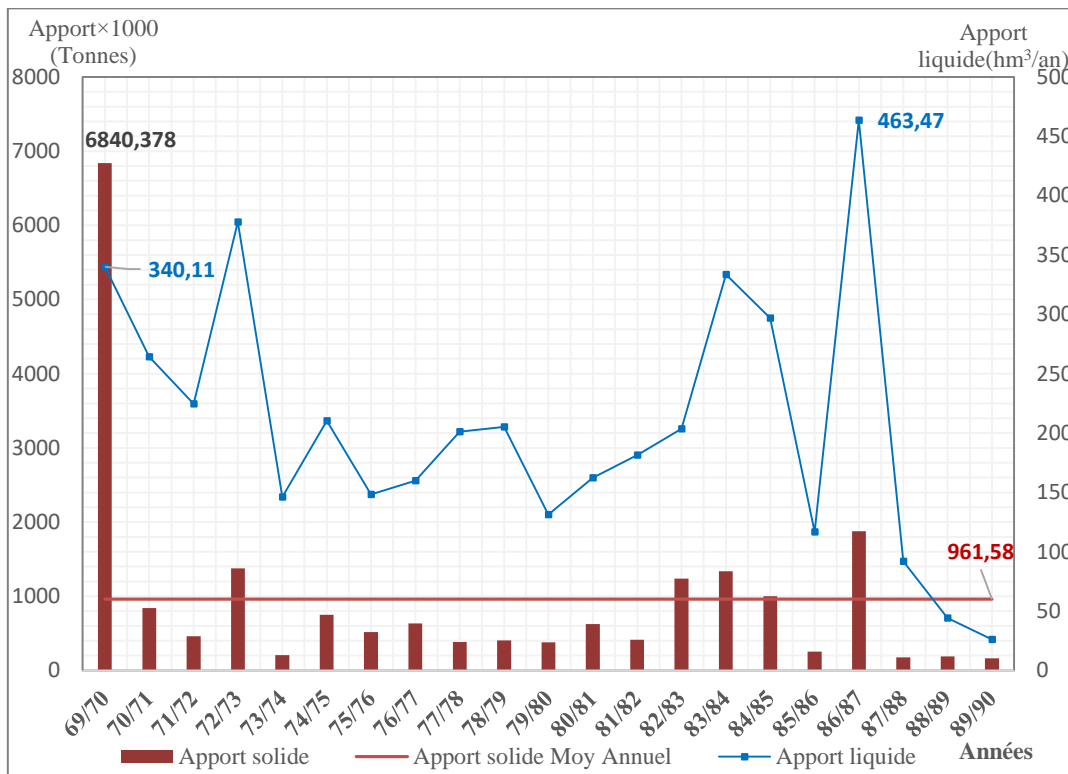


Figure 64. Variations annuelles des apports solides et liquides à la station de Ain Assel (1969/70-1989/90).

La figure 65 illustre les variations mensuelles du volume du transport solide. Le volume mensuel maximal enregistré durant le mois de décembre est de 329×10^3 tonnes. Durant ce mois, l'effet de l'abondance des précipitations, entraîne un transport solide élevé. Durant les mois d'étiage et particulièrement le mois d'aout, le transport solide est très faible, soit 4 tonnes par mois.

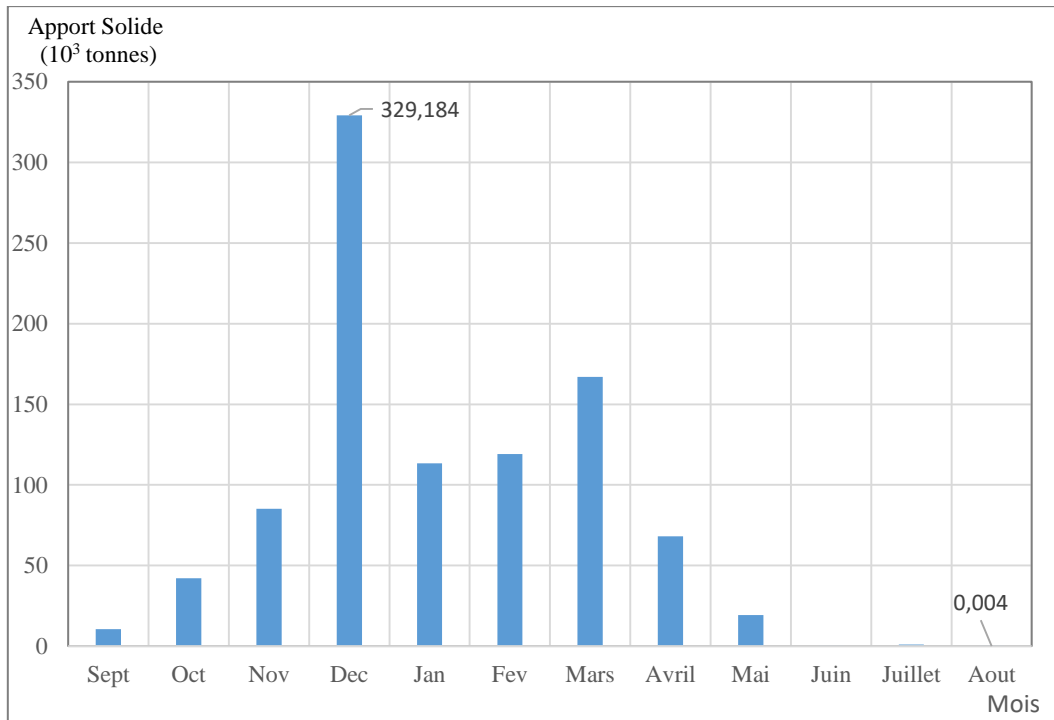


Figure 65. Variations mensuelles du volume du transport solide à la station de Ain Assel (période moyenne : 1969/70-1989/90).

2.4.2 Envasement du barrage de Bougous

D'après le Rapport de synthèse (Volume IV, Bougous-Mission.III, 1997), le volume des apports solides déposés au barrage pour une durée de 50 ans, est déterminé sur la base de la formule régionale préconisée par l'ANRH, exprimant la relation entre l'apport liquide et la quantité des apports solides :

$$Q_s = 4.28 \times Q_l^{1.05} \text{ (10}^3 \text{ t)}$$

Q_s = apport solide (tonnes) ; Q_l = apport liquide (Mm³)

D'après la monographie du barrage de Bougous, le volume solide accumulé au terme de 50 ans d'exploitation est estimé à 10.2 hm³ (204000 m³/an), soit 204000/236= 864 m³/km²/an. Cet envasement tient seulement compte du débit en suspension, cependant l'oued Bougous est soumis à un régime torrentiel pouvant entraîner un charriage de 20 à 30 % des matières en suspension. Ainsi lors des années humides, le débit solide est plus élevé. D'autre part, le poids volumétrique des matières en suspension dépend du temps de repos de celles-ci.

2.4.3 Envasement du barrage de Barbara

Pour l'ensemble du bassin versant au barrage, la moyenne annuelle du transport solide est de 782,11 tonnes/ km²/an soit 136 869,17 tonnes/an, ce qui correspond à un taux d'envasement moyen annuel de 1.044.810.24 m³/an ou 1,04 hm³/an (Souadi, 2011). Si ce rythme de transport

se poursuit et sachant que la capacité de stockage du barrage est de 74 millions de m³, le barrage perd, annuellement 1,41 % de sa capacité et on peut prévoir qu'au bout de 70 ans il sera comblé par les sédiments. Pour remédier à cette situation, conserver les sols et leur fertilité en amont, éviter des coûts inutiles associés au dévasement du barrage de l'oued Barbara et augmenter en parallèle sa longévité, les ouvrages de CES (Conservation des Eaux et des Sols) s'imposent donc une fois de plus (Souadi, 2011).

D'après l'ONAGRI, l'envasement mesuré est estimé à 10,12 hm³ (volume mort) avec un envasement moyen annuel de 0.78 hm³ soit un pourcentage de 13.53 % en 2019. L'érosion à l'échelle du bassin versant est de 4,4 mm/an. La capacité utile actuelle du barrage est de 64.7 hm³/an.

3 APPORTS ET DEVERSEMENTS DES CRUES : GESTION DES EVENEMENTS EXTREMES

Pour les barrages de Mexa et de Bougous (ANBT, 2017) et le barrage de Barbara (Gafredj, 2017), nous avons utilisé les données disponibles sur les apports et les déversements enregistrés durant les deux épisodes de crue de février et mars 2012.

En 2012, le cumul des précipitations du mois d'octobre jusqu'au mois de mars, à l'échelle du bassin versant de la Mafragh avait atteint 1015 mm à la station de Ain Assel (Barrage de Mexa) et 1018 mm à la station du barrage de Bougous (ANBT, 2012). Un cumul des précipitations du début du mois de février au 15 mars, a généré deux crues exceptionnelles : crue des 22 et 23 février 2012 et crue des 10 et 11 mars 2012.

Les événements de crue ont un impact sur la gestion des barrages. Malgré le rôle de laminage exercé par ces ouvrages, les effets des inondations à l'aval sont parfois catastrophiques (photo 17).



Photo 17: Fonctionnement de l'évacuateur de crue du barrage de Mexa (crue du 16/12/2018) (ANBT, 2018).

3.1 Analyse des crues des 22 et 23 février 2012

3.1.1 Les hydrogrammes journaliers

Pendant la semaine du 20 au 26 février 2012, la lame précipitée a atteint 134,2 mm à Bougous, 110 mm à Barbara et 110,7 mm à Mexa. D'après le tableau 47 et la figure 66, le laminage s'est fait de la manière suivante :

- Au barrage de Barbara en Tunisie le déversement a atteint 28.39 hm^3 en 48 h comparé à un apport de 31.64 hm^3 . L'onde de la crue est passée le 22 février avec un maximum d'apport journalier de 24.30 hm^3 et un déversement journalier de 15.79 hm^3 .
- Au barrage de Bougous, la crue est similaire à celle produite à Barbara, avec un déversement de 21.71 hm^3 en 48 h comparé à un apport de 21.94 hm^3 enregistré pour cette même durée. L'onde de la crue est passée le 22 février avec un maximum d'apport journalier de 17.17 hm^3 et un déversement journalier de 15.67 hm^3 .
- Au barrage de Mexa, l'hydrogramme représente la résultante des crues concomitantes issues des deux bassins partiels de Barbara et de Bougous. Le barrage de Mexa reçoit un cumul d'apport issu d'une surface « non aménagée » de 238 km^2 et d'une surface contrôlée de 413 km^2 par les deux barrages en amont. L'onde de la crue a franchi le barrage de Mexa le 23 février 2012 (24 h après le passage de l'onde de crue au niveau des deux barrages situés à l'amont) avec un maximum d'apport journalier de 86.40 hm^3 soit un débit journalier moyen de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$; une bonne partie de cet apport représente les lâchers des deux barrages de Barbara et de Bougous. Le déversement journalier est de 69.33 hm^3 .

Le volume déversé en 48 h a atteint 74.25 hm³ pour un apport cumulé de 97.84 hm³. Le plan d'eau est passé de la cote de 52.60 m au début de la crue pour atteindre la cote de 55.57 m en date du 23 février 2012, correspondant à une réserve dans la retenue de 50.51 hm³, soit le stockage de 17.07 hm³ en 24 h (figure 66). Le troisième jour (24 février), le volume sortant est supérieur au volume entrant.

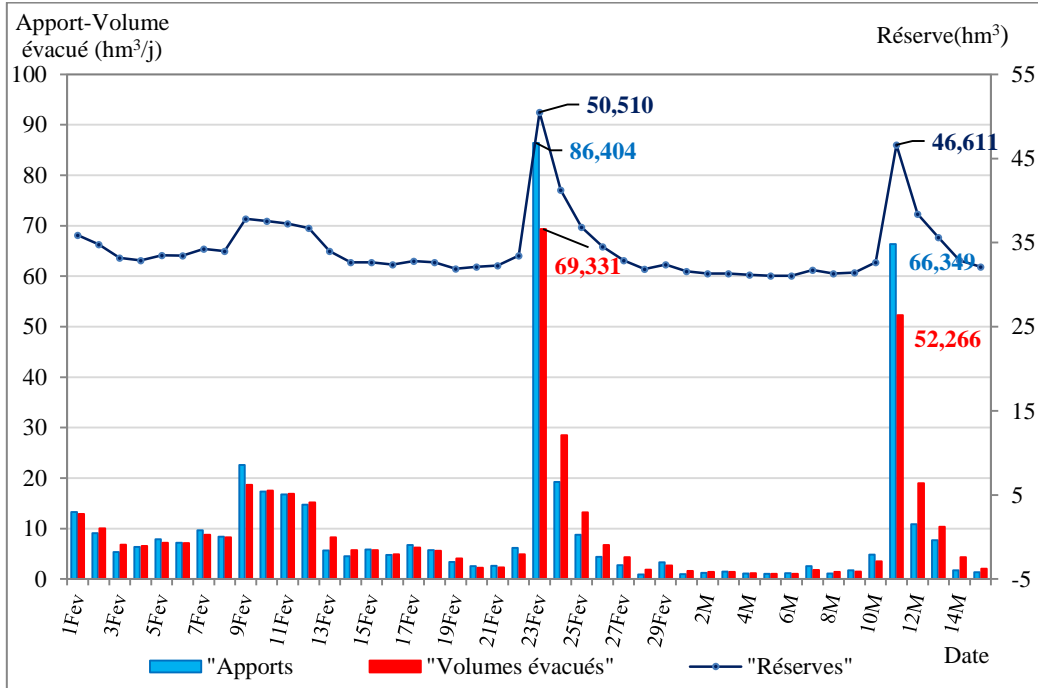


Figure 66. Hydrogramme journalier des apports, volume évacués et réserves durant les crues de février et mars 2012 au barrage de Mexa.

L'analyse de cette crue pendant 7 jours (du 20 au 26 février), nous a permis de mettre en évidence l'évolution des apports l'état de la réserve des trois barrages ainsi que le laminage des crues (déversements) (tableau 47 et figure 67) :

- Barbara volume entrant (36 hm³) < au volume sortant (39 hm³) ;
- Bougous volume entrant (26 hm³) = au volume sortant (26 hm³) ;
- Mexa volume entrant (127 hm³) > volume sortant (125 hm³), seulement 2 hm³ ont été stockés

Un volume total de 125 hm³ a été lâché durant 7 jours sur la basse vallée de l'oued Kébir-Est (soit pour une superficie de 21000 ha, une hauteur d'eau cumulée de 59,5 cm). Autres facteurs d'aggravation : l'état de saturation des sols, les lâchers du barrage de Cheffia (oued Bounmoussa) et la quantité d'eau précipitée sur la plaine.

Tableau 47. Apports et déversements de crue des barrages de Barbara, Bougous et Mexa (période du 20 au 26 février 2012)

| Barrage | Date | Cote plan d'eau(m) | Pluviométrie (mm) | Volume de la réserve (hm ³) | Apport (hm ³) | Déversement (hm ³) | Rapport : Lâchers /Apports (%) |
|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|---|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Barbara (Zouitina) | 20 | 181.82 | 0 | 74.07 | 0.627 | 0 | |
| | 21 | 181,97 | 24 | 74,695 | 1,341 | 0,131 | |
| | 22 | 182,25 | 76 | 75,902 | 24,30 | 15,79 | 65 |
| | 23 | 184,16 | 8 | 84,409 | 7,34 | 13,59 | 185 |
| | 24 | 182,77 | 0 | 78,154 | 1,533 | 6,53 | 425 |
| | 25 | 181,60 | 0 | 73,160 | 1,054 | 3,17 | 300 |
| | 26 | 181,09 | 2 | 71,043 | 0,710 | 0 | |
| | S- total | | | 110 | | 36,27 | 39.21 |
| Bougous | 20 | 139,09 | 0 | 65,416 | 0,654 | 0,648 | |
| | 21 | 139,17 | 0,7 | 65,609 | 1,280 | 1,080 | |
| | 22 | 139,78 | 19,8 | 67,093 | 17,17 | 15,66 | 91 |
| | 23 | 139,25 | 100 | 65,802 | 4,77 | 6,05 | 126 |
| | 24 | 139,13 | 13,7 | 65,513 | 1,207 | 1,485 | 123 |
| | 25 | 139,10 | 0 | 65,440 | 1,016 | 1,080 | 106 |
| | 26 | 139,07 | 0 | 65,368 | 0,585 | 0,648 | |
| | S- total | | 134.2 | | 26.68 | 26.65 | |
| Mexa | 20 | 52,35 | 0.3 | 32.101 | 2.598 | 2.079 | 80 |
| | 21 | 52,38 | 0,1 | 32,263 | 2,595 | 2,333 | 90 |
| | 22 | 52,60 | 16.6 | 33,437 | 6,204 | 4,924 | 79 |
| | 23 | 55,57 | 85,4 | 50,51 | 86,40 | 69,33 | 80 |
| | 24 | 54,00 | 8,3 | 41,24 | 19,24 | 28,51 | 148 |
| | 25 | 53,22 | 0 | 36,82 | 8,80 | 13,22 | 150 |
| | 26 | 52,80 | 0 | 34,517 | 4,430 | 6,739 | 152 |
| | S-total | | 110.7 | | 127.68 | 125.06 | |

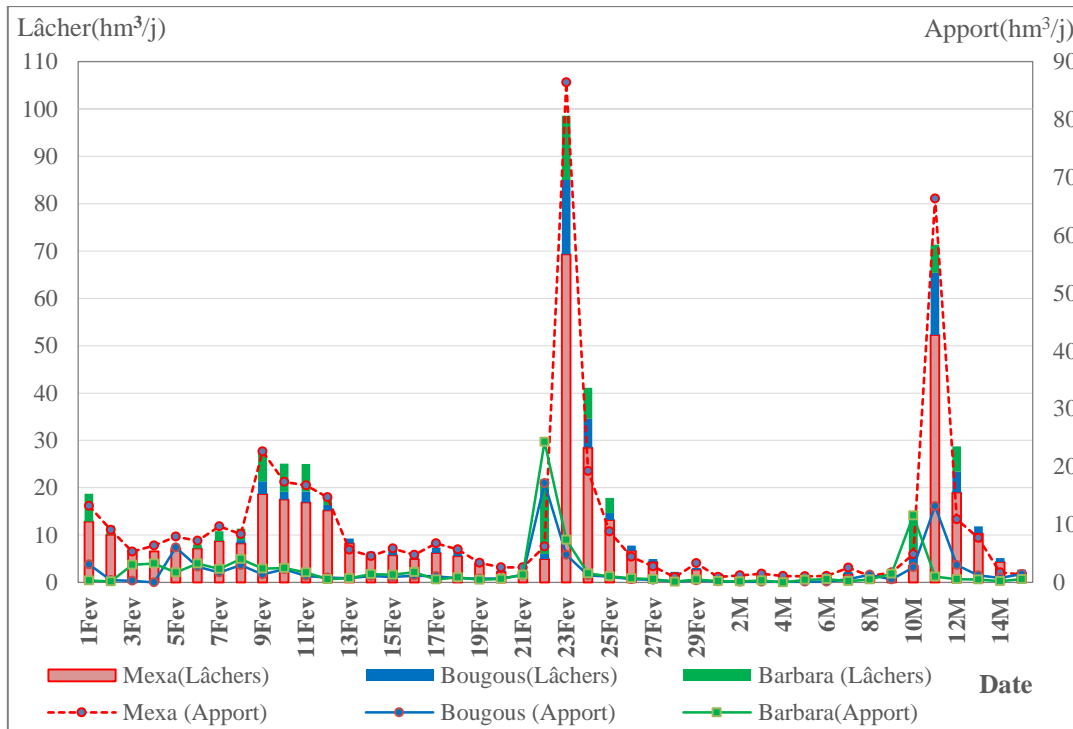


Figure 67. Hydrogramme journalier des apports et volumes évacués durant les crues de février et mars 2012 aux barrages de Mexa, Bougous et Barbara

Par ailleurs, concernant la crue de mars, pendant la période du 7 au 13 Mars 2012 (7 jours), un volume total de 88.10 hm³ a été évacué soit 95 % du volume total des apports (92.62 hm³) (tableau 48).

Tableau 48. Apports et déversements de crue aux barrages de Barbara, Bougous et Mexa (période du 7 au 13 Mars 2012).

| Barrage | Date | Cote plan d'eau(m) | Pluviométrie (mm) | Volume de la réserve (hm ³) | Apport (hm ³) | Déversement/ Dévasement (hm ³) | Rapport : Lâchers /Apports (%) |
|--------------------|----------------|--------------------|-------------------|---|---------------------------|--|--------------------------------|
| Barbara (Zouitina) | 07 | 181,96 | 2 | 74,654 | 0,26 | 0,001 | |
| | 08 | 182,02 | 5 | 74,907 | 0,49 | 0,048 | |
| | 09 | 182,12 | 15 | 75,340 | 1,49 | 0,280 | |
| | 10 | 182,40 | 49 | 76,552 | 11,58 | 8,443 | 73 |
| | 11 | 183,12 | 0 | 79,691 | 1,01 | 6,006 | 594 |
| | 12 | 181,97 | 0 | 74,695 | 0,56 | 5,376 | 960 |
| | 13 | 180,80 | 0 | 69,874 | 0,48 | 0 | |
| | S-Total | | | 71 | | 15,63 | 20,15 |
| Bougous | 07 | 139,06 | 5,9 | 65,344 | 0,559 | 0,432 | |
| | 08 | 139,06 | 2,5 | 66,229 | 1,322 | 0,432 | |
| | 09 | 139,06 | 2,8 | 66,229 | 0,526 | 0,518 | |
| | 10 | 139,77 | 29,4 | 67,068 | 2,590 | 1,742 | 67 |
| | 11 | 139,80 | 52,0 | 67,142 | 13,195 | 13,106 | 99 |
| | 12 | 139,23 | 1,5 | 65,754 | 3,012 | 4,390 | 145 |
| | 13 | 139,12 | 0 | 65,488 | 1,213 | 1,469 | |
| | S-Total | | | 94.1 | | 22,20 | 22,09 |
| Mexa | 07 | 52,28 | 3,4 | 31,733 | 2,579 | 1,792 | |
| | 08 | 52,20 | 0,9 | 31,312 | 1,095 | 1,410 | |
| | 09 | 52,22 | 1,5 | 31,417 | 1,73 | 1,515 | |
| | 10 | 52,45 | 19,6 | 32,635 | 4,86 | 3,531 | 73 |
| | 11 | 54,92 | 24,9 | 46,611 | 66,349 | 52,266 | 79 |
| | 12 | 53,50 | 0,6 | 38,394 | 10,894 | 19,008 | 174 |
| | 13 | 53,00 | 0 | 35,609 | 7,695 | 10,368 | 134 |
| | S-Total | | | 50.9 | | 92,62 | 88,10 |

3.1.2 Les courbes horaires de laminage de crue

Nous avons mis à profit les mesures horaires effectuées par les directions d'exploitation des deux barrages de Mexa et Bougous.

3.1.2.1 Barrage de Mexa

Durant la première crue exceptionnelle des 22-23 février 2012, l'hydrogramme horaire reproduit les débits de l'évacuateur de crue mesurés sur une durée de 66 heures (figure 68) (ANBT, 2012). D'après le rapport du directeur de l'exploitation du barrage de Mexa : « Le débit de pointe de l'évacuateur de crue est de 1094 m³/s, il a été évacué le 22 février à 23 h, correspondant à la cote 56.50 m (soit un volume de réserve de 56.24 hm³ et une surface inondée de 625.8 ha) équivalent à une lame d'eau déversante de 4.5 m ayant des conséquences et des dégâts sur l'évacuateur de crue ». L'apport maximum journalier est de 86.40 hm³ soit 27.6 %

du total mensuel de février (312.66 hm^3) et la vidange de fond effectuée en 24 h était de 69.33 hm^3 soit 22 % du total mensuel (tableau 46).

Selon la courbe hauteur-débit de l'évacuateur de crues du barrage de Mexa, la capacité de l'évacuateur de crue est de $939.19 \text{ m}^3/\text{s}$ à la cote 56 m (ANBT, APD de la prise sur l'oued Kébir-Est, 2017). Pour un débit de l'évacuateur de crue de $1094 \text{ m}^3/\text{s}$ la cote correspondante est de 57 m soit un volume maximal de la retenue de 59.40 hm^3 au moment de l'onde de la crue.

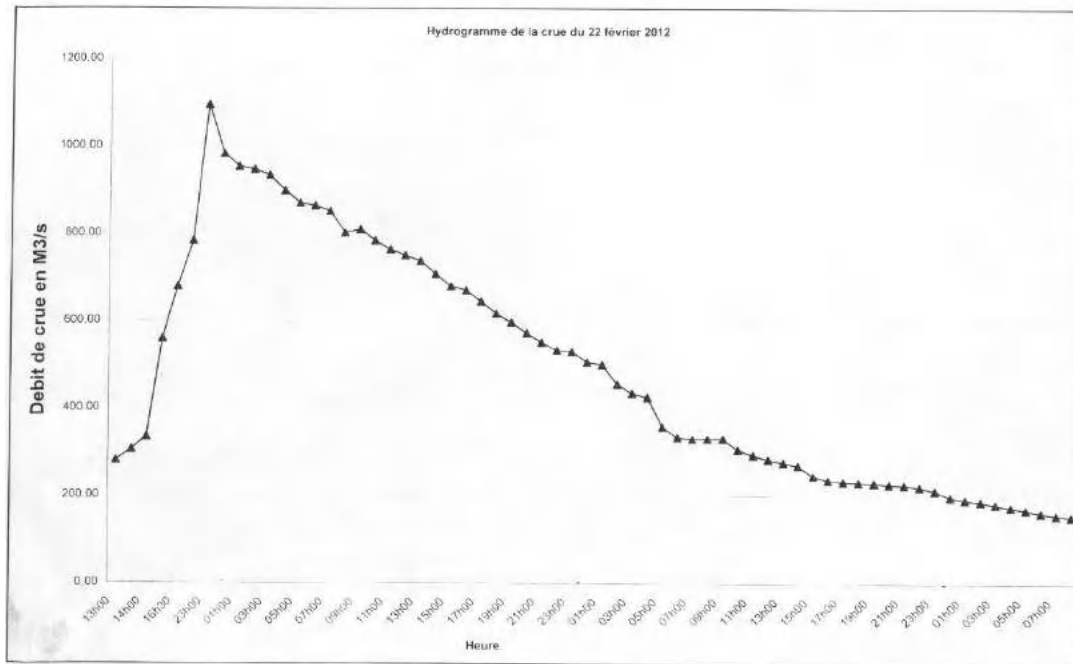


Figure 68. Courbe de laminage horaire de la crue du 22/02/2012 au barrage de Mexa (ANBT, barrage Mexa, 2012).

3.1.2.2 Barrage de Bougous

Des mesures ont été effectuées pendant les deux jours de la crue mais uniquement durant les heures de travail de 8 h à 16 h. La courbe de laminage horaire réalisé illustre la relation débit évacué-cote du plan d'eau (figure 69). Le débit de pointe de l'évacuateur de crue est de $311.28 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une cote du plan d'eau de 140.27 m correspondant à un volume de réserve de 68.304 hm^3 .

Le volume total évacué pendant la journée du 22 février équivaut à 15.66 hm^3 soit 30 % du volume mensuel (43.59 hm^3). Cette crue s'est caractérisée par une évacuation totale des apports entrants, augmentant les apports au barrage de Mexa.

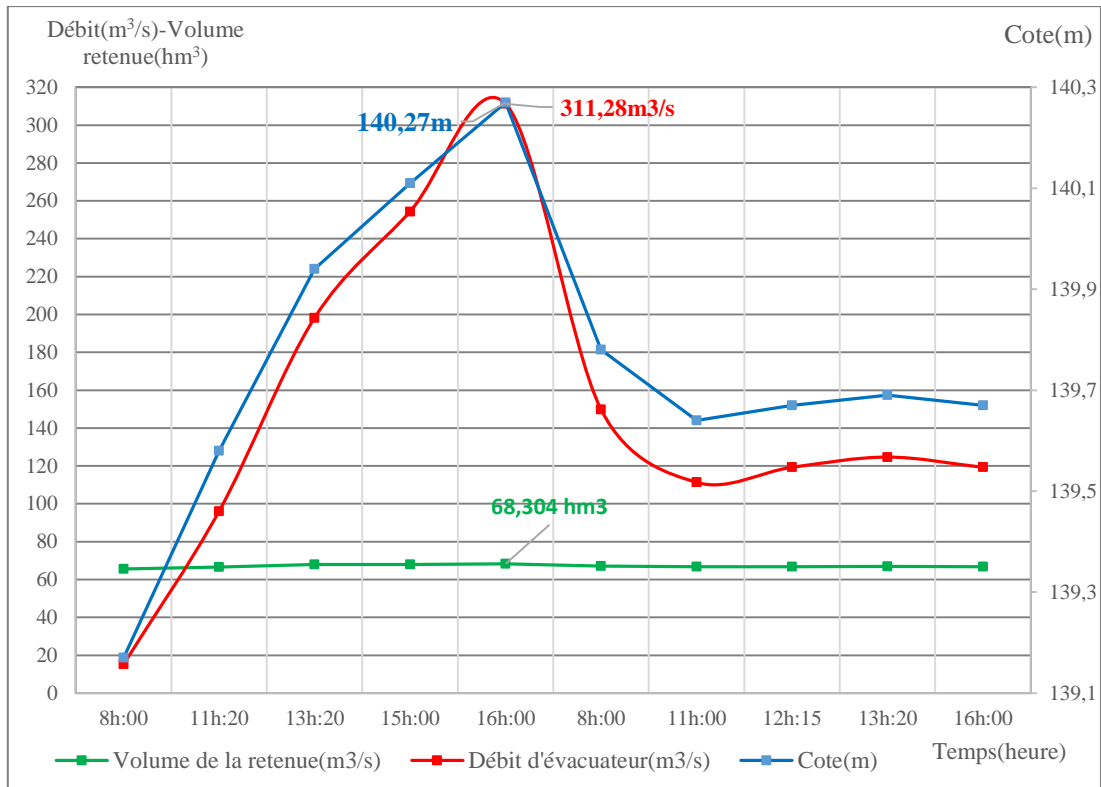


Figure 69. Courbe de laminage horaire de la crue des 22 et 23 février 2012 au barrage de Bougous. (ANBT Exploitation Bougous, 2012).

3.2 Apports et laminage des crues des 10 et 11 mars 2012

D'après le tableau 48 cité plus haut et la figure 70, on peut émettre les constatations suivantes :

- A Barbara : l'onde de la crue est passée le 10 mars avec un apport journalier maximal de 11.58 hm³ et une vidange de fond de 8.44 hm³. La hauteur pluviométrique cumulée des 9 et 10 mars s'élève à 64 mm.
- A Bougous et à Mexa, l'onde de la crue a été enregistrée le 11 mars avec des apports journaliers maximums respectivement de 13.19 et de 66.34 hm³ soit un débit journalier moyen de 152.66 et de 767.82 m³/s respectivement. Les vidanges de fond ont atteint respectivement 13.10 et 52.26 hm³. La pluviométrie mesurée les 10 et 11 mars était de 81.4 et 44,5 mm à Bougous et à Mexa respectivement. Les vidanges de fond ont été effectuées à raison de 13.10 hm³ à Bougous et de 52.26 hm³ à Mexa.

La crue du mois de mars à l'échelle du bassin du barrage de Mexa, s'est traduite par des lâchers importants atteignant 88.10 hm³ et seulement 4 hm³ ont été stockés. Pendant 7 jours consécutifs (du 7 au 13 Mars 2012) et à une quinzaine de jours d'intervalle de la première crue des 22 et 23 février, les lâchers excessifs étaient à l'origine d'une deuxième inondation de la plaine d'El Tarf gorgée d'eau.

A Bougous, la crue des 10-11 mars 2012 s'est produite quinze jours après la crue précédente. La figure 70 reproduit la courbe de laminage de la crue par le déversoir du barrage. Le débit maximum de l'évacuateur de crue a atteint 155.62 m³/s le 10 mars à 20 h, la cote correspondante était de 139.80 m. L'apport total de la crue est évalué à 13.195 hm³ et le volume total évacué équivaut 13.106 hm³. Cette crue a été gérée de façon à évacuer la totalité des apports entrants.

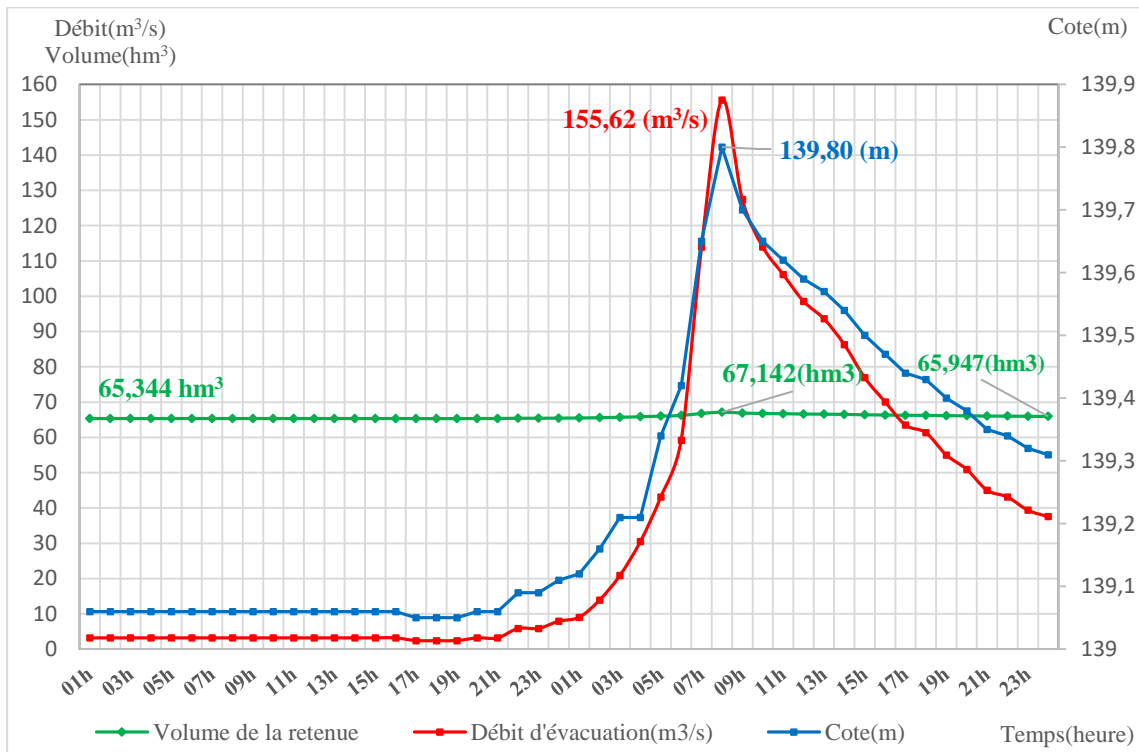


Figure 70. Courbe de laminage horaire de la crue des 9 et 10 Mars 2012 au barrage de Bougous. (ANBT Exploitation Bougous, 2012).

3.3 Impacts des crues : dégâts causés par les crues de février et mars 2012

L'analyse de ces deux crues successives, nous a permis de constater l'abondance en eau mobilisable du bassin versant de la Mafragh. Durant 25 jours, du 20 février au 15 mars 2012, la plaine d'El Tarf dans sa partie Est était le réceptacle des volumes excédentaires de 242 hm³ déversés dans l'urgence par le barrage de Mexa et 175 hm³ par le barrage de Cheffia, soit un volume total de 417 hm³ (pratiquement équivalent à la totalité des apports) (tableau 49).

Tableau 49. Volumes déversés par les deux barrages de Mexa et Cheffia vers la plaine d'El Tarf (crues de février et mars 2012)

| Crue | Barrage | Apports (hm ³) | Lâchers (hm ³) |
|--|--------------|----------------------------|----------------------------|
| Crue des 22/23 février 2012 | Mexa | 105 | 98 |
| | Cheffia | 83 | 91 |
| | Total | 188 | 189 |
| Crue des 10/11 mars 2012 | Mexa | 77 | 71 |
| | Cheffia | 56 | 54 |
| | Total | 133 | 125 |
| Total du 20 février au 15 mars 2012 (25 jours) | Mexa | 242 | 242 |
| | Cheffia | 175 | 175 |
| | Total | 417 | 417 |

Cet état des faits, nécessite d'entrevoir le transfert des volumes dilapidés à chaque épisode pluvieux pour leur utilisation au profit des régions qui accusent un déficit en eau (par exemple, au profit des wilayas de Souk Ahras et Guelma). L'interconnexion du barrage de Mexa et de Cheffia avec d'autres barrages devient la solution la plus efficace et avantageuse sur le plan économique, social et environnemental (cf. chapitre 6).

La protection des habitations de l'aval au moment des crues exceptionnelles nécessite de la part des gestionnaires des barrages et des différents acteurs territoriaux une démarche de prévention basée sur la réduction des facteurs de vulnérabilité aux évènements de crue (cf. chapitre 5).

Durant la première crue (22-23 février), les lâchers avaient des conséquences et des dégâts sur l'évacuateur de crue du barrage de Mexa qui a vu transiter une lame d'eau déversante de 4.5 m. D'après le rapport de l'exploitation du barrage de Mexa ANBT (2012), les dégâts de la crue de février sur l'évacuateur de crue sont comme suit :

- *submersion totale de la digue de protection du talus aval, rive droite du bassin de dissipation, la chambre des vannes et de la chambre venturi.*
- *déstruction totale de la diguette de protection du talus aval de la digue et la destruction partielle de béton projeté du talus rive droite du bassin de dissipation (photo 18).*
- *galerie de vidange de fond : sur la partie rive gauche et rive droite de la sortie de la galerie de vidange de fond : rip rap emporté et début d'érosion.*
- *remaniement du rip rap de la digue avec un début d'effet de lessivage des matériaux du corps de la digue au pied du mur bajoyer de l'évacuateur de crue coté rive droite.*
- *remaniement du rip rap par endroit isolé sur le talus aval de la recharge.*



Photo 18: Dégâts de la crue des 22 et 23 février 2012 sur l'évacuateur de crue du barrage de Mexa (Affoun, mai 2017)

Dans le rapport de la direction de la protection civile de la wilaya d'El Tarf sur les intempéries et les dégâts des inondations de 2012, il est écrit ce qui suit : « *durant les premiers jours des inondations il a été effectué plus de 350 interventions touchant 56 quartiers à travers 15 communes, de repêcher 3 personnes en danger de mort, 101 personnes et 14 familles de 5 personnes chacune et le décès de trois (3) personnes emportées par les eaux à Cheffia et Ain Khiair sur oued Kebir-Est* ».

L'analyse des dégâts sur l'ensemble de la plaine d'El Tarf- Boutheldja (basse vallée de la Mafragh) sera traitée dans la Troisième Partie de la thèse (cf. [chapitre 5](#)).

Conclusion

Le bassin versant du haut Kébir-Est est un bassin transfrontalier contrôlé par trois barrages : Mexa et Bougous en Algérie et Barbara en Tunisie. Cet hydrosystème est symétrique à celui du barrage Cheffia abordé au chapitre 2. Il se caractérise par des apports annuels irréguliers et abondants en particulier durant les années hyper humides.

Une longue histoire (de l'inscription du projet en 1982 à la mise en eau en 2003) précède la mise en eau et l'exploitation du barrage de Mexa, le projet a subi des modifications importantes sachant que sa cote de retenue normale a été revue à la baisse (de 78 à 58 m NGA) et son volume régularisé annuel de 175 à 47 hm³. Ce réaménagement est la cause principale de la réalisation en 2005 d'un deuxième barrage, Bougous, à l'amont de Mexa, alors que celui de Barbara a été réalisé en Tunisie en 1999.

Ces trois barrages régularisent en moyenne annuelle un volume total de 160 hm³. Depuis 2011, les apports ont atteint des valeurs extrêmes durant les années humides. Le volume annuel des déversements à partir de Mexa a atteint 659, 590 et 597 hm³ en 2004/05, 2011/12 et 2014/15 respectivement.

Des inondations catastrophiques sont enregistrées suite aux deux crues exceptionnelles survenues en février et mars 2012. Pendant 25 jours, du 20 février au 15 mars, la plaine d'El Tarf dans sa partie Est (basse plaine de la Mafragh) était le réceptacle des volumes excédentaires (242 hm³) déversés dans l'urgence par le barrage de Mexa.

Ces volumes excédentaires imposent le recours à l'interconnexion des barrages et le transfert de ces volumes pour satisfaire les besoins d'une population sans cesse croissante. Cette population de la région de Annaba-El Tarf a connu un stress hydrique sévère durant l'été de 2017.

Le système de barrages en cascade Barbara - Bougous – Mexa sur le haut Kébir-Est nécessite un modèle de gestion tenant compte en outre de l'historique des crues.

Entre abondance et indigence des écoulements, liés aux caractères aléatoires des précipitations durant l'année, une politique de gestion rationnelle des barrages du système Mexa doit être instaurée entre les deux pays, la coordination entre les gestionnaires des barrages transfrontaliers est indispensable.

**TROISIEME PARTIE : PROTECTION ET AMENAGEMENT DU
BASSIN VERSANT DE LA MAFRAGH**

Introduction de la Troisième Partie

Les eaux de surface sont aujourd'hui fortement sollicitées par l'aménagement. A l'amont comme à l'aval, les aménagements réalisés révèlent leur impact sur le fonctionnement hydrologique du bassin versant de la Mafragh.

La basse vallée de la Mafragh est sévèrement touchée par l'impact des aléas hydroclimatiques (à l'exemple des inondations des années 2004/05 et 2011/12 et des sécheresses de 2001/02 et de l'été 2017), ces derniers affectent aussi la sécurité et la santé des populations, les infrastructures, l'agriculture, l'environnement et l'économie.

La croissance des agglomérations se traduit par une expansion des périmètres urbanisés et imperméabilisés, ce qui constitue un autre facteur d'aggravation des inondations lors des événements de crues auxquels s'ajoutent les déversements des barrages effectués en général dans l'urgence.

Après avoir identifié dans les deux Parties précédentes le mode de fonctionnement des deux hydrosystèmes (Bounamoussa et Kébir-Est), contrôlés respectivement par le barrage de Cheffia et celui de Mexa. La troisième Partie traite des questions de protection contre les inondations des territoires situés à l'aval de ces barrages ([chapitre 5](#)) ainsi que du programme d'aménagement intégré (mobilisation des ressources en eau , épuration des eaux usées, dessalement de l'eau de mer, protection contre les événements extrêmes) du bassin versant de la Mafragh ([chapitre 6](#)).

***CHAPITRE 5 : AMENAGEMENT ET PROTECTION DE LA
PLAINE D'EL TARF CONTRE LES INONDATIONS***

Introduction

La plaine d'El Asfour et la basse vallée de l'oued Bounamoussa font partie du bassin versant de la Mafragh (partie Est de la plaine de Annaba). Cette plaine alluviale est traversée par l'oued du Sud vers le Nord. Elle est le premier secteur équipé du périmètre de la Bounamoussa (Tomas, 1969).

La plaine d'El Tarf correspond à la basse vallée de l'oued Kébir-Est, drainant la partie orientale du bassin versant de la Mafragh. Elle s'étend d'Est en Ouest sur une surface de 24000 ha (ASAL, 2018).

Cette plaine est concernée par l'aménagement hydroagricole sur une surface de 17092 ha (superficie totale étudiée) et par la réalisation d'ouvrages de protection des terres contre les inondations, dans le cadre d'un projet réceptionné en 2011 (MRE- AGID, 2003). Ce projet permet par là-même la protection des agglomérations de la plaine dans un contexte général d'accroissement démographique et d'extension des surfaces urbanisées.

Six communes sont entièrement intégrées dans la plaine comprenant 22 agglomérations (entre agglomérations chefs-lieux de communes et agglomérations secondaires). Depuis 1985, plusieurs agglomérations d'ordre inférieur ont été promues en chefs-lieux de communes (Berrihane, lac des oiseaux), en chefs-lieux de Daira (Ben M'hidi et Boutheldja). Aussi, la ville d'El Tarf assure la fonction de chef-lieu de Wilaya. Ces agglomérations ont connu ces dernières décennies un développement remarquable et une urbanisation rapide (nombreux programmes de logements et d'équipements) au rythme d'une nouvelle wilaya sous équipée. Leur extension sur des sites vulnérables a accentué le risque d'inondation.

Il devient alors urgent d'adapter des concepts et des méthodes nouvelles de gestion des crues exceptionnelles.

1 CARACTERISTIQUES HYDRO-AGRO-PEDOLOGIQUES ET MISE EN VALEUR DE LA PLAINE D'EI TARF

Avant de présenter la plaine d'El Tarf on a jugé nécessaire de donner un aperçu sur la plaine de Asfour.

Aperçu sur la plaine de Asfour

Cette unité physiographique à une histoire est fu le premier périmètre mis en valeur en irrigation de la Bounamoussa (Tomas, 1969). Elle est d'une topographie plane légèrement ondulée avec une pente très faible qui varie entre 0 et 5%. Elle s'étale sur une superficie de 1200 ha, soit 11.48 % de la surface totale de la commune (10 452 ha) dont 850 ha est équipée pour l'irrigation.

Selon Marre (1987), le bassin de Asfour présente un fond parfaitement plat (la plaine de Asfour) que dominant des versants gréseux. Il correspond à une plaine alluviale traversée par l'oued qui s'encaisse de plusieurs mètres. Les formations récentes sont peu présentes à l'exception des terrasses récentes qui longent l'oued Bounamoussa. A la sortie du bassin de Asfour, vers le Nord l'encaissement devient important est atteint les 10 m, et une autre terrasse naît à une altitude de 4 à 5 m au-dessus de l'oued. Ces deux basses terrasses sont constituées exclusivement par des sables limoneux de couleur beige à gris. Elles sont d'âge holocène et vont se raccorder au niveau de la plaine d'Annaba.

Le problème de l'eau pour la mise en valeur du premier périmètre d'irrigation de la région d'Annaba a été décrit par (Tomas, 1970). Concernant l'importance de la réalisation du barrage de Cheffia pour assurer l'irrigation du périmètre de la Bounamoussac (mise en eau en 1965), Tomas (1970) dit que « *c'est en définitive la sidérurgie qui a sauvé le barrage, terminé en 1965* ».

La plaine de Asfour fait partie du périmètre irrigué de la Bounamoussa (secteur de Asfour). Tomas (1969) cite cette plaine comme le premier secteur équipé de ce périmètre : « *Cette seconde étape a d'ailleurs été abordée avec le développement de l'irrigation dans la plaine d'Asfour, premier secteur équipé du périmètre irrigable du Bou Namoussa* ». Il dit aussi que la première plaine équipé en 1965 est celle de Asfour : « *Alors, en effet, que seule la petite plaine d'Asfour est équipée pour l'irrigation (850 ha sur un périmètre qui en dépasse 20 000)* ».

L'équipement de la totalité du périmètre a été achevé deux ans plus tard : « *le périmètre irrigable du Bou Namoussa dont l'équipement est entré dans sa phase active depuis 1967* ».

1.1 Situation géographique de la plaine d'El Tarf

La plaine d'El Tarf correspond à la continuité de la basse vallée de la Mafragh. Cette unité physiographique est limitée (figure 71) :

- Au Nord par le cordon dunaire de Bouteldja (Djebel El Koursi culminant à 329 m) et le lac Oubeira.
- A l'Est, les monts de la Calle (Djebel Dar el Aicha : altitude 252 m)
- Au Sud par les monts de la Cheffia (Djbel Hamoum : 360 m).
- A l'Ouest Oued Bouhlalla fait la limite, par des côtes de 1 à 6 m.

Garâat El M'khada s'étend vers le Nord-Ouest par des côtes de -1 à 5 m, elle occupe une surface de 8900 ha ([Surgis et Symoens, 1987](#)).

L'aire objet de l'aménagement s'étend sur une longueur d'environ 73 km depuis la rive orientale du lac Oubeira à l'Est jusqu'à la confluence du Kébir-Est avec la Mafragh.

Le périmètre d'irrigation d'El Tarf occupe la terminaison Est de la grande plaine de Annaba-El Tarf. Il s'étend entre les communes de Ain Assel, El Tarf, Boutheldja, Lac des oiseaux et Berrihane. Il est limité au Nord par le cordon dunaire, à l'Est et à l'Ouest par des collines, des montagnes et par les marécages de El M'khada (figure 71).

Dans l'étude de l'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf, Avant-Projet Sommaire définitif, l'étude des propriétés morphologiques, physico-chimique et hydrodynamiques des sols de la plaine était indispensable pour la définition des potentialités naturelles en sol et la mise en valeur de ces terres en intensive ([MRE- AGID, 2003](#)).

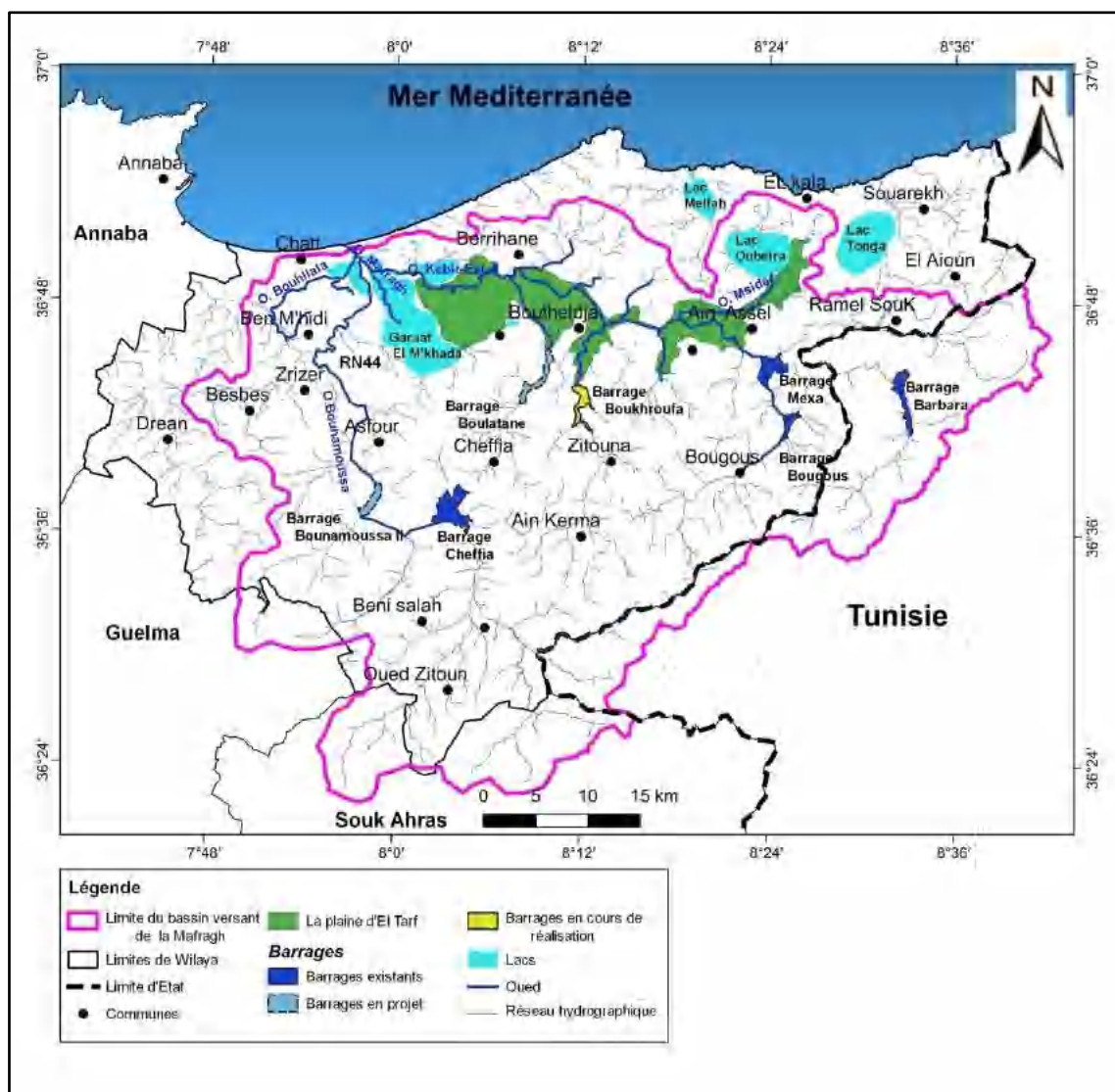


Figure 71. Cadre géographique de la plaine d'El Tarf.

1.2 Caractéristiques morpho-géologiques

Du point de vue géomorphologique, le périmètre est divisé en deux unités :

- La plaine d'El Tarf-Ain Assel
- La plaine de Bouteldja-Lac des oiseaux

Ces deux plaines sont séparées par un chaînon montagneux, traversé par les gorges de l'oued Kébir-Est.

Au Nord-Est, le bassin d'El Tarf -Ain Assel est une véritable plaine interne. L'altitude du fond plat varie de +2 à 28 m, et est parcourue par l'amont de l'oued Kebir-Est. Au Nord, le lac Oubëira qui occupe une dépression prolonge cette plaine. Plus au Sud, l'ensemble du bassin est dominé par des escarpements gréseux qui le ceinturent complètement. Des vallées étroites

drainent ce bassin avant de rejoindre Oued Kebir-Est qui met en communication le bassin d'El Tarf avec la plaine de Bouteldja vers l'Ouest par un couloir étroit (Affoun, 2006).

La plaine de Bouteldja correspond à la basse vallée de l'Oued Kebir-Est. Occupée sur ses bordures par des étangs marécageux (Lac des Oiseaux, Les Nechâas de Righia), elle est légèrement bombée de part et d'autre de l'oued, l'altitude varie de -1 à 20 m (Affoun, 2006).

La plaine d'Annaba est d'une altitude inférieure à +10 m. Depuis la mise en place des nappes telliennes au Tertiaire, elle se caractérise par une subsidence de certains secteurs (Marre, 1987). Cette subsidence a créé des bassins, comblés progressivement par les sédiments continentaux, et formant les aquifères les plus importants. Les secteurs où les cuvettes n'ont pas reçu un flux suffisant de sédiments ont conservé l'aspect d'une zone humide avec des lacs de profondeur variable (communication de stage de terrain, Bougherara, 2018). Les massifs montagneux sont essentiellement des terrains de l'Eocène supérieur-Oligocène (dit Numidien).

1.3 Caractéristiques hydrologiques

L'oued Kébir-Est est le cours d'eau principal qui traverse la plaine d'El Tarf où est érigé le périmètre d'irrigation de Ain Assel- El Tarf- Bouteldja. Il est le collecteur des affluents secondaires (El Guergour, Bouhalloufa et Boulathane) ; le lit actuel de l'oued Kébir-Est est profondément encaissé jusqu'à trois mètres en moyenne (MRE- AGID, 2003). Il est jalonné par une ripisylve composée d'arbres et arbustes ; leur enracinement en profondeur fixe les berges, limitant ainsi l'érosion des berges.

A ces facteurs s'ajoutent, la nature des sols marécageux et imperméables situés sur une nappe phréatique superposée à une nappe de gravier profonde se saturant rapidement (figure 72). La nappe phréatique supérieure (superficielle) est entièrement saturée et affleure pendant une longue période de l'année.

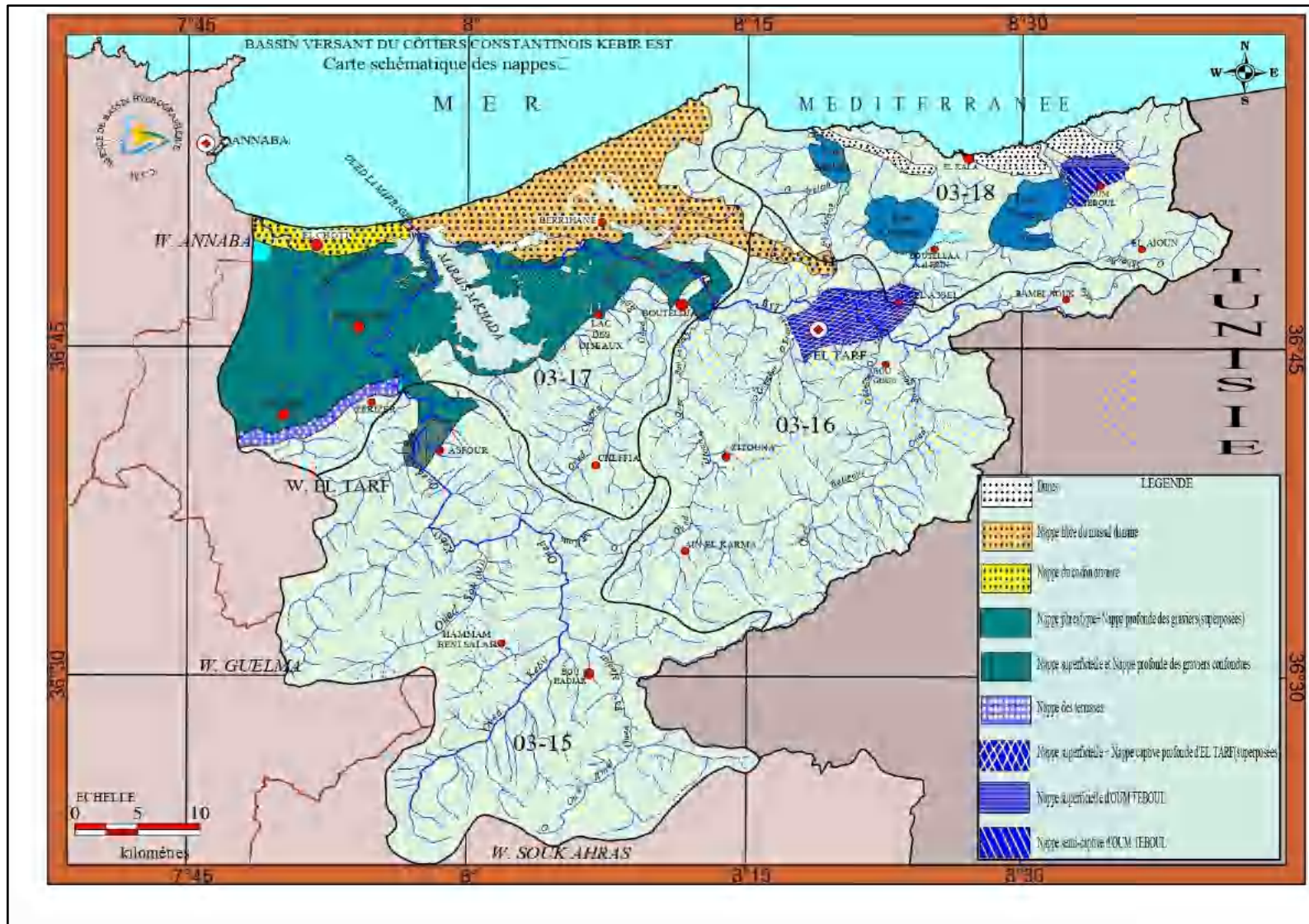


Figure 72. Carte Schématique des nappes souterraines de la plaine El Tarf (ABH, 2002).

1.4 Ressources en sol de la plaine d'El Tarf

Selon l'étude d'aménagement hydro-agricole de la plaine d'El Tarf, la majorité des sols sont lourds de texture fine à très fine (densité apparente faible), ils présentent une vertisolisation. Leur mauvaise perméabilité est inférieure à 1 cm/heure à l'exception de ceux de la zone d'El Frine qui sont d'une texture grossière avec une densité apparente élevée. Des couches profondes trop compactes nécessitent un drainage.

D'après l'Avant-projet sommaire définitif, les études pédologiques ont permis d'identifier 3 catégories de sols qui sont favorables à l'irrigation, couvrant une surface totale de 10025 ha par rapport à une superficie totale étudiée de 17092 ha. Certaines surfaces sont situées très loin du système d'irrigation et n'ont pas été intégrées dans le système d'irrigation. Cependant, des sols de catégorie IV, cernés par des sols de catégories II et III ont été intégrés dans les surfaces à irriguer. Ces terres sont localisées dans la partie Ouest, secteurs du Lac des oiseaux et de Boulathane, poches formées de vertisols et de sols peu évolués, halomorphes et hydromorphes avec un taux de salure semblable à celui des surfaces adjacentes des sols de catégorie II.

Le tableau 50 résume les caractéristiques des catégories des sols concernés par l'irrigation. La catégorie IV (2453 ha) pose des problèmes majeurs d'aménagement (dessalage) d'où une mise en valeur en sec est conseillée (soit 14 %). La catégorie V concerne les zones non irrigables (facteurs limitants extrêmes).

Tableau 50. Caractéristiques des sols par catégories (MRE-AGID, 2003)

| Catégorie | Caractéristiques de la catégorie | Aptitude à l'irrigation | Aménagement |
|-----------------|---|--|---|
| I | -Sols profonds de texture moyenne à fine bien structurée. - Topographie régulière, pente faible et bien drainante. | Aptes à toutes les cultures en irrigué (371 ha soit 2 % de la superficie totale) | Sols ne représentent pas de problème d'aménagement préalable à leur mise en valeur |
| II | -Sols peu à moyennement profonds, de texture moyenne à fine bien structurée jusqu'à moyenne profondeur. - Sols mal drainant à moyenne profondeur avec risque de formation de nappes perchées après mise en irrigation. -Topographie régulière ou faiblement ondulée et de pente faible. | Aptes à toutes les cultures avec restriction pour certaines cultures (4250 ha soit 25 % de la superficie totale) | Problème mineur d'aménagement (le drainage et le dessalage à prévoir avant la mise en irrigation) |
| III | -Sols profonds à moyennement profonds de texture moyenne, fine ou très fine. -La structure moyenne est favorable -Caractère de salure et /ou d'hydromorphie -Présence de nappe vers 100 cm -Topographie régulière ou moyennement ondulée. -Pente pouvant aller jusqu'à 5 %. | Zone à réserver aux cultures en assolement (5404 ha soit 32 % de la superficie totale) | Problèmes d'aménagements essentiels (le drainage et le dessalage à prévoir avant la mise en irrigation) |
| Total surface : | | | 10025 ha |

1.5 Aménagement hydro-agricole

1.5.1 Le projet d'aménagement hydroagricole

Le projet vise à assurer une mise en valeur intensive des terres agricoles fertiles de la plaine d'El Tarf-Ain Assel et Bouteldja- Lac des oiseaux, pour accroître la productivité de ces terres, stabiliser et accroître les rendements et augmenter le nombre de récoltes par an (MRE-AGID, 2003). Ceci passe par des interventions à deux niveaux :

- La réalisation d'un système d'assainissement et d'irrigation qui permettront d'éliminer l'excès d'humidité des sols en particulier durant la période pluvieuse. Selon l'avant-projet sommaire de l'étude de l'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf, ce projet a pour finalité la régularisation des cours d'eau, la protection contre les crues, l'assainissement et le drainage des terres inondables pour leur mise en valeur.
- L'atténuation du déficit en eau nécessaire au développement des cultures durant la période sèche estivale.

L'impact socioéconomique de ce projet, très important pour les agglomérations et la plaine d'El Tarf, concerne (MRE- AGID, 2003) :

- la protection du périmètre de Ain Assel- El Tarf- Boutheldja contre les inondations en atténuant de manière substantielle les débordements des Oueds ; Kébir-Est, Guergour et Boulathane.
- le développement d'une agriculture irriguée intensive,
- la création d'emplois temporaires (2400) et permanents (4800)
- la protection de 40 km de routes et amélioration des conditions de vie d'environ 100 000 habitants

La première tranche de l'aménagement hydro-agricole de la plaine d'El Tarf a été réalisée en mars 2011. La crue de référence retenue dans la réalisation du projet de l'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf est d'une fréquence vicennale pour une cote de projet de 10,37 m (hauteur des digues) avec ± 60 cm comme cote de sécurité pour les plus hautes eaux (PHE) aux fins d'atténuation des inondations.

D'après l'étude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine d'El Tarf, la surface aménagée par le système d'irrigation a été définie sur la base des volumes régularisés et assurés par les barrages de (Bouamoussa II, Boukhroufa et Boulatane) soit un volume théorique total ($V_{\text{assuré}}$) de 91.75 hm³/an, à partir des besoins unitaires bruts en eau de 10270 m³/ha. Ce réseau de barrages sera interconnecté, pour le transfert des volumes excédentaires et afin d'assurer le remplissage du barrage de Boukhroufa. L'eau mobilisée sera destinée à l'irrigation du périmètre de Ain Assel, d'El Tarf-Bouteldja. La surface nette irrigable est en conséquence évaluée à 9118 ha.

Une enquête foncière a été réalisée en 2006 dans le cadre du projet d'aménagement hydro-agricole portant sur une surface totale de 16160 ha. La structure foncière du périmètre d'El

Tarf se caractérise par de fortes disparités opposant les grandes et petites parcelles. Les parcelles ont des surfaces allant de 0.5 à 100 ha. Le statut foncier est partagé entre le secteur étatique qui occupe une surface de 5674 ha (EAC et EAI) soit 56 % de la surface cultivable et le secteur privé occupe 4516 ha (44 %).

1.5.2 Les besoins en eau d'irrigation

La plaine est recouverte de sols hautement productifs ; ces sols alluvionnaires ont une bonne aptitude à la production agricole en mode intensif, qui constitue une activité économique principale pour la population rurale riveraine.

L'aire d'étude à irriguer dans le cadre de cet aménagement est constituée de cinq (5) secteurs couvrant une surface brute totale de 9553 ha, avec une superficie nette irrigable évaluée à 9118 ha (tableau 51). La dose moyenne d'irrigation des cultures de l'assolement est estimée à 10270 m³/ha , soit un volume total annuel estimé à 93.64 hm³/an pour satisfaire les besoins en eau du périmètre(9118 ha).

Tableau 51. Répartition des surfaces et des besoins en eau d'irrigation de pointe par secteur

| Zone | Secteur | Superficie à irriguer (ha) | | Besoins bruts en eau |
|-------|-----------------|----------------------------|------|---------------------------|
| | | Brut | Net | Annuel (hm ³) |
| Est | El Tarf | 2602 | 2456 | 25.30 |
| | Bouhalloufa | 1127 | 1104 | 11.37 |
| Ouest | Boutheldja | 1140 | 1086 | 11.19 |
| | Boulathane | 969 | 915 | 9.42 |
| | Lac des oiseaux | 3715 | 3557 | 36.64 |
| Total | | 9553 | 9118 | 93.92 |

L'eau mobilisée par le barrage de Bouhaloufa (mise en eau prévue pour 2022 selon la DRE de la wilaya d'El Tarf) ne pourra pas assurer les quantités prévues pour l'irrigation du périmètre, d'autres barrages sont prévus dans l'avant-projet sommaire d'aménagement du bassin versant de la Mafragh (figure 73).

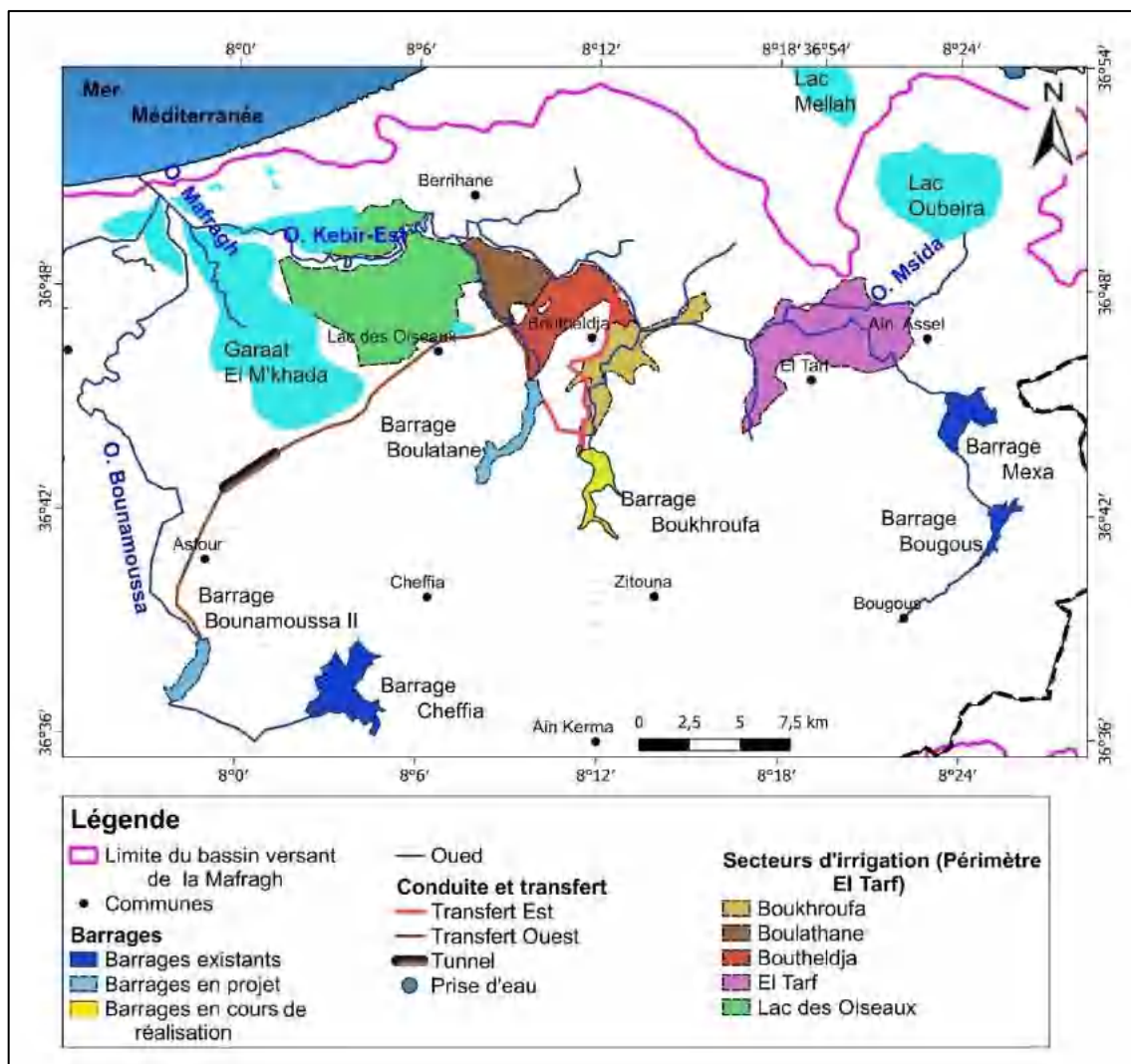


Figure 73. Les secteurs du périmètre d'irrigation projeté d'EL Tarf. (MRE- AGID, 2003) complétée.

1.5.3 L'AEP, un secteur prioritaire

Dans le cadre de l'affectation des ressources en eau disponibles, l'agriculture est le deuxième secteur prioritaire après l'AEP, conformément au code des eaux de l'Algérie (loi n° 05-12 du 4 août 2005).

La réalisation du premier barrage (Cheffia) en 1965, au niveau du bassin versant de la Mafragh, était destinée principalement à la satisfaction des besoins en AEP de la population de la wilaya de Annaba et à l'irrigation du périmètre de Bounamoussa en projet. Avec la promotion en 1985 de la wilaya d'El Tarf, comme wilaya de plein exercice, la population des deux wilayas (El Tarf et Annaba) a atteint selon le RGPH de 2008, 1017913 habitants (tableau 52).

Tableau 52. Evolution de la population des deux wilayas d'El Tarf et de Annaba selon le RGPH. (Monographie de la wilaya d'El Tarf et de Annaba)

| Wilaya | RGPH 1966 | RGPH 1977 | RGPH 1998 | RGPH 2008 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| El Tarf | 193497 | 275315 | 352588 | 408414 |
| Annaba | 350032 | 455888 | 557818 | 609499 |
| Total | 543529 | 731203 | 910406 | 1017913 |

Cet accroissement démographique est à l'origine d'une augmentation des besoins en eau potable de la population. D'après la DRE de la wilaya d'El Tarf, la dotation journalière produite en eau potable au niveau des communes varie entre 150 à 200 l/j/hab et la dotation journalière distribuée à l'abonné varie de 120 à 150 l/j/hab. Si on admet une dotation journalière moyenne de 200 litres/jour/habitant, les besoins globaux de cette population sont de l'ordre de 203582,6 m³/jour soit 74 hm³ par/an. Pour aboutir aux normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), cette population nécessite la mobilisation de 1017 hm³/an.

2 PROTECTION DE LA PLAINE CONTRE LES INONDATIONS ET PROJET D'IRRIGATION

La protection des terres agricoles contre les inondations pour leur mise en valeur ne peut s'accomplir qu'après la réalisation des ouvrages de protection. Il s'agit de la régularisation des cours d'eau et de la protection des terres contre les inondations, l'assainissement et le drainage.

2.1 Les ouvrages de protection des terres agricoles contre les inondations

Les digues réalisées le long de l'oued El Kébir-Est et de ses affluents permettent la protection d'environ 6500 ha des terres agricoles susceptibles d'être inondées périodiquement. L'assainissement et le drainage, par les réseaux de canaux, les fossés à ciels ouverts et par les

drains enterrés assurent l'évacuation de l'excédent des précipitations de toutes les terres basses menacées. Tous les passages sous-digues sont équipés par des clapets anti-retour (photo 20). Alors que les passages sous-pistes sont des passages busés avec des diamètres allant de 1200 à 1500 mm (photo 21).

Le réseau à ciel ouvert (canaux et fossés) couvre une superficie de 12450 ha alors que le réseau de drainage couvre une surface de 5900 ha (*MRE- AGID, 2003*). Cet aménagement a touché les zones menacées, et le drainage a été commandé par la nature des sols et par des expériences par rapport à la spécificité de la région.

Les photos 19, 20, 21, 22, 23 et 24 illustrent les ouvrages qui constituent ce projet :

1. **Les ouvrages génie civil** : ce sont des ouvrages sous-digues ou bien sous-pistes
2. **Les digues de protection** : réalisées en terre compactée de section trapézoïdale : ce sont des ouvrages de protections d'une longueur différente et d'une hauteur conjointement parallèle à la côte de terrain nature (CTN). La pente est constante elle représente 50 % soit $\frac{1}{2}$ avec une petite base constante de 2.5 m (figure 74).
3. **Bouche de décharge ou Chute** : ouvrage réalisé à l'intersection des fossés principaux avec Oued Kébir-Est pour diminuer l'impact de l'eau et limiter l'érosion (photo 22).
4. **Les fossés de drainage** : réseau de drainage à ciel ouvert de section trapézoïdale
5. **Station de pompage** : elle est située à -8 m par rapport au niveau de la mer ; son rôle est l'évacuation des eaux du système de drainage D2 et D3 vers oued Kébir-Est avant de se jeter dans la Mafragh. Elle fonctionne en mode 3+1 (3 pompes fonctionnelle et une quatrime pompe en réserve). La capacité d'évacuation de chaque pompe est de 1 m³/s soit 259200 m³/jour.

La côte du projet est arrêtée à 10.33 m par rapport au niveau 0, avec une cote de sécurité de \pm 60 cm (Cote plus haute eaux : PHE), la hauteur de la digue dépend de la côte de terrain normal (CTN), plus la cote de terrain naturel est élevée plus la hauteur de la digue H est faible et vice versa). La figure 74 présente une coupe transversale dans l'aménagement du Kébir-Est.

Les parcelles ayant servi pour les emprises des différents ouvrages (digues, fossés, pistes, brises vent et ouvrages génie civil) sont au nombre de 569 parcelles touchées par l'expropriation (*ONID, 2012*). Les parcelles enclavées entre digue et oueds constituent des zones d'expansion des crues et par conséquent ne seront pas protégées et n'ont pas fait l'objet d'aménagement.

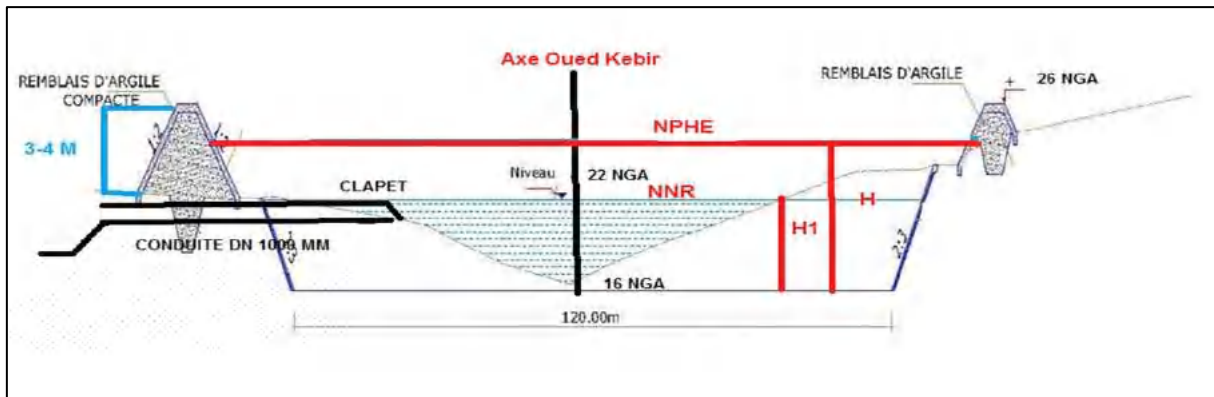


Figure 74. Coupe transversale sur l'oued Kébir-Est : deux digues de protection équipées d'un clapet nez anti-retour (ONID, 2015).

L'aménagement hydro-agricole comporte deux Lots (ONID, 2015) :

2.1.1 Lot A du côté Ain Assel- El Tarf- Guergour

Ce lot est composé de deux digues de protection : la digue 6 sur la rive droite du Kébir-Est et la digue 7 sur sa rive gauche.

Le système de drainage est appelé système K, il est composé d'un réseau de fossés principaux de drainage de K1 à K7.

Le système K4 est équipé d'une bouche de décharge en gabionnage (photo 22) entre le K4 et oued Kébir-Est, son rôle est de diminuer la vitesse de chute de l'eau pour limiter l'érosion.

Le système de l'oued Guergour comporte une bouche de décharge en gradin pour diminuer la vitesse d'écoulement des eaux doté d'un débit important.

- **Fosses** : 35,570 km.
- **Digues** : 32,899 km.
- **Ouvrages génie civil** : 36 ouvrages réalisés (07 passages sous digues, 01 bouche de décharge, 01 chute, 25 passages busés sous piste et 02 doubles dalots).
- **Pistes** : 29,020 km.
- **Brises vent** : 12,4 km (5683 plants) : travaux différés.

Travaux d'aménagement des Oueds :

- **Oued Kebir** : 15,8 km.
- **Oued Guergour** : 3 km.
- **Oued Bouhalloufa** : 2,421 km.

2.1.2 *Lot B du côté de Boutheldja, Berrihane, Lac des oiseaux, Righia et Sebaa.*

Ce lot est composé de 7 digues (Digue 1 à Digue 5 et deux digues sur oued Boulathane (digue rive droite et digue rive gauche) (photo 19).

Le système de drainage est appelé Système D, il est composé d'un réseau de fossés principaux de drainage de D1 à D9 (photo 23).

Les systèmes D1, D3, D4 et D5 et D6 : l'eau est évacuée par des canaux principaux vers oued Kébir-Est (photo 23).

Le système D2 est situé dans la zone de Chnacher (coté Est de Garâat el M'khada) située à l'Ouest de la route reliant lac des oiseaux à Sebaa. Cette zone est caractérisée par des cotes de terrain faibles (entre -1 et 3 m), l'absence d'un réseau de drainage naturel (réseau hydrographiques) et la présence d'une nappe d'eau superficielle à cet effet le surplus d'eau est évacué à l'aide d'une station de pompage. Ce système D2 d'une profondeur de -5 m à -8 m collecte les eaux vers la station de pompage avant de déverser dans l'oued Kébir-Est. La station de pompage est située à une cote -8 m, elle fonctionne selon un mode automatique et manuel en fonction du niveau d'eau de la bêche à eau équipée par une sonde et 4 pompes d'une capacité d'évacuation de 1 m³/s par pompe. Le mode de fonctionnement est 3+1 et la capacité d'évacuation est de 3 m³/s (photo 24)

- **Fosses** : 70,052 km.
- **Digues** : 39,988 km (total des deux lots=72,887 km)
- **Ouvrages génie civil** : 48 ouvrages réalisés (total=84)
- **Station de pompage** : La station est dotée d'un groupe électrogène dont la puissance de 450 KVA s'est avérée insuffisante pour faire démarrer une pompe (mise en service le 18/02/2010)
- **Pistes** : 97,816 km.
- **Brisés vent** : 37,8 km (10075 plants) : travaux différés.

Travaux d'aménagement des oueds :

- **Oued Kebir** : 35 km.
- **Oued Boulathane** : Travaux de recalibrage réalisés sur 6 km.



Photo 19: Digue (ouvrage de protection). (ONID El Tarf, 2011)



Photo 20: Passage sous-digue équipé de deux clapets anti-retour (digue 6). (ONID El Tarf, 2011)



Photo 21: Passage busé sous-piste. (ONID El Tarf, 2011)



Photo 22: Bouche de décharge. (ONID El Tarf, 2011).



Photo 23: Fossé principal (D3) à ciel ouvert. (ONID El Tarf, 2011)



Photo 24: Station de pompage équipée de 4 pompes. (ONID El Tarf, 2011).

2.2 Le réseau d'irrigation

2.2.1 Schéma d'aménagement

En fonction de la régularisation des apports naturels et des besoins nécessaires à l'irrigation, le périmètre d'irrigation a été divisé en deux sous-systèmes :

- Sous-système de la Bou Namoussa
- Sous système de Bou Halloufa.

Le principe du schéma d'aménagement adopté dans l'étude est constitué principalement par (figure 75) :

-Une conduite d'eau depuis les retenues jusqu'aux stations de pompage (prise d'eau sur Kébir-Est et barrage Bounamoussa II), d'où l'eau sera refoulée vers les retenues centrales de Bouhalloufa et Boulathane.

Le barrage de Bouhalloufa sera destiné pour l'irrigation du secteur Est (Bouhalloufa - El Tarf). Il desservira le réservoir implanté à la cote de 90 à 110 m NGA (Nivellement Général Algérien) et de là par gravité le réseau de distribution principal du secteur.

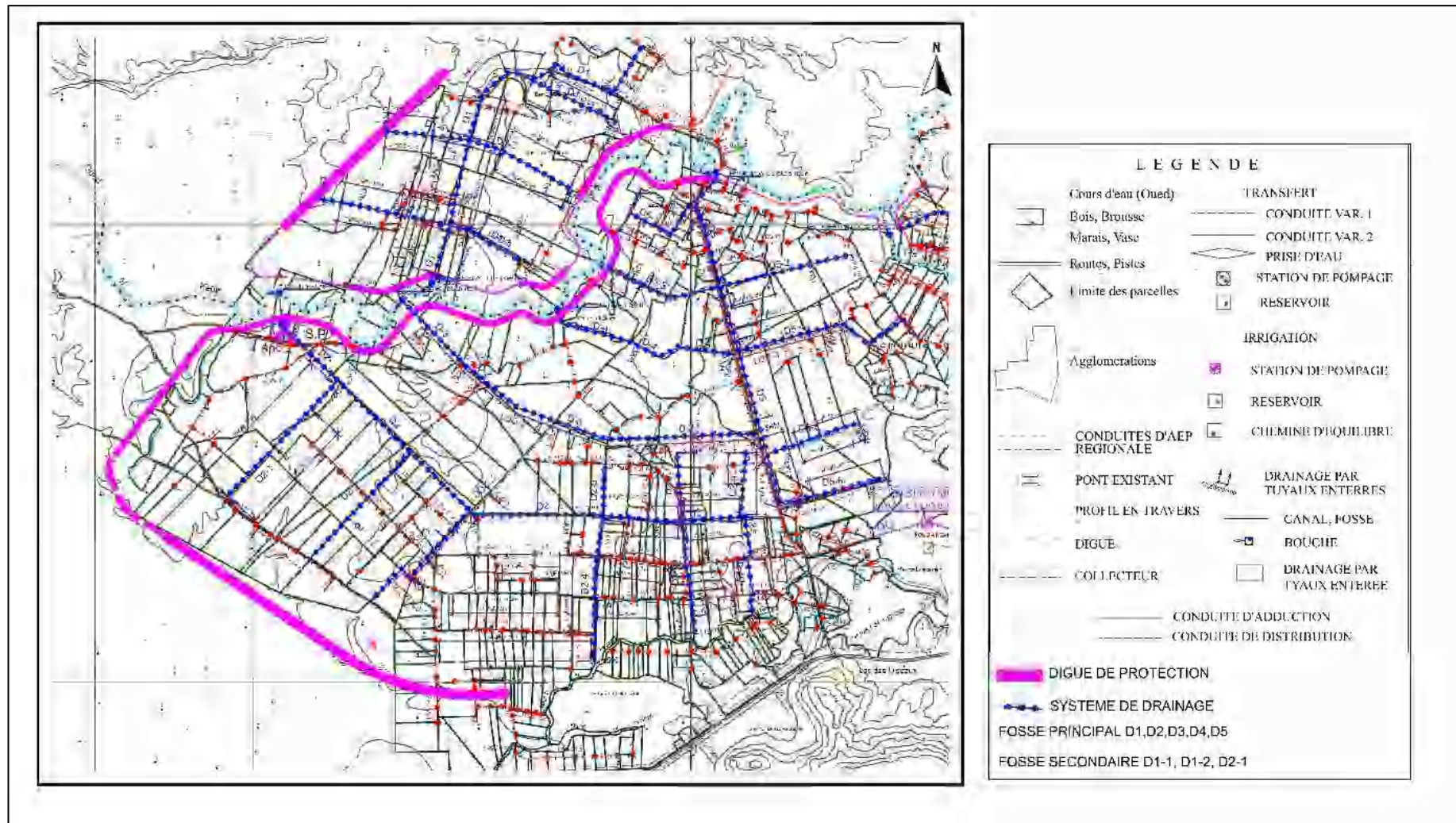


Figure 75. Extrait du plan d'aménagement du périmètre d'irrigation de la plaine d'El Tarf (Zoom sur le lot B : secteur Lac des oiseaux) (MRE-AGID, 2003)

Le barrage de Boulathane sera destiné à l'irrigation du secteur Ouest (Boutheldja, Boulathane et Lac des oiseaux). Il desservira le réservoir de Boulathane situé à la cote 70 à 80 m NGA prévu pour la desserte gravitaire en eau d'irrigation des réseaux de distribution des secteurs de Bouteldja et Boulatane et du même réservoir pour la desserte gravitaire en eau d'irrigation du réseau de distribution du réseau de distribution du secteur du Lac des Oiseaux.

Le fonctionnement du système d'irrigation peut être résumé comme suit (MRE- AGID, 2003) :

- **Ressource en eau** : L'irrigation sera exclusivement assurée par la mobilisation des eaux superficielles, elles seront fournies par les retenues de Boukhroufa, BounamoussaII et Boulathane.
- **Adduction d'eau** : le réseau d'adduction entre le point de livraison de l'eau au périmètre et le point d'entrée dans les secteurs de distribution est réalisé avec une régulation automatique du débit en fonction de la demande d'eau à l'aval.
- **Mise en pression de l'eau** : la mise en pression gravitaire n'est pas suffisante, il est prévu des stations de pompage refoulant l'eau dans les réservoirs d'équilibre surélevés avec fonctionnement automatique asservi à la demande d'eau dans les réseaux de distribution.
- **Distribution de l'eau** : l'eau est distribuée aux bornes d'irrigation à la demande par un réseau de conduites enterrées sous pression asservi à la demande.
- **Les bornes d'irrigation** permettent de contrôler le débit, la pression et le volume d'eau distribué.
- **Mode d'irrigation** : le mode d'irrigation est l'aspersion sous pression moyenne (2.5 à 4 bars) avec utilisation du matériel mobile en rotation à l'intérieur des parcelles ou îlots.
- **La structure foncière** : D'après l'avant-projet sommaire, la taille des parcelles est très variable (de petite à très grande). Elle est inférieure à 0.5 ha dans le secteur privé et les exploitations agricoles individuelles (EAI) et supérieure à 100 ha dans les exploitations agricoles collectives (EAC).

2.2.2 Les besoins en eau d'irrigation

La définition des besoins bruts en eau d'irrigation a été basée sur les besoins nets en eau et le coefficient d'efficience total du système d'irrigation. Les besoins en eau de pointe apparaissent en juillet et le module hydraulique et la capacité des ouvrages a été calculée pour satisfaire la demande au mois de juillet.

Le module hydraulique d'équipement à la parcelle est calculé en supposant que la dose d'irrigation de pointe sera donnée en 30 jours et 20 heures par jour avec un coefficient d'efficacité de 0.80.

2.2.3 Les ressources en eau nécessaire à l'irrigation

Les ressources en eau principales pour l'irrigation du périmètre d'El Tarf sont les eaux de surface mobilisées par les barrages pour assurer un volume total de 91.75 hm³/an nécessaire à l'irrigation du périmètre d'El Tarf. La prise d'eau sur Kébir-Est assure la compensation du remplissage du barrage de Boukhroufa (tableau 53).

Tableau 53. Ressource en eau mobilisable nécessaire à l'irrigation du périmètre d'El Tarf (MRE -AGID, 2003).

| Barrage | Volume assuré (hm ³) | Volume utile (hm ³) |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| Boukhroufa (<i>appelé initialement Bouhalloufa</i>) | 41.05 | 116.80 |
| Prise d'eau sur Kébir-Est | 17 | / |
| Boulathane | 11.95 | 21.65 |
| BouamoussaII | 38.75 | 71 |
| Total | 108.75 | 209.45 |

2.3 Le fonctionnement de l'embouchure de la Mafragh

La Mafragh est exposée à un problème particulier à son débouché dans la mer qui, au cours de toute l'année, est obstrué par une barre sableuse. Cette dernière crée un obstacle naturel à l'écoulement des deux principaux affluents de la Mafragh (le Kébir-Est et la Bouamoussa) et forme en arrière vers le Sud le marais de Garâat El M'khada dont les niveaux d'eau varient pendant l'année suivant l'importance des apports provenant des bassins versants de la Bouamoussa et de Kébir-Est.

Le fonctionnement de l'embouchure de la Mafragh se résume comme suit :

- Durant la période des basses eaux, les apports sont faibles, le niveau d'eau diminue dans le marécage d'El M'khada et une vidange progressive par infiltration se fait à travers la barre sableuse (MRE - AGID, 2003).
- Durant la période des hautes eaux, lorsque les apports sont importants et brusques, le niveau de l'eau augmente rapidement dans le marais, ce qui donne lieu à un débordement et à une rupture de la barrière sableuse, ayant pour conséquence un

écoulement soudain des eaux du marécage dans la mer. Suite aux effets des vagues de la mer, la barre sableuse se reforme et redonne naissance au marais d'El M'khada, dont le niveau d'eau varie entre 0.50 et 2.10 m selon les mesures effectuées dans le cadre de cette étude (MRE- AGID, 2003) (photo 25).

A ces facteurs s'ajoutent, la nature des sols marécageux et imperméables situés sur une nappe phréatique superposée à une nappe de gravier profonde se saturant rapidement (ABH, 2002) (cf. figure 72). La nappe phréatique superficielle inonde les terres agricoles pendant une longue période de l'année à Chnacher du côté de Garâat El M'khada vers le Nord-Ouest du Lac des Oiseaux (MRE -AGID, 2003).



Photo 25 : Curage de la barre sableuse formée au niveau de la Mafragh le 09/02/2017(DRE de la Wilaya d'El Tarf, 2017). a. Formation de la barre sableuse le 09/02/2017 à 7 h du matin.. b. Curage de la barre sableuse le 09/02/2017 à 16 h. c. Ouverture de la barre sableuse le 10//02/2017 à 7 h du matin (plage El Batah)

3 EFFICACITE DES AMENAGEMENTS ET DEGATS CONSTATES DANS LA PLAINE AGRICOLE

3.1 Efficacité des ouvrages de protection après les inondations de février-mars 2012 et de janvier 2015

Après la réception définitive du projet en 2011 et la survenue de deux crues exceptionnelles durant l'année suivante, plusieurs défaillances techniques ont été inventoriés d'après un entretien avec Mr Tahraoui, technicien chargé du suivi du projet durant sa réalisation de 2007 à 2011.

Durant les mois de février et mars 2012 et sur un intervalle de 15 jours, les deux crues exceptionnelles, la première survenue les 22 et 23 février et la deuxième les 10 et 11 mars, étaient une opportunité pour évaluer le fonctionnement et l'efficacité de cet aménagement de la plaine. Des sorties sur terrain ont été effectuées par les techniciens des secteurs concernés (la Direction des ressources en eau de la wilaya d'El Tarf, les services de l'Office national de l'irrigation et le drainage d'El Tarf et les communes concernées).

3.1.1 Les digues et Khelidjs

Ce projet avait un impact physique au voisinage de quelques localités de la commune de Berrihane durant les inondations de février et mars 2012 (DRE et ONID, 2012 et 2015) :

- Côté Berrihane et Oum el Aguareb, la digue 4 (point kilométrique pk : 9+500) est en bon état et elle a contribué à la protection des localités (l'impact physique était concret parce que la côte de terrain est de 14 m).
- Côté Sebaa (Digue1), les ouvrages de l'aménagement ont contribué à la protection des localités avoisinantes malgré la sous-estimation d'un passage sous-digue (pk : 0+400).

Cependant, des insuffisances techniques ont été constatées après les inondations. Des sections ont été sous-estimées comme le cas des systèmes de digues appelés : D1, D2, D3, D5, D6 et D9 (figures 76,77 et 78).

Remarque : le point kilométrique (pk) est calculé à partir de la longueur de chaque digue ou piste (du point 0 au début jusqu'à la fin de la digue).

Les khelidjs sont des faux bras de rivières où l'eau ne coule parfois que par intermittence et dont le réseau est largement anastomosé (Joleaud, 1936). Ils révèlent l'absence de toutes les lignes directrices dans l'hydrographie locale. Plusieurs Khelidjs existants (naturels) sont obstrués par les digues (figures 76,77 et 78) :

- **Système D1** : Un Khelidj obstrués par la digue 1 (au pk : 0+450) (figure 76)
- **Système D2** : Deux Khelidjs obstrués par la digue 2 au (pk : 4+000) et au (pk : 5+080) (figure 77)
- **Système D3** : Un Khelidj obstrué par la digue 3 (au pk : 2+038).
- **Système D5** : Khelidj Moualeh vers Kébir-Est obstrué par la digue 5
- **Système D6** : Deux Khelidjs ont été obstrués par les deux digues (digue rive droite de l'oued Boulathane -Khelidj Lagsayer au (pk : 1+080) et un autre Khelidj qui traverse la digue rive gauche de l'oued Boulathane au (pk : 1+000) (figure 78).

Par ailleurs, il a été relevé le sous-dimensionnement de quelques ouvrages (passages sous-digues ou sous-pistes) :

- **Le cas du système D1** : réalisation d'un passage busé sous digue 1 complémentaire avec un clapet nez au droit de l'intersection de la digue et du khelidj au (pk : 0+450) pour éliminer définitivement l'inondation dans la zone protégée par cette digue (figure 76).

- **Le cas du système D2** : réalisation de deux passages busés sous digue 2 complémentaires au (pk : 4+000) et au (pk : 4+200) (deux points d'intersection de la digue 2 avec les deux Khelidjs) (figure 77).

-**Le cas du système D6** : sous-estimation, dans le cadre de l'étude, du passage busé sous digue 5 à l'intersection de la digue rive droite de l'oued Boulathane et la digue 5 (3 km) jusqu'à la route de Righia (pk : 3+748). Cette section, d'une surface de 9 km², a été drainée par un seul passage-busé de 1500 mm de diamètre. Si on admet une hauteur d'eau de 2 m, le volume d'eau à évacuer est de 18 Mm³ (figure 78).

Réalisation d'un passage busé sous digue sur la rive droite de l'oued Boulathane et la digue 5 (pk : 1+200).

Le cas du système D9 : sous-estimation du passage busé sous digue 4 (passage sous-digue 4 de l'oued Lahmar), équipé d'une seule buse de 1500 mm de diamètre (pour une section d'une surface estimée à 6471524 m² et une hauteur moyenne d'eau de 2.5 m, le volume d'eau à évacuer est de 16 Mm³).

La confluence de l'oued Lahmar avec oued Kébir-Est au niveau du méandre du Kébir-Est :

Oued Lahmer coule perpendiculairement à oued Kébir-Est en formant un angle de 90° ce qui ralentit le déversement des eaux. La distance entre l'axe de la digue 4 (au PK : 1+100) et oued Kébir-Est est très courte (98 m).

La cote de terrain naturel de l'oued Lahmar (rive gauche) en amont sur 2.3 km (au pk : 2+300) est faible ; elle est de 8 m, ce qui cause le débordement de l'oued vers les terres situées entre la digue 4 et la route vers Righia.

Les routes inondées à l'intérieur du projet étaient à un niveau inférieur de la cote projet (10,37 m) : Ain Khiair, Ouled Anen, Righia et Sebaa.

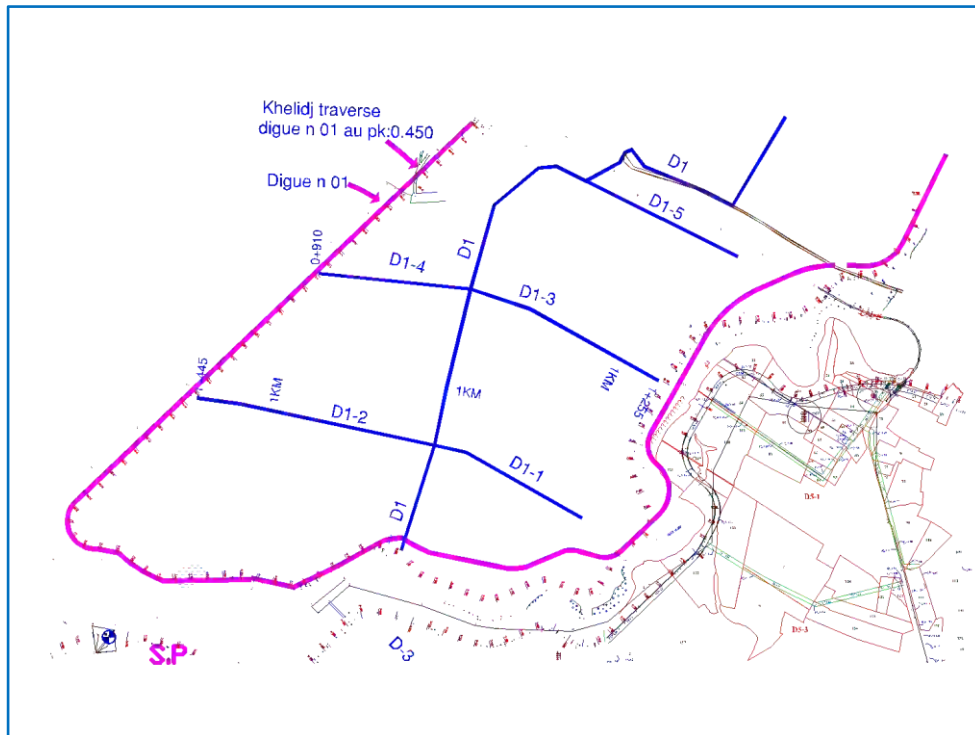


Figure 76. Schéma du système D1 et digue 1 au Sud de l'Oued Kébir-Est (à l'Ouest du Lac des oiseaux) (ONID, 2015)

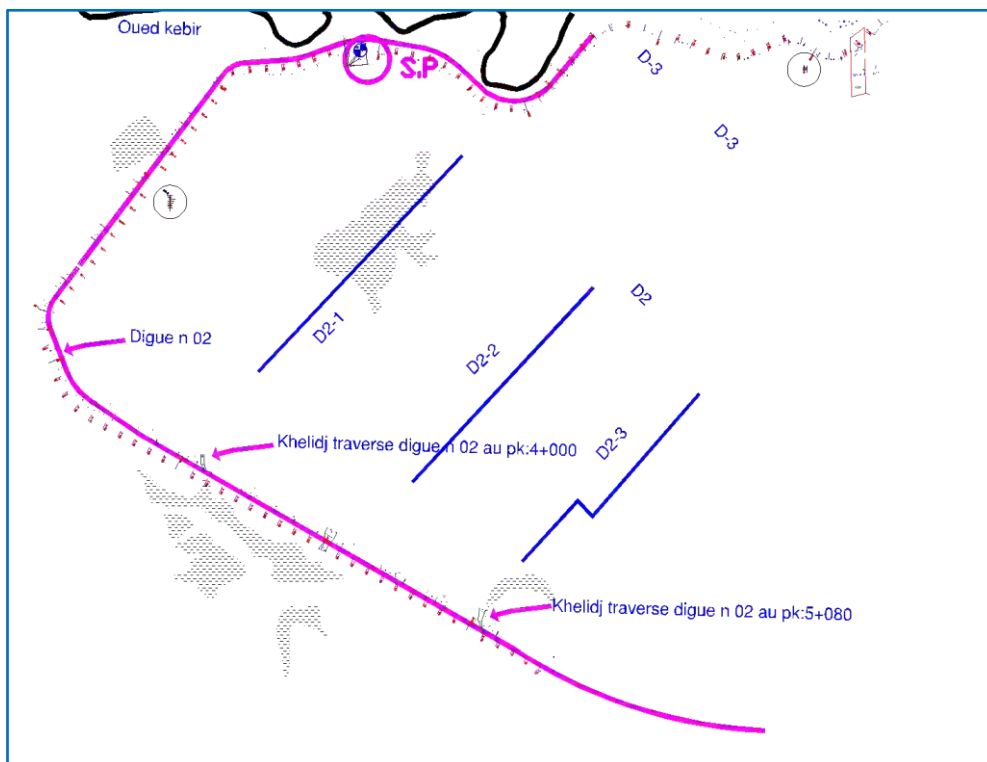


Figure 77. Schéma du système D2 et digue 2 au Sud de l'Oued Kébir-Est (à l'Ouest du Lac des oiseaux) (ONID, 2015)

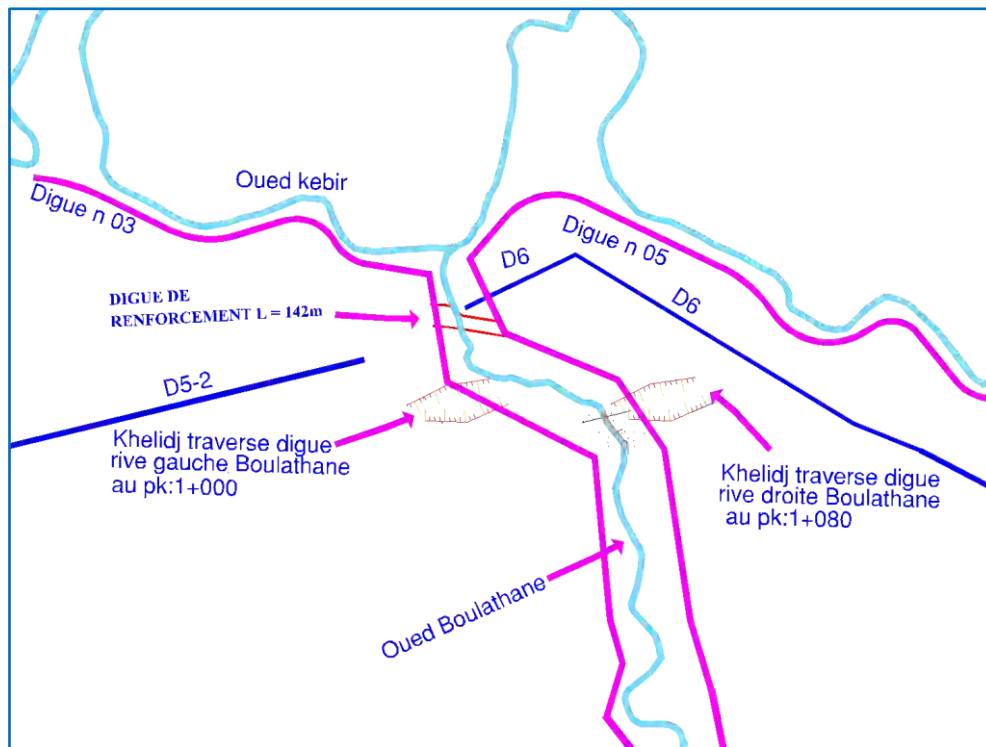


Figure 78. Schéma du système D6 (digues 3 et 5) de l'oued Boulathane (à l'Est de l'agglomération de Fzara, Lac des oiseaux) (ONID, 2015).

3.1.2 *Impact sur quelques habitations de la localité de Berrihane*

L'impact de la digue 4 sur les habitations les plus basses de la localité de Berrihane a été déterminé suite à un levé topographique réalisé par la DRE en 2012. Quelques habitations situées à une altitude correspondant à la côte de la crête de la digue ont été inondées, mais à la côte des plus hautes eaux (0,60 cm en dessus de la crête de la digue), seule une habitation a été touchée.

L'ancien tracé de la digue 4 prévu dans l'étude enclave le cimetière et quelques habitations de Sidi Abdallah entre l'oued et la digue d'où la modification du tracé de la digue avec une surélévation des ouvertures au niveau des ouvrages de passage sous-digue (1.75 m) pour assurer la protection des habitations.

3.1.3 *Des travaux non prévus par l'étude APD : la surélévation des routes*

Les points noirs et les dégâts des inondations ont été réparés avant fin 2012 selon un Procès-verbal de l'ONID daté du 17/12/2012. Parmi les travaux engagés, la surélévation des routes était une priorité des gestionnaires du projet de l'aménagement hydroagricole (tableau 54).

Tableau 54. Surélévation des routes après la crue des 22 et 23 février 2012 (ONID, 2012).

| Route | Ouvrage Génie civil | Travaux sur corps de la chaussée |
|-----------------------------|--|--|
| Righia | Dalot 2x (2x2). Dalot 4 x (3 x 2,15) Passage recouverts d'une dalle | Couche de remblai. |
| Ouled Anen | / | Couche de remblais et couche de fondation |
| Ain Khiar (digue 6 et 7) | Dalot 2x (2x2) sur la digue7 Passage busé 3 x 1000 mm sur la digue 6 (photo 26) | Couche de base en grave concassée, et revêtement en bicouche |
| Sebaa | Passage busé 2 x1500 mm | Couche de remblai |



Photo 26. Passage busé (3×1000) digue 6 route Ain Khiar (ONID, 2012)

3.2 Les dégâts des crues recensés après la réception du projet

3.2.1 Les crues de février et mars 2012

Les inondations de février et mars 2012 ont causé des dommages importants dans la plaine d'El Tarf. La surface totale exposée aux inondations est de 24500 ha dont 21000 ha dans la basse plaine, soit 85% des terres ([DPC, 2012](#) et [Image Satellitaire de l'ASAL du 22 février 2012](#)).

L'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf, réceptionné en mars 2011, a été affecté par ces dernières inondations. Le rapport de l'ONID et de la DRE décrit l'impact des inondations sur le projet, aggravé par les lâchers des barrages effectués en urgence lors des crues. Le tableau de l'Annexe 10 et les photos 27, 28, 29, 30, 31, 32 et 33 illustrent les dégâts sur les ouvrages.

Depuis la réception du projet d'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf par l'ONID en mars 2011, une seule opération de curage des fossés a été engagée par l'ONID en 2016.

A noter, par ailleurs, l'obstruction du lit de l'oued Boukhroufa par le dépôt important de sable au niveau de Mechtat Boubekeur provenant de la réalisation de l'autoroute-Est-Ouest est à l'origine de la déviation de l'oued Boukhroufa sur l'oued Oum-Essaad, ce dernier était impuissant à évacuer le débit cumulé des deux oueds ; il a débordé sur la plaine de Bouteldja. Une action a été engagée pour dégager le sable sur les hauts talus de l'oued Boukhroufa et sur une distance de 150 ml et pour fermer l'oued Oum Essaad à ce niveau avec une diguette en remblai compacté pour assurer l'écoulement des eaux dans l'oued Boukhroufa.

A cet effet, les responsables de la DRE ont introduit l'étude de cette zone dans l'étude complémentaire de la plaine déjà en cours. Le curage de l'oued Oum Essaad à l'aval du pont de Boutheldja a été réalisé.



Photo 27: Dégradation de la digue 1 (ONID, 5 mars 2012).



Photo 28: Destruction d'un tronçon de la digue 2 (ONID, 5 mars 2012)



Photo 29: Destruction d'un tronçon de la digue 3 (ONID, 5 mars 2012)



Photo 30: Erosion différentielle sur le talus de la digue 4 (ONID, 5 mars 2012).



Photo 31: Dégâts sur la digue rive gauche Oued Boulathane. (ONID, 5 mars 2012).

Photo 32: Tronçon emporté de la digue 5. (ONID, 5 mars 2012)



Photo 33: Sapement de la digue 5 côté Oued Kébir (ONID, 5 mars 2012)

Les dégâts sur la basse vallée de la Mafragh se résument globalement en :

- Des pertes en vies humaines, pertes de productions agricoles et destructions d'infrastructure hydroagricole et routières
- Les images satellitales de l'Agence Spatiale Algérienne (ASAL, 2012) exposent l'étendue de l'inondation sur la basse plaine de la Mafragh (figures 80 à 84). L'ampleur des dégâts occasionnés par les deux crues, ont touché plusieurs agglomérations qui étaient victimes de l'isolement en particulier les habitations situées à proximité des oueds (Bouroumana, sur les rives de la Bounamoussa), Sebaa, Berrihane, El Tarf, sur les rives du Kébir-Est et Lac des Oiseaux (Lahouaichia) et Sidi Kaci, El Mezdour sur les bordures de Garâat El M'khada.

- Les terrains agricoles à l'Est et au Sud du Lac Oubeïra, situés entre les localités respectives de Boutella Abdellah (El Frine) et Ain Assel, ont été complètement inondés. Les traces d'inondations, sont restées visibles au moins 7 jours (figure 79).

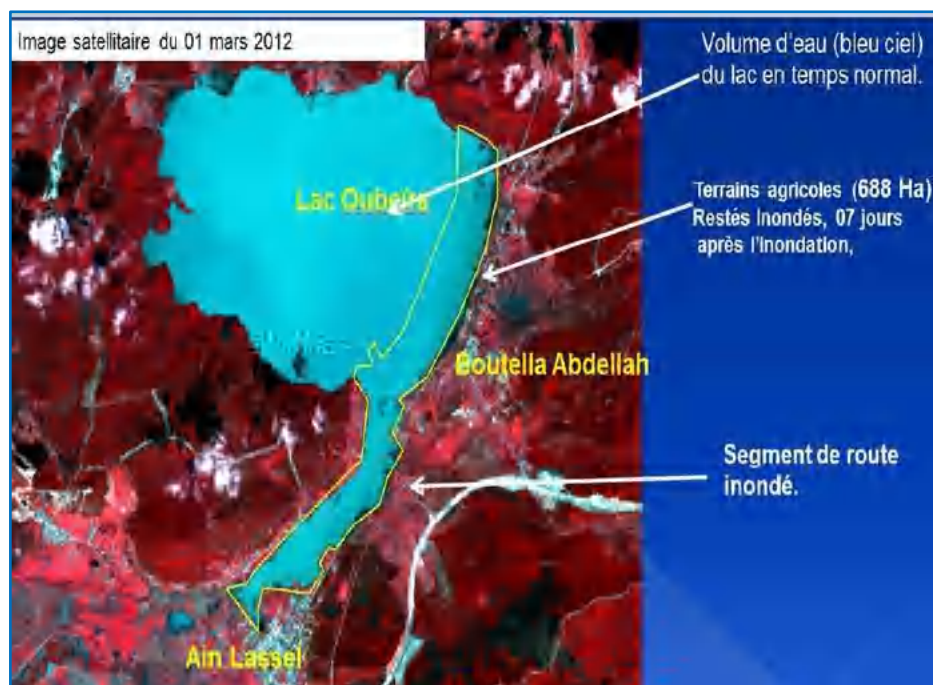


Figure 79. Les surfaces inondées au bord du Lac Oubeïra (sept jours après l'inondation des 22 et 23 février 2012) (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).

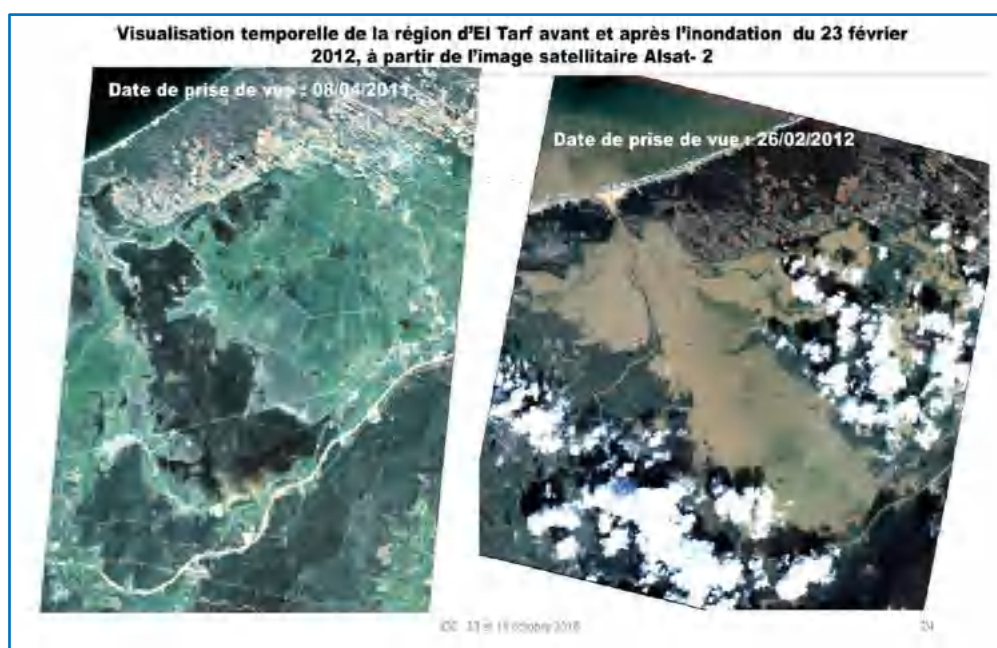


Figure 80. Etat de la plaine d'El Tarf en deux dates différentes (avant et après l'inondation de février 2012). (ASAL, 2018).

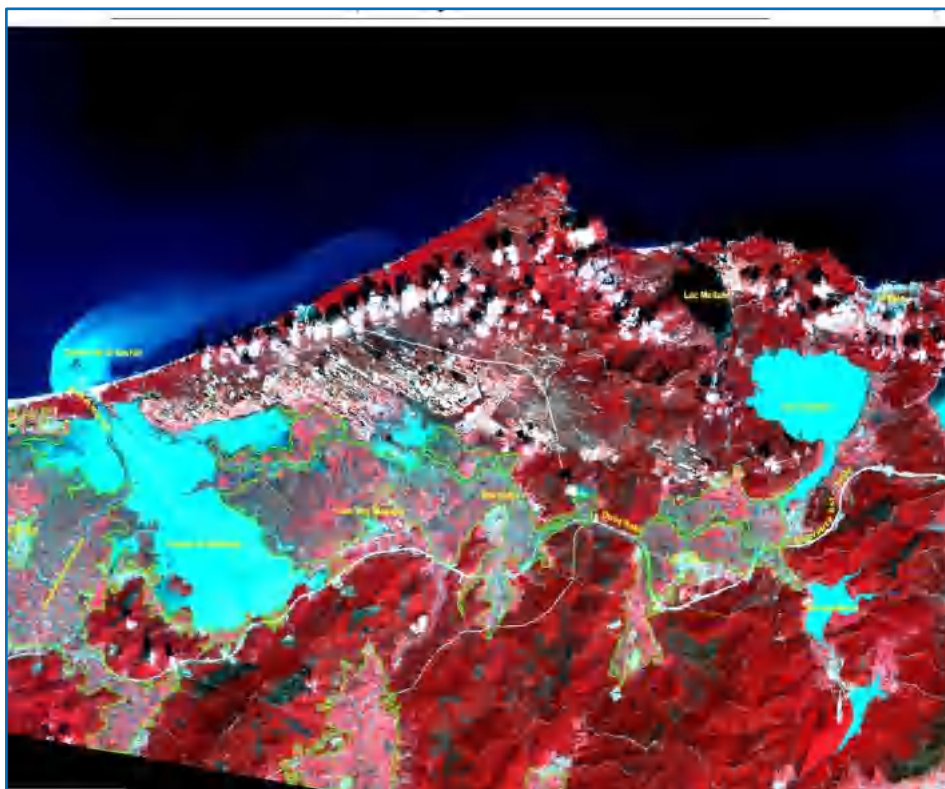


Figure 81. Image satellitaire visualisant l'extension des surfaces inondées durant la crue du 22-23 février 2012 (<https://asal.dz>).

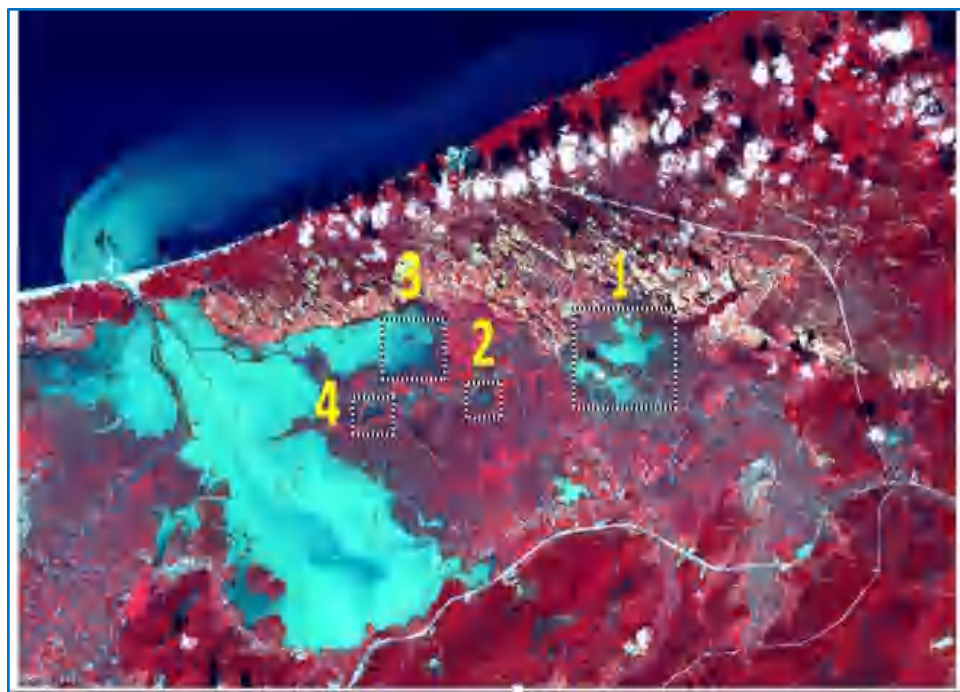


Figure 82. Vue générale et extension de l'inondation de février 2012 sur la plaine d'El Tarf. (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau » Alger le 22/11/2012).

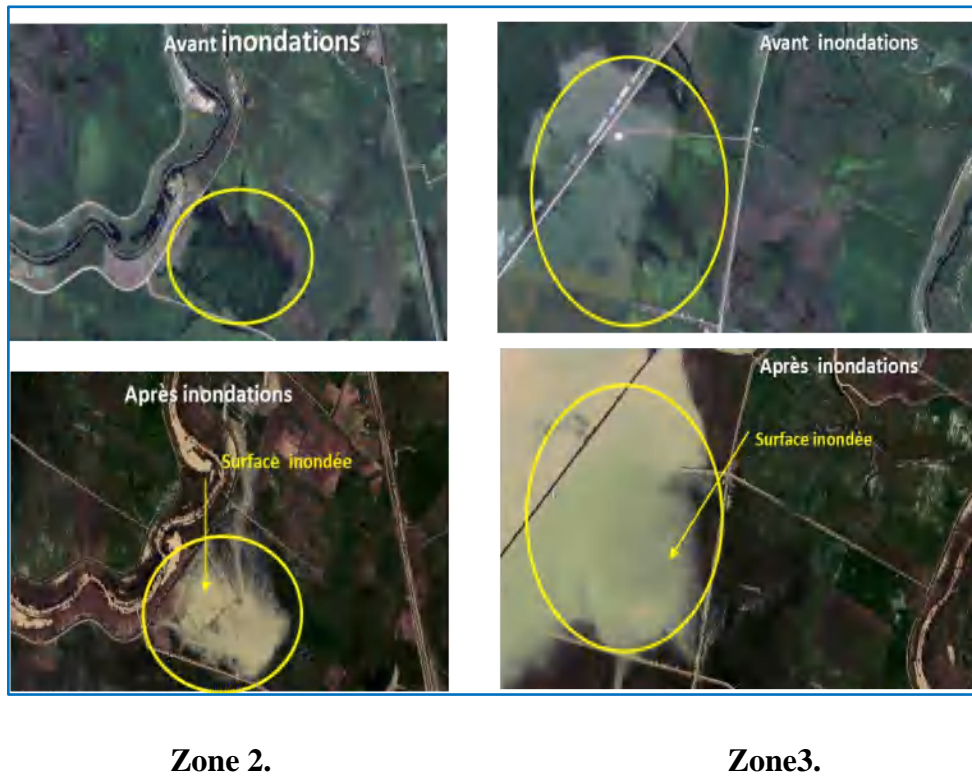


Figure 83. État de l'inondation du 22 février (avant et après l'inondation). (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).

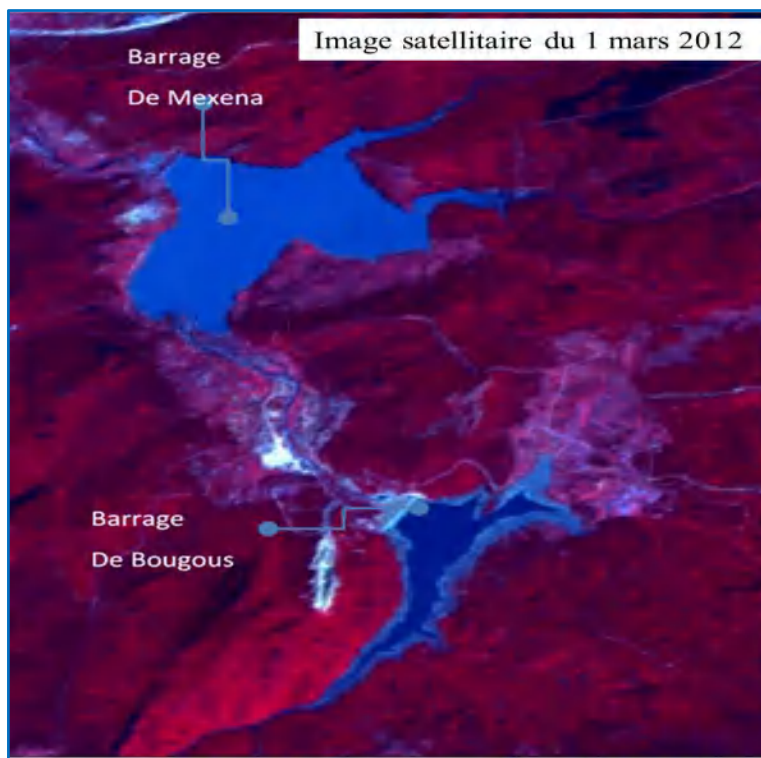


Figure 84. Etat des retenues des barrages de Mexa et Bougous le 1 mars 2012. (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).

**Remarque sur la figure 83, selon l'ASAL : « Cette image est issue de la combinaison de 2 images satellitaires prises à deux dates : - Landsat 5 septembre 2011 (presque 5 mois avant l'inondation)- Aster du 1^{er} mars 2012 (Le bleu clair représente la situation du remplissage en mars 2012 ; le bleu foncé représente un remplissage quasi- identique entre les deux dates »).*

3.2.2 Les dégâts de la crue des 28 et 29 janvier 2015

A la suite des intempéries du mois de janvier de 2015, les cumuls de précipitations ont atteint pendant 5 jours (du 27 au 31 janvier) : 147.30 mm à Bougous, 94.30 mm à Mexa et 120.70 mm à Cheffia (DRE, 2015).

Afin de s'enquérir de l'étendue des inondations sur la plaine d'El Tarf, une commission des services techniques (DRE, APC de la Daïra de Ben M'hidi et APC de Berrihane) s'est déplacée sur le terrain, ce qui lui permis d'identifier l'état avancé de dégradation des différents ouvrages de l'aménagement (pistes, digues et ouvrages de génie-civil) et de proposer un ordre d'intervention.

Les dégâts constatés sont résumés dans le tableau 55 et illustrés par les photos 34 à 39 et les figures de localisation 85 et 86.

Tableau 55. Les dégâts constatés et réparés après la crue des 28 et 29 janvier 2015 (DRE, et ONID, 2015)

| Commune | Dégâts réparés |
|----------------------|--|
| Berrihane et El Tarf | -Colmatage des brèches avec la mise en œuvre des remblais argileux (terre homogène) -Protection du talus amont avec la mise en place de gabions ou -Destruction d'un tronçon de la digue 6 (figure 85 : photos 34 et 35). -Rip rap pour les digues 04, 06 et 07(figure 86 : photos 36, 37, 38 et 39). |
| Lac des Oiseaux | Densification de passage busé avec clapet anti-retour et remise en état du corps de la digue 5 sur un linéaire de 03 km (photos 36 et 37). |



Photo 34: Surverse de la digue 6, l'eau coule vers les terres agricoles du côté du pont de la route reliant (El Tarf -Ain Khiar). (DRE, 2015).



Photo 35: Dysfonctionnement du Clapet à Ogbet Chair passage sous-digue 6 d'El Tarf. (DRE, 2015).



Figure 85. Digue 6 et 7 : les points endommagés ; Pont reliant El Tarf ville et l'agglomération de Ain Khiair (photos 34 et 35). (DRE, 2015).



Photo 36: Digue 5 : Dégradation au niveau de la jonction de la digue avec un ouvrage annexe ; passage sous-digue avec clapet (DRE, 2015).



Photo 37: Digue 5 : Erosion différentielle du corps de la digue sur un linéaire de 03 Km. (DRE, 2015).



Photo 38: Dégât réparé au niveau de l'ouvrage de l'oued Lahmar (passage sous-digue 4 avec clapet anti-retour. (DRE, 2015).



Photo 39: Digue 4 endommagée au niveau de la jonction de la digue avec l'ouvrage annexe équipée d'un clapet anti-retour (Oued Lahmar) (DRE, 2015).

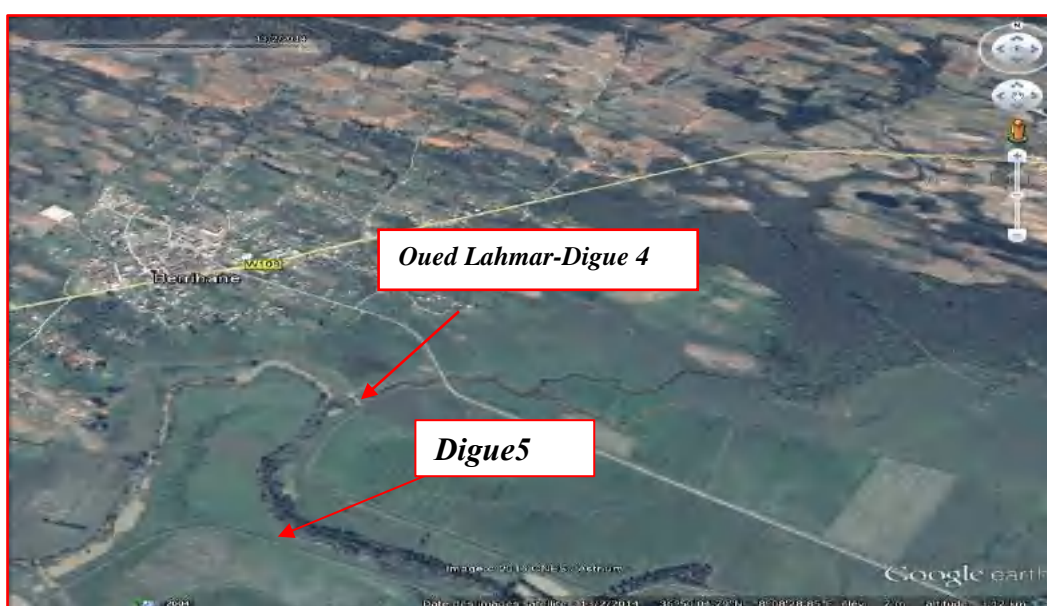


Figure 86. Digue 4 : Dommages au niveau de la jonction de la digue 4 avec un Ouvrage annexe (photos 38 et 39). (DRE, 2015).

3.2.3 Les recommandations de l'ONID pour la réparation des dégâts

L'équipe technique des secteurs concernés par la réalisation de l'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf (ONID et DRE) a conclu son rapport par des recommandations pour améliorer les différents ouvrages (Annexe 11). En outre, il a été recommandé l'installation d'un comité de suivi et d'une unité d'intervention et d'entretien par l'ONID, la réhabilitation des réseaux de pistes d'exploitation et enfin la surélévation de la cote des digues 6 et 7 sur environ 2 m.

4 LES AGGLOMERATIONS DE LA PLAINE FACE AUX INONDATIONS : EVALUATION DES DEGATS

La plaine d'El Tarf, topographiquement déprimée et au drainage rendu difficile par le rôle de barrière du cordon dunaire, est très vulnérable à la submersion par les eaux des oueds de la Bounamoussa et de Kébir-Est qui la traversent. Aussi, l'extension spatiale des constructions a largement débordé les sites initiaux, peu dangereux à l'origine, pour gagner des terrains normalement inconstructibles.

4.1 Un contexte général d'accroissement démographique et des vulnérabilités

La population urbaine fait face au risque fréquent lié aux inondations dans la plaine dépendant également du rôle que jouent les lâchers d'eau des barrages en amont. C'est le cas des agglomérations de la basse plaine de la Mafragh, qui se répartissent sur 6 communes, de l'Est à l'Ouest (Ain Assel, El Tarf, Boutheldja, Berrihane, Lac des Oiseaux et Ben M'hidi) touchées directement par les inondations de février et mars 2012 (figure 87).

4.1.1 Une population en augmentation

L'accroissement de la population a entraîné le grossissement des chefs-lieux de communes éparpillés au milieu de la plaine. De 1966 à 2008, la population est passée de 26359 habitants (RGPH ,1966), abritée par 4 communes (Ben M'hidi, El Tarf, Boutheldja et Ain Assel) à 113108 habitants, répartis sur 6 communes (avec Berrihane et Lac des oiseaux promues en 1984) composées de 22 agglomérations urbaines (RGPH, 2008) (tableau 56).

La population de la wilaya d'El Tarf est passée de 275315 habitants en 1987 à 408452 habitants en 2008. Satisfaire aux besoins en logements des populations est à l'origine de l'extension des surfaces construites et imperméabilisées.

Tableau 56. Evolution de la population des 6 communes de la plaine d'El Tarf. (PDAU des 6 communes, DUAC 2008).

| Commune | RGPH1966 | RGPH 1977 | RGPH1987 | RGPH 1998 | RGPH 2008 |
|-----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| El Tarf | 5082 | 7679 | 13916 | 20362 | 25594 |
| Ain Assel | 4780 | 6606 | 9859 | 12482 | 16285 |
| Ben M'Hidi | 4814 | 12829 | 20293 | 28339 | 33262 |
| Boutheldja | 5131 | 7105 | 11484 | 15275 | 17738 |
| Lac des oiseaux | 3367 | 4643 | 7553 | 9320 | 10624 |
| Berrihane | 3185 | 4630 | 6908 | 8326 | 9605 |
| Total | 26359 | 43492 | 70013 | 94104 | 113108 |

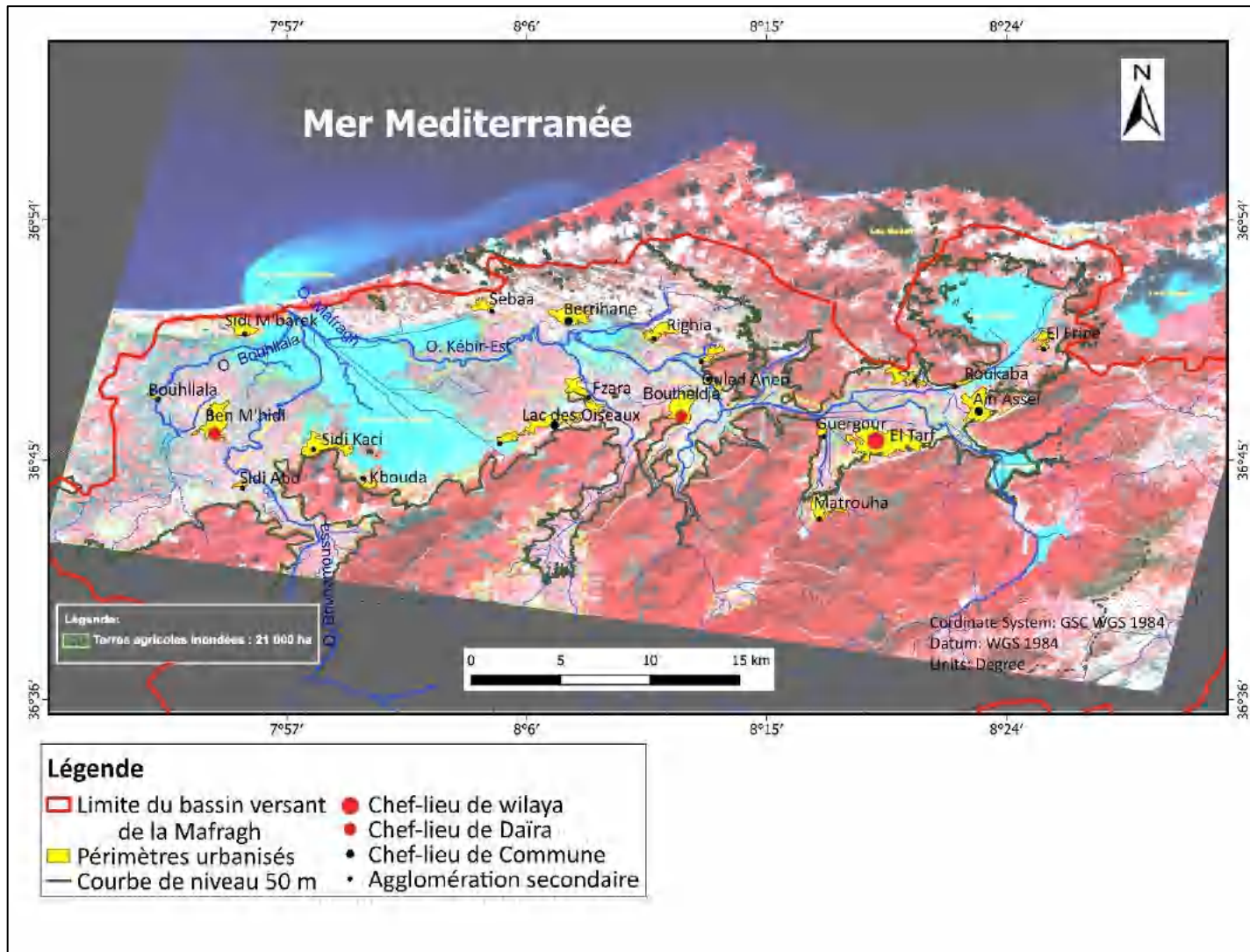


Figure 87. Situation géographique des agglomérations dans la plaine inondable d'El Tarf (Image satellitaire de l'ASAL, 2012 complétée).

4.1.2 L'extension des périmètres urbains

L'extension des périmètres urbains des agglomérations (chefs-lieux et agglomérations secondaires) de la partie orientale de la plaine est un phénomène rapide : la surface du secteur urbanisé représentait 21.73 km² en 2004 et 31,42 km² en 2014 ; elle atteindrait les 47.74 km² en 2024 selon les projections des plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) (DUAC El Tarf, 2008).

Le rythme d'extension des périmètres urbanisés en zone inondable et sans protection physique augmente les enjeux exposés et leur vulnérabilité à l'aléa inondation.

Le diagnostic pourrait être davantage affiné, en termes de perspective, avec la prise en compte des facteurs de vulnérabilité et des enjeux. L'association des deux variables aléa et vulnérabilité permet de mettre en évidence la nécessité d'une gestion très localisée des risques en fonction de la vulnérabilité territoriale associée. L'aléa de référence sur ce territoire (crue exceptionnelle pour une période de retour à déterminer) nécessite des études fines avec une lecture quantitative et qualitative.

Le principal critère de la vulnérabilité à l'aléa correspond à la hauteur d'eau potentielle estimée à partir des repères des crues. Le principe est qu'au-delà de 0,50 m, les véhicules terrestres ne sont plus utilisables, perturbant les secours et l'évacuation, au-delà de 1 m, une personne en bonne santé ne peut plus se déplacer normalement et au-delà de 2 m, les gens peuvent être piégés dans les constructions (Vinet et al, 2012b).

4.1.3 Facteurs aggravant les inondations pour les agglomérations de la plaine d'El Tarf

D'autres causes sont engendrées par l'homme et agissent en faveur de ce phénomène :

- L'insuffisance d'entretien des émissaires naturels : Oued Kebir-Est, Oued Bouhaloufa, Oued Dardane, Oued Boulathan, Oued Guergour, Oued Besbes et Oued Bouhlalla.
- L'insuffisance du réseau d'assainissement dans le périmètre de la Bounamoussa et l'absence des opérations d'entretien en temps opportun (début de la saison pluvieuse) pour la plaine d'El Tarf.
- La réalisation de certains chemins communaux dans la commune de Boutheldja, Lac des Oiseaux et de Berrihane, ou quelques tronçons constituent de véritables obstacles pour l'écoulement normal des eaux vers les exutoires naturels.
- Le charriage constant de matériaux solides provenant des chantiers de construction (plusieurs projets sont en cours de réalisations : pôle universitaire, autoroute Est-Ouest,...etc), des dépôts

sauvages de gravats et de déchets divers, du fait de l'absence de décharge publique contrôlée par les communes.

- La gestion des crues dans les zones situées en amont de la plaine. L'analyse des crues dans les deux premiers chapitres nous a permis de souligner le rôle des lâchers des barrages dans l'amplification des débits des crues exceptionnelles comme celle de février et mars 2012. Cas de la commune de Ben M'hidi.

4.1.4 Evolution des espaces urbanisés de la commune de Ben M'hidi

L'agglomération chef-lieu de Ben M'hidi longe l'oued Bounamoussa sur sa rive Ouest. Par ailleurs, les agglomérations de Bouroumana et de Nchaima sont situées à une dizaine de mètres de la Bounamoussa et sont exposées au débordement de l'oued. Les marécages de Garâat el M'khada à proximité des agglomérations de Kbouda et de Sidi Kaci à l'Est, et les autres secteurs dans lesquels la pente est inférieure à 2 % sont sujets aux inondations à chaque épisode pluvieux.

La commune de Ben M'hidi, par son emplacement géographique dans la plaine d'El Tarf (réceptacle des eaux des crues de la Bounamoussa et du Kébir- Est) est fortement exposée à cet aléa hydrométéorologique. Sa vulnérabilité s'est accrue à cause de l'extension de la surface urbanisée (chef-lieu et agglomérations secondaires) qui est passée de 30 à 500 ha en 30 ans (1984 à 2014) (tableau 57 et figure 88).

Tableau 57. Evolution des surfaces urbanisées des agglomérations de la commune de Ben M'hidi (PDAU de la commune de Ben M'hidi, 2004)

| Communes | Agglomération | Surface urbanisée par secteur (ha) | | | Surface du Périmètre urbain (ha) |
|---|-------------------------|------------------------------------|---|--|----------------------------------|
| | | Secteur Urbanisé (2004) | Secteur à Urbaniser à court et à moyen terme (2014) | Secteur d'urbanisation à long terme (2024) | |
| Ben M'hidi | Agglomération chef-lieu | 219.14 | 53.12 | 73.78 | 346.04 |
| | Sidi Kaci | 139.11 | 19.68 | 14.17 | 172.96 |
| | Sidi M'barek | 83.73 | 5.01 | 4.13 | 92.87 |
| | Kbouda | 25.85 | 2.03 | 2.75 | 30.63 |
| Sous Total par secteur | | 467.83 | 79.88 | 97.83 | 642.5 |
| Surface urbanisée totale en 2014 | | 547.71 | | | |
| Surface urbanisée totale projetée en 2024 | | | | | 642.5 |

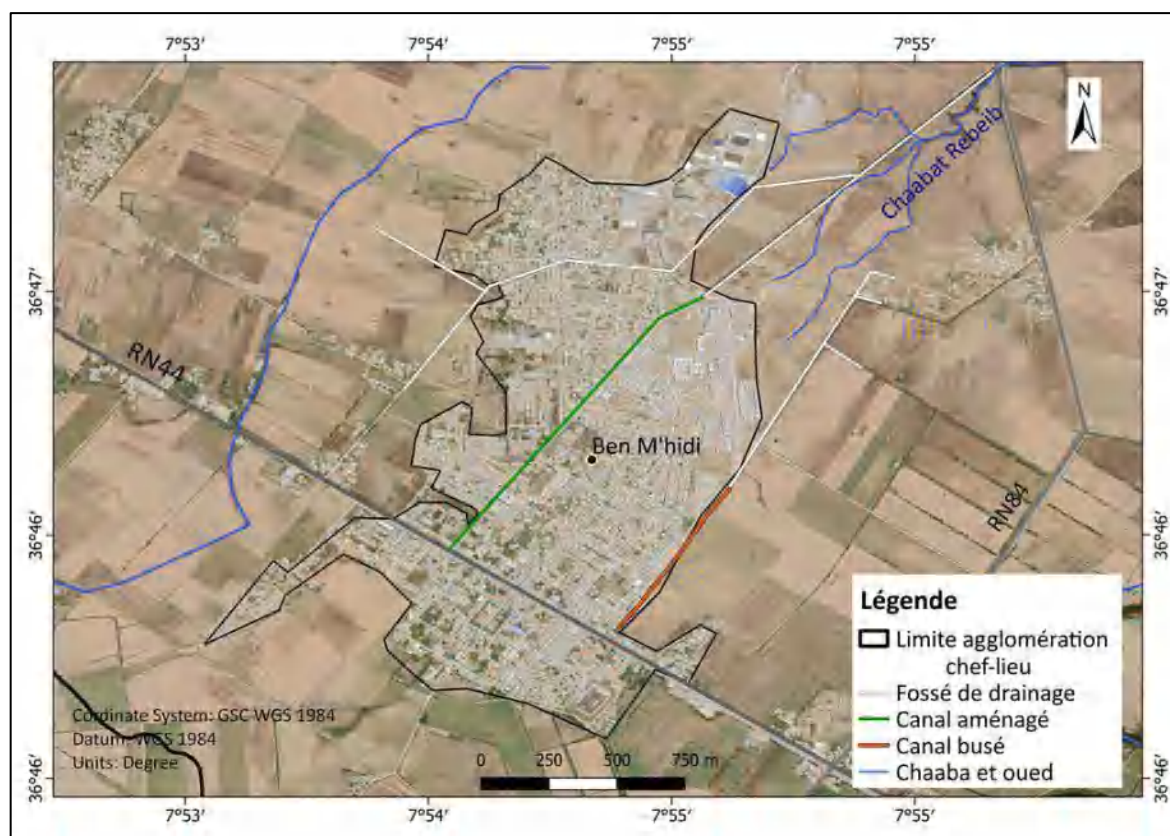


Figure 88. Situation géographique de l'agglomération chef-lieu (ACL) de Ben M'hidi.

Le chef-lieu (Ben M'hidi), les deux principales agglomérations secondaires Sidi Kaci et Kbouda, et à un degré moindre Sidi M'Barek et les hameaux du reste de la commune (Nchaïma, Bouroumanna, Bouhllala, el Mazdour, Lahmamda,...etc) sont confrontés aux risques d'inondation. Ils regroupent 86 % de la population totale (tableau 58).

Tableau 58. Evolution démographique de la commune de Ben M'hidi (1966-2024) (APC et PDAU de Ben M'hidi, 2008).

| RGPH | Pop(h) 1966 | Pop(h) 1976 | Pop (h) 1987 | TAGMA (%) | Pop(h) 1998 | TAGMA (%) | Pop(h) 2008 | Pop estimée 2014 (h) | Pop estimée (h) 2024 |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| Agglomération chef-lieu | 3270 | 6478 | 8742 | 3.64 | 12954 | 2.61 | 15830 | 18880 | 24170 |
| Sidi Kaci | 1224 | 1410 | 3594 | 4.70 | 5957 | 2.51 | 7010 | 8670 | 10570 |
| Sidi M'barek | / | / | 1124 | 13 | 4313 | 4.24 | 4714 | 7080 | 8220 |
| Kbouda | / | / | / | / | 959 | 4.99 | 1380 | 1720 | 2200 |
| Zone éparse | 319 | 4941 | 6850 | -3.73 | 4507 | 1.86 | 4324 | 5980 | 6940 |
| Total commune | 4814 | 12829 | 20310 | 1.04 | 28690 | 2.73 | 33262 | 42330 | 52100 |

La strate de la commune de Ben M'hidi est sub-urbaine et le chef-lieu concentre 15830 habitants (RGPH, 2008). D'après le classement de l'ONS, la commune de Ben M'hidi est une commune mixte (MI) car la part de la population vivant dans les zones urbaines est de 68.67 %

(RGPH, 2008) (tableau 59). Ce taux est estimé à 86 % en 2014, ce qui signifie que la commune est devenue à prédominance urbaine selon les critères de l'ONS (2008).

Tableau 59. Classification de la commune de Ben M'hidi selon l'ONS. (ONS Alger, RGPH, 2008).

| Taux d'urbanisation en % Commune de Ben M'hidi : | | Taux d'accroissement annuel moyen entre 1998 et 2008 | | | Classification |
|---|-------|---|----------------|---------------|----------------|
| 1998 | 2008 | Pop Rurale | Pop Urbaine | Pop Totale | |
| 44.64 | 68.67 | -4.08 | 6.15 | 1.62 | MI |

4.1.5 **Causes et ampleur des inondations de février-mars 2012 dans la commune de Ben M'hidi**

4.1.5.1 *Une topographie défavorable, un drainage insuffisant*

La situation topographique est défavorable, constituée par un relief, associant un contact entre basses montagnes et plaine à pente très faible (inférieure à 2 %). A ceci s'ajoute la nature des sols marécageux et imperméables (figure 89). En outre, la vétusté et le sous dimensionnement des réseaux d'assainissement ne facilitent pas l'évacuation des eaux pluviales.

Ces éléments ont contribué à l'accumulation et la stagnation des volumes d'eau à l'intérieur des agglomérations pendant plusieurs jours principalement dans le chef-lieu de la commune Ben Mhidi et dans les agglomérations secondaires de Sidi Kaci, Kbouda et Sidi M'barek. D'autres agglomérations plus modestes telles Bouhllalla, Bouremana, Nchaima, ont également été touchées.

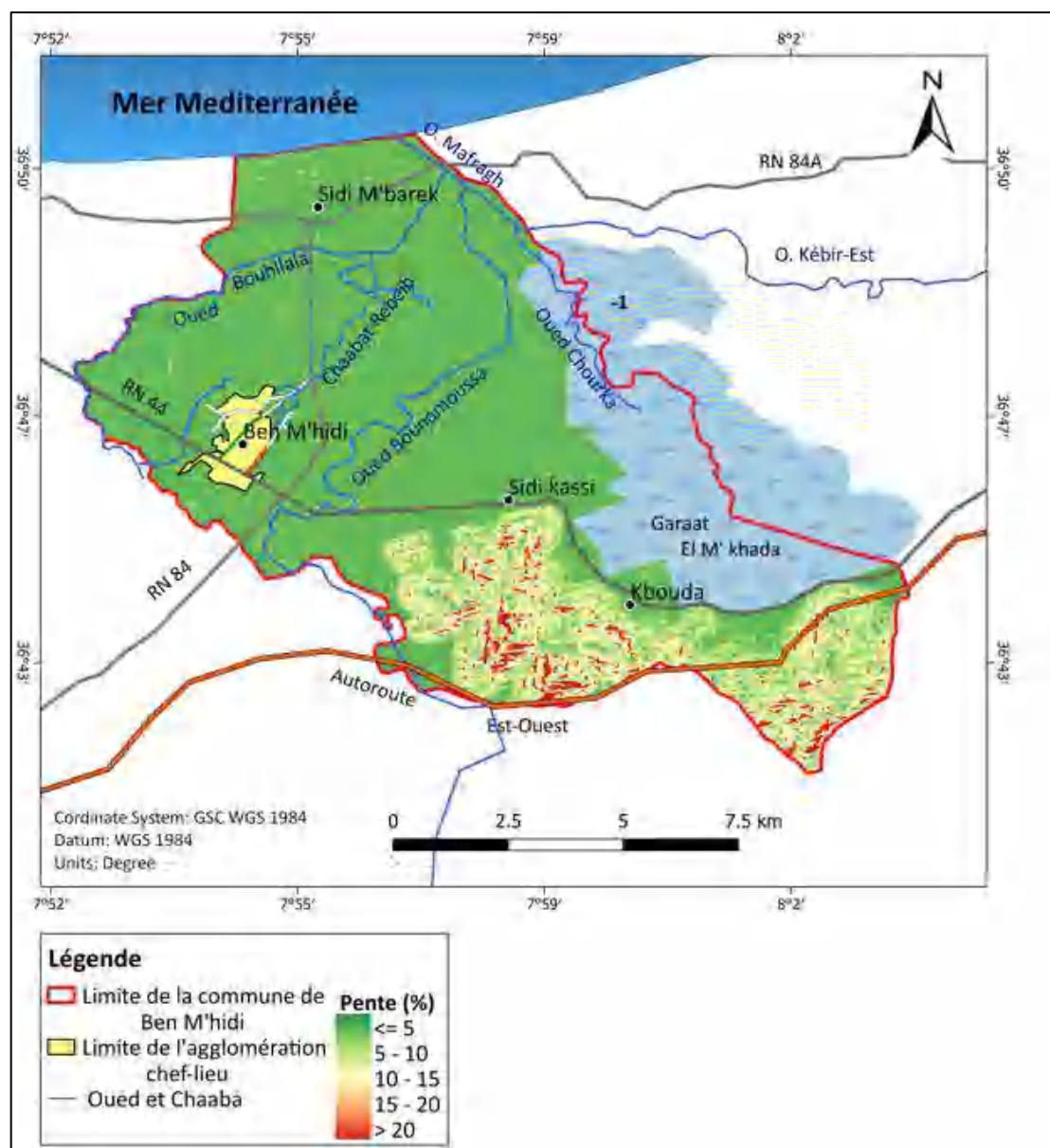


Figure 89. Carte du réseau hydrographique et des pentes de la commune de Ben M'hidi

Les lâchers des eaux des deux barrages ont dépassé la capacité d'évacuation des émissaires naturels engendrant la saturation des réseaux hydrographiques des sous bassins de la Mafragh causant leur débordement sur les terres agricoles et les habitations.

Le réseau hydrographique de la commune de Ben M'hidi est composé de plusieurs affluents importants et d'aires marécageuses (figure 89) :

-L'oued Bounamoussa (affluent principal)

-L'oued Bouhlala (affluent résultant de la confluence de deux Chaabats qui prennent naissance au Djebel Kef Ed Deba, au Sud de la commune de Zerizer).

-L'oued Chorka : il coule au milieu de Garâat El M' khada et joue le rôle d'émissaire naturel dans les deux sens d'alimentation vers Garâat El M'khada et/ou de vidange vers le Kébir-Est, en fonction des périodes de hautes ou de basses eaux.

-Chaabat El'Rebeib : elle draine la partie Nord de l'agglomération Chef-lieu de Ben Mhidi avant de se jeter dans oued Bouhlala.

Durant la période coloniale, le centre de l'ACL de Ben M'hidi (Ex-Morris), était protégé des inondations par des canaux d'assainissement couvrant le village qui présente un tracé urbain orthogonal (figure 90). D'après l'extrait de la carte topographique de 1958, durant la période coloniale, un drainage a été réalisé, il contourne l'ACL de Ben M'hidi. Ce système de drainage était équipé d'une station de relevage où l'eau excédentaire durant la période pluvieuse est collectée, ensuite déversée dans un fossé naturel du côté Nord-Est avant de se jeter dans Chabet Rebeib qui déverse dans l'oued Bouhlala puis dans la Mafragh.

Ce système était fonctionnel jusqu'aux années 1980. Il a été réaménagé par la réalisation d'un canal en béton pour l'évacuation des eaux pluviales et assainissement d'un diamètre de 1000 mm qui est représenté sur la carte du réseau hydrographique. On observe aussi que le Sud de l'agglomération chef-lieu a une cote topographique de 7 m, alors que l'extension de la ville se poursuit vers le Nord où la cote de terrain n'est que de 5 m.

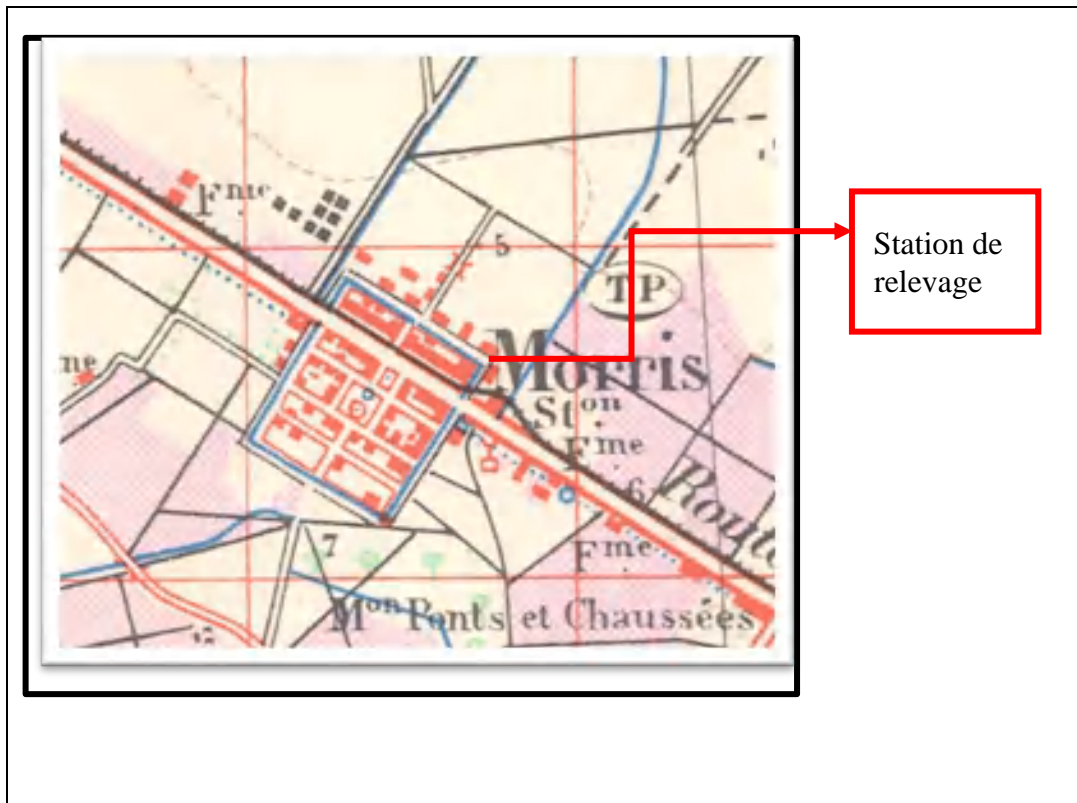


Figure 90. Agglomération de Ben M'hidi (ex. Morris) en 1958 (Extrait de lac carte topographique de Mondovi au 1/50000, IGN 1958)

4.1.5.2 Une crue de fréquence rare

La crue enregistrée à Cheffia, d'un débit maximum instantané de $1429.1 \text{ m}^3/\text{s}$ est une crue de fréquence centennale, si on se réfère à l'étude monographique du barrage de Cheffia, estimant à $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ le débit de crue d'une période de retour de 100 ans (cf. chapitre 2). Le débit journalier moyen maximum a atteint $847.2 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un apport journalier de 73.198 hm^3 .

En parallèle, le barrage de Mexa a enregistré un apport maximum journalier de 86.40 hm^3 soit un débit journalier moyen maximum de l'ordre de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

La Mafragh était dans l'incapacité d'évacuer le débit maximal journalier cumulé en incluant les débits des affluents non contrôlés (Boulathane, Guergour, Bouhalloufa,...etc). L'impact de cette crue centennale était catastrophique, aggravé par les lâchers des barrages effectués dans l'urgence pour la sécurité des ouvrages.

4.1.6 *Evaluation du risque d'inondation dans la commune de Ben M'hidi*

4.1.6.1 *Au niveau du chef-lieu*

Suite aux inondations de février -mars 2012 et dans le cadre d'un mémoire de Master (Lafifi et Toumi, sous la direction de Affoun, 2020), une enquête auprès de la population du chef-lieu de Ben M'hidi a été réalisée sur la base de deux cents (200) questionnaires. Cet échantillon représente un taux de 10 % de la population concernée

L'analyse des données de l'enquête montre ce qui suit :

- Origine du risque inondation : d'après 82 % de la population enquêtée, l'oued Bounamoussa accentue l'inondation de l'agglomération chef-lieu de Ben M'hidi suite à une élévation rapide du niveau d'eau débordement de l'oued
- Durée de submersion : la durée de submersion varie entre 2-3 jours en moyenne, elle est supérieure à 3 jours avec une hauteur supérieure à 50 cm soit 36 % de la superficie de l'agglomération du chef-lieu (ACL). Le niveau du risque encouru est de moyen à fort pour 67 % de la population de l'échantillon enquêtée.
- Impact des lâchers du barrage de Cheffia : 76 % de la population enquêtée confirme cet impact suite à l'élévation du niveau d'eau dans leurs habitations lors des deux crues catastrophiques des 22 - 23 février et 10-11 mars 2012
- Les causes d'aggravation du risque inondation : la population enquêtée a classé par ordre de gravité : lâchers des barrages (30.5 %), obstruction des réseaux des eaux pluviales et d'assainissement (22 %) ; la topographie de l'ACL de Ben M'hidi (22.5 %) ; les aménagements réalisés (22.5 %).
- Alerte et gestion de l'inondation : 83 % de la population enquêtée regrette l'absence d'alerte et d'information avant l'inondation (début de la crue) ainsi qu'avant la mise en œuvre des lâchers du barrage, afin de prendre leur précaution et de se mettre à l'abri.
- Dysfonctionnements lors des crues constatés par la population enquêtée (70,5 %) : l'absence d'alerte (51 %) et les secours tardifs (47 %). En raison de la soudaineté de l'aléa, le temps d'anticipation et la mise à l'abri était insuffisant.
- Type de protection contre le risque inondation : la protection face au risque inondation est insuffisante avec un taux de 73.5 %.
- Connaissance des documents traitants des inondations : 70 % de la population enquêtée ignorent l'existence de documents traitant le risque inondation et leur application telle que le plan ORSEC.

En conclusion, 82 % de la population enquêtée confirme que le débordement de l'oued Bounamoussa accentue l'inondation de l'agglomération chef-lieu de Ben M'hidi ; 76 % affirment l'impact des lâchers du barrage de Cheffia dans l'amplification des inondations, ressentie à travers l'élévation du niveau d'eau de 0.50 à 1 m au sein de leurs habitations.

Une carte de risques a été dressée en fonction des résultats de l'enquête sur terrain et les indicateurs. Trois niveaux de risques sont définis à partir des indicateurs hauteur d'eau et durée de submersion (Lafifi et Toumi, 2020) (figure 91). Le risque fort (hauteur d'eau supérieure à 50 cm, durée de submersion de 3 jours et plus) s'étend sur une superficie de 93 ha soit 36.05 %, localisée principalement au centre de l'agglomération tout au long de la RN44 où le réseau d'évacuation des eaux pluviales et d'assainissement est sous-dimensionné. On trouve le même problème au niveau du lotissement de Daïra Mostfa. Le Sud-Ouest de l'agglomération est exposé à un risque fort à cause des lâchers des barrages effectués aux moments de fortes crues sur l'oued Seybouse.

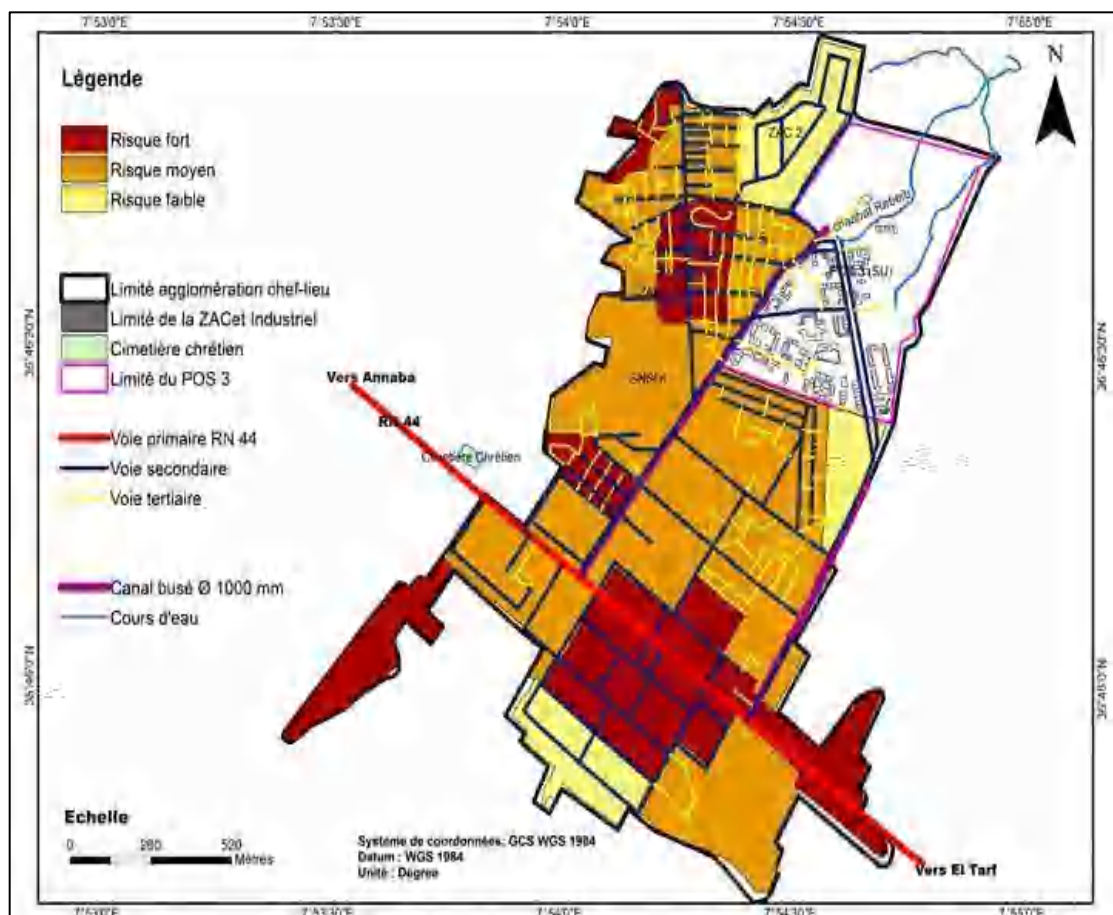


Figure 91. Carte du risque inondation dans l'ACL de Ben M'hidi (Lafifi et Toumi, 2020).

4.1.6.2 *Niveau du risque à l'échelle de la commune*

La hauteur d'eau a dépassé 1m sur les zones à très faible pente de la commune de Ben M'hidi (Bouroumana, Sidi Kaci, El Mazdour, Nchaima et Bouhllala). L'enquête de terrain (du 1 au 15 juin 2020) a montré que la population qui encourt le risque le plus élevé à l'échelle de la commune se localise au hameau de Bouroumana situé à une distance de 100 .m de la rive droite de la Bounamoussa et de l'agglomération de Sidi Kaci (El Mazdour localisé sur les bordures ouest de Garâat el M'khada). Au total, un échantillon de 40 maisons les plus touchées durant les deux crues de février et mars 2012 ont été enquêtées

D'après les habitants et les agriculteurs comparativement aux crues précédentes, la durée de submersion des terres agricoles est plus étendue, elle a dépassé les 7 jours. Le facteur d'amplification est les lâchers des barrages. La hauteur d'eau est plus importante au niveau des habitations les plus proches de l'oued Bounamoussa et de Garâat El M'khada. Elle a atteint des niveaux inquiétants supérieurs à 2 m sur les terres agricoles situées à quelques 200 m de l'oued Bounamoussa sur une topographie plus basse (entre +4 et +8 m).

L'enquête auprès des habitants de Bouroumana et spécialement ceux qui résidaient depuis les années 1960 a permis de connaître la hauteur d'eau et la durée de submersion durant la dernière crue (photo 40) :

- a. Vers 18 h l'eau commence à monter rapidement, sa hauteur est à son maximum vers 20 h. Cela est dû à l'impact direct des lâchers et s'explique par le pic de la crue transitant par le barrage de Cheffia à 20 h (Affoun et al, 2019). A l'extérieur des maisons, la hauteur d'eau a atteint des niveaux inquiétants : 1,80 m pour une maison distante de 130 m de l'oued (elle est supérieure à celle enregistrée durant l'inondation de 1973, selon l'habitant.
- b. La hauteur de l'eau est supérieure a +1 m à l'intérieur de la majorité des maisons de l'agglomération, selon les habitants : toutes les maisons étaient inondées, la hauteur d'eau variant de 1 à 1,80 m en fonction de la topographie de la rive droite de la Bounamoussa.
- c. La hauteur d'eau a atteint le niveau le plus élevé comparé aux inondations précédentes (1973, 2003, 1984 et 2009) soit 1, 80 m dans une maison construite sur un ancien khelidj nommé Jaraya. Cet endroit est le premier à être inondé à chaque épisode pluvieux. Le rez-de-chaussée de la maison la plus touchée est demeuré inexploitable pendant 15 jours dont 3 jours de submersion totale, la même chose pour plusieurs habitations.

- d. D'après la population, les lâchers des barrages sont la cause principale de cette hauteur extrême.

Cet événement grave et exceptionnel a fait la une de plusieurs journaux (Le Quotidien d'Oran, El Watan, El Nahar, El Chorouk, El Khabar, ...etc.).



Photo a.

Photo b.

Photo 40: Sauvetage des familles sinistrées le jour de l'inondation Bouroumana, Ben M'hidi) (DPC, 2012). a. Ecole primaire de Bouroumana. b. Niveau d'eau à proximité d'une maison à Bouroumana.

A Sidi Kaci, le scénario de l'évolution de l'inondation est différent de celui de Bouroumana. D'après l'enquête à El Mazdour, situé sur les rives ouest de Garâat el M'khada, au Sud de la confluence de l'oued Bounamoussa et Kébir-Est à une centaine de mètres de la route Nationale 44 reliant El Tarf et Annaba, l'inondation s'est manifestée après 48 h soit le 24 février. Les habitants expliquent littéralement :

- *Début des précipitations le 19 février : le 20, le 21 et le 22 février l'eau monte progressivement vers les habitations qui longent le marais d'El M'khada. Le 23 février l'eau commence à pénétrer dans les maisons vers 4h du matin. La submersion des maisons est à son maximum le 24 février soit 48 h après la crue et le début des lâchers. La hauteur de submersion varie entre 1m et 1 m30 selon la situation des maisons. Les habitants affirment que l'avancement des eaux vers le Sud et le Sud-Ouest est due principalement aux volumes importants déversés par les deux barrages Cheffia et Mexa et au refoulement des eaux de la Mafragh par la mer ; la Mafragh est saturée et l'écoulement est bloqué au niveau de l'embouchure.*
- *Le 29 février l'eau a commencé à se retirer, soit une durée de submersion de 8 jours. La surface des terres agricoles submergées était plus étendue durant ces deux crues*

par rapport aux crues précédentes. La superficie de 21000 ha de la basse vallée de la Mafragh est totalement submergée durant les crues rares comme celle de mars 1973 et février et mars 2012 (image satellitaire de l'ASAL, 2012, figure 87).

Les habitants sont conscients du risque inondation et des solutions d'adaptation face à ce risque. Pour eux la solution reside dans le curage de la Mafragh avant les crues, le respect des BMS (bulletin météorologique spécial) (l'anticipation) ainsi que la bonne gestion des lâchers. Ils poursuivent leur proposition de « *surélévation des maisons* » comme solution radicale. Une pépinière d'horticulture a été surélevée par un remblai d'une hauteur de 1m 70. Le propriétaire affirme que la parcelle n'a pas été inondée.

4.1.6.3 *Les dégâts consignés par la DPC*

Les inondations du 22 et 23 février 2012 ont causé des dégâts, consignés dans le procès-verbal de constat de la commission communale du 15 mars 2012 concernant la catastrophe du 22 et 23 février et 10 et 11 mars. Ce PV dénombre 1092 foyers ayant été sinistrés. Les habitations touchées étaient de 609 logements précaires dont 207 habitations endommagées et 60 familles avaient perdu leurs équipements ménagers (photos 41 et 42).



Photo a.

Photo b.

Photo 41: Agglomération secondaire Sidi Kaci (El Mazdour) : Dégâts au niveau des équipements ménagers des familles sinistrées (DPC, 2012).a.Maison 1 à El Mazdour.b. Maison 2 à El Mazdour



Photo 42: Niveau d'eau atteint le premier jour de l'inondation du 22 février 2012 (habitation dans Bouhllala commune de Ben M'hidi). (Wilaya d'El Tarf, 26 février 2012)

4.2 Dégâts des inondations à l'échelle des agglomérations de la plaine

Le rapport de la Direction de la protection civile de la wilaya d'El Tarf relatif aux inondations de février et mars 2012 précise que 350 interventions avaient été effectuées dans 56 quartiers à travers 15 communes. Les sapeurs-pompiers ont secouru 200 personnes en grande difficulté et ont constaté trois décès. Tous les secteurs avaient été extrêmement affectés au niveau des agglomérations de la plaine. Les photos de la [DPC d'El Tarf \(2012\)](#) montrent les dégâts causés par l'inondation, le débordement de l'oued Kebir-Est, de l'oued Bounamoussa et la submersion des terres agricoles avec une hauteur d'eau ayant dépassé celle des digues de protection réalisées dans le cadre du projet d'aménagement hydro-agricole de la plaine El Tarf –Bouteldja

A l'aval, dans la plaine d'El Tarf, tous les secteurs ont été extrêmement touchés. La surface totale exposée aux inondations est de 24500 ha dont 21000 ha de la basse plaine ont été touchées soit 85 % des terres ([DPC d'El Tarf, février 2012](#)).

La commune de Ben M'hidi et plusieurs agglomérations de l'aval du bassin versant de la Mafragh ont connu les 22-23 février et les 10-11 mars 2012, les inondations les plus graves survenues dans l'extrême Nord-Est de l'Algérie depuis la catastrophe de mars 1973.

Des dommages matériels de grande ampleur ont concerné les habitations (5500 logements de type social et 2000 logements précaires) avec un coût économique estimé à 7.7 milliards DA à l'échelle de la wilaya ([DPC d'El Tarf, février 2012](#)).

Conclusion

Les trois barrages en exploitation localisés dans les cours supérieurs du bassin versant de la Mafragh, contribuent, par le stockage d'eau et la régularisation des débits, à répondre à la demande des différents secteurs utilisateurs. Ils s'avèrent, néanmoins, insuffisants quant à l'écrêtement des crues et l'atténuation du risque inondation, pour les agglomérations et les cultures agricoles situées à l'aval.

L'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf dans sa première tranche réalisé en 2011 a pour principal objectif d'augmenter la section mouillée de l'oued Kébir-Est par des digues de protection réalisées sur les deux rives pour une longueur totale de 73 km. Le drainage de la plaine est réalisé à l'aide d'un réseau de fossés de drainage des eaux superficielles sur une longueur de 105.5 km. Pour les terres les plus basses bordant Garâat El M'khada, une station de pompage a été implantée à -8 m pour l'évacuation des eaux excédentaires de la plaine de la partie Nord-Ouest.

La première tranche de l'aménagement hydro-agricole de la plaine d'El Tarf a été réalisée pour assurer une mise en valeur intensive des terres agricoles de la plaine d'El Tarf, Ain Assel, Bouteldja et Lac des oiseaux. La réalisation du système d'assainissement et d'irrigation devrait permettre d'éliminer l'excès d'humidité des sols en particulier durant la période pluvieuse. Aussi, atténuer le déficit en eau nécessaire au développement des cultures durant la période sèche estivale est un autre objectif de ce projet.

Au vu de l'analyse des dégâts enregistrés après les crues de février 2012 et de janvier 2015, le sous dimensionnement des ouvrages, l'obstruction des khelidjs naturels existants et la cote des digues réalisées par rapport à celle des routes sont les principaux éléments de critique soulevés par les techniciens concernés. Des travaux de réparation ont été lancés pour l'amélioration de la qualité des ouvrages ayant subi des dégradations après le passage des crues.

La crue de référence vicennale retenue dans le dimensionnement des ouvrages dans la plaine d'El Tarf pour une cote projet de 10,37 m, s'est avérée insuffisante pour assurer l'atténuation des inondations engendrées par les crues de fréquence rare enregistrées ces dernières décennies (1991/92, 2002/03, 2003/04 et 2011/12) dans le bassin versant de la Mafragh.

Les agglomérations de la plaine d'El Tarf sont exposées à une vulnérabilité géographique, structurelle et organisationnelle.

Au-delà des paramètres physiographiques, l'extension des périmètres urbanisés de plusieurs agglomérations se fait sur des terrains marécageux à pente très faible (1 %) voire nulle. La

wilaya d'El tarf en pleine expansion nécessite une prise en compte de cet aléa hydrométéorologique dans les instruments d'urbanisme.

La protection des agglomérations et des zones d'activité agricole contre les inondations récurrentes nécessite une implication de tous les acteurs et la mise en place d'un système d'alerte préalable avant les lâchers des barrages effectués généralement dans l'urgence.

Des carences sont constatées en termes de prévision et de gestion des risques.

***CHAPITRE 6 : AMENAGEMENT INTEGRE DES
EAUX DE SURFACE DE LA MAFRAGH : VERS UN
SYSTEME INTERCONNECTE***

« La pénurie d'eau douce est le plus grand danger pesant sur la planète »

Koïchiro Matsuura, directeur général de l'UNESCO

Introduction

La mobilisation des eaux par barrages (Cheffia, Mexa et Bougous) dans les bassins versants de la Bounamoussa et du Kébir-Est a pour objectifs la satisfaction des besoins multisectoriels en eau, en forte croissance (y compris ceux des wilayas limitrophes) mais aussi la réduction du risque inondation de la plaine à l'aval. Le phénomène récurrent des inondations, comme celles survenues le 22 et 23 février, les 10 et 11 mars 2012, a mis en avant la gravité de ce phénomène, et la nécessité de protéger les agglomérations et les terres de haut potentiel agricole de la plaine. Le réchauffement climatique de ces dernières années rend aujourd'hui indispensable la poursuite et le renforcement du programme hydraulique au niveau de l'ensemble du bassin versant de la Mafragh permettant l'alimentation en eau des populations et des industries, et la mise en valeur de périmètres d'irrigation.

La situation de stress hydrique vécue par la région au cours de l'été 2017, aggravée par les incendies, a contribué à montrer l'extrême importance des volumes d'eau à mobiliser pour l'alimentation eau potable de la population de la région, pour l'abreuvement du bétail et pour l'irrigation du périmètre irrigué de Bounamoussa, où l'arboriculture (spécifiquement les jeunes plantations) a beaucoup souffert du manque d'eau durant la période de pointe.

Aussi, l'aménagement hydroagricole (mise en valeur en mode intensif) de la plaine d'El Tarf, son exploitation dépend de la réalisation d'autres ouvrages hydrauliques (3 projets sont en gel depuis la crise économique de 2014) et de l'impact physique de ces projets sur l'atténuation des effets des crues ([MRE- AGID, 2003](#)).

Tout en limitant les prélèvements excessifs dans les nappes souterraines, les barrages sont des maillons clés de la gestion globale des ressources à l'échelle du bassin versant. Par ailleurs, l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT), s'attache au projet d'interconnexion des barrages, pour palier à l'irrégularité spatiale et temporelle des apports hydrologiques.

Le dessalement de l'eau de mer, la protection des eaux contre la pollution, sont les deux autres leviers de la gestion durable de l'eau dans la région.

1 LES RESSOURCES EN EAU SUPERFICIELLES MOBILISEES ET EN VOIE DE MOBILISATION

1.1 Les ressources en eau superficielles mobilisées

L'apport annuel moyen mobilisable du bassin versant de la Mafragh est estimé à 484 hm³ (DRE, 2015) avec un taux de mobilisation de 52.49 % en 2020 (tableau 60). Les trois barrages opérationnels à l'échelle du bassin versant ont un volume régularisé réel de 166.2 hm³ en 2020 soit 34 % par rapport aux apports mobilisables. L'eau mobilisée est destinée à la satisfaction des besoins multisectoriels des deux Wilaya El Tarf et Annaba.

Tableau 60. Estimation des ressources en eau du bassin versant de la Mafragh.
(DRE EL Tarf, 2015 ; (1) : Auteur)

| Ressources | Eau mobilisable (hm ³ /an) | Eau mobilisée (hm ³ /an) | Volume régularisé (hm ³ /an)(1) | Les secteurs d'usage | | | Taux de mobilisation (%) |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------|------------|-------------|--------------------------|
| | | | | AEP | Irrigation | Industrie | |
| Superficielles | 484.4 | 254,297 | 166.2 | 204 | 40 | 20 | 52.49 |
| Souterraines | Absence d'étude d'évaluation | 108 | / | 85.64 | 20 | 2.36 | / |

1.2 Les ressources en eau de surfaces en voie de mobilisation

1.2.1 Barrages et prise d'eau

Le taux de mobilisation atteindrait 58 % compte tenu des barrages projetés et leur capacité de régularisation réelle (tableau 61 et figure 92). Leur réalisation a été gelée à cause des problèmes de financement alors que l'étude d'APD (avant-projet détaillé) a été approuvée depuis 2015 (DRE, 2015).

Tableau 61. Barrages en exploitation et projetés dans le bassin versant de la Mafragh. (ANBT, 2017 et MRE -AGID, 2003).

| Barrage | Capacité (hm ³ /an) | Volume régularisé et assuré (hm ³ /an) |
|------------------------------------|--------------------------------|---|
| <u>Barrages existants :</u> | | |
| Cheffia | 158,8 | 95 |
| Mexa | 30.27 | 47 |
| Bougous | 65.2 | 24.37 |
| Mexa+Bougous | / | 71.37 |
| Total réel | 254.27 | 166 |
| <u>Barrages en projet :</u> | | |
| Boukhroufa | 125 | 41.05 |
| Boulathane | 24.40 | 11.95 |
| BounamoussaII | 71 | 38.75 |
| Prise sur Oued Kébir- Est | 17 (1.7 m ³ /s) | 17 |
| Total | 474.67 | 274.75 |

L'agriculture est le deuxième usager prioritaire, après l'AEP, qui sollicite une mobilisation des ressources en eau disponible pour satisfaire les besoins de ce secteur, conformément à la loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau. Cette dernière a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale (art1). L'usage de l'eau est commandé par l'ordre de priorité par rapport aux trois principaux secteurs d'usage, ainsi que de tout autre besoin relevant en général de l'activité humaine.

La programmation de trois grands barrages (Boukhroufa, Boulathane et Bounamoussa II) vise à promouvoir un développement économique de la région en atténuant les aléas liés aux ressources en eau : protection contre les inondations, création et mise en valeur de périmètres irrigués.

Le barrage de Boukhroufa (Ex : Bouhaloufa) dont la réalisation a été lancée en 2016 (taux de réalisation 90 % ; mise en eau prévue pour fin 2022) n'assurera pas les quantités totales prévues pour l'irrigation du périmètre. Il est important de faire recours à la réalisation des autres projets de barrages qui sont en instance depuis leur gel en 2014.

Pour assurer l'irrigation de la totalité du périmètre d'El Tarf et atténuer les effets de l'aléa inondations sur les agglomérations réparties dans la plaine (113108 habitants selon RGPH de 2008), il est important de mobiliser l'eau des affluents de la Mafragh non contrôlés :

- Oued Bounamoussa : la réalisation du barrage Bounamoussa II permettra la mobilisation des eaux des oueds Soudan, Guerria et Chaabet Ain El Arg, à l'aval du barrage de Cheffia.

- Oued Boulathane : réalisation du barrage de Boulathane afin de mobiliser l'eau d'oued Boulathane et oued Cheffia.
- Oued Bouhalloufa : réalisation du barrage de Bouhalloufa (renommé Boukhroufa).
- Kébir-Est aval : réalisation d'une prise d'eau pour le transfert des volumes d'eau afin d'assurer le remplissage des deux autres barrages (Boulathane et Boukhroufa).

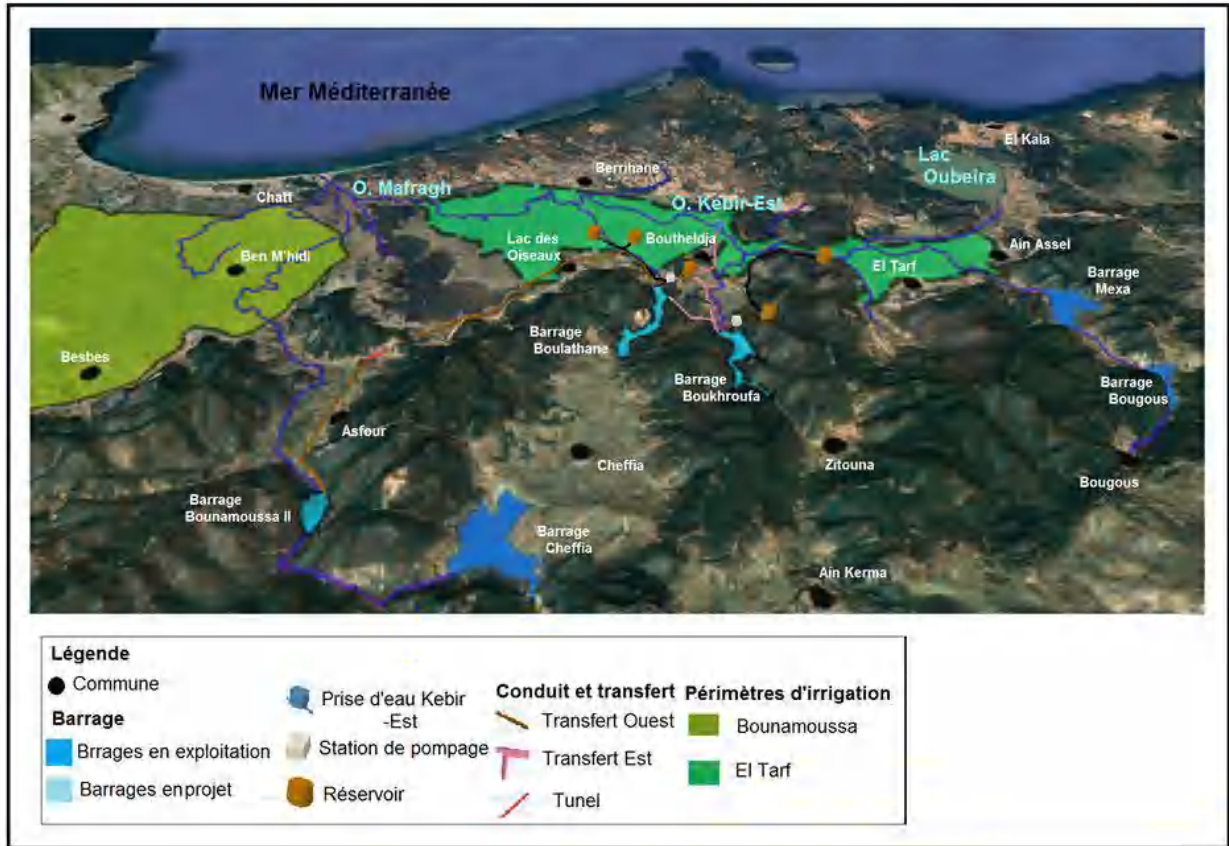


Figure 92. Mobilisation en eau de surfaces du bassin de la Mafragh : barrages en exploitation et en projet (vue en 3 D).

Les caractéristiques hydrotechniques des barrages projetés sont résumées dans le tableau 62. (DRE, 2015 ; MRE-AGID, 2003).

Tableau 62. Caractéristiques hydrotechniques des trois barrages projetés (MRE- AGID, 2003 et DRE, 2015).

| Ouvrage | Caractéristiques | Boulathane | Boukhroufa | Bounamoussa II |
|--|--|---|---|--|
| Retenue | Capacité de retenue Volume utile Volume mort Apport annuel moyen. Volume régularisé Cote PHE Cote NNR Cote min des eaux | 24.40 hm ³ 20.50 hm ³ 4 hm ³ 21.10 hm ³ 11.95 hm ³ | 125 hm ³ 116,80 hm ³ 8,40 hm ³ 50 hm ³ 41.05 hm ³ 87,00 m 82, 00 m 40,50 m / | 73, 40 hm ³ 71 hm ³ 2.40 hm ³ / 38,75 hm ³ 95.60 m 92.10 m 40,50 m / |
| Digue | Type Hauteur Largeur en la crête Longueur de la crête Cote de la crête | Zone en matériaux alluvionnaire en terre homogène 26 m 8 m 710 m / | En terre Zonée (noyau central en argile). 87 m 10 m 883 m / | En terre Zonée (noyau central en argile). 74, 00 m 08 ,00 m 582.30 m 97.60 m |
| Evacuateur de crues | Type : Crue du projet Capacité max d'évacuation Longueur du déversoir | Surface 970 m ³ /s 1200 m ³ /s 32 m | Canal / 600 m ³ /s 18 m | Canal / 600 m ³ /s 18 m |
| Galerie de dérivation et vidange de fonds | Longueur du tunnel Diamètre Débit de vidange | 188 m 7000 mm 75.60 m ³ /s | | / |
| Tour de prise : | Type Nombre de prises Débit de prise | Vertical 3 unités | Circulaire 8 unités 3.75 m ³ /s | |
| Données hydrologiques | Oued Surface du (B.V) Pluie moyenne Apport interannuel | Boulathane 110.50 km ² 915 mm 103 hm ³ /an | Bouhaloufa 173.2 km ² | Bounamoussa 217 km ² |

➤ **Barrage de Boukhroufa (en cours de réalisation)**

Les travaux ont été lancés en 2016. Le suivi est à la charge du bureau d'études ROMELECTRO (Roumanie) qui a expertisé l'APD du barrage de Bouhaloufa réalisée par l'ENHYD (Algérie). La capacité du barrage de Boukhroufa est de 125 hm³. Selon l'étude de faisabilité et l'avant-projet détaillé (DRE, 2015) et (MRE -AGID, 2003), la retenue de Boukhroufa va assurer un volume régularisé de 41,05 hm³/an. Vu les apports insuffisants pour le remplissage de ce barrage, une prise d'eau sur Oued Kébir-Est sera réalisée avec une capacité de transfert d'un débit moyen de 1.7 m³/s (ANBT- APD de CENOR/HPO, 2017). Par le transfert de ces volumes complémentaires (17 hm³/an), les eaux du barrage de Boukhroufa seront destinées à l'irrigation de la partie Est du périmètre d'irrigation d'une surface de 3560 ha.

➤ **Barrage de Bounamoussa II**

Le système Ouest de la Bounamoussa est aménagé depuis 1965 par le barrage de Cheffia qui contrôle une surface de 575 km². A 20 km de l'aval du barrage de Cheffia, des affluents de la Bounamoussa offrent une grande opportunité pour la réalisation d'un deuxième barrage (Bounamoussa II) qui permettra la mobilisation des eaux des oueds Soudan, Guerria et Chaabet Ain El Arg ; il contrôle une surface de 217 km² (DRE, 2015).

D'après l'étude d'Avant-projet définitif de l'aménagement hydro-agricole et la Direction des ressources en eau (DRE, 2015), un site a été déjà approuvé pour la réalisation du barrage Bounamoussa II. Ce site assure un débit moyen interannuel estimé d'après la même étude à 1.60 m³/s soit 50 hm³/an (MRE - AGID, 2003).

Le barrage de Bounamoussa II projeté est d'une capacité de 73.40 hm³. Il régularise un volume de 38.75 hm³ (tableau 61). Ce volume sera destiné à l'irrigation de la partie Ouest du périmètre d'irrigation d'El Tarf, d'une surface de 5558 ha.

➤ **Barrage de Boulathane**

La mobilisation des apports de l'oued Boulathane passe par la réalisation du barrage de Boulathane qui contrôle une surface de 110.5 km², sa capacité est de 24.40 hm³ et son apport annuel moyen de 21.10 hm³/an. Il permet de régulariser un volume de 11.95 hm³/an. Les

➤ **Prise d'eau sur Kébir-Est**

- **Capacité de mobilisation** : D'après l'étude d'APD, la prise d'eau sur oued Kébir-Est, a une capacité maximale de mobilisation de 1.5 m³/s soit 47 hm³/an alors que pour garantir l'irrigation des terres agricole, cela nécessite un débit de 1.9 m³/s soit 59 hm³/an (CENOR/HPO, 2017). Le Groupement CENOR/HPO a proposé l'installation

de la prise d'eau du Kebir-Est avec une capacité maximale intermédiaire de 1,7 m³/s, soit un volume de 17 hm³/an assuré pour le transfert en période des hautes eaux (120 jours) (tableau 63).

Tableau 63. Écoulements des bassins et prise d'eau sur l'oued Kébir – Est (ANBT- APD, 2017).

| Bassin versant | Surface A (km ²) | Précipitation moyenne annuelle P _{moy} (mm) | Écoulement moyen annuel H _{moy} (mm) | Apport moyen annuel H _{moy} (hm ³) |
|---|------------------------------|--|---|---|
| Boukhroufa (n° 1) | 173,2 | 835 | 289 | 50,0 |
| BV de Mexa (n° 2) | 662,7 | 941 | 371 | 246,0 |
| BV de Ain Assel (n° 2+3) | 680,0 | 938 | 368 | 250,2 |
| Surface comprise entre Mexa et la prise d'eau du Kébir-est (n° 3+4) | 282,2 | 850 | 300 | 84,6 |

La surface de 282.2 km² est la surface sans le Lac Oubeira, elle produit un apport de 84.6 hm³, sachant qu'un volume de 2.88 m³/s permet d'assurer le volume nécessaire pour l'irrigation (91 hm³/an) (ANBT, 2017).

Les consommations maximales pour l'AEP à partir du système Mexa/Bougous sont en augmentation, il serait peut-être prudent de ne pas écarter un scénario d'augmentation des prélèvements au futur. D'après l'Avant-projet détaillé de la prise d'eau sur Kébir-Est, le volume moyen annuel futur déversé par l'évacuateur de crues du barrage de Mexa est évalué en considérant la consommation urbaine maximale des deux wilayas d'Annaba et EL Tarf (estimée à 63 hm³/an) et un volume évaporé annuel moyen de 11 hm³. Sachant que le volume moyen annuel affluent au Barrage de Mexa est de 246 hm³ (ANBT, 2017).

Le volume moyen annuel déversé est de $V_{\text{déver}} = 246 - 63 - 11 = 172 \text{ hm}^3$. Ce volume entraîne un débit modulaire/module $Q_{\text{mod}} = 5,45 \text{ m}^3/\text{s}$ (figure 93).

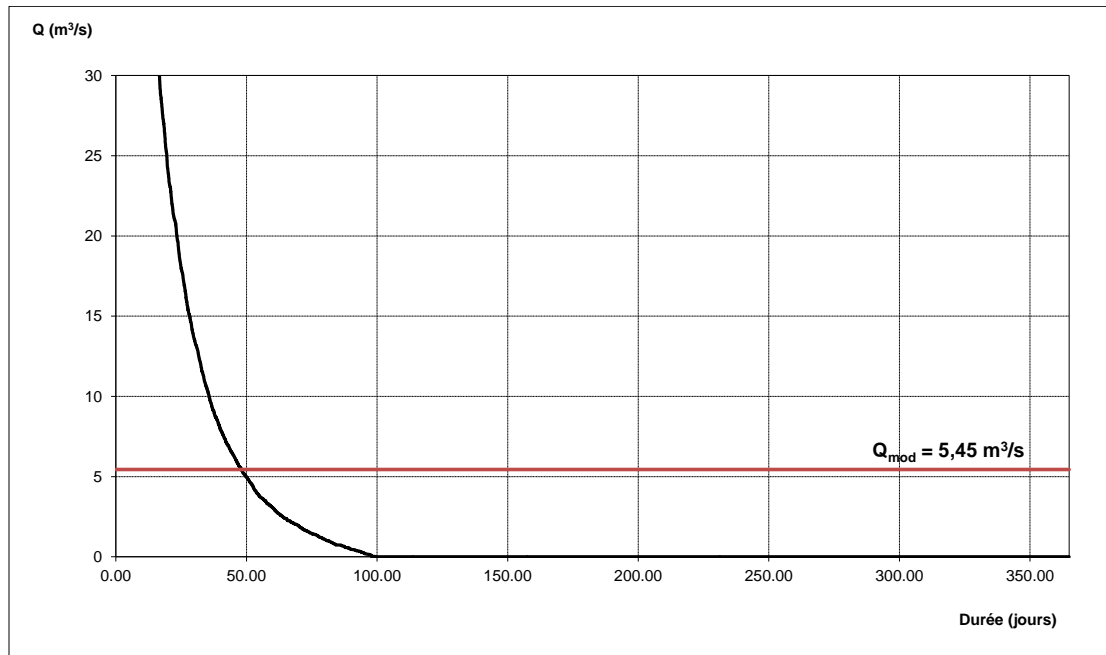


Figure 93. Courbe de durée moyenne annuelle future des débits moyens journaliers déversés par l'évacuateur de crues du Barrage de Mexa. (ANBT- APD, Prise d'eau Kébir-Est, 2017)

D'après les résultats de l'étude de CENOR/HPO (2017), les apports du bassin propre de la prise d'eau sur Kébir-Est (aval Mexa d'une surface de 282.2 km²) sont de 84.6 hm³/an.

Selon cette même étude pour une période des hautes eaux de 4 mois de Décembre à Mars soit 121 jours où il est garanti un écoulement important au niveau des oueds sans compter les lâchers effectués au moment des crues, on estime que pour un débit moyen interannuel de 1.7 m³/s la prise d'eau pourra refouler un volume journalier de 146880 m³/jour soit 22 hm³ durant une période moyenne de 150 jours des hautes eaux (de décembre à avril).

- *Simulation des apports à transférer par la Prise du Kebir- Est*

Dans le cadre de l'étude de la Prise sur Kébir-Est, le bureau d'étude CENOR/HPO (2017) a pris en considération les changements climatiques afin de dimensionner la prise d'eau d'El Kebir-Est en admettant une réduction future des précipitations de 15%. Deux simulations (tableau 64) :

- Une première simulation en fonction des apports du barrage de Bouhkroufa et des apports du sous bassin propre à la Prise d'eau (282.2 km²)
- Une deuxième simulation en prenant en considération les lâchers du barrage de Mexa.

Dans la simulation présentée ci-avant, on n'a considéré que les apports du bassin propre de Boukhroufa (Bassin 1 = 173,2 km²), où, pour une précipitation moyenne annuelle de 835 mm, le ruissellement est de 289 mm, produisant un apport annuel de 50 hm³/an, suffisant pour assurer une consommation annuelle pour irrigation de 40,5 hm³/an, grâce à la capacité d'emmagasinement de la retenue tableau 64.

Avec la première simulation (baisse de précipitation), l'apport ne sera plus suffisant pour assurer la consommation cible de 41,05 hm³/an.

Tableau 64. Estimation des apports annuels des bassins de Mexa, Boukhroufa et la prise d'eau sur Kébir-Est en fonction du changement climatique (ANBT : APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).

| Bassin versant | Simulation | Surface (km ²) | Précipitation moyenne annuelle (mm) | Ruissellement (mm) | Apport annuel (hm ³ /an) | Volume assuré (hm ³ /an) | Q Module. annuel (m ³ /s) |
|--|--|----------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Boukhroufa | Sans changement climatique | 173.2 | 835 | 289 | 50 | 40.5 | |
| | Première simulation (réduction de 15 % des précipitations) | 173.2 | 710 | 200 | 34.6 | | 1.1 |
| Boukhroufa Et Sous bassin de la Prise du Kébir-Est | Sans changement climatique | 282.2 | 850 | 300 | 84.6 | | |
| | Deuxième simulation (réduction de 15 %) | 282.2 | 723 | 208 | 59 | / | 1.87 |
| Mexa | Sans changement climatique | 662.7 | 941 | 371 | 246 | 47 | |
| | Deuxième simulation (réduction de 15 %) | 662.7 | 800 | 263 | 174 | | 3.17 |

La capacité maximale de la station de traitement des eaux de Ain Assel est de 2 m³/s soit un volume annuel de 63 hm³. Alors le déversement minimal de Mexa sera de :

- Déversement = 174 – 11 – 63 = 100 hm³/an soit un module annuel Q=3.17 m³/s.

Ce qui donne un apport total de 100+59+34.6=193.6 hm³/an.

Selon l'APD de la Prise d'eau sur Kébir et pour déterminer les apports à transférer par la prise d'eau vers le barrage de Boukhroufa, il faut définir la capacité maximale à installer, de sorte à ce que le volume affluent total, au barrage de Boukhroufa, soit suffisant pour couvrir les besoins

d'irrigation avec une garantie de 80 %. Cette capacité a été fixée, par tentatives, à 1,9 m³/s, la simulation présentée ci-après étant la tentative finale.

Enfin, les débits transférés d'El Kebir vers Boukhroufa, sont obtenus à partir des débits calculés à partir d'une série d'écoulements mensuels et annuels transférés à la prise d'eau d'El Kebir dans le scénario où la prise d'El Kebir ne recevrait que les apports du bassin en aval du barrage de Mexa, moyennant le procédé suivant :

- Quand le débit journalier est inférieur au débit écologique de 0,349 m³/s, le débit à transférer est nul.
- Quand le débit journalier est compris entre 0,349 m³/s et 0,349 + 1,9 = 2,249 m³/s le débit à transférer est le débit journalier affluent, déduit du débit écologique.
- Quand le débit journalier est supérieur à 2,249 m³/s, le débit à transférer est 1,9 m³/s.

Les résultats de la simulation d'exploitation de la retenue de Boukhroufa au scénario où la prise d'eau du Kébir-Est ne recevrait que les apports du bassin en aval du barrage de Mexa sont présentés dans les tableaux 65 et 66, pour un taux de garantie de 80 %.

Tableau 65. Volume à fournir pour l'irrigation (taux de garantie de 80 %) et capacité maximale installée (Scénario où la prise d'eau d'El Kebir-Est ne recevrait que les apports du bassin en aval du barrage de Mexa) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).

| NRN | NME | Volumes de la retenue (hm ³) | | | Volume à fournir pour l'irrigation (hm ³ /an) | Capacité maximale installée (m ³ /s) |
|-------|-------|--|-------|-------|--|---|
| | | Mort | Utile | Total | | |
| 82,00 | 49,11 | 8,40 | 72,24 | 80,64 | 41,05 | 1,9 |

NME : (Niveau Minimal d'Exploitation) ; NRN : (Niveau de Réention Normale).

Tableau 66. Bilan moyen annuel de la retenue de Boukhroufa (Scénario où la prise d'eau d'El Kebir ne recevrait que les apports du bassin en aval du barrage de Mexa) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).

| Apport moyen (hm ³ /an) | Volume moyen évaporé (hm ³ /an) | Volume moyen fourni pour le débit écologique (hm ³ /an) | Volume moyen fourni pour l'irrigation (hm ³ /an) | Volume perdu par déversement (hm ³ /an) |
|------------------------------------|--|--|---|--|
| 47,49 | 2,83 | 1,62 | 38,37 | 4,61 |

NME : (Niveau Minimal d'Exploitation) ; NRN : (Niveau de Réention Normale).

Les résultats de la simulation d'exploitation de la retenue de Boukhroufa au scénario où la prise d'El Kebir recevrait les apports du bassin en aval de Mexa, plus les déversements de celle-ci sont présentés dans les tableaux 67 et 68, pour un taux de garantie de 80 %.

Tableau 67. Volume à fournir pour l'irrigation (taux de garantie de 80 %) (Scénario où la prise d'El Kebir recevrait les apports du bassin en aval de Mexa, plus les déversements de celle-ci) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).

| NRN | NME | Volumes de la retenue (hm ³) | | | Volume à fournir pour l'irrigation (hm ³ /an) | Capacité maximale installée (m ³ /s) |
|-------|-------|--|-------|-------|--|---|
| | | Mort | Utile | Total | | |
| 82,00 | 49,11 | 8,40 | 72,24 | 80,64 | 41,05 | 1,5 |

NME : (Niveau Minimal d'Exploitation) ; NRN : (Niveau de Rétention Normale).

Tableau 68. Bilan moyen annuel de la retenue de Boukhroufa (Scénario où la prise d'El Kebir recevrait les apports du bassin en aval de Mexa, et les déversements de Mexa) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).

| Apport moyen (hm ³ /an) | Volume moyen évaporé (hm ³ /an) | Volume moyen fourni pour le débit écologique (hm ³ /an) | Volume moyen fourni pour l'irrigation (hm ³ /an) | Volume perdu par déversement (hm ³ /an) |
|------------------------------------|--|--|---|--|
| 47,11 | 2,84 | 1,62 | 38,32 | 4,26 |

Les résultats des deux simulations montrent que, si on compterait seulement avec les apports du bassin propre de la prise d'eau d'El Kebir, une capacité maximale installée sur celle-ci de 1,9 m³/s serait nécessaire pour garantir la consommation du secteur de l'irrigation.

Le Groupement CENOR/HPO propose l'installation de la prise d'eau d'El Kebir-Est, d'une capacité maximale intermédiaire de 1,7 m³/s.

- Débit écologique

Selon l'étude de la prise d'eau du Kébir-est, il a été proposé à l'ANBT de fixer le débit écologique à 1/30 du débit moyen annuel en conditions naturelles. Les débits moyens annuels sur les sections du barrage Boukhroufa et de la prise d'eau d'El Kebir sont, respectivement, de 1,59 m³/s (50 hm³/an) et de 10,48 m³/s (246+84,6 = 330,6 hm³/an).

Le débit écologique a été fixé à la section du barrage de Boukhroufa : $1,59 / 30 = 0,053$ m³/s (0,14 hm³/mois)

2 TRANSFERTS D'EAU ET INTERCONNEXION DES BARRAGES

L'aménagement intégré du système de la Mafragh nécessite un schéma global qui doit comporter : les prises d'eau, les ouvrages de transfert et les stations de pompage par le refoulement du surplus d'eau d'un ouvrage à un autre en procédant à un transfert aval-amont et/ ou amont-amont.

Pour atténuer le risque de la disponibilité de l'eau de surface, il est indispensable de prévoir l'interconnexion des barrages dans un futur proche pour le transfert des volumes excédentaires perdus périodiquement sous forme de lâchers par les barrages durant la période pluvieuse.

2.1 Transfert des eaux et interconnexion des barrages pour l'aménagement hydro-agricole de la plaine

Pour une meilleure exploitation des trois retenues en projet de Boukhroufa, Boulathane et Bounamoussa II en particulier en période sèche, le Ministère des Ressources en Eaux envisage de les interconnecter (DRE, 2016). L'interconnexion de ces trois barrages présente plusieurs avantages :

- Possibilité de régulation entre les retenues, pour pallier à des déficits localisés.
- Stocker un maximum d'eau durant les périodes de fortes crues (pluvieuses).

Deux scénarios de transfert d'eau et d'interconnexion ont été proposés dans l'étude de l'aménagement hydro-agricole (avant-projet sommaire définitif) réalisée par ENERGOPROJECT en 2003. La simulation de la gestion du système interconnecté a permis de montrer que la variante la plus intéressante qui est retenue officiellement est la suivante : « Transfert Est de la Prise d'eau sur Oued Kebir-Est vers Boukhroufa et Boulathane et Transfert Ouest : de Bounamoussa II vers Boulathane » (MRE- AGID, 2003).

2.1.1 *Transfert Est : de la Prise d'eau sur Oued Kebir-Est vers Boukhroufa et Boulathane*

Le transfert entre la prise d'eau sur Oued Kebir-Est et le barrage Boukhroufa sera effectué par deux conduites de refoulement de diamètre de 1600 mm (figure 94) Le débit de transfert vers une station de pompage est de 1.5 m³/s puis il sera refoulé vers un réservoir d'équilibre d'une capacité de 2000 m³. Un volume total de 17 hm³/an est transféré annuellement. A partir du réservoir, l'eau sera transféré par gravité, la conduite est d'un diamètre de 1100 mm vers le barrage de Boukhroufa située à une NNR de 82 m (figure 95), Le dernier transfert se fera vers barrage Boulathane situé à une NNR de 30 m ; le volume transféré est estimé à 14 hm³/an. Les

eaux ainsi transférées seront destinées à l'irrigation (3560 hectares) de la partie Est de la plaine d'El Tarf.

2.1.2 Transfert Ouest : de Bounamoussa II vers Boulathane.

Le deuxième transfert ouest se réalisera entre le barrage Bounamoussa II, situé à une cote NNR 92.1 m, et le barrage Boulathane situé à une cote NNR de 30 m ; ce transfert d'un volume de 39 hm³/an se fait par gravité sur une longueur totale de 30 km via un tunnel long de 1.6 km, (figure 95). Les eaux ainsi transférées seront destinées à l'irrigation de la partie Ouest du périmètre d'une surface de 5558 hectares.

L'interconnexion entre le réseau de barrages (existants et projetés) permet de garantir le transfert d'un volume de 91.75 hm³ destiné à l'irrigation du périmètre de la plaine d'El Tarf (9200 hectares) d'un côté, de l'autre, la protection des terres agricoles et des agglomérations des inondations récurrentes (débordement des oueds Kebir-Est, Boukhroufa, Boulathane et Bounamoussa) durant les épisodes pluvieux. L'impact du projet concerne essentiellement les périmètres irrigués de Ain Assel, El Tarf et Boutheldja. Il s'agit d'une première étape essentielle dans le cadre du projet global d'aménagement hydro-agricole de la plaine qui sera suivie par la mise en place d'un réseau d'irrigation.

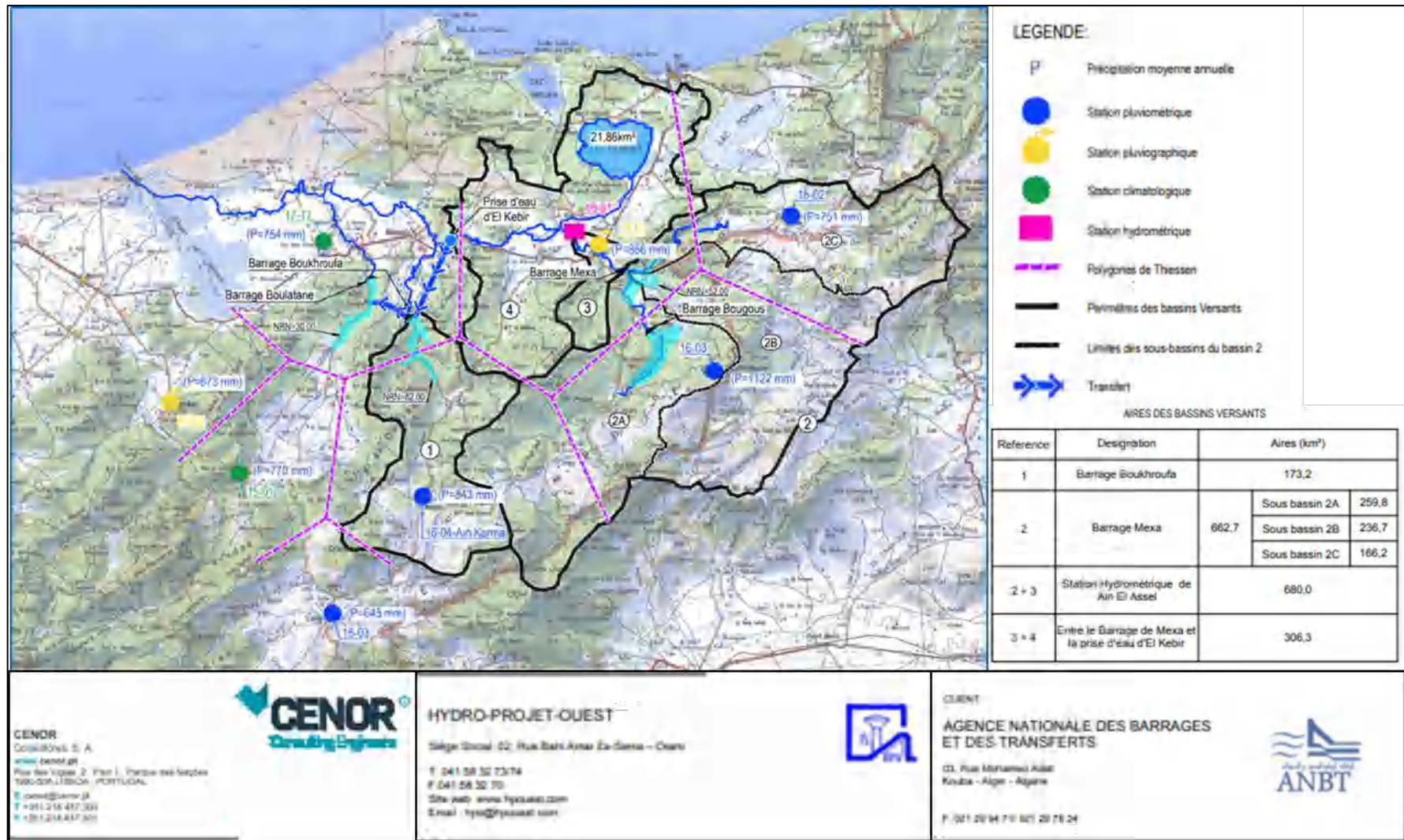


Figure 94. Barrages et Schéma d'interconnexion du système-Est proposé dans l'étude de la prise d'eau sur Kébir-Est par le Groupement CENOR/HPO (ANBT - APD, Prise d'eau sur Kébir-Est, 2017).

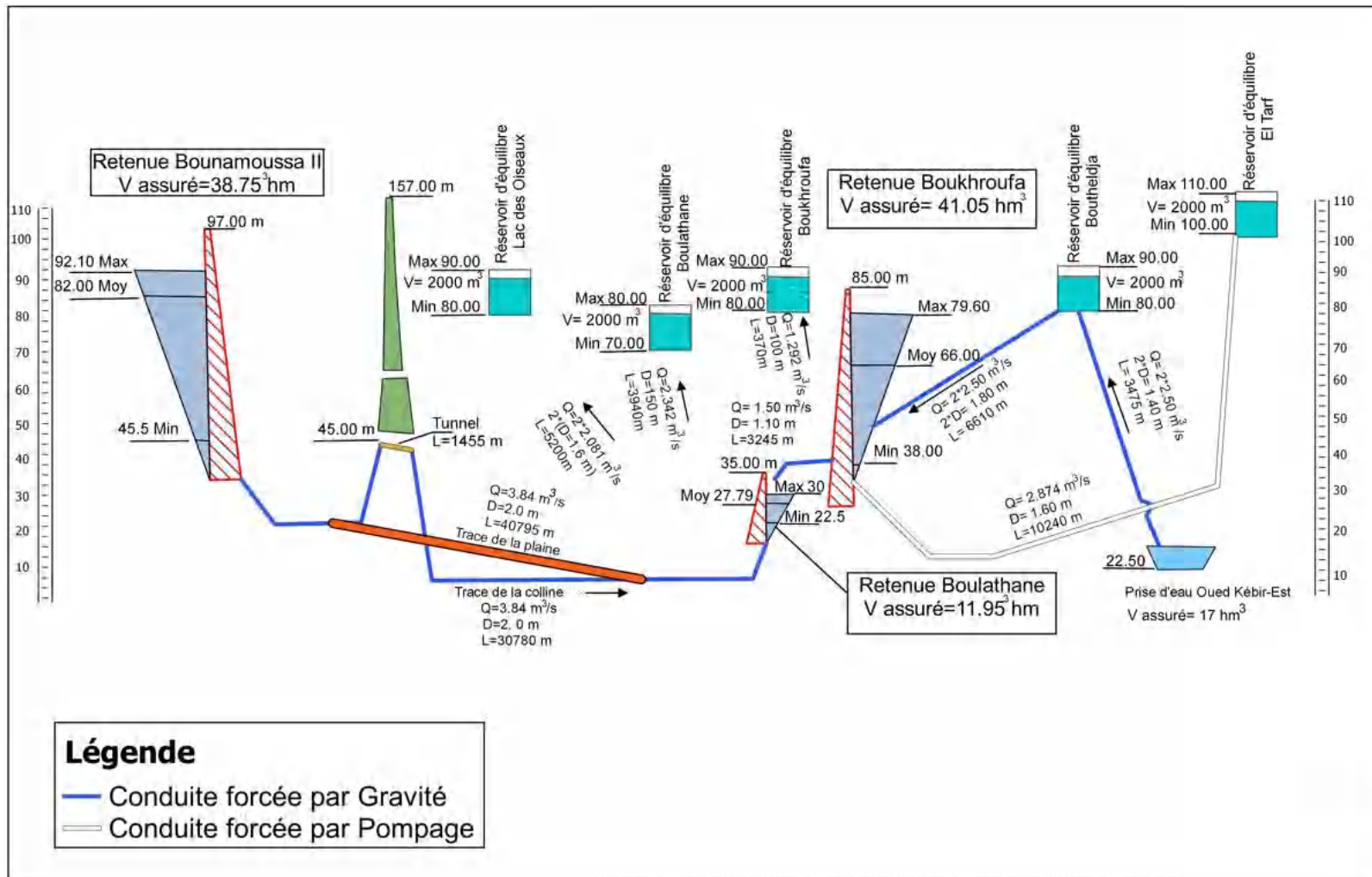


Figure 95. Schéma hydraulique des Transferts EST « Prise Kébir-est – Boukroufa- Boulathane » et Ouest « BounamoussaII- Boulathane », et d'interconnexions des barrages projetés au niveau du Bassin versant de la Mafragh (MRE- AGID, 2003, complétée).

3 MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES

- Aperçu hydrogéologique

Selon les études hydrogéologiques effectuées dans le bassin versant de la Mafragh ([Kherici, 1993](#) ; [Ramdani, 1996](#) ; [Derradji, 2004](#)), les systèmes aquifères sont répartis sur les plaines de Asfour, d'El Tarf-Ain Assel et de Annaba- Bouteldja (cf. [Chapitre 5 figure 72](#)).

- La plaine de Asfour

Cette plaine alluviale est composée de deux nappes ; une nappe semi-captive reposant sur un substratum imperméable argileux, par endroit limoneux, où les graviers constituent le réservoir de cette nappe. Entre la nappe alluviale et celle des graviers se forme un horizon sablo-argileux semi-perméable. Par endroit, les deux nappes sont totalement confondues en une seule nappe à surface libre.

- La plaine d'El Tarf-Ain Assel

Elle est caractérisée par la superposition de deux nappes : une nappe profonde et une nappe superficielle. La nappe profonde s'étend de l'Est vers l'Ouest avec un substratum marneux et un toit argileux d'épaisseur importante ; le réservoir est constitué de galets et de graviers. ([ENERGOPROJECT-ENHYD, 1992](#)).

La nappe superficielle qui couvre la totalité de la plaine d'El Tarf est contenue dans les formations alluvionnaires et les argiles plus au moins sableuses. Elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe.

- La plaine de Annaba-Bouteldja

Cette plaine est caractérisée par la présence d'une nappe profonde importante, la nappe des graviers. Elle est surmontée par une nappe libre couvrant l'ensemble de la plaine. Elle est limitée au Sud par la nappe superficielle des terrasses constituée par des cailloutis et des galets et au Nord par les deux nappes : la nappe superficielle du cordon dunaire au Nord-Ouest, constituée de sables dunaires éoliens et repose sur un substratum argileux et la nappe superficielle du massif dunaire de Bouteldja du côté Nord-Est, formée de sables éoliens épais souvent avec intercalations de lentilles d'argiles.

D'après l'étude hydrogéologique de [Derradji \(2004\)](#), le bassin versant de la Mafragh recèle des potentialités hydriques souterraines importantes (de l'ordre de 97.5 hm³) contenues surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable, avec parfois des intercalations argileuses). Six (6) nappes sont situées dans le bassin versant de la Mafragh et exploitées ([DRE, 2021](#)) (tableau 69).

Tableau 69. Les nappes exploitées dans le bassin versant de la Mafragh
(DRE, 2021 et Affoun, 2006)

| Nappe exploitée | Nombre de forages | Volume théorique (hm ³ /an) | Commune desservies |
|---|-------------------|--|--|
| Massif dunaire de Boutheldja | 50 | 33 | 2 forages pour irrigation soit 0.4 hm ³ /an 1 forage pour l'industrie soit 0.1 hm ³ /an 26 forages AEP Annaba soit 16.7 hm ³ /an |
| Eau de sources : Bouglez, Bourdim +Oued Bhaim | / | / | 21 forages AEP : El Kala, Berrihane, El Tarf, Ain Assel et le couloir de Boutheldja-Ben M'hidi soit (15.30 hm ³ /an). |
| Nappe alluviale El Tarf-Ain Assel | 8 | 2.6 | 8 forages AEP Ain Assel, Bougous (2.6 hm ³ /an) |
| Nappe des grés (Bougous-Raml Souk) | 03 | 0.56 | 3 Forages AEP Ain Assel, Raml Souk et Bougous (0.56 hm ³ /an) |
| Nappe alluviale Bouteldja | 12 | 7.65 | 6 forages AEP Annaba soit (3.78 hm ³ /an) 5 forages AEP Cheffia et lac des oiseaux (total 7.40 hm ³ /an) 1 forage Industrie conserverie (0.25 hm ³ /an) |
| Nappe alluviale Bounamoussa (Asfour) | 8 | 3.85 | 8 forages AEP : Asfour, Zrizer et Ben M'hidi (3.85 hm ³ /an) |
| Nappe alluviale Seybouse (1)+ (2) +(3) | 129 | 44 | 33 forages pour AEP Dréan, Chatt, Besbess (24.5 hm ³ /an) 90 forages pour l'irrigation (17.5 hm ³ /an) 6 forages pour l'industrie (2 hm ³ /an). |
| Total | 210 | 91.66 | |

(1) Nappe chevauchant les deux bassins : La Mafragh et la Seybouse.

(2) L'eau de cette nappe est d'une mauvaise qualité : le taux de salinité est de 1.7 g / l.

(3) On estime à environ 50 % des forages sont localisés dans le bassin versant de la Mafragh.

Les ressources en eau souterraines mobilisables au niveau de la wilaya d'El Tarf sont estimées à 108 hm³/an (DRE, 2015). Le volume théorique moyen annuel mobilisé est de 91.66 hm³, variable d'une année à une autre en fonction du nombre et de l'état des forages exploités. Ce volume est assuré par la principale nappe exploitée du bassin versant de la Mafragh (la nappe du massif dunaire de Boutheldja). En moyenne, l'eau produite par 21 forages donne un volume annuel moyen de 16 hm³/an, est destinée à l'alimentation de 9 communes de la wilaya d'El Tarf (El Tarf, Ain Assel, Boutheldja, Asfour, Cheffia, Lac des oiseaux, Berrihane, Ben M'hidi et Chatt), le reste est destiné à l'alimentation de la wilaya de Annaba (26 forages), soit un volume de 17 hm³/an (tableau 70).

Le taux d'affectation de la ressource en eau souterraine pour l'AEP de Annaba et El Tarf est de 68%, l'irrigation est de 29 % et l'industrie 2% (tableau 70).

Tableau 70. Affectation par secteur d'utilisation des ressources en eau souterraines dans le bassin de la Mafragh et de la wilaya d'El Tarf (DRE, 2015 et 2021)

| Ressources | Ressources mobilisables (hm ³ /an) | Ressources mobilisées (hm ³ /an) | | | | Taux de mobilisation (%) | | | |
|--|---|---|------|------|--------------|--------------------------|-------|------|-----|
| | | AEP | IRRI | IND | TOT | AEP | IRRI | IND | TOT |
| Eaux souterraines (Wilaya d'El Tarf) | 108 Absence d'étude approfondie | 85.64 | 20 | 2.36 | 108 | 68,46 | 29,51 | 2,03 | 100 |
| Ressources exploitées en 2021(BV la Mafragh) | 91.66 Absence d'étude approfondie | 71.4 | 17.9 | 2.36 | 91.66 | 78 | 19.5 | 2.5 | 100 |

4 LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER

Sont appelées ressources non conventionnelles les eaux pluviales, les eaux provenant du dessalement d'eaux saumâtres (eau de mer en particulier) et la réutilisation d'eaux usées traitées. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients quant à leur gestion et leurs usages.

En Algérie, pays de la rive Sud de la Méditerranée comme dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont rares et vulnérables. En Mer Méditerranée, la salinité varie entre 38,4 et 41,2 g/litre.

Le stress hydrique, qui a affecté le pays pendant les années 90, a amené les pouvoirs publics à engager un programme d'urgence pour la sécurisation des zones côtières en alimentation en eau potable par le recours au dessalement d'eau de mer.

Pour le renforcement et la sécurisation de l'alimentation de la population en eau potable, la réalisation de cinq nouvelles stations s'ajouteront à celles existantes déjà.

La future station de dessalement des eaux de mer (SDEM) d'El Tarf, d'une capacité de 300.000 m³/jour, a été programmée en 2018 (ABH, 2018) et (DRE, 2022). Cette station sera appelée à renforcer et à sécuriser l'alimentation en eau potable d'une large zone géographique de l'Est du pays, en particulier satisfaire les besoins croissants en eau potable des quatre wilayas d'El Tarf, de Annaba, de Skikda et de Guelma. Cette station possède quatre (04) sorties et chaque sortie présente un couloir qui sera équipé par des stations de pompes et des réservoirs :

- **Sortie vers Annaba et Guelma** : une conduite de 1200 mm en acier relie la SDEM avec le complexe de Chaiba, ce qui permet d'alimenter 80 % de la population de la wilaya.

- **Sortie vers une station de pompage projeté** à Daghoussa : une conduite de 800 mm en acier vers la station de pompage projeté, elle refoule en deux couloirs (vers réservoir projeté à Sidi Ammar et vers un réservoir projeté à Ain Berda), assurant l'alimentation de 20 % de la wilaya de Annaba et les trois communes de la wilaya de Skikda (Marsa, Ben Azzouz, Bekkouche Lakhder).

- **Sortie vers El Tarf** : une conduite de 1200 mm en acier assure la distribution vers la totalité de la wilaya. Deux couloirs sont programmés :

- Le couloir El Tarf Est : une conduite gravitaire de diamètre variable alimente un réservoir projeté à Mexa d'une capacité de 50000 m³.

- Le couloir El Tarf Ouest : une conduite gravitaire de diamètre 1500 mm alimente un réservoir tampon projeté à Daghoussa d'une capacité de 50000 m³.

- **Sortie vers Guelma** : une conduite de 700 mm en acier relie la SDEM par une station de pompage projetée.

5 PROTECTION DE LA QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES

Les communes de Dréan et de Chebaita Mokhtar sont situées dans le bassin versant de la Seybouse. Les communes de Besbes, de Chihani Bachir et Chatt se situent à cheval entre le bassin de la Seybouse et celui de la Mafragh. La ville d'El Kala et la commune de Souarekh se

situent dans le sous bassin des côtiers d'El Kala qui constitue avec la Mafragh la totalité du bassin des Côtiers Constantinois-Est. Par ailleurs, les communes de Raml-Souk et Laïyoun empiètent partiellement le sous-bassin des côtiers d'El Kala.

Au final, 15 communes s'intègrent totalement dans le bassin versant de la Mafragh et 5 communes l'occupent partiellement.

La population résidente des communes de la Mafragh est estimée à environ 341000 habitants produisant quotidiennement un volume de 43600 m³/j d'eaux usées, réparti sur 205 points de rejet à l'état brut (DRE, 2021). Un volume de 714 m³/jour est traité au niveau des deux STEP de Asfour et Zerizer (soit un taux de traitement de 0.2 %).

5.1 Capacités d'épuration dans la wilaya d'El Tarf

La wilaya d'El Tarf recense 249 points de rejet à l'état brut en 2021, dans différents milieux naturels (Oueds, Chaâbats et Canaux). Elle compte également les infrastructures d'assainissements suivantes (gérées par l'ONA) (DRE, 2021) :

- (05) STEP : El Kala-centre, El Kala (El Guentra El Hamra), El Kala (Mridima), Asfour et Zerizer (tableau 71).
- (01) Lagune en exploitation à Raml Souk.
- (31) Stations de relevage en exploitation.
- Réseau de différents diamètres d'une longueur totale de 1550 km, soit un taux de raccordement de 86 % (70 % en milieu rural et 95 % en milieu urbain).

Le volume d'eaux usées rejetées de la wilaya est estimé à 58018 m³/j, avec un volume d'eau usée épuré de 2075 m³/j (4 %).

La wilaya d'El Tarf est équipée d'un réseau d'assainissement unitaire (communes rurales) et séparatif (les communes urbaines) avec un linéaire total de 1550 km. La pente nulle de la majorité des communes situées dans la plaine d'El Tarf est à l'origine du coût surestimé des projets de réalisation des réseaux d'assainissement, ce qui impose la création des pentes artificielles surtout pour le système séparatif

Le fonctionnement du système épuratoire dépend des ouvrages suivant :

- Réseaux habitants (eaux usées)
- Collecteurs principaux
- Station de relevage
- Conduite de refoulement
- STEP.

La station de relevage est une station de pompage des eaux usées constituée d'une bache à eau d'une pompe flottante immergée et d'un agitateur pour mélanger les eaux usées. La capacité de la station de relevage intercommunale d'El Tarf est de 160000 équivalents -habitants.

Tableau 71. Etat des STEP en service dans le bassin versant de la Mafragh (DRE de la wilaya d'El Tarf, 2021).

| Commune | Année de réhabilitation (exploitation) | Capacité épuratoire (m ³ /j) | Capacité épuratoire (eq/hab) | Type du procédé utilisé | Impact du traitement | Etat de la STEP | Volume réel moyen entrant à la STEP (2021) m ³ /j |
|-----------------------------------|--|---|------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|--|
| Zerizer (VSA Sidi Abd) | 2006 | 150 | 3000 | Boues activées à faible charge | L'oued Bounam oussa | Moyen | 202 |
| Asfour centre | 2006 | 1200 | 7000 | Boues activées à faible charge | L'oued Bounam oussa | Moyen | 1084 |
| El Kala (VSA El Guentra El Hamra) | 2006 | 150 | 3000 | Boues activées à faible charge | Lac El Melah | Mauvais | 88 |
| El Kala centre | 2006 | 1900 | 25000 | Boues activées à faible charge | La mer | Moyen | 1193 |
| Raml Souk(Oued el Hout) | 2007 | 200 | 3000 | Lagunage naturel | Lac Tonga | Moyen | 100 |
| El Kala (Mridima) | 2021 | 800 | 6 000 | Boues activées | Lac Oubeira | Bon état A l'arrêt | / |
| Total wilaya | / | 3600 | 47000 | / | / | / | 2667 |
| Total BV la Mafragh | / | 1350 | 10000 | / | / | / | 1286 |

Selon le tableau 72, le volume d'eau épuré à l'échelle de la wilaya (24 communes) est de 2075 m³/j soit 3.57 % par rapport à un débit journalier estimé à 58018 m³/j (4 stations sont fonctionnelles : El Kala (centre), El Kala (El Guentra El Hamra), Lagune Raml Souk, Asfour et Zerizer) dont deux sont situées au niveau du bassin versant de la Mafragh.

Pour la station El Kala centre, la capacité d'épuration totale est de 25000 équivalent habitant ; actuellement le volume réel moyen journalier entrant à la STEP est de 1193 m³/j (DRE, 2021).

Tableau 72. Situation de l'assainissement dans les communes de la wilaya d'El Tarf (DRE, wilaya d'El Tarf, 2021).

| Commune | Population 2018 (habitants) | Taux de Raccordement (%) | Linéaire du réseau (km) | Volume d'eaux usées rejetées (m ³ /j) | Nombre de points de Rejet | Lieu récepteur du collecteur | Volume d'eaux usées traitées (m ³ /j) |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--|---------------------------|------------------------------|--|
| El Tarf | 31802 | 91 | 197,52 | 8602 | 13 | Oued, Chaabat | 00 |
| Zitouna | 8397 | 66,5 | 44,49 | 824 | 2 | Oued | 00 |
| Ain Assel | 17206 | 73,5 | 122,86 | 2731 | 6 | Oued | 00 |
| Bougous | 12450 | 56 | 41,11 | 1140 | 3 | Oued | 00 |
| El Kala | 36881 | 89,55 | 88,6 | 6648,00 | 11 | STEP | 1193 |
| Ramel Souk | 4335 | 90,4 | 16,89 | 419 | 5 | Lagune | 100 |
| Souarekh | 7 761 | 91,25 | 21,75 | 836 | 5 | Oued | 00 |
| El Aioun | 5847 | 84 | 22 | 491 | 6 | Oued, Chaabat | 00 |
| Bouteldja | 19895 | 83,2 | 53,327 | 3256 | 13 | Oued ; Canaux | 00 |
| Lac des Oiseaux | 12233 | 84,2 | 54,455 | 2247 | 5 | Oued ; Canaux | 00 |
| Cheffia | 6471 | 50 | 11,697 | 1013 | 3 | Oued | 00 |
| Ben M'hidi | 33582 | 95,85 | 106,81 | 3188 | 19 | Canaux | 00 |
| Echatt | 38955 | 92 | 112,838 | 2630 | 16 | Canaux | 00 |
| Berrihane | 9648 | 95,75 | 31,54 | 1065 | 12 | Oued | 00 |
| Besbes | 49689 | 98 | 109,83 | 4680 | 32 | Oued, Canaux | 00 |
| Drean | 43414 | 96,5 | 104,271 | 4444 | 11 | Oued | 00 |
| Asfour | 12655 | 94,5 | 30,41 | 1165 | 6 | Oued, STEP | 600 |
| Zerizer | 12927 | 88,25 | 44,248 | 1469 | 7 | Oued, STEP | 114 |
| Chbaïta Mokhtar | 25468 | 89,4 | 50,187 | 2490 | 7 | Oued | 00 |
| Chihani | 11277 | 92,6 | 32,583 | 1608 | 8 | Oued | 00 |
| Bouhadjar | 24767 | 64 | 71,169 | 4891 | 25 | Oued | 00 |
| Aïn karma | 16983 | 68 | 26,475 | 1094 | 14 | Chaabat, Oued | 00 |
| Oued Zitoune | 6637 | 75 | 10,775 | 543 | 5 | Oued | 00 |
| Hammam Beni Salah | 5787 | 70,5 | 21,795 | 544 | 15 | Oued | 00 |
| Total 24 Communes | 455067 | 82,48 | 1 432,205 | 58 018 | 249 | / | 2075 |

5.2 Les systèmes projetés pour la protection des eaux de surface

Selon le service de l'assainissement de la DRE de la wilaya d'El Tarf et dans le cadre du Plan National de l'Eau (PNE), différents programmes ont été établis dont l'objectif principal est de répondre aux besoins de la population, de préserver la santé humaine et de protéger l'environnement. De tels objectifs passent par la réalisation des stations d'épuration (STEP) pour une réutilisation des eaux d'assainissement pour l'irrigation et une protection de la qualité des eaux. Un schéma directeur d'assainissement des eaux usées par système et par région (Centre et Est, Sud et Ouest), a été approuvé en 2014 (réalisé par le bureau des études et consultation sur l'eau (B.E.C.E, 2014), pour un horizon de 30 ans.

Système projeté Centre et Est

Ce système réunit les communes de Ain Assel, El Tarf, Boutheldja et Lac des Oiseaux. La STEP projetée est d'une capacité de 160000 équivalents -habitants selon l'étude de la (DRE, 2014) (figure 99). L'objectif de ce système est la protection de la ressource en eau souterraine et superficielle du Lac Oubeira et du Lac des Oiseaux, ainsi que l'oued Kébir-Est et ses affluents où l'eau est utilisée pour l'irrigation des terres agricoles de la plaine d'El Tarf-Ain Assel et Bouteldja durant la période sèche.

Système projeté Sud

Ce système concerne la protection de l'amont du barrage de Cheffia. Il couvre les communes de Bouhadjar, Oued Zitoun et Hammam Beni Salah. La STEP projetée est d'une capacité estimée à 77000 équivalents -habitants en 2014 pour un horizon de 30 ans (DRE, 2014) (figure 99).

Actuellement un traitement naturel se fait par auto-épuration naturelle (paramètre de la distance entre les points de rejet des eaux non épurées et le milieu récepteur, le lac du barrage de Cheffia).

Système projeté Ouest

Les communes de la partie Ouest de la wilaya d'El Tarf (Dréan, Chbaita Mokhtar, Chihani, Besbes et Daghoussa) nécessitent une STEP d'une capacité estimée à 240000 équivalents –habitants (DRE, 2014) (figure 99).

L'objectif de ce système est de mettre fin aux rejets à ciel ouvert, et enfin la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation du périmètre de la Bounamoussa au lieu d'utiliser les eaux du barrage (figure 99).

Système projeté Nord

Bien que le chapitre assainissement soit gelé depuis 2015 pour des contraintes de financement, le service chargé par l'assainissement au niveau de la DRE de la wilaya d'El Tarf prévoit la couverture de la partie Nord de la wilaya par une quatrième STEP intercommunale.

La partie Nord comprend les communes de Chatt, Ben M'hidi et Berrihane. Elle nécessite une STEP d'une capacité estimée à 75000 équivalents -habitants selon l'estimation des services chargés de l'assainissement de la DRE en 2014. L'objectif de ce système est la protection de la ressource en eau superficielle et souterraine (la nappe du massif dunaire) du littoral, des plages et des terres agricoles (figure 99).

Des stations d'épuration de type monobloc

Deux stations de type monobloc sont prévues pour le traitement des eaux usées rejetées par les agglomérations situées à l'amont, comme l'agglomération chef-lieu de Bougous pour la protection des eaux du barrage de Mexa et l'agglomération secondaire d'El Frine pour la protection des eaux du Lac Oubeira. Leur capacité d'épuration est estimée à 6000 équivalents-habitants. Ce type de station est préfabriqué, doté des équipements nécessaires à son fonctionnement (cuve, dessableur, décanteur ... etc).

La protection des eaux du barrage de Boulathane contre la pollution générée par la population de Cheffia, nécessite aussi la réalisation d'une station monobloc à l'amont du barrage.

D'autres stations sont prévues pour la protection des eaux contre les rejets des zones d'activités commerciales (ZAC). La ZAC de Kbouda est une source de pollution des eaux de Garâat El M'Khada et la ZAC de Matrouha est une source de pollution des eaux de l'oued Guergour.

6 VULNERABILITE DES RESSOURCES SUPERFICIELLES FACE A LA VARIABILITE CLIMATIQUE

6.1 Sécheresse climatique et stress hydrique : cas de de l'été 2017

Les périodes de sécheresse sont marquées par une baisse des écoulements. L'année hyper-sèche de 2001/2002 a marqué la région qui a connu une baisse des apports aux barrages : 5 hm³/an au barrage de Cheffia et 14 hm³ au barrage de Mexa. L'année hydrologique 2016/2017 a connu un déficit pluviométrique important impliquant une baisse des apports : 37,6 hm³ au barrage de Cheffia et 178 hm³ au barrage de Mexa. La capacité de fin d'année du barrage de Mexa était de 26.27 hm³.

La sécheresse de 2017 a provoqué un stress hydrique à l'échelle régionale, particulièrement dans la ville de Annaba. En septembre 2017, le stress hydrique a fait la une de plusieurs journaux (Liberté, Le Soir d'Algérie, L'expression, El Nahar, El Chorouk, Akher Saâ...) et a marqué la mémoire collective de la population de Annaba-El Tarf. Il était impératif d'élaborer un plan de gestion intégrée des ressources en eaux superficielles et souterraines. Une année après, le journal El Moudjahid publie un autre article concernant la mise en place d'un plan d'urgence pour les wilayas à haut risque, intitulé : « *Alimentation en eau potable : plan d'urgence pour les wilayas à haute carence (25 milliards de dinars pour sa mise en œuvre)* ». Il est question de sécuriser les wilayas qui ont enregistré des perturbations « sérieuses » dans l'alimentation en eau potable (AEP) durant l'été 2017 et que « *les walis possèdent toutes les prérogatives pour mettre fin au piquage illicite d'eau provoquant 40 % de pertes* », selon la déclaration du ministre des ressources en eau.

6.1.1 Les secteurs AEP et AEI affectés par le stress hydrique

Au barrage de Cheffia, le volume de remplissage enregistré en début de l'année hydrologique 2016/2017 était déjà faible avec seulement 56.423 hm³ (soit 35.52% de la capacité totale de la retenue). En fin d'année (fin août 2017), il était descendu à 22.791 hm³ (soit un taux de remplissage de 14.34 %). A la fin du mois de septembre 2017, il a atteint 18.361 hm³ (11.56 %) puis 13.954 hm³ à la fin du mois d'octobre, correspondant au taux mensuel de remplissage de la retenue le plus faible (8.78 %) enregistré (photo 43).



Photo 43: Lac du barrage de Cheffia à sec le 28 octobre 2017 (Affoun, 28 octobre 2017)

Un stress hydrique important a touché les trois secteurs utilisateurs de l'eau (AEP, irrigation et l'industrie) de la région de Annaba- El Tarf (figure 96). La faible réserve d'eau au niveau du barrage de Cheffia n'a pas pu assurer la couverture des besoins journaliers de la wilaya de Annaba en eau potable et en eau industrielle par la conduite mixte (AEP et AEI) d'un débit de 120000 m³/jour (réparti entre 90000 m³/j pour l'AEP et 30000 m³/j pour l'AEI) (ANBT, 2017). Ce volume est distribué par gravité en fonction du niveau du plan d'eau du lac du barrage. A partir du 31 juillet 2017, en raison de la baisse du niveau de remplissage du lac du Cheffia qui était de 28.451 hm³, des mesures d'urgences ont été mises en place par l'ouverture de la quatrième vanne de la prise d'eau inférieure pour garantir le volume journalier nécessaire à l'approvisionnement des deux secteurs.

Un volume complémentaire a été attribué à partir du barrage de Mexa exploitant les eaux de l'oued Kebir-Est, soit un volume journalier de 50000 m³/jour.

Concernant le secteur industriel les 30000 m³/j ont été assurés par le barrage de Cheffia, pour le fonctionnement quotidien du complexe sidérurgique d'El Hadjar.

Selon un article de l'Algérie Presse Service (APS) du 7 septembre 2017 intitulé : «Arrêt sécurisé du haut fourneau du complexe sidérurgique d'El Hadjar », on relève ce qui suit : « les services de l'Algérienne des eaux (ADE) ont confirmé la suspension de l'approvisionnement du complexe sidérurgique attestant que les quantités d'eau mobilisables actuellement estimées à 84 000 m³/j sont réservées pour la population. Cette opération a été décidée suite à la

suspension, depuis plus d'une semaine, du volume d'eau accordé au complexe et dont les besoins s'élèvent à 1100 m³ d'eau brute par heure ».

« Un volume de 12000 m³/jour soit 30 % est le volume nécessaire à la production quotidienne de 1800 tonnes d'acier liquide par jour. Les services de l'ADE de Annaba étaient dans l'obligation d'opter pour satisfaire la consommation d'eau potable des habitants de la ville au détriment des deux aciéries à oxygène d'El Hadjar. La difficulté de gestion de l'ADE d'Annaba, est imputée à l'ex-SEATA, qui est responsable d'une gestion basée sur la ressource superficielle».

6.1.2 Le secteur d'irrigation privé d'eau

Le volume annuel alloué à l'irrigation du périmètre de Bounamoussa en 2016/2017 est de 11.43 hm³ ; un volume assez faible marquant les années sèches, et un volume de 5.3 hm³ pour l'industrie (ce volume est le plus faible enregistré depuis la mise en exploitation du complexe sidérurgique d'El Hadjar en 1979/1980). Le périmètre de Bounamoussa a été mis en service en 1978 ; il couvre une superficie équipée de 16500 ha et 13826 ha de superficie irrigable. Cette surface est répartie entre les deux wilayas d'El-Tarf (12826 ha soit 93 %) et d'Annaba (1000 ha soit 7 %) (ONID, 2018) (figure 96).

Pendant la saison d'irrigation, aux mois de juin et juillet, un volume respectivement de 2.58 et 2.72 hm³ a été affecté pour les agrumes et les tomates industrielles dont le système de rotation entre les agriculteurs permet de mieux contrôler le gaspillage de l'eau. Au mois d'août, la livraison d'un volume de 1.16 hm³ a permis de sauver les jeunes plantations. Enfin, durant le mois de septembre le secteur agricole a été complètement privé d'eau d'irrigation.

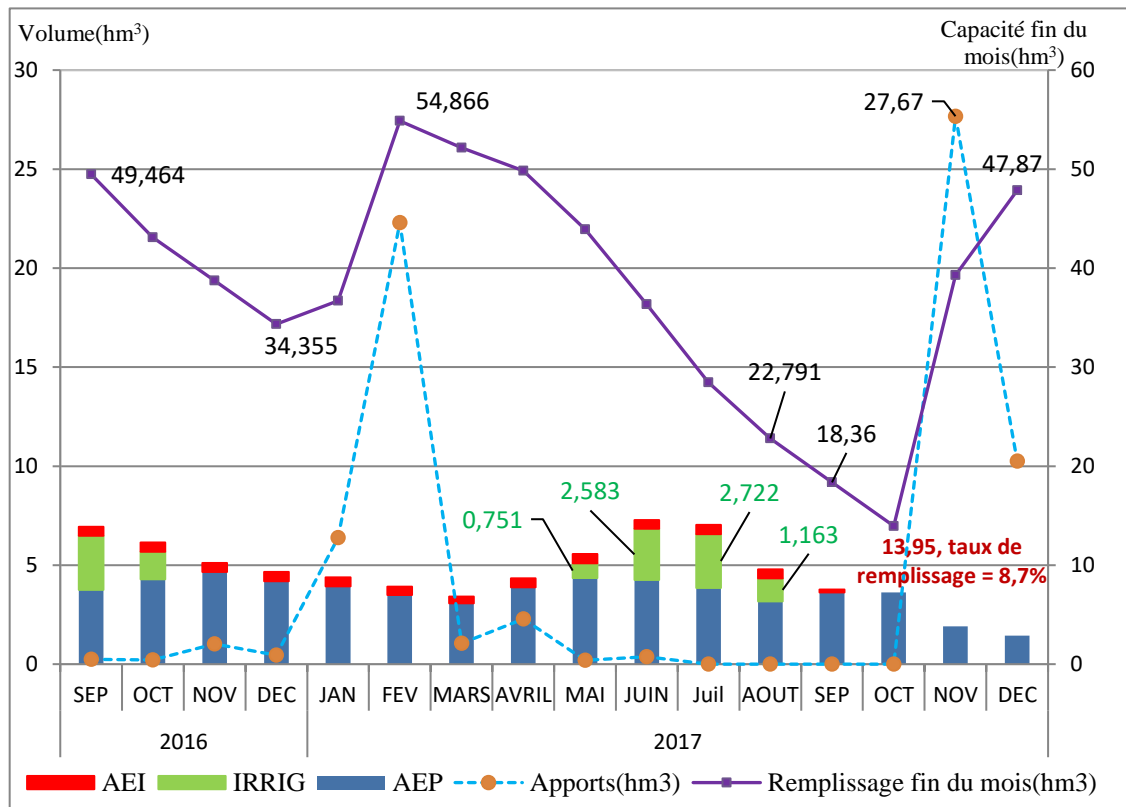


Figure 96. Distribution de l'eau du barrage de Cheffia au profit des trois usagers (période de septembre 2016 à décembre 2017).

6.1.3 Un plan d'urgence

Le stress hydrique est la conséquence de l'indigence des apports et des problèmes de gestion à plusieurs niveaux. En 2017, de juin à octobre, la région de Annaba-El Tarf a demeuré dans une situation d'alerte.

D'après notre entretien avec les services concernés ; (DRE de la wilaya de Annaba, ABH de Annaba, directeurs d'exploitation des barrages de Cheffia et Mexa), plusieurs causes s'ajoutent au facteur naturel de pénurie d'eau :

- Les défaillances de fonctionnement des équipements électriques de la station de pompage d'El Hnichet (refoulement de l'eau vers Annaba),
- Les fuites au niveau de la conduite reliant le barrage de Cheffia et la station de pompage de Zerizer ;
- La forte turbidité de l'eau provenant du barrage de Cheffia à cause de la baisse du niveau du lac (un taux supérieur à 20 % ne permettait pas son traitement au niveau de la station de Chaiba).

- La salinité menaçant les eaux des forages de pont Bouchet et les Salines en raison de leurs surexploitations et de l'avancée du biseau salé marin.

L'insuffisance de la ressource superficielle durant cette année hyper-sèche a été accentuée par une politique de gestion de la ressource superficielle en délaissant la deuxième ressource qui est l'eau souterraine. La batterie de forages au niveau de la nappe dunaire de Boutheldja était inexploitée, cette dernière mobilise un volume journalier de 35000 à 40000 m³/j (DRE et ABH, 2017).

Un plan d'urgence pour répondre aux besoins sans cesse croissants, essentiellement l'alimentation en eau potable de la wilaya d'Annaba, a été mis en action par les pouvoirs publics pour maîtriser le stress hydrique :

- la réhabilitation des champs de captage de Bouteldja (la nappe dunaire) incluant 22 forages pour la mobilisation d'un débit de 35000 à 40000 m³/jour.
- la rénovation de la conduite Mexsa-Lahnichet d'un diamètre de 1200 mm sur 22 km pour la récupération d'un débit estimé à 30000 m³/jour (d'après les services de l'ADE, ABH et DRE Annaba).
- le transfert de 100000 m³/jour à partir de Mexa pour satisfaire l'AEP et l'industrie à Annaba.
- la réhabilitation des champs de captage les Salines composés de 6 forages pour un débit de 13500 m³/j.
- la sectorisation et la réparation des fuites pour garantir la gestion et le contrôle de la distribution.
- la réhabilitation des stations de traitement de Mexa et de Chaiba (pour un montant estimé à 150 millions DA).
- la réhabilitation de 13 stations de pompage dans la wilaya de Annaba.
- la réhabilitation de la conduite de traitement et de récupération des eaux usées dans la localité de Seybouse (ex-Joannonville), pour la couverture des besoins du complexe sidérurgique El Hadjar (l'autonomie du complexe en matière d'eau est impérative) (ABH, 2017).
- l'inscription d'une station de dessalement de l'eau de mer d'une capacité de 300000 m³/j dans la commune de Berrihane pour le renforcement de l'AEP des villes de Annaba (Annaba (150000 m³/j) et El Tarf (80000 m³/j) et le Sud de Guelma et 3 communes de la wilaya de Skikda (70000 m³/j).

6.2 Les voies et moyens d'atténuation des inondations

Une politique de lutte contre les inondations peut être recommandée, elle doit s'appuyer sur la connaissance des facteurs de vulnérabilité et d'aggravation des inondations comme :

- le site et la situation des agglomérations de la plaine d'El Tarf est caractérisée par une topographie favorable à l'inondation, elles sont situées dans la catégorie des pentes faibles (inférieur à 1%). La ville d'El Tarf est entourée par deux cours d'eau importants : l'oued Kébir-Est qui longe la ville à une distance de 1.3 km au Nord et l'oued Guergour se trouve à la même distance à l'Ouest.
- les lâchers des barrages de Mexa et Bougous à l'Est, les lâchers du barrage de Cheffia à l'Ouest est une source de danger pour l'ensemble des agglomérations qui longent oued Bounamoussa (Asfour, Nchaima, Bouroumana, Ben M'hidi, Sidi Kaci, Sidi M'barek, Lac des oiseaux, Houichiya...etc)
- L'obstruction des réseaux des eaux pluviales et d'assainissement en l'absence d'entretien en début de saison des crues de la part des services publics concernées et des riverains.
- L'extension des villes d'El Tarf, Boutheldja, Lac des oiseaux, Ben M'hidi sur des zones de marécage temporaire favorable à la stagnation des eaux en période pluvieuse
- Les aménagements et l'action anthropique :
 - ✓ l'aménagement des trottoirs et des caniveaux n'est pas toujours conforme pour l'écoulement des eaux pluviales (des constructions sont situées à des niveaux plus bas que les voies de circulations)
 - ✓ au moment de l'inondation de février 2012, la ville d'El Tarf était en chantier avec plusieurs projets en cours de réalisation ; à ajouter le chantier de l'autoroute Est-Ouest. Le charriage de matériaux solides provenant des terrassements a contribué au bouchage des réseaux d'évacuation des eaux pluviales (DRE, 2012).

Ces inondations s'expliquent également par l'importante imperméabilisation des sols qui ne sont plus en mesure d'absorber de fortes pluies. Dans le cadre d'un mémoire de Master (Bellamouchi et Hadjadj, sous la direction de Affoun, 2021), la ville d'El Tarf a connu une évolution urbaine accélérée en 58 ans (1962-2020) la surface urbanisée est passée de 15.41 à 470 ha, avec une surface bâtie totale de l'ordre de 169.5 ha (soit 36 % de la surface totale de la ville).

Selon la figure 97 (extrait de la carte topographique de Boutheldja 7-8 au 1/25000 -1960), l'extension de la ville d'El Tarf est faite sur des terrains marécageux. A l'Est et au Sud, ils sont caractérisés par des marécages temporaires (Mechtas Laga et Djâma Bou Nouga). D'autres

marécages sont à l'Est à Mechtat Ayous. Plusieurs Khelidjs se forment et coulent difficilement de part et d'autre de l'oued Kébir-Est.

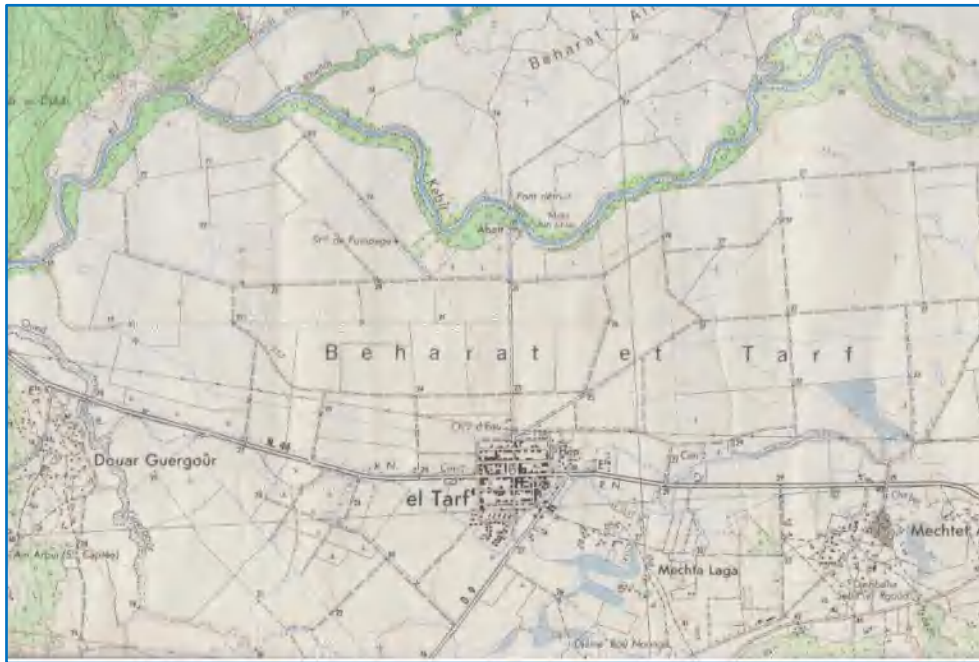


Figure 97. El Tarf en 1960(Extrait de la carte topographique de Boutheldja 7-8 au 1/25000, IGN 1958)

Face aux inondations fréquentes touchant la région et les agglomérations de la basse vallée de la Mafragh (wilaya d'El Tarf), plusieurs projets d'aménagement ont été élaborés pour diminuer le risque inondation et protéger la population des agglomérations de la plaine (DRE, 2015) :

1. A court terme : curage et reprofilage des oueds et affluents des zones Sud, Ouest et Est de la wilaya, curage et reprofilage de canaux d'assainissement à travers la partie ouest de la plaine (périmètre de la Bounamoussa Ben M'hidi et Asfour) ; réalisation de ceintures de protection contre les inondations longeant les agglomérations comme à Sidi Kaci et El Tarf ville.
2. A moyen et à long terme : un ensemble d'aménagements à l'aval sont envisagés pour réduire l'ampleur des conséquences des inondations, ces aménagements concernent :
 - l'aménagement des berges d'Oued Mafragh et la réalisation d'un musoir (étude approuvée en 2013), l'objectif est un léger recalibrage du lit de l'oued avec les dimensions suivantes : talus 3/2, largeur à la base de 120 m avec une profondeur de 4 mètres et un endiguement atteignant les 5,5 m au niveau de la confluence Kebir-Est et Bounamoussa. Ceci, pour faire transiter le maximum de débit (l'étude hydrologique a abouti à un débit centennal au niveau de l'Oued Mafragh, estimé à environ 3600 m³/s) tout en prenant en considération les contraintes du site (figure 98).

- l'aménagement de la partie maritime : la fixation de l'embouchure de l'oued et sa protection contre l'ensablement causé par le transit littoral ; la protection du chenal formé entre les deux jetées et dont le tirant d'eau doit assurer l'évacuation des débits de crues de période de retour centennale.



Figure 98. Position et orientation des deux jetées (le vert représente la variante maintenu) qui devront encadrer le chenal de la Mafragh (d'après DRE, HPO 2013).

Conclusion

Les flux d'eau importants et irréguliers dans le bassin versant de la Mafragh nécessitent une politique d'aménagement intégré tenant compte de la vulnérabilité de cette ressource face aux changements climatiques. Ceci passe par la mobilisation des ressources de surface et souterraine, l'interconnexion des barrages et le transfert du surplus d'eau accumulé durant la période des hautes eaux, le recours aux ressources non conventionnelles (dessalement des eaux de mer) et la protection de la qualité des eaux contre la pollution (stations d'épuration).

Les caractéristiques topographiques de la basse vallée de la Mafragh, les sols peu perméables et enfin la formation d'une barre sableuse au moment des crues à l'embouchure de la Mafragh favorisent la submersion des terres agricoles de la plaine pendant une longue période de l'année causant des dégâts importants.

La gestion des flux d'eau au niveau des barrages lors des événements exceptionnels nécessite de réfléchir à une solution, pour la maîtrise et le transfert de ces volumes perdus à chaque épisode pluvieux (vers le Sud : wilayates de Souk Ahras et Guelma). L'interconnexion du barrage de Mexa et de Cheffia avec d'autres barrages semble la solution la plus avantageuse sur le plan socio-économique et environnemental : par la satisfaction des besoins des secteurs d'usage et la protection des agglomérations et de la plaine agricole contre les inondations.

L'aménagement (amont-aval) du bassin versant de la Mafragh permettrait le développement de la plaine d'El Tarf, grâce à l'accroissement de la productivité agricole par l'irrigation.

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant de la Mafragh, avec ses sous bassins de l'oued Bounamoussa et de l'oued Kebir-Est, est l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie. Cependant, l'irrégularité des apports hydrologiques annuels, s'accompagne de deux phénomènes extrêmes récurrents : inondation et sécheresse. Le phénomène de crues et ses manifestations sous forme d'inondations affecte une population vulnérable installée sur une plaine inondable.

Dans une vision systémique, le triptyque Ressource – Aménagement – Environnement est à prendre en compte pour une gestion intégrée de la Mafragh visant à assurer l'utilisation durable des ressources naturelles tout en atténuant ces menaces.

Comme la demande en eau augmente, les prélèvements s'intensifient et ont d'ores et déjà atteint un niveau élevé au regard de la ressource mobilisée disponible. Ceci génère des conflits d'usage entre les différents secteurs utilisateurs, et également entre les territoires qui se partagent la ressource (en particulier dans ce cas de bassin transfrontalier).

Du point de vue méthodologique, la thèse a porté un regard couplé sur le fonctionnement hydrologique des deux hydrosystèmes contrôlés par barrages (Cheffia et Mexa) d'une part, et sur la protection de la plaine d'El Tarf -Annaba et de ses agglomérations contre les inondations, d'autre part. Le dispositif de protection conditionne l'objectif de mise en valeur intensive des terres agricoles, visé par les pouvoirs publics.

Dans ce qui suit, nous allons mettre en évidence les aboutissements de ce travail pour ébaucher par la suite les perspectives qui se dégagent en matière d'aménagement et d'environnement.

1 Deux hydrosystèmes (haut oued Bounamoussa et haut oued Kébir-Est) contrôlés par barrages : résultats des bilans de régularisation.

Le fonctionnement hydrologique de l'hydrosystème transfrontalier de la Mafragh a été analysé à l'échelle de chaque sous-système. Les sous bassins aux barrages de Cheffia et de Mexa sont deux hydrosystèmes symétriques drainés par deux oueds importants : Bounamoussa à l'Ouest et Kébir-Est à l'Est. L'analyse s'est basée sur :

- les données du bilan de régularisation interannuelle des apports et le rythme d'envasement.
- le suivi de l'évolution mensuelle et journalière des termes du bilan d'eau des barrages.

Le barrage de Cheffia contrôle les écoulements de l'amont du bassin versant de la Bounamoussa sur une surface de 575 km². Le maximum annuel a été enregistré durant l'année humide 2004/2005 (413.09 hm³/an) et le minimum annuel (5,842 hm³) a été enregistré durant l'année hydrologique sévèrement sèche de 2001/2002. Durant la période de sécheresse de 1987 à 1990, une diminution critique de la capacité est enregistrée en 1988/1989 atteignant 8.992 hm³ en fin d'année (mois d'Août), soit un taux de remplissage de 5.33 %, ainsi que les volumes alloués à l'irrigation étaient de 1.53 hm³/an durant l'année 1988/89 et de 4.08 hm³/an en 1989/90.

Le volume régularisé réel moyen est estimé à 74.25 hm³, soit 78.40 % du volume régularisable (théorique) estimé à 95 hm³/an. Pour une période d'exploitation de 39 ans, le rythme de sédimentation est de 1,6 fois supérieur à celui estimé dans l'étude d'avant-projet, soit un taux de comblement annuel moyen de 0,20 % et une dégradation spécifique du bassin versant de 939 t/an/km².

La variation des apports du mois le plus pluvieux (février), permet de constater que 18 années sur 47 enregistrent une valeur égale ou supérieure à la moyenne interannuelle de ce mois (31 m³/s). Les valeurs maximales dépassant les 100 m³/s en 1986/1987, 2011/2012 et 2014/2015, concordent avec les fortes crues enregistrées, à l'origine des inondations sur la plaine.

La sécheresse de 2017 a provoqué un stress hydrique à l'échelle régionale, affectant particulièrement l'AEP et AEI ainsi que le secteur de l'irrigation (périmètre de Bounamoussa).

La faible réserve d'eau au niveau du barrage de Cheffia n'a pas pu assurer la couverture des besoins journaliers de la wilaya de Annaba en eau potable et en eau industrielle par la conduite mixte (AEP et AEI) d'un débit de 120000 m³/jour.

L'hydrosystème du bassin du Kébir-Est au barrage Mexa couvre une superficie de 651 km², contrôlée par trois barrages en cascade, de l'amont à l'aval : Barbara en territoire tunisien, Bougous et Mexa en territoire algérien. Sur une série d'observations de 17 ans (2003/2004-2019/2020), l'apport moyen au barrage de Mexa est de 380,12 hm³ (soit une lame d'eau écoulée de 585 mm). Pour une capacité de la retenue de 30.27 hm³, la réserve de fin d'année a varié entre 20 et 29 hm³/an, soit un taux de remplissage variant de 67 à 96 %, à l'exception de l'année 2011/2012 qui a enregistré une faible réserve de 16.17 hm³ (53 %).

L'apport mesuré a connu une augmentation importante en raison des lâchers (déversement et dévasement) effectués à partir des deux barrages de Barbara et de Bougous situés en amont.

Durant l'année hyperhumide de 2004/2005, le barrage de Mexa a enregistré un apport maximal de 686.942 hm³ dont un volume de 144.58 hm³ déversé à partir du barrage de Barbara.

Pour le barrage de Bougous (données du bilan d'eau de 2011/2012-2019/2020), sa capacité de fin d'année a varié entre 46 et 62 hm³/an soit un taux de remplissage de 71 à 77 % à l'exception de l'année 2011/2012 qui a enregistré un taux de remplissage maximum de 96 %.

En incluant les lâchers de Bougous à compter de 2011/2012, année de mise en eau de ce barrage, le taux de régularisation de Mexa a atteint son maximum de 81, 52 % en 2019/2020. Au total, le volume régularisé réel moyen, affecté à l'AEP durant les 17 ans d'exploitation du barrage Mexa est de 39,37 hm³, soit un taux de couverture de 65,59 % du volume régularisable (théorique) estimé à 37 hm³/an

Le volume de régularisation total du complexe Mexa-Bougous prévu dans les études nécessite la réalisation d'une deuxième station de traitement des eaux car celle de Ain Assel a été dépassée depuis 2019/2020, sa capacité maximale de traitement étant de 1.84 m³/s

2 Gestion des crues aux barrages et effets des inondations

Les barrages permettent de régulariser le régime des oueds et d'atténuer les effets néfastes des crues. Cependant, les lâchers excessifs effectués pour sécuriser les ouvrages au moment des crues aggravent le risque d'inondation sur les agglomérations et les terres agricoles de la plaine d'El Tarf-Annaba en aval ; cette dernière renferme 9 communes soumises à un risque élevé. Ceci exige de mettre en place un système d'alerte au moment opportun.

Les crues du bassin de la Bounamoussa au barrage de Cheffia s'étalent sur des périodes pouvant s'allonger jusqu'à une semaine (145 heures, soit 6 jours, pour la crue du 30 décembre 2003 au 5 janvier 2004). Sur 11 événements de crues, le temps de base le plus fréquent se situe entre 24 et 72 heures. Les débits maximums sont assez variables d'une crue à une autre selon l'état du bassin versant avant et durant la crue. Il en résulte des hydrogrammes complexes et étalés dans le temps dont le laminage est assuré par le déversoir de crue du barrage. Quatre crues exceptionnelles (crue du 27-28 Mars 1973, crue du 3,4 et 5 Avril 2003 et les deux crues des 22-23 février et 10- 11 mars 2012), ayant marqué le fonctionnement du barrage et occasionné des inondations à l'aval, ont été sélectionnées et analysées en relation avec les pluies, les déversements de crue et les réserves en eau dans la retenue.

Durant la crue des 22-23 février 2012, l'apport maximum journalier était de 73.2 hm^3 (51.72 % du total mensuel estimé à 141.5 hm^3) et la vidange de fond effectuée en 24 heures était de 83.8 hm^3 .

L'analyse des données des apports de crue et des déversements du barrage de Mexa, sur 17 années d'observations, a montré que 55% des apports au barrage Mexa sont perdus sous forme de déversements de crue et de vidange de fond. Ce taux dépasse les 90 % durant les années pluvieuses, un maximum de 97 % des apports a été évacué durant l'année hyper humide de 2004/2005.

Les apports résultent de la contribution des crues issues des deux bassins partiels de Barbara et de Bougous, en plus de celles du bassin intermédiaire de Mexa. Au moment de crues exceptionnelles, Barbara peut avoir un impact contradictoire sur le fonctionnement hydrologique du barrage de Mexa à l'aval : laminage de l'onde de crue (amortissement) mais aussi possibilité de lâcher de débits excédentaires qui viennent accentuer l'onde de crue à l'entrée du barrage de Mexa. Il assure cependant une protection du barrage de Mexa contre l'envasement par la rétention d'un transport solide d'environ 136869 tonnes/an (soit un taux d'envasement moyen annuel de $1,045 \text{ hm}^3/\text{an}$).

Durant la crue des 22 et 23 février 2012, un volume de 74.25 hm^3 a été déversé, comparé à un apport cumulé en 48 heures de l'ordre de 97.84 hm^3 . Le pic de la crue a été atteint le 23 février suite à un apport journalier de 86.40 hm^3 (soit un débit de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ en valeur moyenne journalière).

La crue du mois de mars à l'échelle du bassin du barrage de Mexa, s'est traduite par des lâchers importants atteignant 88.10 hm^3 . Un volume total de 125 hm^3 a été lâché durant 7 jours sur la basse vallée de la Mafragh qui s'étend sur une superficie de 21000 ha soit une hauteur d'eau cumulée de 59,5 cm. Pendant 7 jours consécutifs (du 7 au 13 Mars 2012) et à une quinzaine de jours d'intervalle de la première crue des 22 et 23 février, des lâchers excessifs et brutaux étaient à l'origine d'une deuxième inondation de la plaine d'El Tarf, déjà gorgée d'eau.

3 Aménagements contre les inondations : des résultats insuffisants

L'analyse des deux crues successives de février et mars 2012 a permis de constater l'abondance en eau mobilisable du bassin versant de la Mafragh. Durant 25 jours, du 20 février au 15 mars 2012, la plaine d'El Tarf dans sa partie Est était le réceptacle des volumes excédentaires de 242 hm^3 déversés dans l'urgence par le barrage de Mexa et 175 hm^3 par le barrage de Cheffia, (soit un volume total de 417 hm^3 équivalent de la totalité des apports). Ces volumes excédentaires

imposent le recours à l'interconnexion des barrages et le transfert de ces volumes pour satisfaire les besoins d'une population sans cesse croissants.

- L'analyse des dégâts sur l'ensemble de la plaine d'El Tarf-Bouteldja, enregistrés après les crues exceptionnelles de février -mars 2012 et de janvier 2015, malgré le dispositif technique de protection mis en place (projet d'aménagement hydro-agricole de 2011), a permis de relever de sérieuses insuffisances dans la conception et la réalisation des ouvrages de protection (digues, pistes et ouvrages en génie civil). La crue de référence de fréquence vicennale retenue dans le dimensionnement des ouvrages dans la plaine d'El Tarf pour une cote projet de 10,37 m, s'est avérée insuffisante pour assurer l'atténuation des inondations engendrées par les crues de fréquence rare, enregistrées ces dernières décennies (1991/92, 2002/03, 2003/04, 2008/09, 2011/12 et 2014/15) dans le bassin versant de la Mafragh.

Les déversements des barrages dans les deux grands affluents de la Mafragh ont toujours surpris les riverains par la montée des eaux qui inondent la plaine qui est imperméable et plane ce qui rend difficile le drainage des flux vers la mer. Le système de barrages en cascade (Mexa, Bougous et Barbara situé en Tunisie) nécessite un modèle de gestion en fonction de l'historique des crues exceptionnelles et des risques hydrologiques en aval.

-Voies et moyens d'atténuation des risques associés aux crues

La synthèse des résultats autour du fonctionnement hydrologique des deux hydrosystèmes composant la Mafragh (la Bounamoussa et le Kébir-Est), et des aménagements associés incite à prévoir le recours aux solutions, à la fois, structurelles (la construction des barrages projetés pour l'écrêtement de crues fréquentes et notamment exceptionnelles, et surtout non structurelles par la proposition d'élaboration d'un PPRI pour la wilaya d'El Tarf dans le cadre du développement durable, ainsi que pour l'ensemble des communes de la plaine. Par ailleurs, la faible capacité actuelle du barrage de Mexa ne la prédispose pas à un rôle efficace d'écrêtement des crues de fréquence rare.

En outre, il faut s'attendre à ce que le réchauffement climatique engendre une élévation du niveau de la mer (élévation du niveau de la mer tel que prévu par les modèles de prévision).

Le plan de prévention des risques naturels d'inondation (PPRI), est un document de planification qui permet de prendre le risque inondation sous un angle géographique, il est indispensable de l'intégrer dans les outils d'urbanisme en général en définissant des cartes des zones inondables.

Le plan général de prévention des inondations prévu par les dispositions de l'article 16 de la loi 04-20 , il fixe l'ensemble des règles et procédures visant à atténuer la vulnérabilité à l'aléa concerné et à prévenir les effets induits par la survenance de cet aléa.

Le plan général de prévention des inondations prévu par les dispositions de l'article 16 ci-dessus doit comporter :

- Dresser une carte nationale d'inondabilité précisant l'ensemble des zones inondables, y compris les lits d'oueds et les périmètres situés à l'aval des barrages et exposés à ce titre en cas de rupture de barrage,
- Déterminer la hauteur de référence pour chaque zone déclarée inondable, au-dessous de laquelle les périmètres concernés sont exigés de la servitude de non-aedificandi instituée par les dispositions de l'article 24 de la loi 04-20.
- Préciser les seuils, conditions, modalités et procédures de déclenchement des pré-alertes et des alertes pour cet aléa.

4 Stratégies d'aménagement intégré du bassin versant de la Mafragh

Gérer la ressource en eau s'intègre dans le cadre du développement durable dans une perspective de la préserver. Par son excès (inondation) ou bien par son manque (stress hydrique), elle constitue un risque majeur pour le développement. L'accès à l'eau douce, son utilisation, la gestion de ses réserves et la préservation de ses qualités sont évidemment des enjeux majeurs

Une gestion intégrée du bassin versant de la Mafragh doit prendre en considération les contraintes naturelles de l'hydrosystème : la très faible pente de la vallée de l'oued Kébir-Est, l'incapacité de l'embouchure de la Mafragh à faire transiter vers la mer les apports de crue véhiculés par le réseau hydrographique. Le débouché de la Mafragh est soumis à une barrière sableuse qui se reforme après le passage d'une crue, sous l'effet de la houle, ce qui réalimente le marais d'El M'khada vers le Sud et favorise les inondations. Cette situation est aggravée par les déversements des excédents effectués par les barrages en amont de la plaine.

En plus d'optimiser les aménagements de protection de la plaine indiqués plus haut, l'aménagement des berges d'oued Mafragh est envisagé à travers la réalisation d'un musoir devant permettre le laminage des débits excédentaires dans les conditions hydrologies les plus défavorables. Selon l'étude de Hydro Projet Ouest (H.P.O), approuvée en 2013 par la DRE de la Wilaya d'El Tarf, cet aménagement concerne (figure 98) :

- **Recalibrage du lit de l'oued Mafragh** dans le but de faire transiter le maximum de débit de l'oued Mafragh, estimé à environ 3600 m³/s tout en prenant en considération les contraintes du site. « Un léger recalibrage du lit de l'oued avec les dimensions suivantes : talus 3/2, largeur à la base de 120 m avec une profondeur de quatre (- 04 mètres) et un endiguement atteignant les 5,5 m au niveau de la confluence (Kebir-Est et Bounamoussa) ».
- **Aménagement de la partie maritime** par la fixation de l'embouchure de l'oued et sa protection contre l'ensablement causé par le transit littoral. « La protection du chenal formé entre les deux jetées et dont le tirant d'eau doit assurer l'évacuation des débits de crues de période de retour centennale ».

Par ailleurs, en termes de mobilisation des ressources en eau de surface, le volume régularisé (166 hm³ par an) représente un taux réel ne dépassant pas les 34 % du débit naturel des oueds. La possibilité de stockage dans le futur est importante après l'achèvement du barrage en cours de réalisation (Boukhroufa) et la réalisation de ceux projetés (Boulathane et Bounamoussa II). Le schéma hydraulique d'interconnexion et de transferts des volumes excédentaires entre ces trois barrages et la prise d'eau projeté sur Kébir-Est permettra la régularisation d'un volume complémentaire de 108.75 hm³/an soit un volume total régularisé de 274.75 hm³ et un taux d'exploitation de la ressource superficielle de 56.8 % (Figure 99).

L'édification de ces ouvrages hydrauliques, devraient permettre la sécurisation des besoins qui s'affirment d'une année à une autre, ainsi que le développement d'une agriculture intensive au niveau du périmètre existant (la Bounamoussa) et des périmètres projetés dont le plus important est celui de la plaine d'El Tarf qui s'étend sur une surface totale nette irriguée de 9118 ha répartie sur cinq secteurs (Ain Assel, El Tarf, Bouteldja, Boulathane et Lac des Oiseaux).

On peut aussi élargir le schéma des interconnexions en introduisant les ressources non conventionnelles (issues du dessalement d'eau de mer) ou encore de l'exploitation des aquifères. La réalisation de la station de dessalement (SDEM) El Tarf d'une capacité de 300000 m³/j pourrait constituer un parallèle avec l'interconnexion des barrages pour combler le déficit en eau à long terme d'une partie de la région Est du pays (les 4 Wilayates de Annaba, El Tarf, Guelma et Skikda).

Néanmoins, les organismes de gestion de l'eau potable doivent mettre en place un système de comptage efficace du taux de rendement global enregistré entre les volumes produits et ceux facturés (distribués).

Durant la période des étiages, il est primordial de maintenir un débit écologique dans les lits naturels des oueds (Kébir-Est et Bounamoussa). Pour éviter l'altération du régime des nappes fluviales, en particulier celles de la basse vallée de la Mafragh, ce qui permettrait d'éviter la concentration en éléments polluants dus aux rejets bruts, notamment en période estivale où l'eau des oueds est parfois, malgré la loi restrictive en cours, utilisée pour l'irrigation des terres agricoles situées sur les rives des oueds.

Aussi, l'aménagement intégré du bassin versant de la Mafragh passe par un schéma directeur d'assainissement des eaux usées privilégiant la réalisation de stations d'épuration (STEP) pour une protection de la qualité des eaux et la réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation.

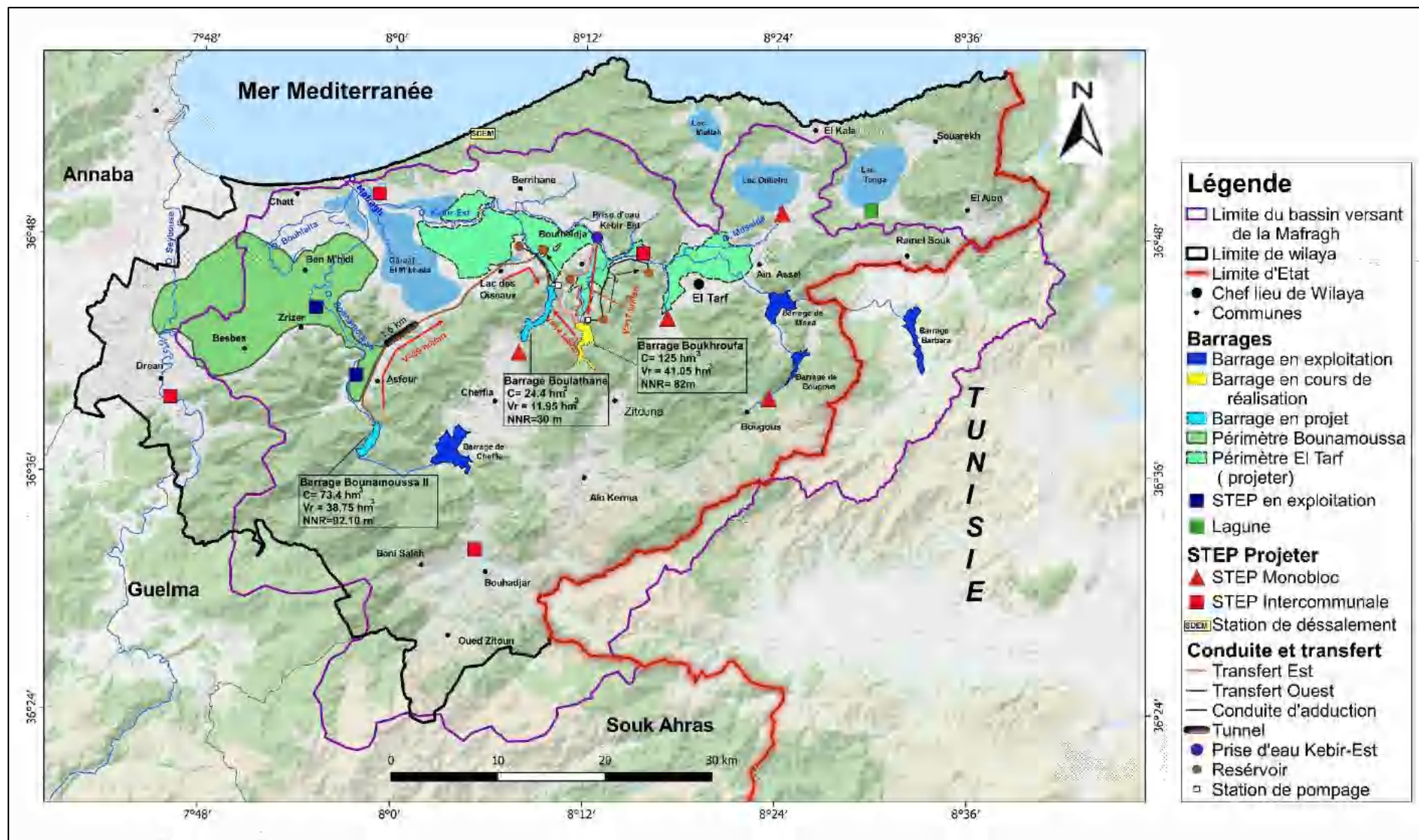


Figure 99. Schéma d'aménagement intégré du bassin versant de la Mafragh

Pour améliorer la connaissance des ressources en eau, une création de base de données est indisponible ainsi qu'une réhabilitation du réseau pluvio-hydrométrique de l'ANRH en coordination avec les services de l'ONM. Ces deux organismes sont dans la capacité de fournir les informations nécessaires pour développer la recherche scientifique dans le milieu universitaire.

Les technologies spatiales sont au service du secteur de l'eau avec l'utilisation des images satellitaires qui fournissent une vision spatialisée d'un phénomène naturel tel que les inondations et les sécheresses.

Dans un contexte de changement climatique et de vulnérabilité des ressources en eau, une gestion commune de la ressource en eau des bassins transfrontaliers est plus qu'utile avec une coopération des deux pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- A.B.H (Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue), 2018. «Schéma synoptique de la SDEM pour sécuriser l'alimentation en eau potable des quatres wilayats : El Tarf, Annaba,Skikda et Guelma.»
- A.N.B (Agence Nationale des Barrages), 1985. «Barrage de la Cheffia oued Bounamoussa (Rapport général sur le fonctionnement du barrage). Le chef exploitation Kébir.A, 31 janvier 1985.».
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et des Tranferts), 1986. «Exploitation du barrage de Cheffia. Tableau des mesures 1986 : hauteur -surface -capacité. Etude Geok art.»
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et des Transferts), 2004. «Exploitation du barrage de Cheffia, Tableau des mesures 2004 : hauteur-surface-capacité. Etude FUGRO GEOID SAS et LEM.» .
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2006. «Etude de confortement des grands barrages en exploitation. Mission 1 : Diagnostic et expertise, barrage de la Cheffia.»
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2010. «Etude et élaboration du plan ORSEC des barrages en exploitation : Barrages Est, mission 2 : Etude et élaboration du plan ORSEC : Vol.13, Barrage de Mexa. ENERGOPROJEKT HIDROINZENJERING S.A. Belgrade, Serbie.»
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2011. «Barrage de Bougous, Wilaya d'El Tarf , Monographie sur l'aménagement : volume I : Document de Synthèse.» COYNE ET BELLIER (Bureau d'Ingénieurs Conseils). 11422NT005-2011.
- A.N.B.T (Agence nationale des Barrages et Transferts), 2011. «Bougous, Mission III_Vol IV.Doc.Rapport de synthèse.»
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2017. «Etude d'Avant-Projet Détaillé de la Prise sur l'Oued El Kebir et Transferts d'El Kébir au Barrage de Boukhroufa et de Boukhroufa vers le Barrage de Boulatane. Wilaya d'El Tarf. Etude hydrologiqu.»
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2017. *Fiche Technique du barrage de Mexa.* Exploitation barrage de Mexa.
- A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2017. *Rapport sur le barrage de Mexa.* Exploitation barrage de Mexa.
- A.S.A.L (Agence Spatiale Algérienne), 2018. «Utilisation des systèmes spatiaux nationaux dans le développement et le suivi des zones frontalières. CIC – 13 - 14 Octobre 2018.»
- AFFOUN IKHLEF S., MEBARKI A. and TAABNI M., 2021a. «Hydrological flows and flood protection: case study of the Mexa dam (Mafragh river basin, North-east Algeria).»

- Springer- MedGU (Mediterranean Geosciences Union); Annual Meeting Istanbul, Turquie. 25-28 November 2021.*
- AFFOUN IKHLEF S., MEBARKI A. et TAABNI M., 2017. «Bilans d'eau et gestion des apports des crues exceptionnelles de 1973 et de 2012 au barrage Cheffia (Oued Bounamoussa, Algérie orientale).» *Séminaire international « Comment gérer la ressource en eau dans un contexte de changement climatique global », Rouen (France), 20 et 21 décembre 2017.*
- AFFOUN IKHLEF S., MEBARKI A. et TAABNI M., 2018a. «Apports hydrologiques du barrage de Cheffia et impact sur la disponibilité de la ressource en eau dans la région d'Annaba-El Tarf (Algérie orientale).» *Colloque international Eau-Environnement-climat'2018(E2C-2018). Hammamet, Tunisie., 22-23-24 octobre, 2018.*
- AFFOUN IKHLEF S., MEBARKI A. et TAABNI M., 2018b. «Phénomènes climatiques extrêmes et gestion des eaux du barrage de Cheffia (Extrême Nord-Est algérien).» *Journées scientifiques du réseau Eau et Climat au Maghreb « Pour une gestion durable des lacs de barrabarrage au Maghreb ». Constantine, Algérie., 6-8 Novembre 2018.*
- AFFOUN IKHLEF S., MEBARKI A. et TAABNI M., 2019. «Bilans d'eau et apports de crues exceptionnelles de l'oued Bounamoussa, (Algérie orientale) : implications pour la gestion du barrage Cheffia.» *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*.pp. 59-72.
- AFFOUN IKHLEF S., MEBARKI A. et TAABNI M., 2021. «Les inondations de février- mars 2012 et les effets d'amplification des lâchers des barrages : cas de la commune de Ben M'hidi plaine d'El Tarf, Nord-Est algérien).» *Séminaire internationale des sciences de la terre et de l'univers en ligne (webinaire).Organisé par : AJEAU (Algerian Journal of Engineering, Architecture and Urbanism) le 1 et 2 Mai 2021. Oran, Algérie. URL : <https://www.aneau.org/ajeau/>.*
- AFFOUN S., 2006. «Ressources en eau mobilisation et utilisation dans le bassin versant de la Mafragh.» *Mémoire de Magistère. Université Mentouri Constantine I. Algérie*,187p.
- AFFOUN S., 2018. «Hydrologie et gestion des apports de crue dans le bassin versant de la Mafragh : cas du barrage de Cheffia (Oued Bounamoussa, Algérie orientale).» *3eme Conférence Internationale sur l'Hydrologie des Grands Bassins Africains. ENSH Blida du du 06 au 08 mai 2018.*
- ALBERGEL J., BRUNET D., DU&E G., MARIEU B., MONTOROI J-P, ZANTE P., 1990. «Rapport hydrologique 1989, VaBée de Djiguinoum, Casamance. Programme C.E.E. D.G. XII, contrat no TS2A-0216-M, Orstom, Dakar, 73 p.»
- ALGERIE_HYDRAULIQUE. «Encyclopédie de l'Afrique du Nord (1830-1962).»
- AOUADI H., 1989. «Végétation de l'Algérie nord-orientale : Histoire des influences anthropiques et cartographie au 1/200000ème. Thèse de doctorat. Université de Grenoble, 108 p.»
- ARIBA S., 2011. «Rythme alimentaire, embonpoint et dynamique spatiotemporelle au nématode *Aguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi et Itagaki, 1974) chez l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) du lac Tonga (Est, Algérie).128p.»

- ASKRI H., BELMECHERI A et al, 1995. «Géologie de l'Algérie. Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement SCHLUMBERGER-WEC SONATRACH.»
- B.E.I.C.I.P (Bureau d'Etude Industrielle et de Coopération de l'Institut français du Pétrole), 1969. «Etude géologique du permis BOU-ABED, SONATRACH, Texte, Ref. 30 054.»
- BANQUE AFRICAINE DE DEVELOPPEMENT, 2001. «Rapport d'achèvement de projet ; Aménagement de l'oued Barbara. République de Tunisie. Département par pays. Région Nord. OCDN, novembre, 2001.»
- BELDJOUDI L. et OULD-YAHIA S., 1997. «Étude générale des apports. 3e rapport ANRH, Ministère de l'Équipement, Alger, Algérie, 23 p.»
- BELKHODJA K., BORTOLI L., COINTEPAS J-P, DIMANCHE.P., FOURNET.A, JACQUINET J.C., MORIA., 1973. *Sols de Tunisie : Les sols de la Tunisie septentrionale. Bulletin de la division des sols.* Édité par Ministère de l'Agriculture. Bulletin de la Division des Sols n° 5.187 p.
- BELOULO L., 2008. *Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville d'Annaba. Thèse de doctorat d'Etat.* Université de Annaba.320p.
- BELOULO L., 2015. «Notes de cours Hydrologie fondamentale avec exercices d'application. Faculté des sciences de la terre département de géologie, Université de Annaba.»
- BEN TIBA B., 1980. *Contribution pollenanalytique à l'histoire holocène de la végétation de Kroumirie (Tunisie septentrionale). Thèse Docteur Ingénieur.* Université Aix- Marseille III. 76 p., 6 diag. h.t.
- BENTRAD S., 2016. «Analyse du bilan des incendies des forêts du Nord-est algérien, wilaya d'El Tarf (Algérie). Communication de séminaire.»
- BERTON S., 1988. *La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Petits et micro-barrages en Afrique de l'ouest.* Le Point sur Dossier no 12. GRET Paris. ISBN/ISSN/EAN : 978-2-86844-027-3. 474 p.
- BONNIN J., 1987. «Histoire de l'eau aménagée par les hommes.» *Les Cahiers du MURS* n°8.
- BOUGHRARA A., mai 2018. *Communication stage de terrain, la plaine d'El Tarf.* Enseignant, Maitre de conférence "A" Université Mentouri Constatine1.
- BOULOUARD M., 2012? «Gestion et exploitation des réseaux d'eau potable. (PPT de formation).» *Chef d'Agence Mixte de TATA. Direction Régionale du Sud. ONEP. Maroc.*
- BOUSAIDI N., 2012. *Impacts de l'action anthropique sur la subéraie Tunisienne : essai de projection dans le futur d'un écosystème (cas de la subéraie de Kroumirie-nord-ouest de la Tunisie). Thèse de doctorat de l'INAT.* Université de Carthage. Tunis .203p.
- BRAVARD J-P., 1998. «Le temps et l'espace dans les systèmes fluviaux, deux dimensions spécifiques de l'approche géomorphologique.» *In: Annales de Géographie, t. 107, n°599 . pp. 3-15.*

- BRISSON N et LEVRAULT F., 2012. *Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulation d'impacts sur les principales espèces. livre vert du projet Climator2007-2010*. ANGERS: ADEME.
- BURGIS M-J & SYMOENS J-J, 1987. *African wetlands and shallow water bodies (Zones humides et lacs peu profonds d'Afrique. Afrique du nord côtière. Lagunes et marais côtiers du Maroc et de l'Algérie: Abdellatif BAYED, Pierre-Christian BEAUBRUN, Michel THEVENOT (Maroc) & Neville C. KORGAN)*. Édité par Paris ORSTOM. Collection TRAVAUX et DOCUMENTS n° 211.
- CASTELLETTI A., PIANOSI F., & SONCINI-SESSA R., 2008. «Water reservoir control under economic, social and environmental constraints.» *ELSEVIER. Automatica* 44. pp.1595-1607.
- CHAPONNIERE A., 2005. «Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain).» *Thèse de doctorat*. Institut National Agronomique paris-grignon « centre d'études spatiales de la biosphère »CESBIO. France. 268 P.
- CHOCAT B., 1997 (coordonnateur). «Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement.» *Paris : Tec & Doc Lavoisier*. 1124 p.
- CHORLEY R-J., 1978. «The hillslope hydrological cycle In : Kirkby M.J.S.» *Hillslope Hydrology*. John Wiley & Son. pp. 1-41.
- CHRISTENSEN N-S., WOOD A-W., VOISIN N., LETTENMAIER D-P et PALMER R-N., 2004. «The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.» *Climatic Change, Volume 62, numéro 1-3*. pp. 337-363.
- CLAUDE J., FRANCILLON G & LOYER J-Y., 1977. «Les alluvions déposées par L'Oued Madjerda lors de la crue exceptionnelle de mars 1973.» *Cah. ORSTOM, Série Hydro* Vol XIV, n° n°01. pp37-42
- COMITÉ FRANÇAIS DES BARRAGES ET RÉSERVOIRS SAVOIE TECHNOLAC, 2013. «L'histoire des barrages– révision B1. Document technique, 733730 Le Bourget-Du-Lac Cedex. 29 p.»
- CONSERVATION DES FORETS, 2022. «Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf (BNEDER, 2011).»
- COSGROVE W and RIJSBERMAN F., 2000. «World Water Vision: Making water everybody's business. UNESCO - Conseil Mondial de l'eau - Rapport pour le second forum mondial de l'eau (La Haye). Paris. URL/ www.watervision.org.»
- COTE M., 1983. «L'eau en Algérie, mise en œuvre et utilisation. Essai de mise au point. Colloque l'Eau en Algérie : ressources et utilisations.» *Université de Constantine, Institut des sciences de la terre, 16 p. Constantine, 10-13 avril 1983*.
- D.P.C (Direction de la Protection Civile de la wilaya d'El Tarf), 2012. «Rapport sur les intempéries et les dégâts des inondations de février et Mars 2012.»

- D.P.C (Direction de la Protection Civile de la wilaya d'El Tarf), 2017. «Données historiques concernant le risque inondation dans la Wilaya d'El Tarf.»
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El Tarf), 2012. «Rapport sur la situation des inondations du 22 février 2012(dégâts causés aux infrastructures hydrauliques).»
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El Tarf), 2014. *Etude du schéma directeur d'assainissement des eaux usées des localités de : Dréan, Chihani, Chbaita Mokhtar, Besbes et Daghousa*. Bureau des études et consultation sur l'eau(B.E.C.E), Mila, Algérie.
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El Tarf), 2014. *Etude du schéma directeur d'assainissement des eaux usées des localités de : El Tarf, Ain Assel, Boutheldja et Lac des Oiseaux*. Bureau des études et consultation sur l'eau(B.E.C.E), Mila, Algérie.
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El Tarf), 2014. *Schéma directeur d'assainissement des eaux usées des communes de : Bouhadjar, Hammam Beni Salah et Oued Zitoun*. Bureau des études et consultation sur l'eau(B.E.C.E), Mila, Algérie.
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El Tarf), 2021. «Service de l'Assainissement ; rapport sur la situation de l'assainissement arrêté au mois d'avril 2021.»
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El Tarf), 2015. «Proposition en vue de limiter les déversements du barrage de Mexa : protection de la wilaya d'El Tarf contre les inondations).»
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau), 2013. «Etude d'aménagement du bassin versant de la Mafragh et d'une partie d'oued Seybouse (Wilaya d'E Tarf) : Protection Daira de Ben M'hidi ; Commune de Ben M'hidi ; Mission II : Etude des variantes ; Phase 1.»
- D.R.E (Direction des Ressources en Eau), 2015. «Rapport sur la situation des inondations du 28 ,29 au 30/01/2015 au niveau de la wilaya d'El Tarf.»
- D.S.A (Direction des Services Agricoles de la wilaya d'El Tarf), 2012. «Rapport sur le coût des dégâts par filière de la crue du 22 février 2012 sur le secteur agricole.»
- D.U.C (Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya d'El Tarf), 2008. «Révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune d'El Tarf. Phase finale. URBA- Batna.»
- D.U.C (Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya d'El Tarf), 2008. «Révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Ain Assel. Phase finale. A.U.A (Atelier d'urbanisme et d'architecture Annaba).»
- D.U.C (Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya d'El Tarf), 2008. «Révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Ben M'hidi. Rapport d'orientation final. URBACO.»
- D.U.C (Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya d'El Tarf), 2008. «Révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Berrihane. Edition finale. URBACO.»

- D.U.C (Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya d'El Tarf), 2008. «Révision du plan directeur d'aménagement Et d'urbanisme de la commune Lac des oiseaux. Phase finale. Atelier de recherche en ingénierie El Tarf.»
- D.U.C (Direction de l'urbanisme et de la construction de la wilaya d'El Tarf), 2010. «Révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Bouthedja. Phase finale. A.U.A (Atelier d'urbanisme et d'architecture Annaba).»
- DE MARSILY G., 2009. «L'eau, un trésor en partage. Quai des Sciences. Dunod.»
- DERRADJI F., 2004. *Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région d'Annaba-El Tarf (Nord Est de l'Algérie)* . Thèses de doctorat, Université de Annaba.
- DEWALS B., DETREMBLEU S., ARCHAMBEAU P., ERPICUM S., & PIROTON M., 2011. «Incorporating climate change scenarios into new operating rules for large reservoirs: a transnational assessment in the Meuse basin.» *In: Dams and reservoirs under changing challenges : proceedings of the International Symposium on dams and reservoirs under changing challenges - 79 annual meeting of ICOLD, Swiss Committee on Dams, Lucerne, Switzerland, 1 / Ed. by Anton J. Schleiss .pp. 469-478.*
- DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE wilaya de Annaba, 1963. «Rapport technique : le barrage de la Cheffia sur l'oued Bou-Namoussa(J-M CHAUVIN, ingénieur des ponts et chaussées). Service des études générales et grands travaux.»
- DUNNE T., 1983. «Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff. In: Rodriguez Iturbe I. And Gupta V.K. (guesteditors), Scales problems in hydrology.» *J. Hydrol*, 65. pp25-48.
- DURAND-DELGA M., 1969. «Mise au point sur la structure de l'Algérie septentrionale.» *Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie*, n° 39. pp 89-131.
- EL GHACHTOUL Y., ALAOUI MHAMIDI M. et GABI H., 2005. «Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (maroc). Eutrophication of the Smir and Sehla reservoirs (Morocco) : causes, conséquences et consignes de gestion.» *Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau*, n° 18/spécial. pp89.
- EL HAGE HASSAN H., TOUCHART L et FAOUR G., 2013. «La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban.» *Article in M@ppemonde 109. pp 1-17*
- ENCYCLOPÉDIE DE L'AFRIQUE DU NORD, (1830-1962).
«/ALGERIE_HYDRAULIQUE.»
- ENERGO- PROJEKT et E.N.H.Y.D, 1992. «Etude de l'Aménagement Hydro-Agricoles de la Plaine D'El Tarf. Analyse des ressources en eaux. Hydrologie, dossier I-C, II-C, volume définitif I-C-1.»
- EUM H., VASAN A. et SIMONOVIC S-P., 2012. «Integrated Reservoir Management System for Flood Risk Assessment Under Climate Change.» *Water Resources Management*, 26.pp.3785–3802.

- FLANDRIN J., 1948. «Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien. In-4.» 340 p.
- FOURNIER d'Albe E-M., 1979. «Objectives of volcanic monitoring and prediction.» *Journal of the Geological Society, London, n° 136*. pp.321-326.
- FREEZE R-A., 1972. «Role of subsurface flow in generating surface runoff. 2. Upstream source areas.» *Water Resour. Res., S (5)*.pp. 1272-1283.
- FRIGUI HL., 2017. «Ministère de l'Agriculture des Ressources Hydraulique et de la Pêche. Direction Générale des Ressources en Eau. Rapport sur les Ressources en eaux transfrontalières, 20 et 21 décembre 2017.»
- FRIGUI HL., 2019. «Echange et importance des données dans les bassins transfrontaliers. Direction Générale des Ressources en Eau Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche; Direction Générale des Ressources en Eau.» République Tunisienne, Genève 4-5 Décembre 2019.
- FROGER G., MAINGUY O., BROT J et GERARDIN.H., 2005. *Quels acteurs pour quel développement ?* Paris, GEMDEV – Karthala.
- GAFREJ R., 2016. «Tunisie sous stress hydrique : Ce n'est pourtant pas l'eau qui manque.» <http://kapitalis.com/tunisie/2016/08/12/tunisie-sous-stress-hydrique-ce-nest-pourtant-pas-leau-qui-manque-12/>.
- GAFREJ R., 2017. «Gouvernance de l'eau en Tunisie ; Etude du cas de Gouvernorat de Kasserine. International ALERT. www.international-alert.org»
- GECOTEC (Groupement Economique de Contrôle Technique de la Construction), 2002. «Intempéries du novembre 2001. Retour sur une catastrophe. Le Contrôle Technique de la Construction.n°25.16P.»
- GEORGAKAKOS A-P., YAO H, KISTENMACHER M., GEORGAKAKOS K-P., GRAHAM N-E., CHENG F-Y., SPENCER C et SHAMIR E, 2011. «Value of adaptive water resources management in Northern California under climatic variability and change: Reservoir management 2011.» *Journal of Hydrology Elsevier B.V. All rights reserved. 412–413 (2012)*. pp.34-46.
- GERKENS M., 1976. *Contribution à la définition d'une politique forestière pour la Tunisie*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Faculté des sciences agronomiques de Gembloux I. Belgique. 194P
- GIRARD G., 1982. «Modélisation des écoulements de surface sur des bassins hydrologiques équipés de réservoirs.» *Modèle MODLAC. Cah. Orstom, sér. Hvdrol. vol. XIX, n° 2*. pp. 55-72.
- GRILLOT C., 2006. *Fonctionnement hydrologique et dynamique des nutriments d'une rivière intermittente méditerranéenne en étiage et en crues. Analyse spatiale et temporelle*. Thèse de doctorat de l'université Montpellier II. HAL.Archives-ouvertes.
- GRIMES S., 2005. «Plan de gestion de l'aire marine du Parc national d'El Kala. Projet MedMPA, PNUE, PAM, CAR-ASP.»

- GUESNIER B., 2010. «L'eau et le développement durable : un couple en rupture sans gouvernance sociétale et coopération décentralisée. Water and sustainable development, failed association without societal governance and decentralized cooperation.» *Développement durable et territoires*.
- HDJADJ A et BELLAMOUCHE R., 2021. *La vulnérabilité de la ville d'El Tarf face au risque inondation : Cas de l'inondation des 22 et 23 février*. Mémoire de Master. Université de Annaba. 88 p..
- JDAIDI N., 2009. *Structure des peuplements de la subéraie tunisienne : situation actuelle et devenir d'un écosystème*. Mémoire de Mastère. Université de Tunis El Manar. 82 p.
- JOLEAUD L., 1912. *Etude géologique de la chaîne numidique et des monts de Constantine*. Thèse de doctorat en Sciences. Montpellier, Montan Sicardiet et Valendin ed. 438 p.
- JOLEAUD L., 1936. *Etude géologique de la région de Bône et de la Calle*. Ed Imp. La Typo- et Jules Carbonnel Réunion.
- JORDAN F., (2007). «Modèle de prévision et de gestion des crues - Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue.» *Communications 29 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques ISSN 1661-11*.
- KHALFAOUI F et ZOUINI D., 2010. «Gestion intégrée et qualité des eaux dans le bassin versant de la Saf-Saf (Wilaya de Skikda, nord-est Algérien).» *Revue: Nature et Technologie, n°3/Juin*. pp. 50 - 56.
- KHANCHOUK K., 2006. *Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants du Nord-Est algérien*. Thèse de Doctorat. Université de Annaba. Algérie. 287p.
- KHERICI N., 1993. *Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba-La Mafragh) Nord-Est Algérien*. . Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université de Annaba. 170p.
- KIRKBY M., 1988. «Hillslope runoff processes and models.» *J. Hydrol*, 100: 315-339.
- LABORDE J-P, 2000. «Eléments d'Hydrologie de Surface.» Université de Nice–Sophia Antipolis. 192p.
- LAFFITTE R, 1951. «Carte géologique de l'Algérie 1 :500 000. Feuille N° 1, Constantine Nord. Gouvernement général de l'Algérie.» *Direction des travaux publics, des chemins de fer et des mines, Service de la carte géologique*.
- LAFIFI A, TOUMI H., 2020. *Risque inondation en milieu Urbain : Cas de l'agglomération chef-lieu de Ben M'hidi Wilaya d'El Tarf*. Mémoire de Master. Université de Annaba. p 90.
- LAGANIER R et SCARWELL H-J., 2001. «Methodes pour une gestion integree du risque inondation a partir de l'analyse du bassin versant de la Canche.» *Revue CLES, n° 37.Développement durable et territoires, le Harmattan* (Programme risque et inondation. France). pp. 87-102.

- LAGANIER R., SCARWELL H-J., 2003. «Risques hydrologiques et territoires, in « Les risques », question de géographie, sous la direction de Vincent Moriniaux, Editons du Temps.» .pp. 106-137.
- LAHONDERE J-C., 1987. *Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans leur cadre structural*. Thèse de doctorat en Sciences., Université Paul Sabatier Toulouse. 242 p.
- LAHONDERE J-C., FEINBERG H. & HAQ B-U., 1979. «Datation des grès numidien d'Algérie orientale : conséquences structurales.» *Compte Rendu d'Académie des sciences, Paris* 289(D). pp 383-386.
- LANG DELUS C., 2011. «Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires.» *Cybergeo : European Journal of Geography [Online], Environment, Nature, Landscape, document* 571. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/24827> ; DOI : <http://doi.org/10.4000/cybergeo.24827>.
- LEDOUX B., 2006. *La gestion du risque inondation*. Edition Tec & doc : Lavoisier, 770 p.
- LI L., XU H., CHEN X., et SIMONOVIC S-P., 2010. «Streamflow forecast and reservoir operation performance assessment under climate change.» *Water Resources Management, volume 24, numéro 1*.pp. 83-104.
- LINTON J et METZGER A., 2016. «La crue, l'inondation : un patrimoine ? Actes de l'atelier international organisé à l'université de Limoges par la Chaire Capital environnemental et Gestion durable des cours d'eau les 1-2 octobre 2015.»
- LOUAMRI A., 2013. *Le bassin versant de la seybouse (Algérie orientale): Hydrologie et aménagement des eaux*. Thèse de doctorat. Université de Constantine1. 300p.
- LOUAMRI A., MEBARKI A et LAIGNEL B., 2013. «Variabilité interannuelle et intra-annuelle des transports solides de l'Oued Bouhamdane, à l'amont du barrage Hammam Debagh (Algérie orientale).» *Hydrological Sciences Journal*, n° 58:7. pp.1559-1572.
- M.A.R.H.P (Ministère de de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques et de la Pêche), 2005. «Annuaire hydrologique de Tunisie 2004-2005. Direction Générale des Ressources en Eau. Direction des eaux de Surface. ISSN : 0330-8634.»
- M.A.R.H.P (Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques et de la Pêche), 2008. «Annuaire hydrologique de Tunisie 2007-2008 , Direction Générale des Ressources en Eau , Direction des Eaux de Surface.» ISSN: 0330-8634.
- M.D.T.P.R. (Ministère Des Travaux Publics et de la Reconstruction : S.E.G.G.T.H (Service des Etudes Générales et Grands Travaux Hydrauliques), 1965. *Exploitation du barrage de Cheffia, Tableau des ressources et des capacités*.
- M.D.T.P.R. (Ministère Des Travaux Publics et de la Reconstruction : S.E.G.G.T.H(Service des Etudes Générales et Grands Travaux Hydrauliques), 1964? «Monographie des grands barrages (Barrage de la Cheffia), SCET.NEYPIC- AFRIQUE.»

- M.P.R.H (Ministère de La Pêche et des Ressources Halieutiques), 2016. «Fonctionnement hydrologique des Lacs- Mellah- Oubeira-Tonga- Des Oiseaux. (ONDDPA). Office Nationale de Développement et de Production Aquacole El Kala.»
- M.R.E (Ministère des Ressources en Eau)- A.G.I.D (Agence Nationale de Réalisation et de Gestion des Infrastructures hydrauliques pour l'Irrigation et Drainage), 2003. «Avant-Projet Sommaire définitif : étude de l'aménagement hydroagricole de la plaine d'El Tarf.ENERGOPROJEKT-ENHYD.SQ.»
- M.R.E (Ministère des Ressources en Eau) et ASAL (Agence Spatiale Algérienne), 2012. «Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012. Atelier technique.»
- M.R.E (Ministère des Ressources en Eau), 2013. «Etude d'aménagement des berges d'oued Mafragh et la réalisation d'un musoir (Wilaya d'El Tarf). HPO(Hydro-Projet Ouest).»
- M.R.E (Ministère des Ressources en Eau), A.P.S (Avant Projet-Sommaire), en cours de réalisation. «Etude de renforcement en eau potable des wilayas (El Tarf, Annaba, Skikda et Guelma) à partir de la future station de dessalement d'El Chatt Wilaya .El Tarf.»
- M.R.E (Ministère des Ressources en Eau)-A.N.B.T (Agence Nationale des Barrages et Transferts), 2011. «Barrage de Bougous wilaya d'El Tarf, Monographie sur l'aménagement : volume I : Document de Synthèse. COYNE ET BELLIER (Bureau d'Ingénieurs Conseils), 114.»
- MANNING R., 1891. «On the flow of water in open channels and pipes, Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland, vol. 20.»pp. 161-207.
- MARGAT J and VALLEE D, 2000. «Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement au XXIème siècle. Plan Bleu - Fascicule édité dans le cadre de la Vision mondiale pour l'eau au XXIème siècle, Sophia-Antipolis.»
- MARRE A., 1987. *Le Tell Oriental Algérien de Collo à la Frontière Tunisienne ». Etude Géomorphologique. Vol. 1 et 2. Office Des Publications Universitaires, Alger.624p.*
- MASSON J-M., 1980. «Analyse d'une longue série pluviographique Montpellier Bel- Air 1920-1971.» *La Météorologie, Série VI, n°20-21.*pp.105-117.
- MEBARKI A et LABORDE J-P., 2014. «Synthèse cartographique des bilans hydriques de l'Algérie du Nord par modèle distribué. Réseau Eau et Climat au Maghreb N°2.pp163-199.»
- MEBARKI A., 1984. *Ressources en Eau et Aménagement en Algérie, Le Bassin du Kebir Rhumel Algérie.* Edition Office Des Publications Universitaires, Alger. 302p.
- MEBARKI A., 1994. «Le barrage de Hamman Grouz (haut Rhumel, Constantinois). Bilan et perspectives d'un aménagement hydraulique en zone semi-aride.» *Méditerranée, tome 80, 3-4-1994.Géographie physique de l'Algérie orientale.*pp.15-22.
- MEBARKI A., 2002. «Apport des cours d'eau et bilans hydrologiques des bassins de l'Est Algérien.» *Bulletin des sciences géographiques.*pp.46-57.

- MEBARKI A., 2005. *Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement*. Thèse d'Etat, Université Mentouri de Constantine. 360 p.
- MEBARKI A., 2010. «La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. L'exemple du défi algérien : mobilisation et gestion durable des ressources.» *ICID+18 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in semi-arid regions August 16-20, 2010, Fortaleza - Ceará, Brazil*.
- MEDDI M et BELHADJ BOUCHAIB F., 2010. «Etude des crues dans le bassin du Chellif. Application de la Méthode du Gradex.» *Revue « Nature et Technologie »*, n° 3. pp 21-28.
- MENAD W., DOUVINET J., BELTRANDO G et ARNAUD-FASSETAT G., 2012. «Evaluer l'influence de l'urbanisation face à un aléa météorologique remarquable : les inondations des 9-10 novembre 2001 à Bab-el-Oued (Alger, Algérie).» *Géomorphologie* Vol 18, n° 3 Varia. pp 337-350.
- MERABET A., 2006. «Etude de la protection de la ville de Sidi Bel Abbés contre les inondations . Mémoire de Magister, Université de Bel Abbés. Algérie.»
- MESCHINET DE RICHEMOND N., 2011. «Histoire et vulnérabilité: d'une perception empirique et globale à une approche théorique et sectorielle. J. Heude, F. Guizard, C. Beck (études réunies par), Hors du lit: aléas, risques et mémoires.» n° 16 Hors série. pp 19-26.
- METZGER A et LINTON J., 2016. « *Des inondations barrées ?* », *Espace populations sociétés [En ligne], mis en ligne le 31 janvier 2017. URL: <http://journals.openedition.org/eps/6631> DOI:10.4000/eps/6631. consulté le 12 décembre 2018.*
- METZGER A et LINTON J., 2016. «Des inondations barrées? La représentation des vulnérabilités en aval des barrages réservoirs. Do Dams Prevent floods? Perception and Misconception of Vulnerability on French Rivers. DOI : 10.4000/eps.6631. consulté le 12 décembre 2018.»
- MILANO M., 2010. «Les impacts prévisibles du changement climatique sur les ressources en eau de quatre grands bassins versants Méditerranéens. PNU. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales Sophia Antipolis. Hydro-sciences HSM Montpellier.»
- MILANO M., 2012. *Changements globaux en méditerranée : impacts sur le stress hydrique et la capacité à satisfaire les demandes en eau*. Thèse de doctorat. Université Montpellier 2. 258p.
- MILANO M., RUELLAND D., FERNANDEZ S., DEZETTER A., FABRE J., SERVAT E., FRITSCH J-M., ARDOIN-BARDIN S & THIVET G., 2013b. «Current state of Mediterranean water resources and future trends under climatic and anthropogenic changes.» *Hydrological Sciences Journal*, 58(3). pp.498-518.
- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT : A.G.I.D (Agence nationale de réalisation et de gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et drainage), 1992. «Etude de

- l'Aménagement Hydro-Agricoles de la Plaine d'El Tarf. Analyse des ressources en eaux. Hydrologie, volume définitif I-C-1. ENERGO - PROJEKT -E.N.H.Y.D.»
- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT et A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources hydrologiques), 1990. «Etude agro-pédologique des plaines alluviales de l'oued Kébir-Est (Wilaya d'El Tarf). AISSOUG.M, SAADI.N.»
- MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 1997. «A.P.D (Avant-Projet Détaillé) du Barrage de Bougous, (Rapport de synthèse, Bougous-Mission .III, Volume IV.DOC).ENHYD, entreprise de réalisation des projets hydrauliques.»
- MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE : D.P.R.H (direction des projets et réalisations hydrauliques), 1979. «Barrage de Mexenna-El AFIA ; Rapport sur l'étude des conditions générales du bassin versant (Etudes Hydrologiques), novembre 1979. HYDROTECHNIC CORPORATION ING.»
- MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE- D.E.M.R.H (Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique), 1978. «Etude hydrologique de l'oued Kébir-est au site du barrage El AFIA « Mexenna ». (N°90/03/août 1978). M.zsohae.»
- MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE -DEM.RH (Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique), 1978. «Etude hydrologique de l'aménagement hydraulique de l'oued Kébir-Est et du Lac Oubeira (n°74/S.H.Y.L/29). M.Romantchouk.»
- MINVILLE M., BRISSETTE F et LCONTE R., 2010a. «Impacts and uncertainty of climate change on water resource management of the Peribonka River System (Canada).» *Journal of Water Resources Planning and Management*, volume 136, numéro 3. pp. 376-385.
- MIOSSSEC M.A., 1975. «Les pluies exceptionnelles de mars 1973 en Tunisie.» *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n° 428. pp. 279-288.
- MOUSSU H., 1954. *Aménagement de l'oued Bou Namoussa ; étude géologique de l'emplacement du barrage de la galerie d'amenée.* (Département de Constantine). Rapport hydraulique et équipement rural, Alger.
- MOUSSU H., 1955. «Contribution à l'étude géologique des monts de la Cheffia.» (Est Constantinois).B.S.G.G.A. nouv. Série n°5.Trav.coll. pp.293-310.
- MOZAS M & GHOSN G., 2013. *État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. Institut de Prospective Économique du Monde Méditerranéen. Études & analyses.* Chefs de projet d'IPIMED(Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen)
- MUSSARD C., 2018. «Archéologie d'un territoire de colonisation en Algérie. La commune mixte de la calle (1884-1957). Thèse de doctorat. La HAL Archives-ouvertes.fr. <https://hal.archivesouvertes.fr/tel-01671015/document>. Consulté le 06/05/2021.»
- MUSSARD C., 2018. «La commune mixte de La Calle en Algérie ; L'espace d'un voisinage contraint en contexte colonial (1884-1957). MMSH - Maison méditerranéenne des sciences de l'Homme. <https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-01670927> consulté le 20/05/202.»

- MUTIN G., 2007. *Le monde arabe face au défi de l'eau- Enjeux et conflits*. Ed. IEP - Lyon - 2. 176p
- NOURI M., OZER A, & OZER P., 2016. «Étude préliminaire sur le risque d'inondation en milieu urbain (Algérie). Preliminary study on the flood risk in urban areas (Algeria) Geo-Eco-Trop., 40, 3, n.s.: 201-208. Numéro special.»
- O.N.A.G.R.I., 2019. «Observatoire National de l'Agriculture Tunisie, <http://www.onagri.tn/>.»
- O.N.I.D (Office National de l'Irrigation et de Drainage El Tarf), 2012. «Aménagement hydroagricole de la plaine d'El-Tarf, rapport sur les dégâts constatés après les inondations de février et mars 2012(digues, pistes, ouvrages génie civil et fossés).»
- O.N.I.D (Office National de l'Irrigation et de Drainage El Tarf), 2013. «Aménagement hydro-agricole de la plaine d'El-Tarf, Procès-Verbal de constat des lots «A» et «B» afin de déterminer les différentes recommandations pour améliorer les différents ouvrages.»
- O.N.I.D (Office National de l'Irrigation et de Drainage El Tarf), 2015. «Aménagement hydroagricole de la plaine d'El-Tarf, Procès-Verbal de constat des lots «A» et «B» afin de déterminer les différentes recommandations pour améliorer les différents ouvrages.»
- O.N.I.D (Office National de l'Irrigation et de Drainage), 2018. «Canevas bilan annuel d'exploitation du périmètre de la Bounaoussa (2016/2017).»
- O.N.S (Office National des Statistiques), 2011. R.G.P.H (Recensement Global de la Population et de l'Habitat, 2008). «Armature urbaine. Collections Statistiques N°163/2011 Série S : Statistiques Sociales.»
- ORAIN O., 2004. «La géographie française face à la notion d'échelle. Une approche par les significations et les contenus épistémologiques ». Cours C.N.E.D. Dans le cadre de la question d'agrégation ; Échelles et temporalités en géographie, fascicule II, V.»
- RAJE D and MUJUMDAR P-P., 2009. «A conditional random field based downscaling method for assessment of climate change impact on multisite daily precipitation in the Mahanadi basin.» *Water Resour. Res.*, 45(10), W10404. pp 338-363.
- RAMADE F., 1982. «Élément d'écologie : Ecologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère.» *Édité par McGRAW-HILL. Paris* .824p.
- RAMDANI R., 1996. *Étude hydrologique et simulation par modèle mathématique de la nappe dunaire de la région de Boutheldja*. . Mémoire de Magister, Université de Annaba.
- RASKIN P., 1997. «Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world - Water futures: assessment of long range patterns and problems. UNESCO - Stockholm Environment Institute, Stockholm.»
- REMINI B., 2010. «La problématique de l'eau en Algérie du nord.» *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 8* . pp 27-46.
- REMINI B., 2017. «Une Nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages.» *Larhyss Journal.ISSN 1112-3680, n° 31 (s.d.):* pp.51-81.
- ROCHE M., 1963. *Hydrologie de surface*. Gauthier-Villars ORSTOM, Paris, 430 p.

- ROCHE M., 1986. *Dictionnaire français d'hydrologie de surface avec équivalents en anglais, espagnol, allemand..*. Paris : Masson, ISBN 2-225-80739-6.
- RODE S., 2012. *Le chêne ou le roseau : quelles stratégies de gestion du risque d'inondation en France ?*, *Cybergeo : European Journal of Geography*[En ligne], *Aménagement, Urbanisme*, article 603, mis en ligne le 25 avril 2012. URL:<http://cybergeo.revues.org/25299> .
- RODIER J., 1964. *Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo*. Paris : ORSTOM, (Mémoires ORSTOM ; 6).161 p.
- ROUSSET N et ARRUS R., 2006. «L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques ?» *Communication à WATMED 3,3 conférence internationale sur les e Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen, Tripoli (Liban), 1 -3 novembre 2006. pp1-8.*
- ROYET P., DEGOUTTE G., PEYRAS L et LAVABRE J., 2009. «Cotes et crues de protections, de sûreté et de danger de rupture. Protection, safety and danger levels and associated floods.» *Colloque CFBR-SHF3. Dimensionnement et fonctionnement des évacuateurs de crues* ».
- SAIDI M.E.M., 1994. «Genèse et propagation des crues en milieu sub-aride : exemple de l'Oued Souss (Maroc) (Flood's genesis and propagation in sub-arid environment as exemplified by Oued Souss (Morocco)).» *Bulletin de l'Association de Géographes Français* 71-1. pp.94-111.
- SAIDI M.E.M., BOUKRIM S., FNIGUIRE F & RAMROMI A., 2012. «Les écoulements superficiels sur le Haut Atlas de Marrakech cas des débits extrêmes.» *LARHYSS Journal* 7, n° 15 (2012): ISSN 1112-3680.
- SAIDI M.E.M., DAOUDI L., ARESMOUK M.E.H., FNIGUIREF., & BOUKRIM S., 2010. «Les Crues de l'Oued Ourika (Haut Atlas, Maroc) : Evènement extrêmes en contexte montagnard semi-aride.» *Comunicações Geológicas*, n° t.97 . pp.113-128.
- SAMIÉ C., 1956. «Bassin de la Mafragh. Direction Je l'Hydraulique et de l'Equipement Rural à Alger. Compte rendu des travaux du Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France Meetings of the Technical Committee Session des 15 et 16 mars 1956.» *LA HOUILLE BLANCHE N° SPÉCIA L B/1956*. pp.452-465.
- SECRETARIAT D'ETAT A L'HYDRAULIQUE : D.P.R.H (Direction des Projets et des Réalisations Hydrauliques), 1973a. «Rapport de crue survenue au barrage de la Cheffia (Chetibi H.). Division d'exploitation et de contrôle des barrages de l'Est, Skikda.» s.d.
- SECRETARIAT D'ETAT A L'HYDRAULIQUE : D.P.R.H (Direction des Projets et des Réalisations Hydrauliques), 1973b. «Crue du 27 mars 1973 : Rapport sommaire provisoire (suivant minute remise à Monsieur le directeur de l'hydraulique de Annaba le 1er avril 1973) (Montel B.). Division d'exploitation et de contrôle des b.»
- SECRETARIAT D'ETAT A L'HYDRAULIQUE : D.P.R.H (Direction des Projets et des Réalisations Hydrauliques), 1974. «Division des études générales. Aménagement de l'ensemble Lac Obéira et Barrage de Mexanna sur l'oued Kébir de l'Est(Annaba). APPELGREN.B et SARI A.»

- SECRETARIAT D'ÉTAT A L'HYDRAULIQUE : D.P.R.H (Direction des Projets et des Réalisations hydrauliques), 1974. «Division des études générales. Etude des volumes régularisables par le barrage de Mexanna sur l'oued Kébir-Est, SARI A.»
- SECRETARIAT D'ÉTAT A L'HYDRAULIQUE- D.E.M.R.H (Direction des Etudes de Milieu et de la Recherche Hydraulique), 1975. «Etude de régularisation du barrage de Cheffia compte tenu de l'envasement.»
- SECRETARIAT D'ÉTAT A L'HYDRAULIQUE, 1975. «A.P.D (Avant-Projet Définitif Barrage de Mexanna). HYDROTECHNIC CORPORATION Ingénieurs Conseils NEW YORK-MADRID. Exemple N°5.»
- SEGUIS L., ALBERGEL J et BADER J-C., 1993. «Construction de la courbe de remplissage d'un réservoir par bilan hydrologique et applications.» *Hydrol. continent* 8, n° 1 (s.d.): pp. 63-69.
- SELMI M., 1985. *Différenciation des sols et fonctionnement des écosystèmes sur grès numidiens de Kroumirie (Tunisie). Ecologie de la subéraie zenaie. Thèse de doctorat des Sciences Naturelles Université de Nancy I, 200 p.*
- SERVICE DE LA COLONISATION ET DE L'HYDRAULIQUE, 2005. «Alger, Algérie : documents algériens (du 30 novembre 1947 au 15 février 1960). Séries économiques hydrauliques. 3 pages n°78.1951.»
- SIBARI H., HAIDI S., AIT-FORA A., 2001. «Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi-aride : bassin versant de l'Inaouene.» *Sécheresse (Montrouge)*, issn : 1147-7806, vol. 12, n°3. pp. 187-193, Collation : Illustration.
- SIMONOVIC S-P., et LI L., 2004. «Sensitivity of the Red River basin flood protection system to climate variability and change.» *Water Resources Management, volume 18, numéro 2*.pp. 89-110.
- SLIMANI A., PLANTUREUX S., BRINIS L et SOLTANE M., 2008. «Composition floristique des pâturages naturels et dynamique des groupes fonctionnels sur les berges des lacs de la région d'El-Tarf.» *Terre & Vie, N°103*.pp.1-20.
- SOLIGNAC M., 1927. «Etude géologique de la Tunisie septentrionale. Direction des travaux publics, Tunis. 143p.»
- SOUADI Y., 2011. «L'érosion hydrique au Mahgreb ; étude d'un cas : le bassin versant de l'oued Barbara Tunisie Septentrionale,» *Maitrise en Géographie. Université du Québec a Montreal.*
- STRICKLER A., 1923. «Beiträge zur Frage der Geschwindigkeits formel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. Mitteilung 16. Amt für Wasserwirtschaft: Bern (en allemand).»
- SWIM (Gestion intégrée et durable de l'eau), 2013. «Documentation des meilleures pratiques de gestion de l'eau non comptabilisée dans des pays sélectionnés du bassin méditerranéen.» *ALGÉRIE, ISRAËL, JORDANIE, MAROC*. Mécanisme de soutien Projet financé par l'Union européenne. Auteurs ; Algérie : BAGHDALI. L ; TAHA. S, KHORDAGUI. H, DAMIANIDIS. S et KONSTANTIANOS.V.

- TAABNI M., and El JIHAD M-I., 2012. «Eau et changement climatique au Maghreb : quelles stratégies d'adaptation ?» *Les cahiers d'outre-mer revue de géographie de bordeaux*.260/ octobre-décembre 2012(*l'Afrique face aux changements climatiques*),pp. 493-518.
- THE UNIVERSITY OF KANSAS, ALGERIAN SPACE AGENCY(ALEGRIA) , 2012. «Wilaya d'El Tarf, Gaaret El Makada : Dynamique des inondations (observations les 28 et 29 février 2012). International Charter Space and Major Disasters.»
- TOMAS F., 1969. «Annaba et sa région agricole.» *Revue de géographie de Lyon* , vol. 44, n°1. pp. 37-74 ; doi : <https://doi.org/10.3406/geoca.1969.2638>), Vol. 44, n°1, 1969: pp. 37-74 ; doi : <https://doi.org/10.3406/geoca>.
- TOMAS F., 1970. «Les mines et la région d'Annaba .» *Revue de géographie de Lyon*, vol. 45, n°1,pp.31-59.<https://doi.org/10.3406/geoca.1970.2660>.
https://www.persee.fr/doc/geoca_0035-113x_1970_num_45_1_2660.
- TOUAZI M., BHIRY N., LABORDE J-P ET ACHOUR F., 2011. «Régionalisation des débits moyens mensuels en Algérie du nord » Regionalization of the mean regimes of the monthly runoff in northern Algeria.» *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*.vol 24, n°2. pp 177-191. URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1006110ar>. DOI: <https://doi.org/10.7202/1006110ar>.
- TOULI N., 2018. «La gestion des risques multiples en zones urbaines : un modèle intégré d'analyses multirisques pour une résilience générale. Management of multiples risks in urban areas: An integrated multi-risks analysis model for a general resilience.» 2018 *ISTE Open Science- Published by ISTE Ltd. London, UK-openscience.fr*.pp 1-16.
- TOURKI M, 2010. *Etude de l'érosion et du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Kébir Est Nord-Est Algérien*. . Mémoire de magistère. Université de Annaba, 137 p.
- U.N.E.P(United Nations Environment Program): Observatoire du Sahara et du Sahel, 2010. «Cadre Global des Programmes sur les Changements Climatiques en Afrique.»
- UNESCO, 2018. «Le Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau – "Les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau" .»
- VICUÑA S., DRACUP J-A. et DALE L., 2011. «Climate change impacts on two high-elevation hydropower systems in California.» *Climatic Change, volume 109, numéro 1*. pp. 151-169.
- VICUÑA S., DRACUP J-A., LUND J., DALE L et MAURER E., 2010. «Basin scale water system operations with uncertain future climate conditions: Methodology and case studies.» *Water Resources Research*W04505, volume 46. pp 1-19.
- VILA JM., 1978. *Carte structurale au 1/500000 de la chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-tunisiens*. CNRS et B.E.I.C.I.P.
- VILA JM., 1980. *La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des Confins Algéro-tunisiens*, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI),. France. 665p.

VINET F., DEFOSSEZ S., REY T et BOISSIER L., 2012 b. «Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia ».» *Noréis*, 222, 1, pp. 11-26.

WILDI W., 1983. «La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène.» *Revue Géologie Dynamique, Géographie Physique*, 24: 201-297.

Presse et article des journaux

A.P.S (Algérie Presse Service), 14 septembre 2017. Pénurie d'eau à Annaba : entre tentative de s'adapter à la situation et attente de la concrétisation du plan d'urgence.

LIBERTÉ, 3 septembre 2017. Des manifestation ont émaillé la fête d'El Aid; Annaba la crise de l'eau persiste. Article écrit par : A. Allia.

L'EXPRESSION, 09 septembre 2017. Alors que la psychose du manque d'eau gagne Annaba, 16 wilaya ont soif. Article écrit par : W. Bahri

LE SOIR D'ALGÉRIE, 5 septembre 2017: A cause du manque d'eau : le complexe El Hadjar pratiquement à l'arrêt. Article écrit par : A. Bouacha

EL MOUDJAHID, 28 février 2018. [Alimentation en eau potable : Plan d'urgence pour les wilayas à haute carence](#) (25 milliards de dinars pour sa mise en œuvre). Article écrit par : Kafia Ait Allouache

L'ECHO D'ALGERIE, 3 septembre 2017. Pénurie d'eau potable à Annaba : un programme d'urgence adopte pour faire face. Par : Houda.h

LE SOIR D'ALGÉRIE, 25 février 2012. 3 morts et plus de 200 familles sinistrées; Mortelle inondation à El Tarf. Article écrit par : Allam.D

LE SOIR D'ALGÉRIE, 12 mars 2012. El Tarf les inondations font 3 morts. Article écrit par : Allam.D

LIBERTÉ. Ould Kablia et Sellal à El-Tarf. Deux ministres au chevet d'une wilaya sinistrée. Article écrit par : Allia.A

LE QUOTIDIEN D'ORAN, 27 février 2012. El-Tarf : Neuf familles piégées par les eaux pendant quatre jours. Article écrit par : R. N

EL MOUDJAHID, 27 février 2012. INTEMPÉRIES : L'opération de recensement des fellahs sinistrés se poursuit. L'agriculture sévèrement affectée. 9 familles sauvées par la protection civile à El Tarf. Article écrit par : D.Akila

LE QUOTIDIEN D'ORAN, 30 octobre 2007. L'interconnexion pour sécuriser l'alimentation en eau. Écrit par : M. S. Boureni, mis en ligne par : Boutebna N. <https://setif.info/setif/article2192.html>

LE SOIR D'ALGERIE, 26 FEVRIER 2012. L'agriculture sévèrement affectée par les inondations à El Tarf. Ecrit par Daoued Allam. DjaZairess. <https://www.djazairess.com/fr/lesoirdalgerie/130777>, consulté le 13/05/2018.

EL Watan Week-end, Vendredi 9 mars 2012. El Tarf après la crue, la colère, page 6 et 7. Article écrit par Slim Sadki. URL : <https://www.elwatan.com/archives/actualites/el-tarf-apres-les-inondations-colere-et-desolation-09-03-2012>. Consulté le 05/10/2018.

Journaux électroniques

<https://www.sudhorizons.dz/fr/les-news/a-la-une/40265-inondations-47-milliards-de-dinars-de-degats-en-2018>, en ligne, consulté le 01/12/2018.

L'Echo d'Algérie : URL : <http://lechodalgerie-dz.com/lutte-contre-les-inondations-la-nouvelle-strategie-nationale-coutera-plus-de-311-milliards-de-dinars/>, consulté le 01/12/2018.

Référence électronique

<http://kapitalis.com/tunisie/2017/02/21/pourquoi-la-sonede-doit-elle-etre-auditee-partie-2/>
https://asal.dz/?page_id=1235, consulté le 03/06/2017.

https://www.international-alert.org/sites/default/files/Tunisia_WaterGovernanceKasserine_FR_2017.pdf
<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICETIAG.HTM>, consulté le 07/10/2019.

<https://www.sudhorizons.dz/fr/les-news/a-la-une/40265-inondations-47-milliards-de-dinars-de-degats-en-2018>, consulté le 05 mai 2018.

<https://www.radioalgerie.dz/news/fr/article/20190130/161141.html>, en ligne, consulté le 25/03/2019

<https://fr.unesco.org/water-security/wwap/wwdr/2019>, consulté le 21/07/2021

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367305>

<http://www.icold-cigb.org/share/article/5100/role-des-barrages>.

Programme Mondial pour l'Évaluation des Ressources en Eau (WWAP) : <http://www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>

Références réglementaires (Lois et décrets)

- La loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau
- Arrêté interministériel du 26 Rabie Ethani 1433 correspondant au 19 mars 2012 portant déclaration de l'État de catastrophe naturelle dans les wilayas de Sétif et d'El Tarf.
- La loi 10-02 du 29 juin 2010 portant approbation du Schéma National d'aménagement du Territoire.

Liste des abreviations

A.B.H : Agence des Bassins Hydrographiques

A.P.D : Avant-Projet Détaillé

ACL : Agglomération Chef-Lieu

ADE : Algérienne Des Eaux

AGID : L'Agence nationale de réalisation et de Gestion des infrastructures hydrauliques pour l'Irrigation et le Drainage

AGIRE : Agence nationale de Gestion Intégré des Ressources en Eau.

ANB : Agence Nationale des Barrages

ANBT : Agence Nationale des Barrages et des Transferts

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

APS : Avant-Projet Sommaire définitif.

ASAL : Agence Spatiale Algérienne.

BMS : Bulletin Météorologique Spécial.

C.T.M.H.E : Commission Technique Mixte de l'Hydraulique et de l'Environnement Tuniso-Algérienne (première session à Tunis le 20 au 24 mai 1985), la dernière à Tunis le 22-23 décembre 2014.

CENOR : Consulting Engineers Information (CENOR Consulting Engineers is a company based at Rua Das Vigias, N° 2, Piso 1, Lisbon 1990-506 LISBOA, PT founded in 1980, Lisbonne.

COJAAL : Consortium Japonais Pour L'autoroute Algerienne

CTN : Cote de Terrain Naturel.

CW : Chemin de Wilaya

DH : Direction de l'hydraulique

DPC : Direction de la Protection Civile de la Wilaya d'El Tarf.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

DUAC : Direction de l'Urbanisme de l'Architecture et de la Construction

EAC : Exploitations Agricoles Collectives

EAI : Exploitations Agricoles Individuelles

ENERGOPROJECT : Energoprojekt holding Beograd (code BELEX : ENHL) est une holding serbe qui a son siège à Belgrade.

ENHUA : Espagnol ?

ENHYD : Entreprise Nationale des études Hydrauliques.

ENRB : L'Entreprise Nationale Hydrotechnique (ex. ENRB)

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. est un organisme intergouvernemental ouvert à tous les pays membres de l'Organisation des Nations unies (ONU).

GIEC : Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ; en anglais : *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) est un organisme intergouvernemental ouvert à tous les pays membres de l'organisation des Nations unies(ONU). Il regroupe actuellement 195 États.

HPE : Hydro Projet Est

HPO : Hydro Projet Ouest.

ILEC : International Lake Environment Committee

INM : Le code INM est un identifiant attribué par l'Institut National de Météorologie en Tunisie aux stations météorologiques.

J.O.R.A : Journal Officiel de la République Algérienne.

M.I : Communes mixtes.

MNT : Model Numérique de Terrain.

MPRH : Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques

MRE : Ministère des Ressources en Eau.

MTPR : Ministère des Travaux Publics et de la Reconstruction

NGA : Nivellement Général de l'Algérie

NNR : Cote au Niveau Normal de la Retenue (m)

ONS : Office National des Statistiques.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Office Nationale de l'Assainissement

ONAGRI : Observatoire National de l'Agriculture, Tunisie (Situation hydraulique des barrages (Ministère de l'agriculture ; Direction des barrages et des grands travaux hydrauliques).

ONID : Office National de l'Irrigation et de Drainage.

ONM : Office National de la Météorologie en Algérie.

ONS : Office National des Statistique

ONU : Organisation des Nations Unis

ORSEC : Organisation de la Réponse de Sécurité Civile

ORSTOM : (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer) est l'ancienne nomination de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

PNEK : Parc National d'El Kala

POS : Plan d'Occupation du Sol

PPR : Plan de Prévention des Risques

QME : débit mensuel d'étiage ou débit moyen du mois dont la moyenne interannuelle est la plus faible

QME : Débit mensuel d'étiage ou débit moyen du mois dont la moyenne interannuelle est la plus faible

QMNA : débit mensuel minimal annuel ou minimum annuel des débits moyens mensuels.

QMNA : Débit mensuel minimal annuel ou minimum annuel des débits moyens mensuels.

RGPH : recensement Global de la Population et de l'Habitat.

S.E.G.G.T.H : Service des Etudes Générales et Grands Travaux Hydrauliques,

SEATA ; Société des Eaux et d'Assainissement de Annaba et Tarf

SEH : Secrétariat d'État à l'Hydraulique

SIDER : Complexe Sidérurgique EL HADJAR.

SNAT : Schéma National de l'Aménagement du Territoire

SSO-NNE : Sud Sud-Ouest- Nord Nord Est

SWIM : Gestion intégrée durable de l'eau de l'anglais « Sustainable integrated water management ».

TAGMA : Taux d'Accroissement Global Moyen Annuel(le taux d'accroissement naturel à l'échelle nationale est estimé entre 1987 et 1998 à 2,15% selon l'ONS).

TVC : Tout Venant de Carrière

U.S.A : United States of America

UNEP : Le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE, en anglais United Nations Environment Program, UNEP)

ZAC : Zone d'Activité Commerciale.

Liste des Tableaux

| | |
|---|------------|
| <i>Tableau 1. Relief et altimétrie du bassin versant de la Bounamoussa (Modèle Numérique de Terrain téléchargé à partir du site : earthexplorer.com, résolution de 30×30m).....</i> | <i>7</i> |
| <i>Tableau 2. Apports en écoulement des bassins transfrontaliers tuniso-algériens (en amont des barrages de Mexa, Bougous et Cheffia)-(d'après, Frigui, 2017)</i> | <i>7</i> |
| <i>Tableau 3. Surfaces des bassins de l'oued Bounmoussa et de Bouhllalla</i> | <i>18</i> |
| <i>Tableau 4. Surfaces par classes de pentes du bassin versant</i> | <i>22</i> |
| <i>Tableau 5. Caractéristiques morphométriques des sous bassins versants de la Bounamoussa ((1) (DRE, Etude hydrologique, 2013). (2) (Affoun)</i> | <i>25</i> |
| <i>Tableau 6. Coordonnées géographiques des stations climatologiques. (A.N.R.H Alger, 2015 ; O.N.M Annaba, 2012 ; A.N.B T Cheffia, 2017 ; SUBD Souk Ahras, 2013).....</i> | <i>36</i> |
| <i>Tableau 7. Variation saisonnière des précipitations aux stations de Cheffia barrage et Annaba les Salines.</i> | <i>38</i> |
| <i>Tableau 8. Intensité des pluies selon les fréquences à la station de Cheffia-barrage.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Tableau 9. Moyenne interannuelle des températures des deux stations :</i> | <i>40</i> |
| <i>Tableau 10. Bilan évaporométrique de Thornthwaite à la station de Souk Ahras (Latitude 36° N : RFU max : 100 mm). Période de P (mm) (1990/1991-2016/2017) et T°C (1990/1991-2012/2013)</i> | <i>43</i> |
| <i>Tableau 11. Bilan évaporométrique de Thornthwaite à la station de Annaba les Salines (Latitude 36° N : RFU max : 100 mm). Période commune P (mm) et T° (1971/72-2011/2012).....</i> | <i>43</i> |
| <i>Tableau 12. Apport moyen annuel calculé des bassins versants de Bounamoussa et de Bouhllalla (DRE, 2013).</i> | <i>47</i> |
| <i>Tableau 13. Bilan hydrologique du bassin versant au barrage Cheffia</i> | <i>47</i> |
| <i>Tableau 14. Rapport débit de pointe (débit instantané ou Qp) au débit maximum moyen journalier (Qjmax) des crues observées au bassin de l'oued Bounamoussa</i> | <i>53</i> |
| <i>Tableau 15. Répartition de la superficie forestière par essence au niveau du bassin versant de la Bounamoussa (Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022).....</i> | <i>54</i> |
| <i>Tableau 16. Caractéristiques hydrtechniques du barrage de Cheffia (ANBT, 2015).</i> | <i>63</i> |
| <i>Tableau 17. Bilan interannuel du barrage de Cheffia (période : 1970/71-2016/2017) (Capacité de la retenue : 158.827 hm³) (ANBT, 2017).....</i> | <i>67</i> |
| <i>Tableau 18. Evolution de la capacité et de la tranche morte pour différentes bathymétries</i> | <i>74</i> |
| <i>Tableau 19. Historique et caractéristiques des crues du barrage de Cheffia (ANBT, 2017).....</i> | <i>80</i> |
| <i>Tableau 20. Caractéristiques de la crue mesurée du 24 au 28 mars 1973 à la station de Ain Assel, oued Kébir-Est (ANRH, 2015).....</i> | <i>84</i> |
| <i>Tableau 21. Caractéristiques des crues exceptionnelles de 2003 et de 2012 au barrage de Cheffia ..</i> | <i>92</i> |
| <i>Tableau 22. Gestion durant les 3 premiers jours des crues exceptionnelles de 2003 et de 2012.</i> | <i>92</i> |
| <i>Tableau 23. Dégâts des inondations causés par les crues (Rapport de la Direction de la Protection Civile de la wilaya d'El Tarf, 2017 ; SEH, 1973 et enquête sur terrain).</i> | <i>94</i> |
| <i>Tableau 24. Superficies des sous bassins transfrontaliers du Kebir-Est contrôlés par barrages.....</i> | <i>111</i> |
| <i>Tableau 25. Paramètres morphométriques des bassins versants de : Ain Assel, Bougous et Barbara (1) DEMRH, 1975 (2) Souadi, 2011 (3), APD barrage Mexa, 1997).</i> | <i>113</i> |
| <i>Tableau 26. Caractéristiques des stations climtologiques et hydrométriques du bassin du Kébir-Est (1) ONM , station El El Kala ; (2) Souadi, 2011 ; (3) ANRH, 2015 ;.....</i> | <i>118</i> |
| <i>Tableau 27. Précipitations mensuelles et annuelles moyennes du bassin du Kébir-Est.</i> | <i>119</i> |

| | |
|--|-----|
| Tableau 28. Variation saisonnière des précipitations dans le bassin du Kébir-Est (1) Bousaidi, 2012 ; (2) Souadi, 2011 ; (3) ANRH, 2015 ; DRE et ANBT, 2017 ; | 120 |
| Tableau 29. Les quantiles des pluies journalières maximales à Bougous et Barabra. (ANBT ; Monographie sur l'aménagement du barrage de Bougous, 2011 et ANBT ; APD : Rapport de synthèse Volume IV, Bougous-Mission III, 1997.ENHYD). | 121 |
| Tableau 30. Intensité des pluies selon les fréquences à la station de Ain Assel (ANRH, 2015). | 122 |
| Tableau 31. Les températures mensuelles moyennes à la station de Aïn Draham et El Kala ((1) Bousaidi, 2012 ; (2) ONM, 2004 ; (3) Souk Ahras SUBD, 2013) | 122 |
| Tableau 32. Bilan évaporométrique de Thornthwaite à la station de Ain Assel | 124 |
| Tableau 33. Lambe d'eau écoulée annuelle aux barrages de Mexa, Bougous et Barbara | 126 |
| Tableau 34. Bilan hydrologique (station de Ain Assel et barrage de Mexa) | 127 |
| Tableau 35. Module annuel enregistré à Ain Assel selon les différentes périodes | 129 |
| Tableau 36. Débits mensuels d'étiage et modules annuels observés à la station de Ain Assel. | 134 |
| Tableau 37. Répartition de la superficie forestière par essence au niveau du bassin versant de la Bounamoussa (Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022). | 136 |
| Tableau 38. Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Mexa (ANBT, 2017 ; ANBT, 2010 et Rapport de Synthèse-Volume IV, 1997). | 145 |
| Tableau 39. Caractéristiques hydrotechniques du barrage de Bougous (ANBT, 2011) | 147 |
| Tableau 40. Caractéristiques des crues selon la méthode adoptée d'ALEXEEV(ANBT, Rapport de synthèse Volume-IV, Bougous-Mission. III, 1997). | 148 |
| Tableau 41. Caractéristiques hydrologiques du barrage de Barbara (ONAGRI, 26/09/2019). | 148 |
| Tableau 42. Bilan d'eau du barrage de Mexa de la période : 2003/2004-2019/2020 (Capacité de la retenue : 30.27 hm ³) (ANBT, 2020) | 152 |
| Tableau 43. Bilan du barrage de Bougous de la période 2011/2012-2019/2020. (Capacité de la retenue : 65.2 hm ³)(ANBT, 2020) | 158 |
| Tableau 44. Evolution de la consommation de l'eau potable à partir des barrages de Mexa –Bougous (2003/04-2019/2020). | 161 |
| Tableau 45. Bilan d'eau annuel du barrage de Barbara (Période : 2000/2001-2016/2017) (Données d'après DGPTH in Gafrej, 2017). | 163 |
| Tableau 46. Bilan mensuel du barrage de Barbara : année hydrologique 2011/2012 | 164 |
| Tableau 47. Apports et déversements de crue des barrages de Barbara, Bougous et Mexa (période du 20 au 26 février 2012) | 171 |
| Tableau 48. Apports et déversements de crue aux barrages de Barbara, Bougous et Mexa (période du 7 au 13 Mars 2012). | 173 |
| Tableau 49. Volumes déversés par les deux barrages de Mexa et Cheffia vers la plaine d'El Tarf (crues de février et mars 2012) | 177 |
| Tableau 50. Caractéristiques des sols par catégories (MRE-AGID, 2003) | 190 |
| Tableau 51. Répartition des surfaces et des besoins en eau d'irrigation de pointe par secteur | 192 |
| Tableau 52. Evolution de la population des deux wilayas d'El Tarf et de Annaba | 194 |
| Tableau 53. Ressource en eau mobilisable nécessaire à l'irrigation du périmètre d'El Tarf (MRE - AGID, 2003). | 202 |
| Tableau 54. Surélévation des routes après la crue des 22 et 23 février 2012 (ONID, 2012). | 208 |
| Tableau 55. Les dégâts constatés et réparés après la crue des 28 et 29 janvier 2015 | 214 |
| Tableau 56. Evolution de la population des 6 communes de la plaine d'El Tarf. (PDAU des 6 communes, DUAC 2008). | 217 |

| | |
|--|------------|
| <i>Tableau 57. Evolution des surfaces urbanisées des agglomérations de la commune de Ben M'hidi (PDAU de la commune de Ben M'hidi, 2004).....</i> | <i>220</i> |
| <i>Tableau 58. Evolution démographique de la commune de Ben M'hidi (1966-2024) (APC et PDAU de Ben M'hidi, 2008).</i> | <i>221</i> |
| <i>Tableau 59. Classification de la commune de Ben M'hidi selon l'ONS. (ONS Alger, RGPH, 2008).</i> | <i>222</i> |
| <i>Tableau 60. Estimation des ressources en eau du bassin versant de la Mafragh.</i> | <i>236</i> |
| <i>Tableau 61. Barrages en exploitation et projetés dans le bassin versant de la Mafragh. (ANBT, 2017 et MRE -AGID, 2003).....</i> | <i>237</i> |
| <i>Tableau 62. Caractéristiques hydrotechniques des trois barrages projetés (MRE- AGID, 2003 et DRE, 2015).....</i> | <i>239</i> |
| <i>Tableau 63. Écoulements des bassins et prise d'eau sur l'oued Kébir – Est (ANBT- APD, 2017).....</i> | <i>241</i> |
| <i>Tableau 64. Estimation des apports annuels des bassins de Mexa, Boukhroufa et la prise d'eau sur Kébir-Est en fonction du changement climatique (ANBT : APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).....</i> | <i>243</i> |
| <i>Tableau 65. Volume à fournir pour l'irrigation (taux de garantie de 80 %) et capacité maximale installée (Scenario où la prise d'eau d'El Kebir-Est ne recevrait que les apports du bassin en aval du barrage de Mexa) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).</i> | <i>244</i> |
| <i>Tableau 66. Bilan moyen annuel de la retenue de Boukhroufa (Scenario où la prise d'eau d'El Kebir ne recevrait que les apports du bassin en aval du barrage de Mexa) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).....</i> | <i>244</i> |
| <i>Tableau 67. Volume à fournir pour l'irrigation (taux de garantie de 80 %) (Scenario où la prise d'El Kebir recevrait les apports du bassin en aval de Mexa, plus les déversements de celle-ci) (ANBT- APD prise d'eau Kébir-Est ; CENOR/HPO, 2017).</i> | <i>245</i> |
| <i>Tableau 68. Bilan moyen annuel de la retenue de Boukhroufa (Scenario où la prise d'El Kebir recevrait les apports du bassin en aval de Mexa, et les déversements de Mexa).....</i> | <i>245</i> |
| <i>Tableau 69. Les nappes exploitées dans le bassin versant de la Mafragh.....</i> | <i>251</i> |
| <i>Tableau 70. Affectation par secteur d'utilisation des ressources en eau souterraines dans le bassin de la Mafragh et de la wilaya d'El Tarf (DRE, 2015 et 2021).....</i> | <i>252</i> |
| <i>Tableau 71. Etat des STEP en service dans le bassin versant de la Mafragh (DRE de la wilaya d'El Tarf, 2021).....</i> | <i>255</i> |
| <i>Tableau 72. Situation de l'assainissement dans les communes de la wilaya d'El Tarf (DRE, wilaya d'El Tarf, 2021).....</i> | <i>256</i> |

Liste des Figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Cadre géographique du bassin versant de la Mafragh | 3 |
| Figure 2. Carte d'occupation du sol du bassin versant de la Mafragh (réalisée à partir d'une image satellite raster(2020) Sentinel 2 d'une résolution de 10 m). | 6 |
| Figure 3. Présentation schématique : organigramme des chapitres de la thèse..... | 14 |
| Figure 4. Relief et altimétrie du bassin versant de la Bounamoussa (Modèle Numérique de Terrain téléchargé à partir du site : earthexplorer.com, résolution de 30×30m)..... | 21 |
| Figure 5. Carte des pentes du bassin versant de la Bounamoussa (Modèle Numérique de Terrain téléchargé à partir du site : earthexplorer.com, résolution de 30×30m)..... | 23 |
| Figure 6. Profil en long de l'oued Bouhadjar : cours d'eau principal du bassin versant au barrage de Cheffia. | 26 |
| Figure 7. Hydro-orographie du bassin versant de la Bounamoussa | 29 |
| Figure 8. Contexte géologique du Nord-Est Algérien (d'après Marre, 1987). | 31 |
| Figure 9. Carte structurale du bassin versant de la Mafragh (Vila, 1980) | 35 |
| Figure 10. Extrait de la carte du réseau hydro-pluviométrique de l'Algérie (ANRH, 2003)..... | 37 |
| Figure 11. Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie (ANRH, 2003). | 37 |
| Figure 12. Courbe Intensité-Durée-Fréquence à la station de Cheffia Barrage. | 39 |
| Figure 13. Extrait de la carte de l'évapotranspiration potentielle(ETP) de l'ANRH, 2003. | 44 |
| Figure 14. Bilan d'eau de la station de Annaba les Salines (période moyenne commune de Pmm et T° : 1971/72-2011/2012). | 45 |
| Figure 15. Bilan d'eau de la Station de souk Ahras (période moyenne de Pmm : 1990/91-2016/2017 et de T° :1990/91-2012/13). | 46 |
| Figure 16. Carte des écoulements (Extrait de la carte ANRH, 2003). | 48 |
| Figure 17. Variation des débits moyens mensuels à la station de Cheffia Barrage (Période 1970/71-2016/2017) | 49 |
| Figure 18. Variation mensuelle des débits du mois de février à la station de Cheffia barrage Période (1970/1971-2016/2017). | 50 |
| Figure 19. Coefficient mensuel des débits à la station de Cheffia barrage (Période (1970/71-2016/2017). | 51 |
| Figure 20. Variation des débits maxima moyens journaliers au barrage de Cheffia (1970/1971-2016/2017) | 52 |
| Figure 21. Rapport débit de pointe (débit instantané ou Q_p) au débit maximum moyen journalier (Q_{jmax}) des crues observées au bassin de l'oued Bounamoussa. | 54 |
| Figure 22. Carte d'occupation du sol de la wilaya d'El Tarf réalisé par BNEDER (2011). (Conservation des forêts de la wilaya d'El Tarf, 2022). | 56 |
| Figure 23. Bassin versant du barrage de Cheffia | 59 |
| Figure 24. Vue en plan de la digue initiale du barrage (Direction de l'Hydraulique wilaya de Annaba : Rapport technique, le barrage de Cheffia sur l'oued Bounaamoussa ,1963) | 61 |
| Figure 25. Coupe de la digue initiale du barrage (Direction de l'Hydraulique wilaya de Annaba, rapport technique : le barrage de Cheffia sur l'oued Bou-Namoussa ,1963). | 61 |
| Figure 26. Schéma représentatif des éléments du bilan d'eau du barrage de Cheffia. | 65 |
| Figure 27. Evolution de la courbe Capacité- Hauteur du barrage de Cheffia. (Affoun, 2017). | 66 |
| Figure 28. Evolution de la courbe Surface –Hauteur du barrage de Cheffia (Affoun, 2017)..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| Figure 29. Variations annuelles des principaux éléments du bilan : apports, capacité et précipitations (Précipitation mesurés à la station de Cheffia barrage)..... | 70 |
| Figure 30. Variation annuelle des lâchers : AEP, irrigation et eau industrielle..... | 73 |
| Figure 31. Evolution de la capacité et de la tranche d'envasement du barrage de Cheffia selon les levés bathymétriques | 76 |
| Figure 32. Hyétogramme et hydrogramme afférent à un événement Pluie-Débit (Cours d'hydrologie générale : Musy, 2005 in cours Beloulou 2015)..... | 78 |
| Figure 33. Les hydrogrammes des crues de fréquence rare du bassin versant du barrage Cheffia (étude de confortement, ANBT, 2006)..... | 79 |
| Figure 34. Crue de mars 1973 : variations journalières des apports, volumes évacués, réserves et hauteurs d'eau au barrage Cheffia | 83 |
| Figure 35. Hydrogramme horaire de la crue du 03-05 avril 2003 au barrage de Cheffia..... | 86 |
| Figure 36. Variations journalières des apports, volumes évacués, réserves et hauteurs d'eau au barrage Cheffia : Crues de février et mars 2012 | 87 |
| Figure 37. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia : Crue des 22-23 février 2012 | 88 |
| Figure 38. Crue des 9-10 mars 2012 : hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia..... | 91 |
| Figure 39. Hydro-orographie du bassin versant du Kébir-Est | 101 |
| Figure 40. Réseau hydrographique du bassin versant du Kébir-Est | 103 |
| Figure 41. Carte des pentes du bassin versant du Kébir-Est. | 108 |
| Figure 42. Les bassins versants aux barrages : Barbara, Mexa et Bougous sur oued Kébir-Est..... | 110 |
| Figure 43. Carte géologique du Haut Kébir-Est. (Tourki, 2010 ; complétée)..... | 116 |
| Figure 44. Précipitations journalières maximales à la station de Ain Draham (période 1895-2018) (Frigui, 2019)..... | 121 |
| Figure 45. Bilan d'eau de la station de Ain Assel (période moyenne : 1990/91-2016/2017)..... | 125 |
| Figure 46. Variation des débits moyens mensuels à la station de Ain Assel (Période 1947/1948-2019/2020) | 128 |
| Figure 47. Coefficients mensuels des débits à la station de Ain Assel (période moyenne : 1947/1948-2002/2003)..... | 129 |
| Figure 48. Variation interannuelle des débits du mois de février à la station de Ain Assel (Période 1947/1948 – 2002/2003)..... | 130 |
| Figure 49. Variation interannuelle des débits du mois de février durant la période d'exploitation du barrage Mexa (Période 2003/2004-2019/2020)..... | 131 |
| Figure 50. Variation selon le mois de l'année du débit moyen journalier maximum à la station de Ain Assel (Période 2003/2004-2019/2020)..... | 132 |
| Figure 51. Variation selon le mois de l'année du débit moyen journalier maximum au barrage de Mexa (Période (2003/2004-2019/2020)..... | 133 |
| Figure 52. Variations annuelles du débit mensuel minimal annuel (QMNA) à la station de Ain Assel (période 1947/48 -2002/2003)..... | 135 |
| Figure 53. Répartition de la forêt par essence de la wilaya d'El Tarf conservation des forêts, 2022 ; complétée)..... | 137 |
| Figure 54. Localisation des barrages Mexa, Bougous et Barbara | 141 |
| Figure 55. Courbe Capacité-Surface-Hauteur du barrage de Mexa (bathymétrie de 2004)..... | 150 |
| Figure 56. Variation de la surface du lac de la retenue en fonction de la capacité de fin d'année... .. | 151 |
| Figure 57. Variations annuelles des principaux éléments du bilan d'eau du barrage de Mexa (période 2003/2004-2019/2020)..... | 153 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figure 58. Apports annuels et courbe de variation du rapport lâchers / apports au barrage de Mexa</i> | 155 |
| <i>Figure 59. Hydrogramme journalier du mois de février 2012 (Apport, déversement, lâchers et pluie) au barrage de Mexa</i> | 156 |
| <i>Figure 60. Courbe surface-capacité-hauteur du barrage de Bougous. (MRE- ANBT, 2011).</i> | 157 |
| <i>Figure 61. Variation interannuelle du volume régularisé (usage AEP) des barrages.....</i> | 160 |
| <i>Figure 62. Variations annuelles des principaux éléments du bilan d'eau du barrage de Barbara (période 2000/2001-2016/17).....</i> | 163 |
| <i>Figure 63. Variations journalières des apports et des déversements durant les deux crues exceptionnelles de février et mars 2012 au barrage de Barbara.</i> | 165 |
| <i>Figure 64. Variations annuelles des apports solides et liquides à la station de Ain Assel (1969/70-1989/90).</i> | 166 |
| <i>Figure 65. Variations mensuelles du volume du transport solide à la station de Ain Assel (période moyenne : 1969/70-1989/90).....</i> | 167 |
| <i>Figure 66. Hydrogramme journalier des apports, volume évacués et réserves durant les crues de février et mars 2012 au barrage de Mexa.</i> | 170 |
| <i>Figure 67. Hydrogramme journalier des apports et volumes évacués durant les crues de février et mars 2012 aux barrages de Mexa, Bougous et Barbara.....</i> | 172 |
| <i>Figure 68. Courbe de laminage horaire de la crue du 22/02/2012 au barrage de Mexa.....</i> | 174 |
| <i>Figure 69. Courbe de laminage horaire de la crue des 22 et 23 février 2012 au barrage de Bougous. (ANBT Exploitation Bougous, 2012).....</i> | 175 |
| <i>Figure 70. Courbe de laminage horaire de la crue des 9 et 10 Mars 2012 au barrage de Bougous. (ANBT Exploitation Bougous, 2012).....</i> | 176 |
| <i>Figure 71. Cadre géographique de la plaine d'El Tarf.</i> | 186 |
| <i>Figure 72. Carte Schématique des nappes souterraines de la plaine El Tarf (ABH, 2002).</i> | 188 |
| <i>Figure 73. Les secteurs du périmètre d'irrigation projeté d'EL Tarf. (MRE- AGID, 2003) complétée.</i> | 193 |
| <i>Figure 74. Coupe transversale sur l'oued Kébir-Est : deux digues de protection.....</i> | 196 |
| <i>Figure 75. Extrait du plan d'aménagement du périmètre d'irrigation de la plaine d'El Tarf (Zoom sur le lot B : secteur Lac des oiseaux) (MRE- AGID, 2003).....</i> | 200 |
| <i>Figure 76. Schéma du système D1 et digue 1 au Sud de l'Oued Kébir-Est.....</i> | 206 |
| <i>Figure 77. Schéma du système D2 et digue 2 au Sud de l'Oued Kébir-Est.....</i> | 206 |
| <i>Figure 78. Schéma du système D6 (dignes 3 et 5) de l'oued Boulathane.....</i> | 207 |
| <i>Figure 79. Les surfaces inondées au bord du Lac Oubeira (sept jours après l'inondation des 22 et 23 février 2012) (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).</i> | 211 |
| <i>Figure 80. Etat de la plaine d'El Tarf en deux dates différentes (avant et après l'inondation de février 2012). (ASAL, 2018).</i> | 211 |
| <i>Figure 81. Image satellitaire visualisant l'extension des surfaces inondées durant la crue du 22-23 février 2012 (https://asal.dz).</i> | 212 |
| <i>Figure 82. Vue générale et extension de l'inondation de février 2012 sur la plaine d'El Tarf. (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).</i> | 212 |
| <i>Figure 83. État de l'inondation du 22 février (avant et après l'inondation). (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).</i> | 213 |

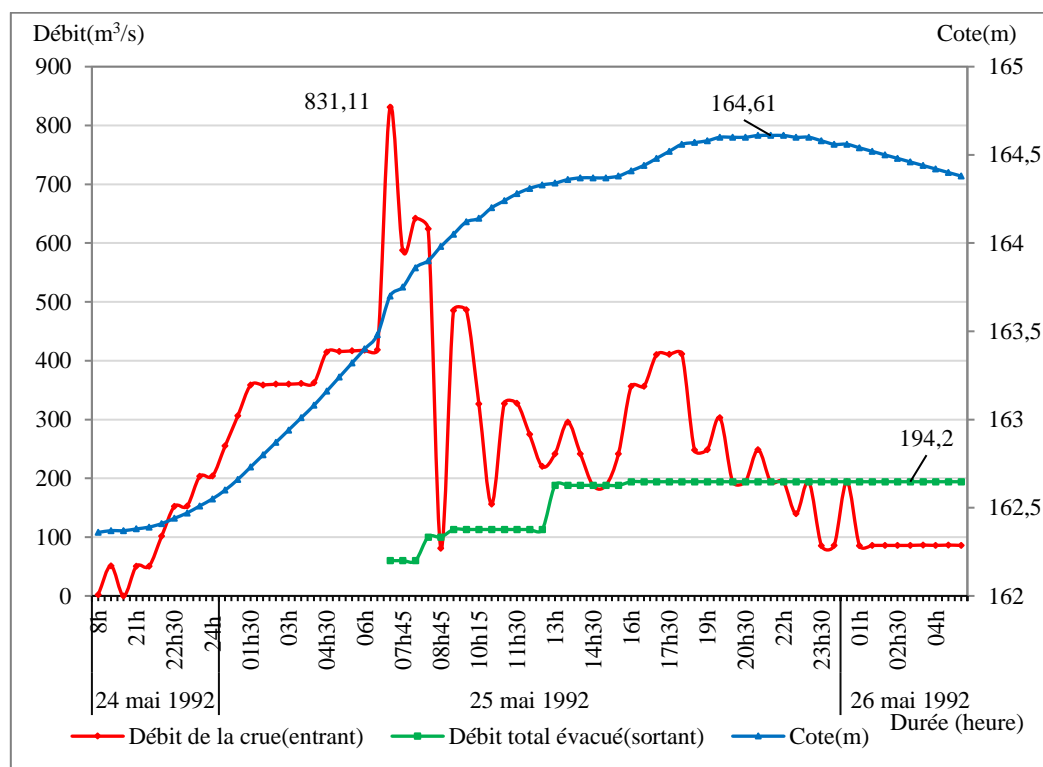
| | |
|--|-----|
| <i>Figure 84. Etat des retenues des barrages de Mexa et Bougous le 1 mars 2012. (Actes de l'Atelier « Utilisation des technologies spatiales au service du secteur de l'eau» Alger le 22/11/2012).</i> | 213 |
| <i>Figure 85. Digue 6 et 7 : les points endommagés ; Pont reliant El Tarf ville et l'agglomération de Ain Khiaar (photos 34 et 35). (DRE, 2015).</i> | 215 |
| <i>Figure 86. Digue 4 : Dommages au niveau de la jonction de la digue 4 avec un Ouvrage annexe (photos 38 et 39). (DRE, 2015).</i> | 216 |
| <i>Figure 87. Situation géographique des agglomérations dans la plaine inondable d'El Tarf (Image satellitaire de l'ASAL, 2012 complétée).</i> | 218 |
| <i>Figure 88. Situation géographique de l'agglomération chef-lieu (ACL) de Ben M'hidi.</i> | 221 |
| <i>Figure 89. Carte du réseau hydrographique et des pentes de la commune de Ben M'hidi</i> | 223 |
| <i>Figure 90. Agglomération de Ben M'hidi (ex. Morris) en 1958 (Extrait de lac carte topographique de Mondovi au 1/50000, IGN 1958)</i> | 225 |
| <i>Figure 91. Carte du risque inondation dans l'ACL de Ben M'hidi (Lafifi et Toumi, 2020).</i> | 227 |
| <i>Figure 92. Mobilisation en eau de surfaces du bassin de la Mafragh : barrages en exploitation et en projet (vue en 3 D).</i> | 238 |
| <i>Figure 93. Courbe de duration moyenne annuelle future des débits moyens journaliers déversés par l'évacuateur de crues du Barrage de Mexa. (ANBT- APD, Prise d'eau Kébir-Est, 2017)</i> | 242 |
| <i>Figure 94. Barrages et Schéma d'interconnexion du système-Est proposé dans l'étude de la prise d'eau sur Kébir-Est</i> | 248 |
| <i>Figure 95. Schéma hydraulique des Transferts EST « Prise Kebir-est – Boukhroufa- Boulathane » et Ouest « BounamoussaII- Boulathane», et d'interconnexions des barrages projetés au niveau du Bassin versant de la Mafragh (MRE- AGID, 2003, complétée).</i> | 249 |
| <i>Figure 96. Distribution de l'eau du barrage de Cheffia au profit des trois usagers (période de septembre 2016 à décembre 2017).</i> | 262 |
| <i>Figure 97. El Tarf en 1960(Extrait de la carte topographique de Boutheldja 7-8 au 1/25000, IGN 1958).</i> | 265 |
| <i>Figure 98. Position et orientation des deux jetées(le vert représente la variante maintenu) qui devront encadrer le chenal de la Mafragh (d'après DRE, HPO 2013).</i> | 266 |
| <i>Figure 99. Schéma d'aménagement intégré du bassin versant de la Mafragh</i> | 276 |

Liste des Photos

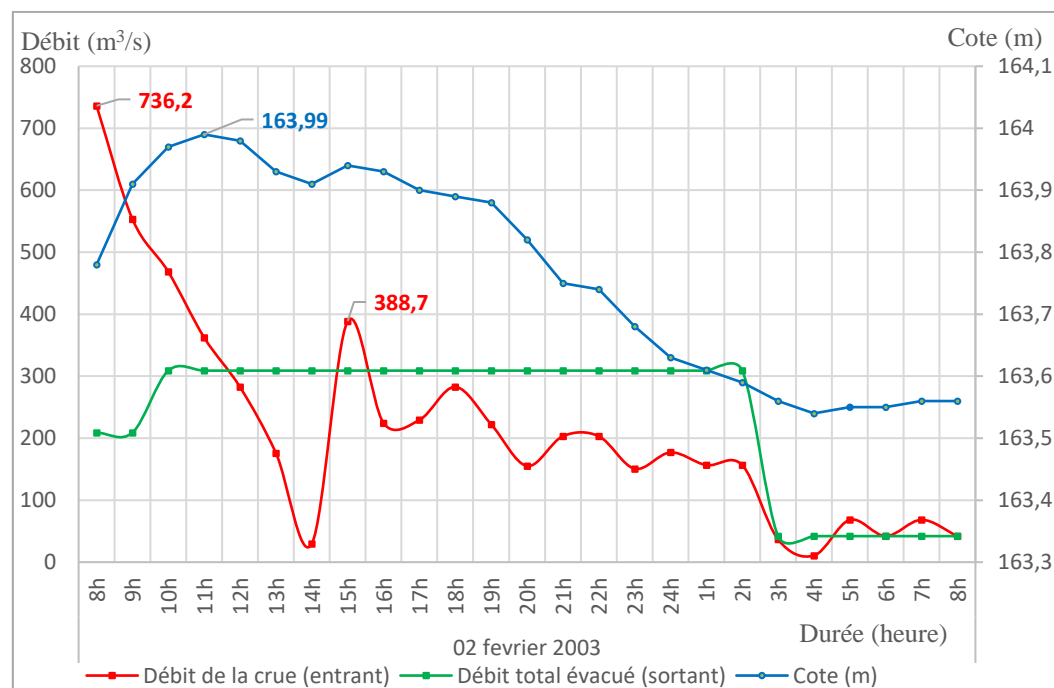
| | |
|---|-----|
| <i>Photo 1 : Tour de prise d'eau du barrage de Cheffia (Affoun, 2018)</i> | 62 |
| <i>Photo 2 : Bassin de dissipation et conduite de restitution du barrage Cheffia (Affoun, 2018)</i> | 62 |
| <i>Photo 3 : Dégâts après la crue de février 2012.a .et .b. Erosion des berges du lac du barrage (Affoun, 28 octobre 2017).</i> | 75 |
| <i>Photo 4 : Vue générale des dégâts sur le bassin de dissipation après la crue des 27 et 28 mars 1973(SEH, 1973). a. Vue à partir de la digue. b. Vue de la sortie du bassin de dissipation.</i> | 85 |
| <i>Photo 5 : Destruction d'un tronçon de la conduite d'irrigation (Affoun, 20 novembre 2018).</i> | 89 |
| <i>Photo 6 : Dégradation du talus à l'exutoire du bassin de dissipation sur la rive gauche (Affoun, 20 novembre 2018)</i> | 89 |
| <i>Photo 7 : Inondation de l'agglomération de Bouhllala (Daira de Ben M'hidi) RN 44 vers Annaba (Wilaya d'El Tarf, 2012)</i> | 90 |
| <i>Photo 8 : Inondation du nouvel aéroport d'Annaba vers la commune d'Echatt (RN84A) (Wilaya d'El Tarf, 2012)</i> | 90 |
| <i>Photo 9: Inondation sur les rives de la Bounamoussa, pont à l'entrée de Ben M'hidi sur la RN44. Crue des 22-23 février 2012. (Wilaya d'El Tarf, 2012).</i> | 90 |
| <i>Photo 10 : Inondation à l'aval de l'oued Bounamoussa. Crue du 22-23 février 2012 (Wilaya d'El Tarf, 2012).</i> | 90 |
| <i>Photo 11: Pâturage dans Garâat 'Khada.Village El Feid (commune Lac des Oiseaux) (Affoun, 16 mars 2006).</i> | 104 |
| <i>Photo 12 : Digue et évacuateur de crue du barrage de Mexa. (ANBT Mexa, 2017).</i> | 144 |
| <i>Photo 13 : Evacuateur de crue du barrage de Mexa. (ANBT Mexa, 2017).</i> | 144 |
| <i>Photo 14: Vue générale du barrage de Bougous. (ANBT, 2015).</i> | 146 |
| <i>Photo 15: Evacuateur de crue du barrage de Bougous (ANBT, 2011)</i> | 146 |
| <i>Photo 16: Vue générale du lac du barrage de Barbara et de son bassin versant https://www.google.com/imgres)</i> | 149 |
| <i>Photo 17: Fonctionnement de l'évacuateur de crue du barrage de Mexa (crue du 16/12/2018) (ANBT, 2018).</i> | 169 |
| <i>Photo 18: Dégâts de la crue des 22 et 23 février 2012 sur l'évacuateur de crue du barrage de Mexa (Affoun, mai 2017)</i> | 178 |
| <i>Photo 19: Digue (ouvrage de protection). (ONID El Tarf, 2011)</i> | 198 |
| <i>Photo 20: Passage sous-digue équipé de deux clapets anti-retour (digue 6). (ONID El Tarf, 2011).</i> 198 | |
| <i>Photo 21: Passage busé sous-piste. (ONID El Tarf, 2011)</i> | 198 |
| <i>Photo 22: Bouche de décharge. (ONID El Tarf, 2011).</i> | 198 |
| <i>Photo 23: Fossé principal (D3) à ciel ouvert. (ONID El Tarf, 2011)</i> | 198 |
| <i>Photo 24: Station de pompage équipée de 4 pompes. (ONID El Tarf, 2011).</i> | 198 |
| <i>Photo 25 : Curage de la barre sableuse formée au niveau de la Mafragh le 09/02/2017(DRE de la Wilaya d'El Tarf, 2017). a. Formation de la barre sableuse le 09/02/2017 à 7 h du matin.. b. Curage de la barre sableuse le 09/02/2017 à 16 h. c. Ouverture de la barre sableuse le 10/02/2017 à 7 h du matin (plage El Batah)</i> | 203 |
| <i>Photo 26. Passage busé (3×1000) digue 6 route Ain Khiair (ONID, 2012)</i> | 208 |
| <i>Photo 27: Dégradation de la digue 1 (ONID,</i> | 209 |
| <i>Photo 28: Destruction d'un tronçon de la digue 2 (ONID, 5 mars 2012)</i> | 209 |
| <i>Photo 29: Destruction d'un tronçon de la digue 3 (ONID, 5 mars 2012)</i> | 210 |

| | |
|--|-----|
| <i>Photo 30: Erosion différentielle sur le talus de la digue 4 (ONID, 5 mars 2012).</i> | 210 |
| <i>Photo 31: Dégâts sur la digue rive gauche Oued Boulathane. (ONID, 5 mars 2012).</i> | 210 |
| <i>Photo 32: Tronçon emporté de la digue 5. (ONID, 5 mars 2012)</i> | 210 |
| <i>Photo 33: Sapement de la digue 5 côté Oued Kébir (ONID, 5 mars 2012)</i> | 210 |
| <i>Photo 34: Surverse de la digue 6, l'eau coule vers les terres agricoles du côté du pont de la route reliant (El Tarf -Ain Khiar). (DRE, 2015).</i> | 215 |
| <i>Photo 35: Dysfonctionnement du Clapet à Ogbet Chaïr passage sous-digue 6 d'El Tarf. (DRE, 2015).</i> | 215 |
| <i>Photo 36: Digue 5 : Dégradation au niveau de la jonction de la digue avec un ouvrage annexe ; passage sous-digue avec clapet (DRE, 2015).</i> | 215 |
| <i>Photo 37: Digue 5 : Erosion différentielle du corps de la digue sur un linéaire de 03 Km. (DRE, 2015).</i> | 215 |
| <i>Photo 38: Dégât réparé au niveau de l'ouvrage de l'oued Lahmar (passage sous-digue 4 avec clapet anti-retour. (DRE, 2015).</i> | 216 |
| <i>Photo 39: Digue 4 endommagée au niveau de la jonction de la digue avec l'ouvrage annexe équipée d'un clapet anti-retour (Oued Lahmar) (DRE, 2015).</i> | 216 |
| <i>Photo 40: Sauvetage des familles sinistrées le jour de l'inondation Bouroumana, Ben M'hidi) (DPC, 2012). a. Ecole primaire de Bouroumana. b. Niveau d'eau à proximité d'une maison à Bouroumana.</i> | 229 |
| <i>Photo 41: Agglomération secondaire Sidi Kaci (El Mazdour) : Dégâts au niveau des équipements ménagers des familles sinistrées (DPC, 2012).a.Maison 1 à El Mazdour.b. Maison 2 à El Mazdour</i> | 230 |
| <i>Photo 42: Niveau d'eau atteint le premier jour de l'inondation du 22 février 2012 (habitation dans Bouhllala commune de Ben M'hidi).(Wilaya d'El Tarf, 26 février 2012)</i> | 231 |
| <i>Photo 43: Lac du barrage de Cheffia à sec le 28 octobre 2017 (Affoun, 28 octobre 2017)</i> | 260 |

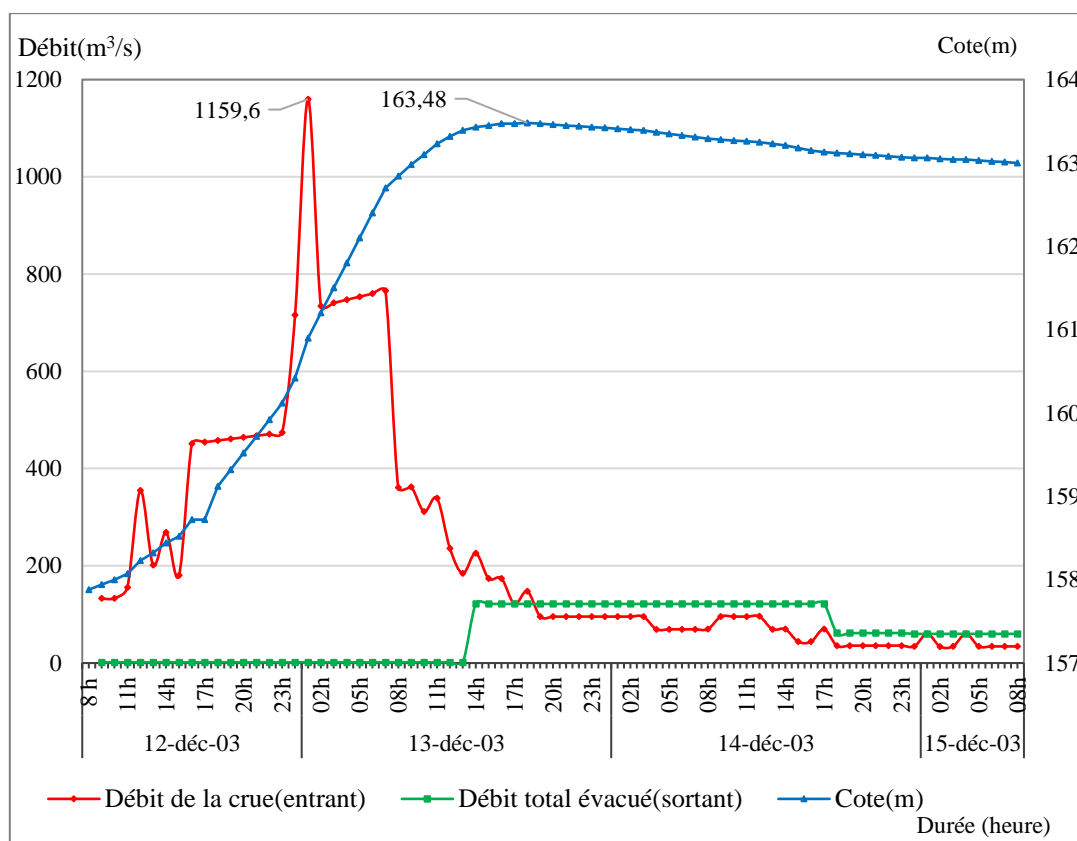
ANNEXES



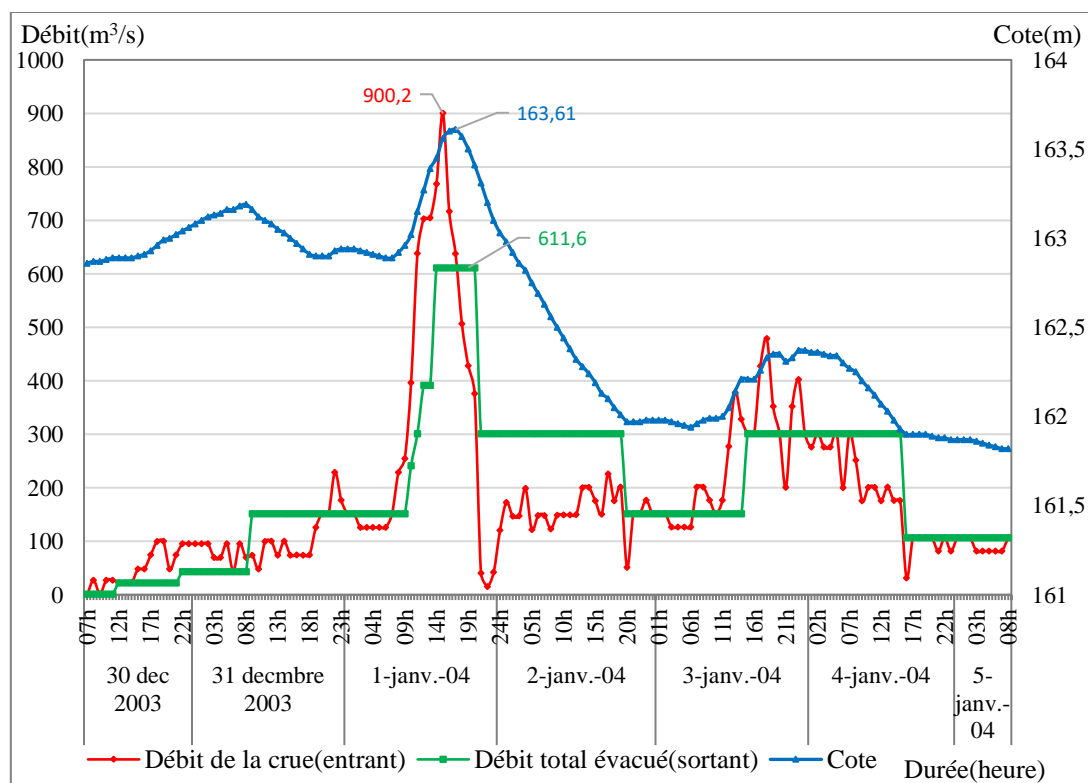
Annexe 1. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue des 24-26 Mai 1992.



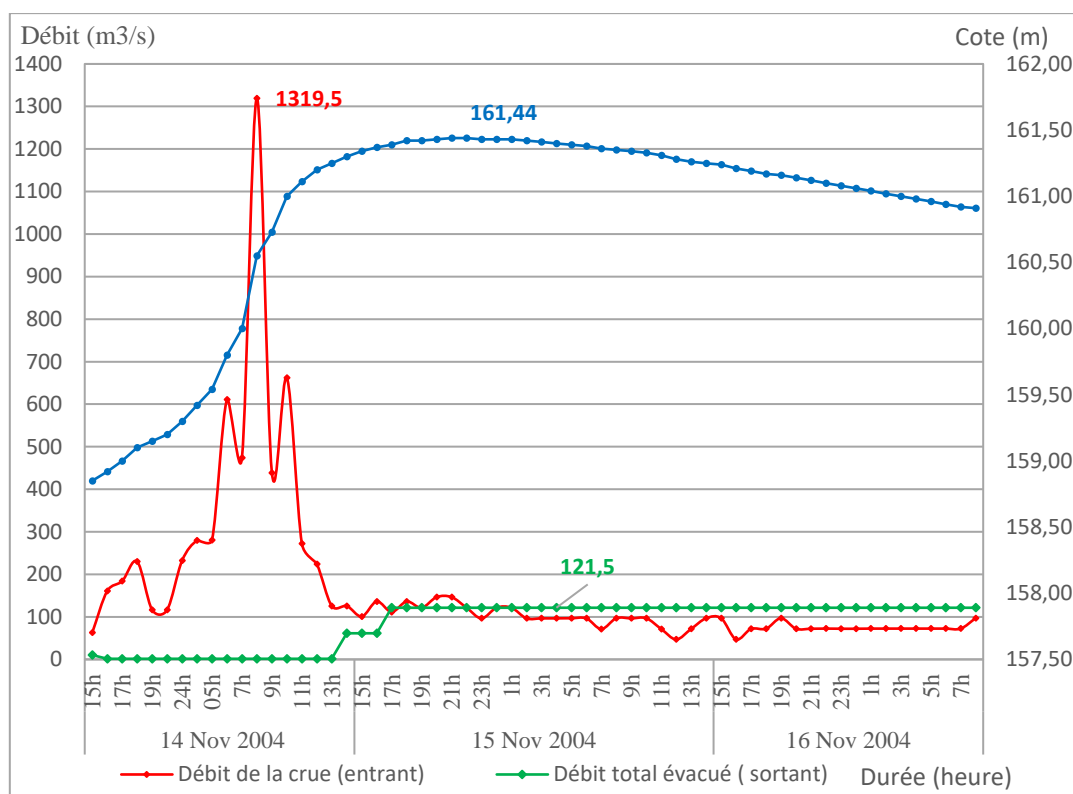
Annexe 2: Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage Cheffia :
Crue du 1 Février 2003.



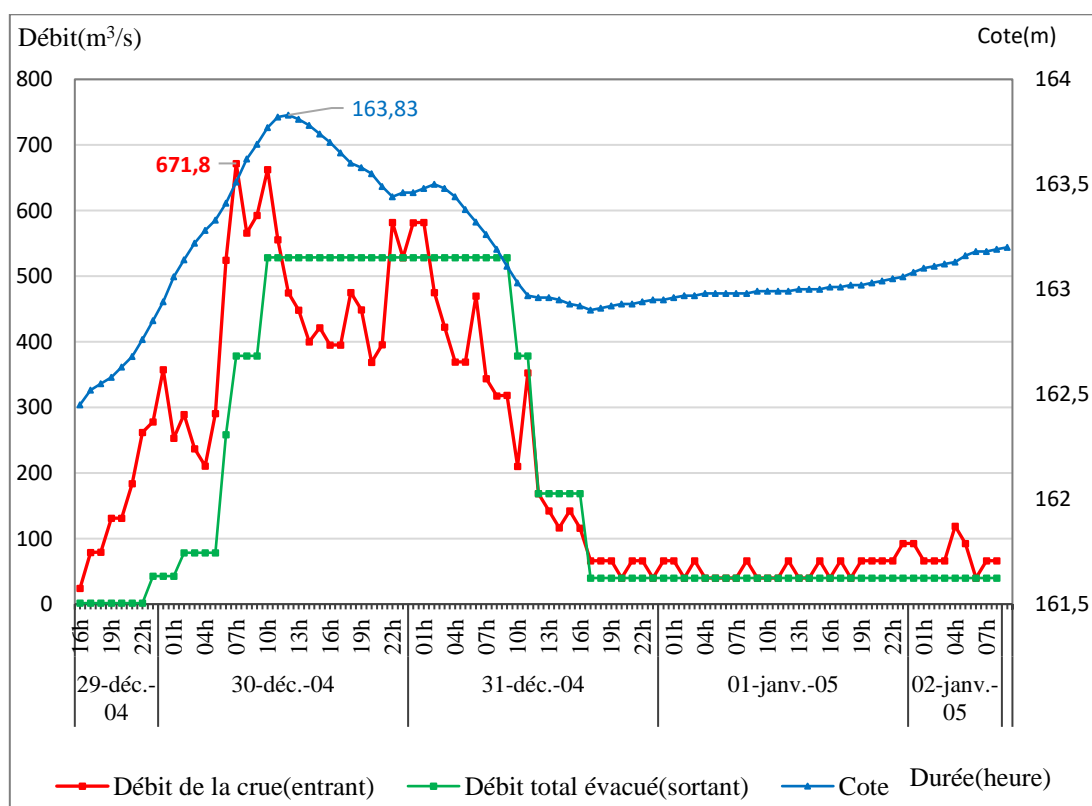
Annexe 3. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue du 12 au 15 décembre 2003.



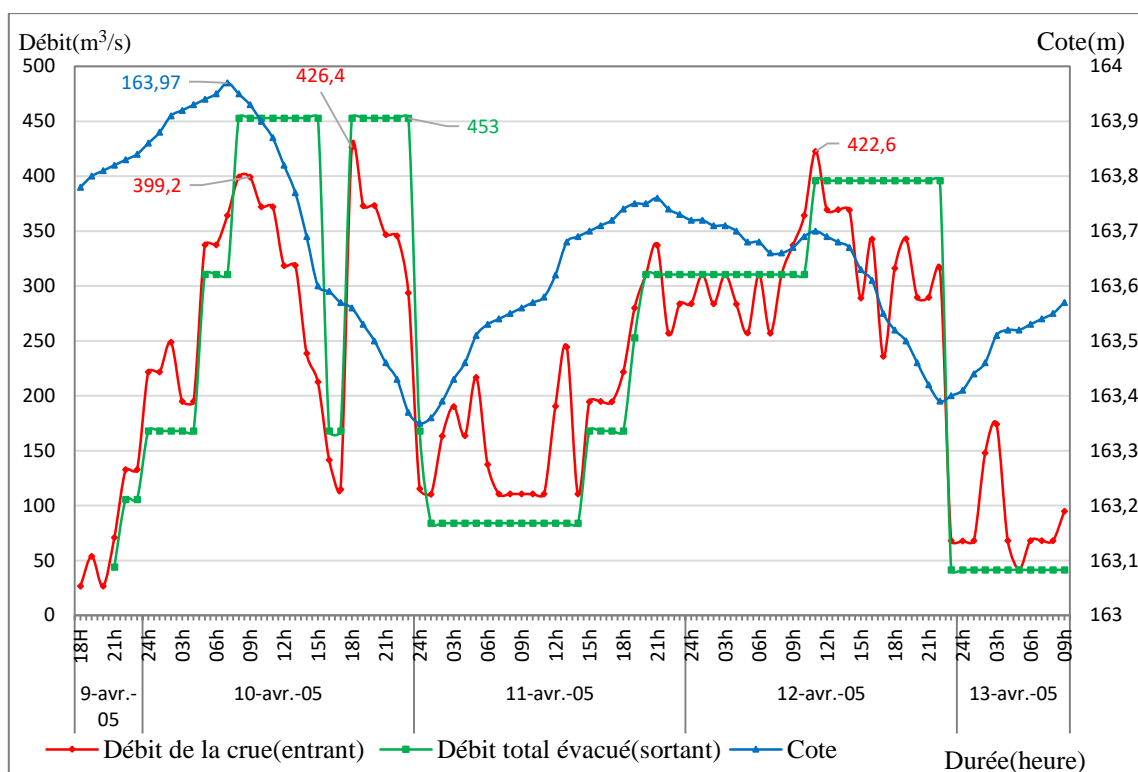
Annexe 4. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue du 30 décembre 2003 au 5 janvier 2004.



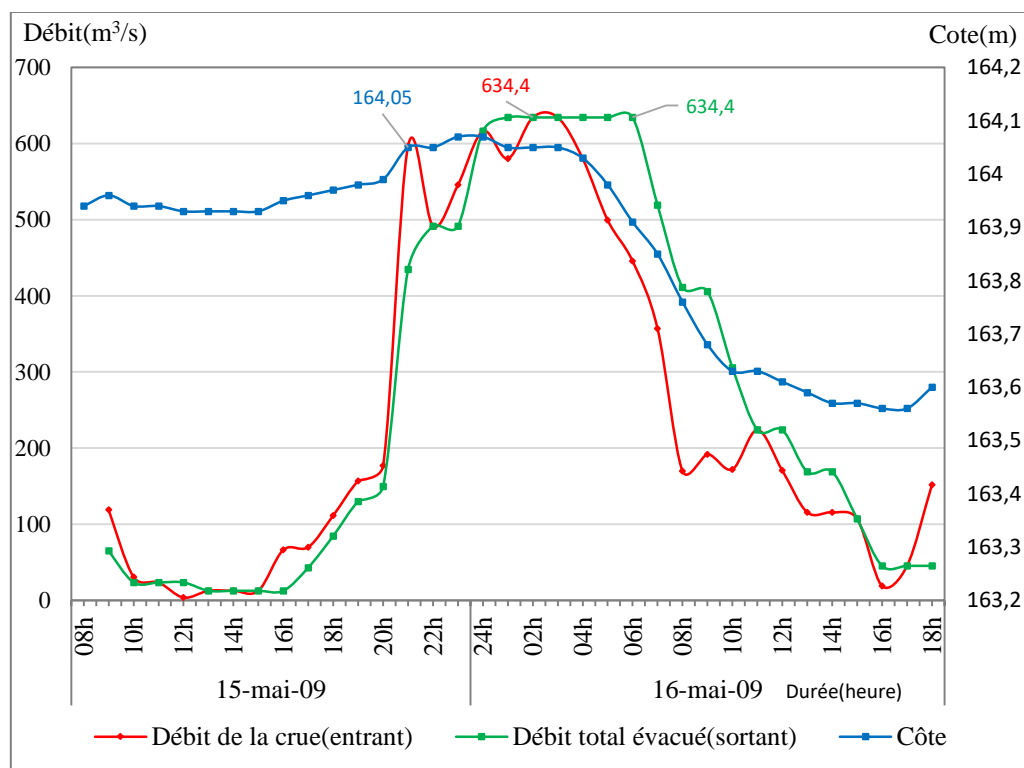
*Annexe 5: Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage Cheffia.
Crue des 14-15 et 16 Novembre 2004*



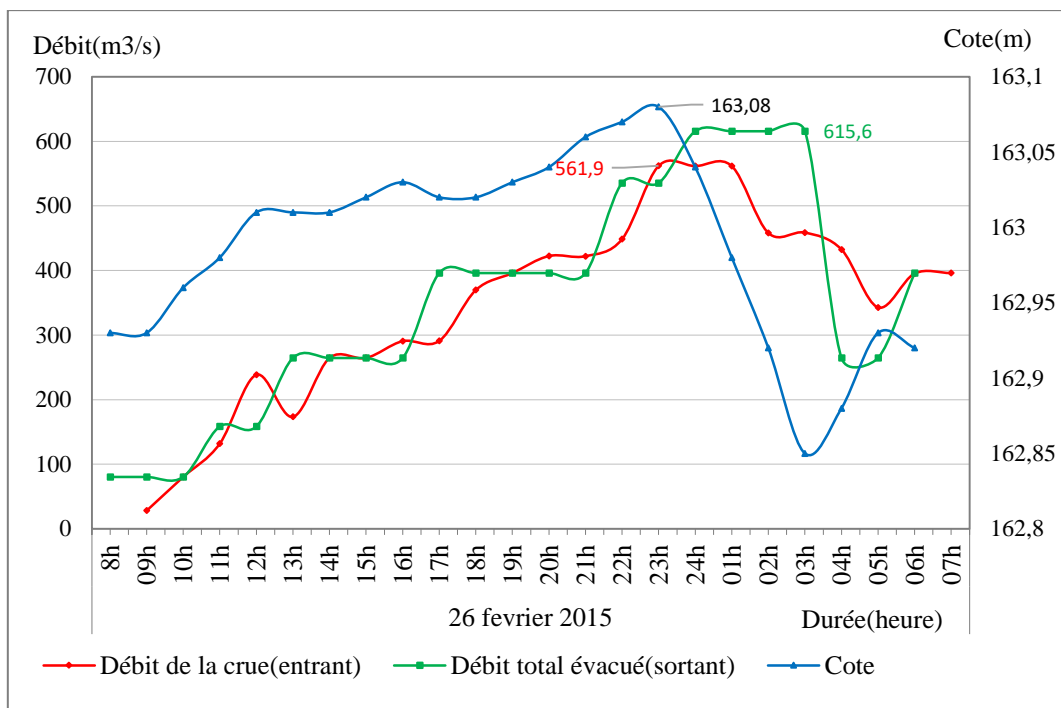
*Annexe 6. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue du 29 décembre 2004 au 02 janvier 2005.*



Annexe 7. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue du 9 au 13 avril 2005.



Annexe 8. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue des 15 et 16 mai 2009.



*Annexe 9. Hydrogramme horaire et débit évacué au barrage de Cheffia :
Crue du 26 février 2015.*

*Annexe 10. Dégâts des crues (2012 et 2015) recensés par système de drainage.
(ONID et DRE, 2012 et 2015).*

| Ouvrage | Dégâts recensés après les crues de février, mars 2012 et janvier 2015 |
|--|--|
| Lot A | |
| Système D1 | <ul style="list-style-type: none"> -Formation des bouchons par des dépôts de sédiments au niveau des ouvrages génie civil (côté amont et aval de l'ouvrage). -Instabilité du talus au niveau de l'intersection du Khelidj avec la digue1 au (pk : 0+800). - Dégradation en quelques points des pistes longeant la digue 1 et le fossé principal D1 et les fossés secondaires. -Manque un passage busé sous-digue avec un clapet anti retour au (pk : 0+850) - Dégradation de la digue 1 sur 130ml au (pk : 0+950) - Dégradation de la piste d'accès à la station de pompage - Dégradation des pistes longeant la digue 4 sur 100 ml. - Inondation de la station de pompage, elle est inaccessible pendant plusieurs jours. |
| Système D2, D3 Chnacher située à l'ouest de la route liant Lac des oiseaux -Sebaa (partie Est de Garâat El M'khada) | <ul style="list-style-type: none"> - Dégradation en quelques points sur les pistes longeant la digue 2 et le fossé principal D2 et les fossés secondaires. - Ouvrages génie civil (passage-sous-busé) insuffisant et sous dimensionné pour évacuer les eaux sur la digue 2 au (pk : 4+000) et au (pk : 4+200). - Dignes endommagées sur les deux points (pk : 7+200) et (pk : 7+400) soit 200 ml emportés par les crues. - Piste sur la digue 2 emporté par les eaux sur un tronçon de 1000 ml. - Détérioration de l'amont de l'ouvrage D2-1. - Les passages sous-busés sont sous dimensionnés et insuffisant pour l'évacuation des eaux au niveau de l'intersection du fossé secondaire D2-1. |
| Système D3, D4 et D5 | <ul style="list-style-type: none"> - Dégradation en quelques points des pistes longeant la digue 3 et le fossé principal D3, D4 et D5 et les fossés secondaires sur 2000 ml. - Dégradation du talus de la digue 3 - Erosion différentielle sur le talus de la digue 4. - Obstruction côté amont et aval des ouvrages génie civil. |
| Système D6 | Point noir1 du projet : <ul style="list-style-type: none"> - Dégradations en plusieurs points des pistes longeant la digue 5 et le fossé principal D6 et les fossés secondaires |

| | |
|-------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Dégradation de la digue 3 et la digue rive gauche Boulathane sur 300 ml et un tronçon de la digue 5 sur 500 ml. - Deux Khelidjs barré par la digue 5 et la digue rive droite de l'oued Boulathane, ont causé la dégradation de la digue sur un tronçon 800 ml et le sous-dimensionnement du passage sous-digue 5. - Sapement de la digue 5 côté oued Kébir-Est - Obstruction des fossés par des bouchons de sédiments. - Passage sous-digue endommagé sur la rive gauche Boulathane au (pk : 0+600). |
| Système D7 | <ul style="list-style-type: none"> - Dégradation en quelques points des pistes longeant la digue 5 et le fossé principal D7 et les fossés secondaires. - Obstruction du fossé D7 par les dépôts de crue sur un tronçon de 700ml à partir de la digue 5. Sapement de la digue5 côté Oued Kébir-Est. |
| Système D9 | <p>Point noir 2 du projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Débordement de l'oued Lahmer vers les terres situées entre la digue 4 et la route vers Righia. - Sous dimensionnement du passage sous-digue 4. - Erosion à l'intersection de l'oued Lahmer avec la digue4 - Obstruction du fossé D9 sur 500 ml. |
| Lot B | |
| Système K1 | <ul style="list-style-type: none"> - Dégradation en quelques points des pistes longeant la digue 7 et le fossé principal K1 et les fossés secondaires. - Destruction de la digue 7 au niveau de l'intersection de cette dernière avec la route (Tarf-Ain Khia) sur un tronçon de 800ml - Obstruction des fossés par les sédiments et les dépôts des crues |
| Système K5 | <ul style="list-style-type: none"> - Détérioration de la digue 6 au (pk : 0+000) et au (pk : 1+900) et à l'intersection de cette dernière avec la route (Tarf- Ain khia). - Dégradation en quelques points des pistes longeant la digue 6 et le fossé principal K5 et les fossés secondaires |

Annexe 11. Les réparations recommandées des ouvrages de l'aménagement hydroagricole d'El Tarf affectés lors de la crue des 22 février 2012 (ONID, 2012).

| Ouvrages affectés | Type de réparation réalisé | Objectif |
|---|---|--|
| Système D1 : Digue (Intersection du Khelidj avec la digue 1 au (pk : 0+800) Fossé D1 | -Réalisation d'un passage busé sous-digue avec un clapet anti-retour. -Réalisation de deux passages busés sous digue 2 au (pk : 4+000) et au (pk : 4+200). -Nettoyage de l'ouvrage génie civil (côté amont et aval) | Évacuation des volumes excédentaires |
| | -Réalisation d'un noyau filtrant -Renforcement en tout-venant de carrière(TVC) sur un linéaire de 100 ml digue 1 et 2. | Assurer la stabilité du talus de la digue |
| Système D2 : -Digue2 -Intersection du fossé secondaire | -Reconstruction des deux tronçons de la digue 2 (pk : 7+200) et (pk : 7+400) soit 200 ml emportés par les crues. | Ajustement de l'état de la digue |
| | -Pose de deux buses diamètre 1500 mm. -Réalisation de deux passages busés sous digue 2 (pk : 4+000) et au (pk : 4+200). | Évacuation des eaux |
| Système D3, D4 et D5 : Fossés principaux (D3, D4 et D5) et secondaires -Digue 3 | -Nettoyage côté amont et aval des ouvrages génie civile et des fossés principaux : D3, D4 et D5. - Renforcement en TVC sur 2000 ml des pistes longeant la digue 3 et les fossés principaux D3, D4 et D5 et les fossés secondaires. - Réalisation des rampes chaque 500 ml | Ajustement de l'état des pistes |
| Système D6 : Digue rive droite de l'oued Boulathane | -Prolongation de la piste sur la digue rive droite Boulathane sur 800 ml. -Réalisation d'une chute à l'intersection de l'oued Boulathane avec Oued Kebir-Est. -Réalisation d'un noyau filtrant sous digue rive gauche Boulathane au (pk : 0+600). -Renforcement en TVC les tronçons dégradés de la digue sur 500 ml. -Réalisation d'un passage sous- digue 5 type R+2 (6 buses de diamètre 1500 mm) | Correction des erreurs techniques dans l'étude (sous-estimations des passages sous-digues et obstruction des Khelidjs existants) Évacuation des volumes excédentaires |
| Système D7 et D9 | -Renforcement en TVC les tronçons dégradé sur 800 ml et réalisation des rigoles (Digue 5 sur fossé D7 et Digue 4 sur fossé D9) -Pose des passages busés sur 04 points au niveau du fossé D9 -Ouvrages génie civil : réalisation d'un passage-sous la digue 04 au niveau de l'oued Lahmer type (R+2) avec 6 buses de diamètre 1500 mm) | Amélioration de la qualité des ouvrages réalisés (dégradé sous l'action de l'eau) Correction des erreurs techniques dans l'étude (pour évacuer les volumes excédentaires) |

| | | |
|--------------------|--|---|
| Station de pompage | -Aménagement de l'extérieur de la station de pompage. -Ouvrages génie civil : confortement du passage de franchissement au niveau du fossé D2 en TVC y compris la réalisation d'un tronçon de piste sur 500 ml. -Construction d'un abri pour le groupe électrogène | Assurer le bon fonctionnement de la station |
|--------------------|--|---|