

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche
Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologie

Département des Sciences et Technologie

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'eau et de l'environnement

THEME:

***TITRE : Etude de la vallée du M'Zab Recalibrage d'un tançons de
l'ATTEUF (W de Ghardaïa)***

PAR : Nour El houda chehma

: Aicha Bouhadda

Jury:

M^F: Boubelli Salim

Maitre Assistant A Univ. Ghardaïa

Encadreur

M^F: Mecheri Bachir

Maitre Assistant A Univ. Ghardaïa

Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2013/2014

Résumé :

La protection contre les inondations dans la vallée du M'Zab est le but de notre étude. Cette protection repose sur plusieurs corrections le long de la vallée après un inventaire des sites présentant un risque d'inondation. L'inventaire nous permis de recenser au niveau de la zone d'étude, les degrés de risque et de classés selon le degré de gravité des inondations qu'ils subissent et le degré d'urgence des interventions déterminés sur la base de l'ampleur des dégâts constatés ou potentiels. Donc l'aménagement de la vallée est question de faire un choix sur les différents corrections (endiguements, murs de berge, correction et recalibrage du lit de l'oued etc.....) à mettre en place afin d'augmenter la capacité hydraulique du cours d'eau considéré.

Mots clés : protection, la vallée du M'Zab, inondation et aménagement.

Summary:

Protection from flooding in the valley of the M'Zab is the goal of our study. This protection is based on several corrections along the valley after inventory locations of flood risk. Allowed us to determine the level of inventory of the study area, and the levels of risk and classified according to the severity of the floods and they undergo urgent determined on the basis of the interventions on the scope and degree of harm or potential. Thus, the development of the valley on the verge of making a choice on the various corrections (dams, embankment walls, patch and re-evaluation of the valley floor) to put in place to increase the hydraulic capacity of the streams considered.

Keywords: protection, the valley of the M'Zab, flood and development.

ملخص :

الحماية من الفيضانات في وادي ميزاب هو الهدف من دراستنا. وتستند هذه الحماية على عدة تصويبات على طول الوادي بعد جرد المواقع المعرضة لمخاطر الفيضانات. سمح لنا الجرد على مستوى منطقة الدراسة من تحديد مستويات المخاطر وتصنيفها وفقا لشدة الفيضانات التي تخضع لها و درجة الإسراع في اتخاذ التدابير اللازمة. وبالتالي فإن تهيئة الوادي هي مسألة اتخاذ مختلف التصحيحات (السدود وجدران الضفاف، والتصحيح وإعادة تقويم قاع الوادي الخ) لوضعها في المكان المناسب لزيادة القدرة الهيدروليكية للمجرى المائي محل دراسة.

الكلمات المفتاحية: الحماية، وادي ميزاب، الفيضانات و التهيئة.

Grace au bon Dieu je dédie ce modeste travail :

Je dédie ce modeste travail à mes chers

Parents à ma formidable mère qui m'a toujours soutenu, qui m'a toujours encouragé et qui n'a jamais cessé de croire, À mon père qui a toujours su me donner les meilleurs conseils pour ma réussite. À mon très chers frère Walid à qui je souhaite beaucoup de réussite dans la vie.

À mes deux petites sœurs Messaouda et Khouloud à qui je souhaite beaucoup de réussite.

À toute la famille .

À mon binôme Aicha, avec qui j'ai passé des moments inoubliables. "

À mon très chers oncle Flyes Aissa

À mon fiancé Mostapha.

À mes amis Safia, Faiza, Sara, Zineb, Amel , Djihade Et à tous ceux qui me sont chers

À la promotion d'Hydraulique 2013/2014 à qui je rends hommage pour la formidable ambiance qui a régné parmi nous durant ces trois merveilleuses années, et qui va énormément me manquer.

Nour El Houda Chekma

Grace au bon Dieu je dédie ce modeste travail :

A mon très chère père qui nous à quitte pour toujours.

*A celle qui m'a mise au monde et m'a remplie de sa tendresse,
qui s'est sacrifiée pour que cet heureux jour arrive, A celle qui a
attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation*

A ma très chère Mère .

*A ma très chère frère Nadir à qui je souhaite beaucoup de
réussite dans la vie.*

*A ma sœur Horiya et son mari Maamar et leurs enfants
« Ahmed, Ihsan, Mohamed, Nour el houda »*

*A mes frères « Kacem, Fossien, Brahim, Omar » à qui je
souhaite beaucoup de réussite dans la vie.*

*A mes belles sœurs Amina à qui je souhaite beaucoup de
réussite dans la vie.*

À ma chère amie et binôme Nour El Houda.

*A mes amis Safia, Faiza, Sara, Amel, Et à tous ceux qui
me sont chers*

*A la promotion d'Hydraulique 2013/2014, et qui va
énormément me manquer.*

Aicha Bouhadda

Remerciements

Merci à notre bon Dieu, notre guide, notre force, notre bonheur, et la raison de notre existante. C'est lui qui nous a fait comprendre le but de cette vie, et qui nous a donné le pouvoir d'aimer les gens et d'apprécier les choses. Merci d'être là dans les moments les plus difficiles.

Merci à notre très chère professeur et encadreur Mr Boubelli Salim, pour tout le temps qu'il nous a consacré, et tout l'intérêt qu'il nous a accordé, pour tous les conseils qu'il nous a donné, et les remarques qu'il nous a fait.

Il était toujours présente et prête à nous aider. Les mots ne sont pas suffisants pour vous remercier.

Merci

Nous tenons à remercier M Moulay et Mr Culed Bel Khaire , Mr ben Adda , Mr Daheur , Mr mechri , M pour leur conseils, et leur gentillesse .

Nous tenons à remercier Mr. Zahaff Mohamed pour ses conseils, et sa gentillesse.

C'est avec un plaisir particulier que nous remercions les Gents de la direction des Ressources en Eau pour tout l'intérêt qu'ils nous ont accordé.

Nous remercions très chaleureusement toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Merci

TABLE DES MATIERES

I. Introduction Générale	2
--------------------------------	---

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Description de la ville.....	4
I.1.1. Position géographique	5
I.1.2. Historique de la ville	7
I.1.3. Géologie générale.	7
I.1.4. Relief.....	10
I.1.5. Climat.....	10
I.1.6. Vallée du M'Zab.....	11
I.2. Présentation globale de la situation actuelle.....	12
I.2.1. Problématique.....	12
I.2.2. Objectif.....	12
I.2.3. Outils.....	12

CHAPITRE II : HYDROCLIMATOLOGIE

II.1. Introduction.....	13
II.2. Les paramètres météorologiques déterminants.....	13
II.2.1 Les précipitations.....	13
II.2.2 précipitation moenne mensuelles.....	14
II.2.2.1. Représentation graphique des précipitation.....	14
II.2.3. La température.....	15

TABLE DES MATIERES

II.2.3.1 .Représentation graphique des températures.....	15
II.2.4. Le vent.....	16
II.2.4 .1.Représentation graphique des vitesses de vent.....	17
II.2.5. L'humidité relative de l'air.....	17
II.2.5.1. Représentation graphique des l'humidité.....	18
II.2.6 L'évaporation.....	18
II.2.6.1. Représentation graphique de L'évaporation.....	19
II.2.7 Insolation.....	19
II.3. Diagramme Ombro thermique de GAUSSEN.....	20
II.4. Bilan hydrique.....	21
II.4.1. L'évapotranspiration.....	22
II 4.1.1. L'évapotranspiration réelle (ETR).	23
II.4.1.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	23
II.5.Conclusion.....	24

CHAPITRE III : SYNTHESE HYDROLOGIQUE

III. 1 Introduction.....	25
III. 2. Méthodes de prédétermination des débits de crue.	25
III. 2.1. Cas où les données hydrométriques existent en nombre suffisant.	25
III.2.2. Cas où les données hydrométriques sont insuffisantes.	26
III.2.3. Cas où il n'existe pas de données hydrométriques.	27
III.3. Intérêts de la recherche historique.	28
III .4. Caractéristiques du bassin versant de l'Oued M'Zab.....	29

TABLE DES MATIERES

III .4. 1. Indice de pente globale Ig.....	30
III .4.2. Caractéristiques géologiques.	31
III .5. Précipitations du bassin versant du M'Zab.....	32
III .6. Crues de l'Oued M'Zab.....	33
III .6.1. Sources de données.....	34
III .6.2. Inventaire des crues.....	34
III .7. Similitude et analogie entre les bassins versants.....	38
III .7.1. Similitude des caractéristiques physiques.....	38
III .7.2. Similitude de la pluviométrie.....	38
III .8. Résultats de l'analogie.....	39
III .8.1. Temps caractéristiques.....	39
III .8.1.1. Temps de base.....	39
III .8.1.2. Temps de montée.....	39
III .8.1.3. Temps de concentration.....	39
III .8.2. Volume de crue.....	40
III .8.3.Coefficient d'abattement.....	41
III .8.4. Coefficient de ruissellement.....	41
III .8.5.COEFFICIENT DE POINTE.....	42
III .9. Débits maximums	42
III .10. Débit de projet.....	46

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

IV.1 Introduction.....	47
IV.1.1 Mesures correctives.....	47
IV.1.2 Mesures préventives.....	48
IV.2. Ouvrages types pour l'aménagement de la vallée.....	48
IV.2.1. Murs de berges.....	49
IV.2.2. Murs de berges existants : Contrôle / Réhabilitation.....	50
IV.2.3. Perrés maçonnés et talus naturels.....	52
IV.2.4. Endiguements.....	54
IV.2.5. Gués.....	55
IV.2.6. Accès au lit.....	56
IV.3. Projection des corrections dans la zone d'étude.....	56
IV.3.1. Digue El Atteuf.....	57
IV.3.2. Digue Habass Djédid.....	57
IV.3.3. Pont Adaoud.....	58
IV.3.4. Pont de Boussalem.....	59
IV.3.5. Pont de Touzouz.....	59
IV.3.6. Passerelle Mélika.....	60
IV.4.Conclusions.....	61
Conclusion générale	62

Référence Bibliographiques

Annexes

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants selon leurs caractéristiques géologiques.....	7
Tableau II-1 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).....	14
Tableau II-2 : .Températures moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).....	15
Tableau II-3 : Vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s) à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).....	16
Tableau II-4: Valeurs moyennes de l’humidité (en %) à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).....	17
Tableau II-5 : Valeurs moyennes mensuelles d’évaporation (mm)à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).....	18
Tableau II-6 : Valeurs moyennes mensuelles de l’insolation (heures) à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).....	19
Tableau III -1 : Classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants selon leur indice de pente globale.....	29
Tableau III -2 : Classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants selon leurs caractéristiques géologiques.....	30
Tableau III -3 : Crues de 1921 à 1937 d'après les documents de l'Annexe de Ghardaïa, communiqués à Capot-Rey, en février 1938.....	33
Tableau III -4 : Crues de 1938 à 1951 d'après les états mensuels fournis par l'Annexe de Ghardaïa depuis avril 1938, complétés par ceux du poste Météorologique de Ghardaïa.....	33
Tableau III -5 : Crues de 1951 à 1953 d'après une communication personnelle de J. Dubief recueillie par M.A. Roche (1996).....	35
Tableau III -6 : Crues de 1954 à 1996.....	36

TABLE DES MATIERES

Tableau III -7 : Coefficients de ruissellement des différents sous bassins.....	40
Tableau III -8 : Equations donnant le débit centennal dans chaque zone.....	41
Tableau III -9 : Valeur de K selon la zone.....	42

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Figure I-1 : Les bassins versants de l'Oued M'Zab jusqu'a El Atteuf.....	4
Figure I-2 : Figure I-2 : Les régions naturelles (ANRH Ouargla, 2003).....	5
FigureI-3 : Localisation de la vallée du M'Zab (Google earth).....	6
Figure I-4 : Coupe géologie schématique de la région du M'Zab (ANRH Ouargla, 2003).....	8
FigureI-5 : carte géologique du M'Zab	9
Figure I-6 : Carte du flux de chaleur de l'Algérie.....	10
Figure II-1 : Répartition des précipitations annuelles (2000-2010).....	14
Figure II-2 : Répartition des Températures annuelles (2000-2010).....	15
Figure II-3 : Répartition du vent annuel (2000-2010).....	17
Figure II-4 : Répartition des L'humidité annuelles (2000-2010).....	18
Figure II-5 : Répartition des L'évaporation annuelles (2000-2010).....	19
Figure II-6 : Diagramme Ombro thermique de GAUSSEN de Ghardaïa (2000 – 2010).....	20
Figure IV-1 : Mur de berge.	47
Figure IV-2 : Confortement d'un mur existant.....	48
Figure IV-3 : Confortement et dimensions d'un mur existant.....	49
Figure IV-4 : Coupe type d'un perré maçonné.....	50
Figure IV-5 : Coupe schématique de Perrés maçonnés.....	51
Figure IV-6 : Coupe type d'une digue.....	52
Figure IV-7 : Passage submersible.....	54
Figure IV-8 : carte géologique du déferent type de correction.....	55
Figure IV-9 : Digue Habass Djédid – Implantation de l'ouvrage de dérivation.....	56

TABLE DES MATIERES

Figure IV-10 : Pont de Boussalem – Ligne d'eau pour la crue de projet	58
Figure IV-11 : Pont de Touzouz – Ligne d'eau pour la crue de projet.....	59

TABLE DES MATIERES

La Wilaya de Ghardaïa, à laquelle se rattache le présent projet, se situe dans la zone septentrionale du Sahara algérien.

Le développement récent de la population, qui a doublé au cours des 20 dernières années en entraînant une intense urbanisation, s'est heurté aux contraintes du relief, en particulier à l'étroitesse de la vallée. On a pu assister à une extension incontrôlée de l'habitat dans la palmeraie ainsi que dans des zones inondables, parfois même dans le lit mineur de l'oued. Ce dernier phénomène a gravement modifié les conditions de passage des crues et accru de façon inadmissible les risques de destruction et d'accidents majeurs liés à ces événements.

Pour lutter contre les effets négatifs des crues de l'oued M'Zab, deux stratégies ont été mises en œuvre :

- Une voie passive constituée par des mesures d'aménagement de l'oued.
- Une voie active consistant à agir à l'amont sur les phénomènes hydrauliques en stockant et/ou ralentissant les débits de la crue.

La protection de la vallée contre les crues de l'oued M'Zab est réaliser grâce à :

- l'édification d'ouvrages de retenue à l'amont.
- Des travaux d'aménagement des berges et du lit de l'oued.

Les ouvrages projetés pour répondre aux objectifs précités comprennent d'amont en aval :

- Des digues de rétention amont sur les oueds El Abiod, El Haimeur et Bou Brik.
- Des aménagements de protection contre les crues : endiguements, murs de berge, correction et recalibrage du lit de l'oued.
- La mise en place du collecteur principal pour les eaux usées, de Daya Ben Daoua jusqu'à la digue d'El Atteuf.
- Une station de traitement des eaux usées par lagunage, à l'aval de la digue d'El Atteuf.

Le présent mémoire composé de quatre chapitres essentiels:

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre présente la partie hydro climatologique de la région que nous avons synthétisé à partir des données climatique fourni par les stations météorologiques.
- Dans le troisième chapitre est présenté une synthèse hydrologique du projet que nous avons synthétisé à partir du rapport de l'étude hydrologique faite par le bureau d'étude BG. Nous avons donc, dans cette partie, évalué le débit de projet avec lequel nous recalibrons.

- Pour le chapitre quatre, il s'intéresse au types de corrections adoptés à la vallée, et les régions concernées par ces corrections le long de la vallée, avec des schémas explicatifs clarifiant ces aménagements.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Description de la ville

L'oued M'Zab s'étend sur une longueur de 320 km et coule de l'Ouest à Est, de la région de El-Botma Rouila à 745 mètres d'altitude où il est appelé oued Labiodh; il se déverse dans son exutoire naturel qui est la sebkha Safioune au Nord de la ville de Ouargla à une altitude de 107 mètres.

Le principal affluent du oued M' Zab, appelé oued Labiodh est situé en amont de Ghardaïa. Sur la rive gauche, l'oued Laadirah qui conflue à la Daya ben Dahoua ; sur la rive droite, l'oued Touzouz qui rejoint le M'Zab en amont de la palmeraie de Ghardaïa. En aval de ce centre, on rencontre à droite au niveau de Béni Isguen, le N'tissa qui traverse la palmeraie de cette ville. A gauche et à quelques centaines de mètres en aval du précédent, l'oued Zouil dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura à l'aval de la pentapole mozabite, sur la rive droite: l'oued Noumirate, sur celle de gauche, légèrement en amont de Zelfana: l'oued Nessaïmou. Enfin, très en aval de cette nouvelle Oasis, l'oued Hasseï, alias oued Ourillou qui draine la partie Nord du bassin du M'Zab.

En outre, l'oued M'Zab reçoit d'autres affluents de faible importance appelés "chaâbat", tel que chaâbat Ben ghanem sur la rive droite et celles de Ben Smara et Azouil sur la rive gauche.

Les écoulements de l'oued M'Zab sont perturbés au niveau des villes mozabites par une série de barrages. Ils font partie du système hydraulique mozabite.

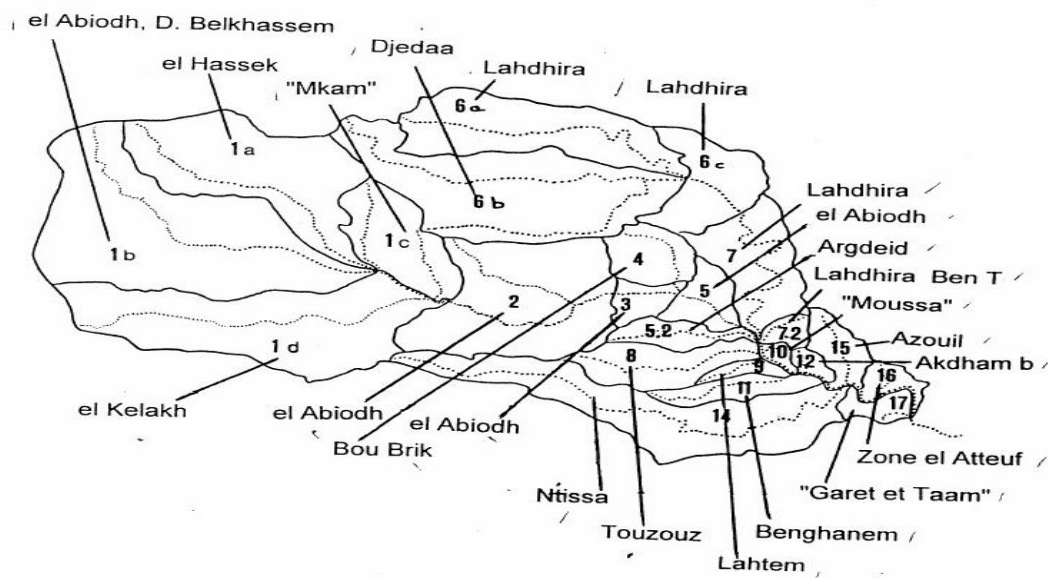


Figure I-1 : Les bassins versants de l'Oued M'Zab jusqu'a El Atteuf

I.1.1. Position géographique

Le M'Zab est une région qui se situe a 600 km au sud d'Alger. La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara de l'Algérie. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat, elle est en outre composée de s anciennes daïras de Ghardaïa, Metlili et El-Menia.

La Wilaya de Ghardaïa qui couvre une superficie de 86560 km², est limitée Au Nord par la Wilaya de Laghouat, Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa, a l'Est par la Wilaya de Ouargla, Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset, et a l'ouest et au Sud-ouest par la Wilaya d'Adrar et la Wilaya d'El-Bayadh respectivement. Du point de vue urbain, les agglomérations sont classées selon leur statut administratif, la Taille (nombre d'habitants) et la localisation par rapport aux axes principaux et l'importance (la hiérarchie fonctionnelle).

De ce fait, GHARDAIA est une ville d'importance nationale, GUERRARA, EL-MENEA, METLILI, et BERRIAN sont des Villes d'importance régionale, En outre BOUNOURA, EL-ATTEUF et HASSI EL GARA sont des centres urbains d'importance locale.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

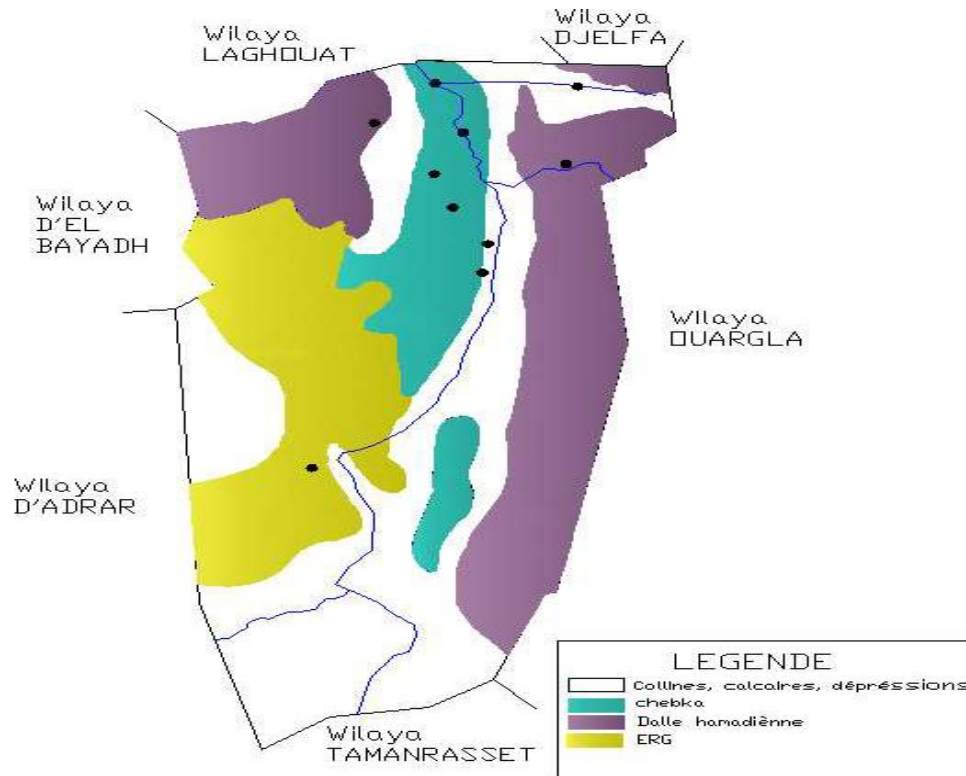


Figure I-2 : Les régions naturelles (ANRH Ouargla, 2003).

Une vue aérienne de la vallée du M'Zab est représentée ci-dessous :



Figure I-3 : Localisation de la vallée du M'zab (Google earth)

La commune de Ghardaïa, qui est choisie comme notre domaine d'étude se compose en deux zones :

L'une rural a l'entrée de la commune, communément appelé la palmeraie, l'autre urbaine a la sortie de la commune.

I.1.2. Historique de la ville

Les origines de la palmeraie de Ghardaïa et la première implantation par les Mozabites remontent au XIe siècle.

- ❖ Ghardaïa : fondée en 1048 sur la rive droite de l'Oued M'Zab et à l'amont des quatre autres centres; cette ville est le chef lieu de la wilaya de Ghardaïa et la capitale commerciale du M'Zab.
- ❖ Mélika : fondée au début du XIème siècle, cette petite cité domine la vallée de l'Oued M'Zab et ne possède pas de palmeraie.
- ❖ Béni Izguen : fondée en 1347, au confluent de l'Oued N'Tissa et de l'Oued M'Zab, c'est la ville sainte du M'Zab et le foyer intellectuel de l'Ibadisme; sa palmeraie s'étend sur 3 km le long de l'Oued N'Tissa.
- ❖ Bounoura : fondée en 1046 sur la rive gauche de l'Oued M'Zab, elle est située à 3 km à l'aval de Ghardaïa dont elle dépend économiquement comme les autres K'seurs de la Pentapole.
- ❖ El Atteuf : c'est la plus ancienne ville du M'Zab; elle a été fondée en 1012 sur la rive droite de l'Oued M'Zab à l'extrémité aval de la Pentapole et de manière bien détachée des quatre autres K'seurs.

I.1.3. Géologie générale

La wilaya de Ghardaïa est située sur le rebord occidental d'une très vaste structure géologique appelée la cuvette Nord orientale du Sahara maghrébin. L'étude des structures géologiques de cette cuvette montre que les terrains affleurant dans la partie centrale de la wilaya correspondent à l'aboutissement d'une série de transgressions et de régressions marines : les périodes marines ont générées des terrains calcaires, tandis que les périodes continentales ont donné des sables et des grès qui constituent des réservoirs potentiels pour les eaux souterraines. Le réservoir le plus connu étant le Continental Intercalaire dont l'étage albien constitue la partie supérieure. Du fait de la structure des terrains (alternance de zones dures et de zones plus tendres), on a des vallées à versants raides taillées dans les calcaires et des fonds de vallées plats. Cette disposition a permis le développement d'un réseau hydrographique très ramifié.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau I-1 : Classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants selon leurs caractéristiques géologiques

Classe	Intitulé	Exemple
P1	Perméable à aquifère drainant ou non drainé	Formation gréseuse dont les exutoires sont à l'extérieur du bassin
P2	Perméable à aquifère drainé	Formation gréseuse dont les sources alimentent le réseau
P3	Perméabilité moyenne ou faible	Alternance de marnes et de calcaires
P4	Karstique	Formation calcaire, perméabilité de fissures et développement d'un réseau souterrain
P5	Imperméable	Terrain marneux, cristallin, etc.

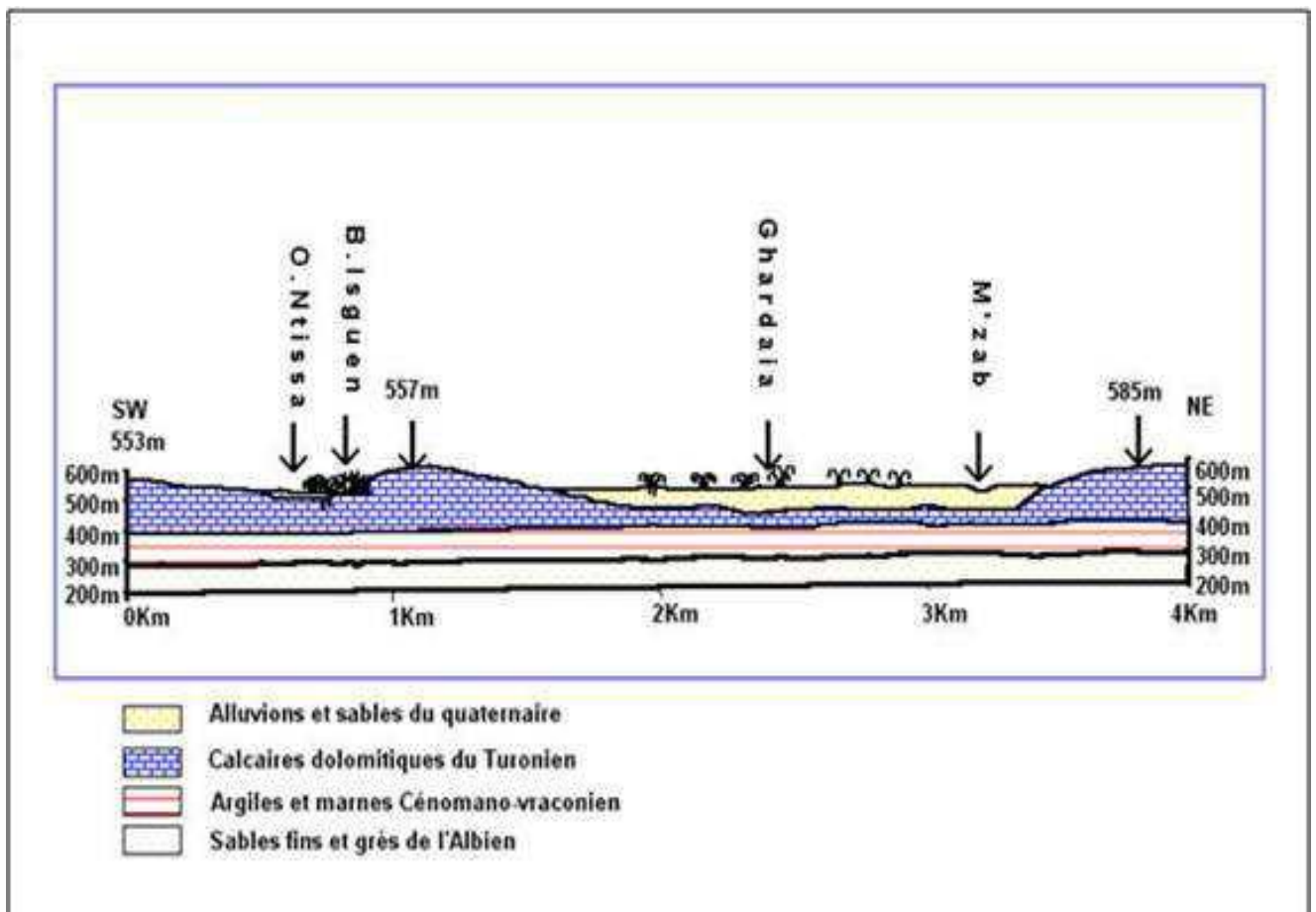


Figure I-4 : Coupe géologie schématique de la région du M'Zab (ANRH Ouargla, 2003).

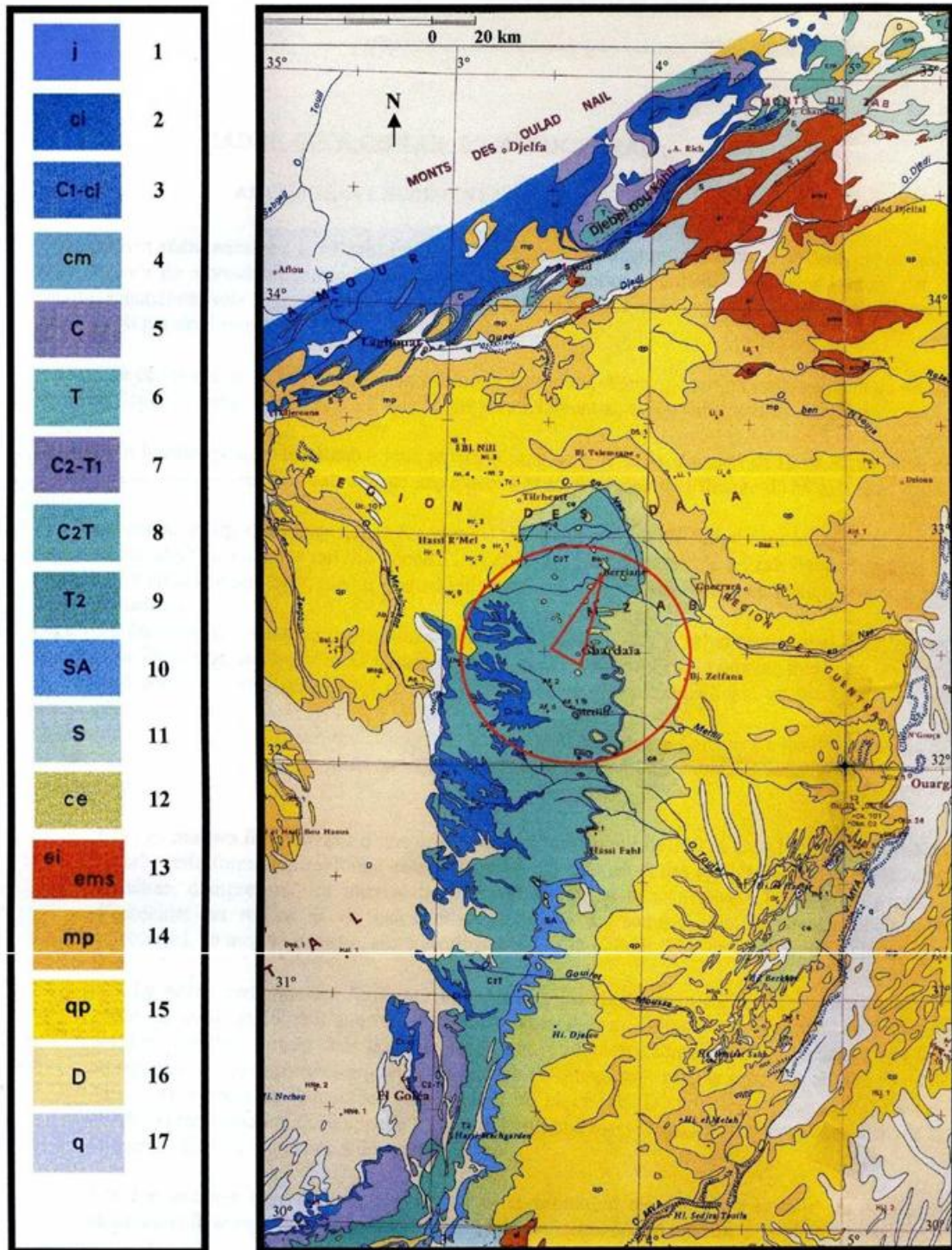


Figure 05 : carte géologique du M'zab (extrait modifié de la carte géologique au 1/2000000 du bassin mésozoïque du Sahara algéro-tunisien et de ses abords, de G. Busson 1967)

Le cercle rouge représente la région de Ghardaia, le triangle rouge montre avec ses trois points les trois secteurs étudiés. Ages des terrains : 1- Jurassique (j) ; 2- Crétacé inférieur (ci) ; 3- Crétacé inférieur puis Cénomaniens argileux (C1-ci) ; 4- Crétacé moyen (cm) ; 5- Cénomaniens (C) ; 6- Turonien (T) ; 7- Cénomaniens supérieurs et Turonien inférieurs (C2-T1) ; 8- Cénomaniens supérieurs calcaires et Turonien (C2-T) ; 9- Turonien (T2) ; 10- Sénomaniens argilo-gypseux y compris du Maastrichtien (SA) ; 11- Sénomaniens (S) ; 12- Sénomaniens et Eocène indistinguables (ce) ; 13- Eocène inférieur (ei) et Eocène moyen-supérieur (ems) ; 14- Miocène ou Pliocène avec localement Nummulitique continental (mp) ; 15- Pliocène ou Quaternaire ancien (qp) ; 16- Dunes (D) ; 17- Quaternaire indifférencié (q).

Figure I-5 : carte géologique du M'Zab

I.1.4. Relief

Le relief de la wilaya est assez peu mouvementé. La bordure Est ne dépasse pas la cote 200 mètres. Dans le quart Nord - Ouest, les altitudes s'étagent entre 200 et 600 mètres. Latitude Moyenne de la wilaya est de 468 mètres.

I.1.5. Climat

Le climat est de type saharien caractérisé par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. Les moyennes générales, et celles des minima et des maxima sont : 21.5°, 15.4°, 26.4°. Les précipitations sont faibles et irrégulières. Elles tombent essentiellement sous la forme de pluies d'orage, en automne et au printemps. Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. La période des vents de sables s'échelonne du mois de Mars au mois de Mai.

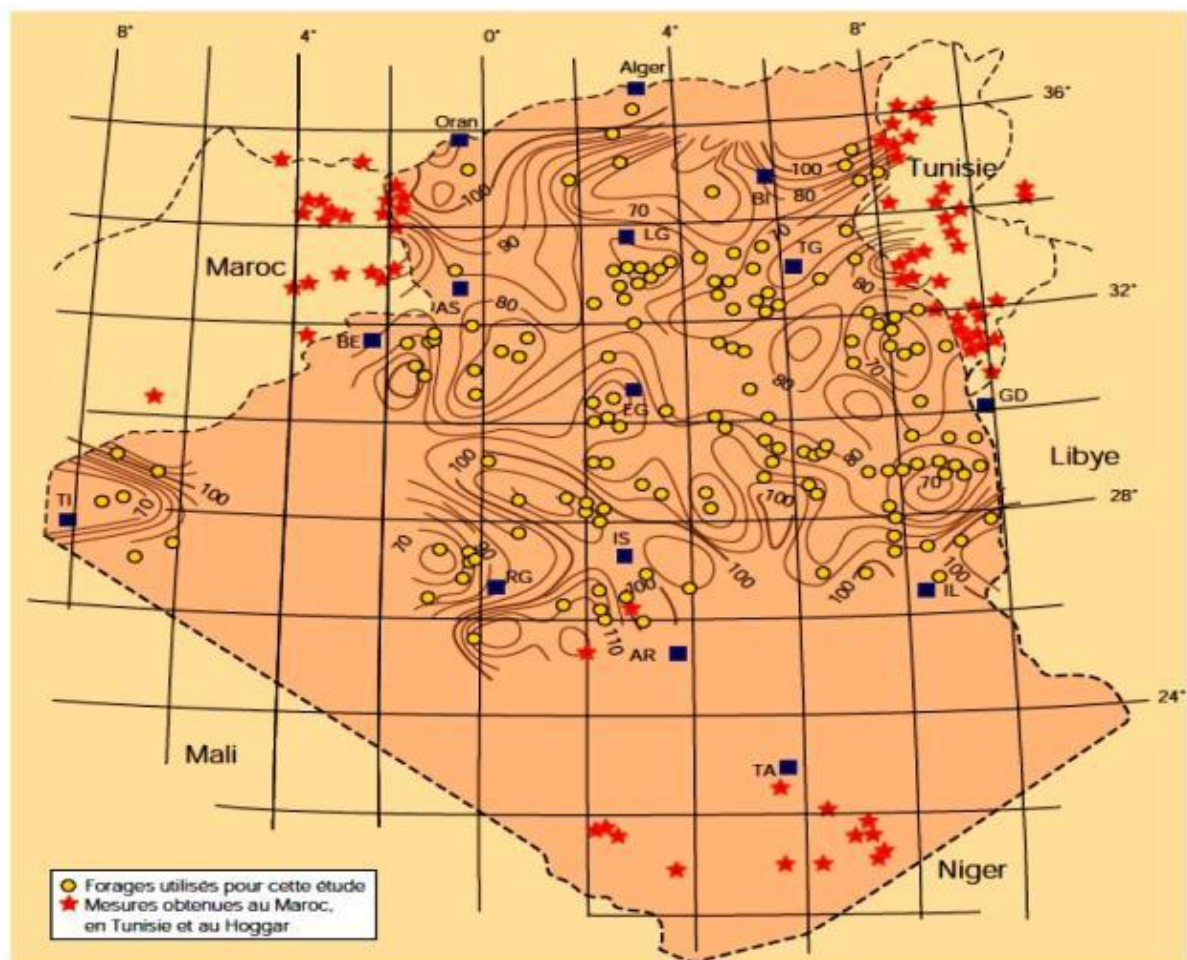


Figure I-6 : Carte du flux de chaleur de l'Algérie

I.1.6. Vallée du M'Zab

Le paysage de la vallée du M'Zab, créé au Xe siècle par les Ibadites autour de leurs cinq ksour, ou villages fortifiés, semble être resté intact. Simple, fonctionnelle et parfaitement adaptée à l'environnement, l'architecture du M'Zab a été conçue pour la vie en communauté, tout en respectant les structures familiales. C'est une source d'inspiration pour les urbanistes d'aujourd'hui. La vallée du M'Zab atteint, à hauteur de Ghardaïa, une altitude de 500 mètres.

La partie amont du bassin versant est drainée par les importants Oueds Laadhira et El Abiod, dont la longueur est de 50 à 60 kilomètres, et leur confluence donne naissance à l'Oued M'Zab. L'Oued M'Zab reçoit ensuite successivement les apports des principaux cours d'eau suivants : en rive droite les Oueds Argdeïne et Touzouz, les Chaâbat Ben Lahtem puis Ben ghanem, et l'Oued N'Tissa et en rive gauche les Chaâbat Inireze, puis Azouil et Laït M'zaï. Le lit majeur de l'Oued M'Zab est généralement très large, de l'ordre du kilomètre. Dans la zone plate, au niveau de la confluence des Oueds El Abiodh et Laadhira, en rive droite de l'Oued El Abiodh se trouve l'agglomération de Dayet Ben Dhahoua et sa palmeraie. Le confluent des Oueds M'Zab et Touzouz marque le début de la palmeraie de Ghardaïa, plaine semi -naturelle où subsistent les vestiges des digues historiques qui alimentent encore partiellement un réseau d'irrigation ingénieux. La zone qui suit la palmeraie est, elle totalement urbanisée de façon dense, d'abord en rive droite puis sur les deux rives, sur une largeur de l'ordre du kilomètre. Vient alors, en rive droite, Ghardaïa ksar, la vieille ville sur sa colline. La vallée se resserre ensuite avec, la digue de Mélika qui barre l'Oued, Mélika ksar en rive gauche et Béni Isguen précédée de ses quartiers urbains neufs en rive droite. La palmeraie de Béni Isguen se situe sur l'Oued N'Tissa, affluent de rive droite de l'Oued M'Zab et barré de deux digues traditionnelles. A l'aval immédiat de la confluence avec la Chaâbat Azouil, on trouve Bounoura ksar avec ses quartiers neufs en contrebas et sa modeste palmeraie. Les dix kilomètres qui suivent sont occupés par la palmeraie d'El Atteuf tout en longueur, parsemée d'habitations sur les deux rives. El Atteuf ksar se présente à mi-parcours de cette palmeraie. Dans toute la vallée, la végétation spontanée est très rare et ne se rencontre qu'en bordure des Oueds. Les espèces qui reverdissent après chaque pluie sont des herbacées et des arbustes appartenant à la flore saharienne.

I.2. Présentation globale de la situation actuelle

Afin de présenter la situation actuelle de la région d'étude nous procédons comme suit :

I.2.1. PROBLEMATIQUE

L'augmentation de la population incontrôlée a causé l'étroitesse de la vallée et aussi l'extension dans les zones inondables, ce qui a augmenté le risque d'inondations.

I.2.2. OBJECTIF

La protection de la vallée contre les crues de l'Oued M'Zab.

I.2.3. OUTILS

La réalisation d'un tel objectif nécessite des mesures de protection et des dispositifs pratiques et complémentaires à mettre en œuvre, et cela de la partie amont de la vallée jusqu'à la partie aval. Les travaux d'aménagements sur la partie amont sont en cours de réalisation par l'implantation des trois barrages (El Haimeur, Bou Brik et El Abiod) qui ont pour but de contrôler et de laminier le débit qui vient des bassins versant à l'amont. Donc le choix du type d'aménagement va tenir compte de l'existence de ces trois barrages. Pour ce qui est de la partie aval de la vallée, le recalibrage du cours d'eau représente une mesure complémentaire aux trois barrages qui vise à augmenter la capacité hydraulique du cours d'eau c'est à dire à permettre le passage d'un certain débit sans danger pour des conditions bien déterminées (pente, section, rugosité,..) ce qui augmente la sécurité en cas de crues. Notre mémoire sera consacré à la partie qui concerne le recalibrage de l'oued M'Zab sur un tronçon d'environ 6km qui commence à partir du pont de Bou Salem et qui se termine au niveau de la digue d'El Atteuf.

CHAPITRE II : HYDROCLIMATOLOGIE

II.1. INTRODUCTION

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du sous bassin versant de l'oued Djendjen, nous allons essayer d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau.

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

II.2. Les paramètres météorologiques déterminants

Les principaux facteurs climatiques ayant une influence sur le régime hydrologique de la région est : les précipitations (P), la température (T), l'évapotranspiration (ETP), et l'infiltration (I).

II.2.1 Les précipitations

En météorologie, le terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent avant de l'atteindre.

Nous nous intéressons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur fondamental dans le comportement hydrogéologique de la région.

II.2.2 -précipitation moyenne mensuelles

La variation saisonnière des précipitations, se classe dans le type « méditerranéens occidental Perturbe », caractérisé par un maximum en hiver et un minimum en été (Dubief, 1963).

Tableau II-1 : Précipitation moyennes mensuelles (mm) à la station de Ghardaïa (Période : 2000-2010)

mois	sept	oct	Nov.	dés	jan	fév.	mars	avril	mai	jui	juill	aout	moy
p(mm)	21,2	13,4	5,82	6,36	7,4	1,7	6,83	8,46	1,86	1,94	3,4	8,8	7,264

II.2.2 .1.Représentation graphique des précipitations

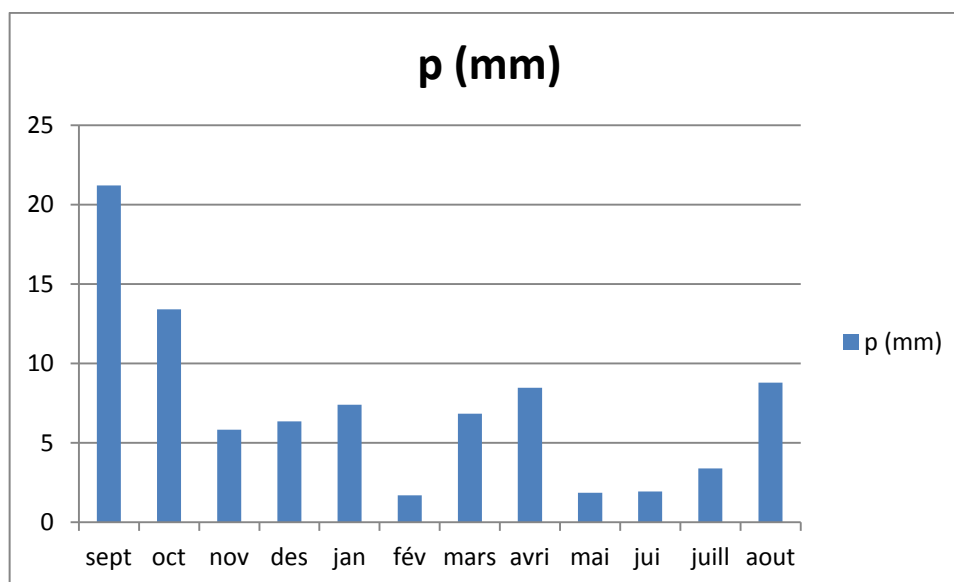


Figure II-1 : Répartition des précipitations annuelles (2000-2010).

II.2.2 .2.Interprétation

D'après la figure de la répartition annuelle des précipitations on remarque une valeur maximale de l'ordre de 21.2 mm au mois de septembre et une valeur minimale de l'ordre de 1.7 mm au mois de février. Cette répartition montre des valeurs faibles au cours de l'année.

II.2.3. La température

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement. En physique, elle se définit de plusieurs manières : comme fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules (en théorie cinétique des gaz), par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes ou à partir de l'entropie (en thermodynamique et en physique statistique). La température est une variable importante dans d'autres disciplines : météorologie et climatologie, médecine, en chimie. L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle l'eau gèle à 0 °C et bout à environ 100 °C dans les conditions standard de pression. Dans les pays utilisant le système impérial (anglo-saxon) d'unités, on emploie le degré Fahrenheit (gel à 32 °F et ébullition à 212 °F). L'unité du système international d'unités, d'utilisation scientifique et définie à partir du zéro absolu, est le kelvin (nom commun dérivé du nom de William Thomson, Lord Kelvin).

**Tableau II-2 : .Températures moyennes mensuelles (c°) à la station de Ghardaïa
(Période : 2000 – 2010).**

mois	sept	oct	nov.	dés	jan	fév	mars	avril	mai	jui	juill	aout	moy
t(c°)	28,89	23,6	16,8	12,5	11,3	13,45	17,78	21,23	26,45	31	34,83	33,82	24,7

II.2.3.1 .Représentation graphique des températures

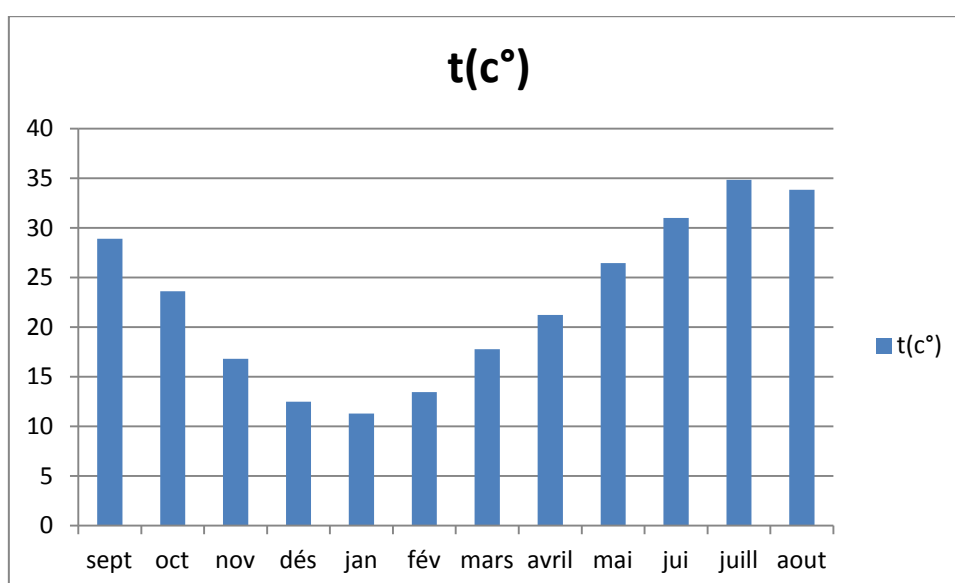


Figure II-2 : Répartition des Températures annuelles (2000-2010).

II.2.3.2 .Interprétation

La répartition annuelle des Températures montre une valeur maximale de l'ordre de 34.83 (c°) au mois de juillet qui est le mois le plus chaud et une valeur minimale de l'ordre de 11.3 (c°) au mois de janvier qui est le mois le plus froid.

II.2.4. Le vent

Le vent est le mouvement d'une atmosphère, masse de gaz située à la surface d'une planète. Les vents les plus violents connus ont lieu sur Neptune et sur Saturne. Il est essentiel à tous les phénomènes météorologiques. Comme les courants marins, le vent est décrit par les lois de la dynamique des fluides. Il existe une interdépendance entre ces deux circulations de fluides.

Les vents sont provoqués par un réchauffement inégalement réparti à la surface de la planète par l'énergie solaire, et par la rotation de la planète. Les vents sont généralement classifiés selon leur ampleur spatiale, leur vitesse, leur localisation géographique, le type de force qui les produit et leurs effets. La vitesse du vent est mesurée avec un anémomètre mais peut être estimée par une manche à air, un drapeau, etc.

Le vent est l'acteur principal de l'oxygénation des océans par agitation de sa surface .Il as un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et à un degré moindre sur les températures.

**Tableau II-3: Vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s) à la station de Ghardaïa
(Période : 2000 – 2010).**

mois	sept	oct	nov	dés	jan	fév	mars	avril	mai	jui	juill	aout	moy
v,v(m/s)	1.39	1,2	1,08	1,34	1,6	1,64	1,54	1,79	1,68	1,74	1,86	1,81	1,53

II.2.4 .1.Représentation graphique des vitesses de vent

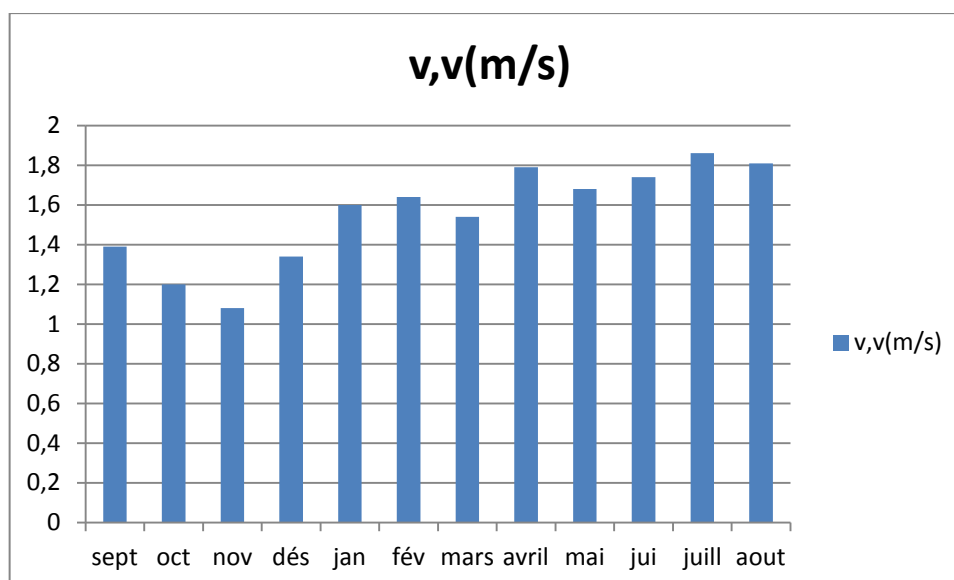


Figure II-3 : Répartition du vent annuel (2000-2010).

II.2.4 .2.Interprétation

La répartition annuelle des vents montre des valeurs assez faibles avec une valeur maximale de l'ordre de 1.86 (m/s) au mois de juillet et une valeur minimale de l'ordre de 1.08 (m/s) au mois de novembre.

II.2.5. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température.

Tableau II-4: Valeurs moyennes de l'humidité (en %) à la station de Ghardaïa

(Période : 2000 – 2010).

mois	sept	oct	nov	dés	jan	fév	mars	avril	mai	jui	juill	aout	moy
H(%)	37,36	43,9	47,63	54,27	55	44,72	37,81	34,09	29,27	24,9	21,81	25,9	41,5

II.2.5.1. Représentation graphique des l’humidité

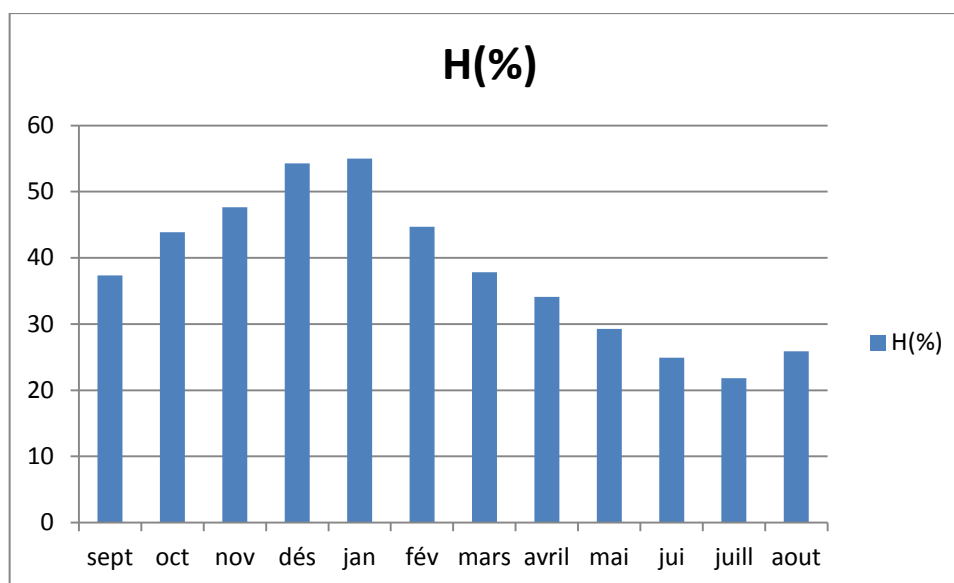


Figure II-4 : Répartition des L’humidité annuelles (2000-2010).

II.2.5.2. Interprétation

D’après la figure de la répartition annuelle d’l’humidité on remarque une valeur maximale de l’ordre de 55(%) au mois de Janvier et une valeur minimale de l’ordre de 21.81 au mois de juillet. Cette répartition montre des valeurs très élevé au cours de l’année.

II.2.6 L’évaporation

C’est le phénomène physique de la transformation de l’eau en vapeur d’eau. Il intervient à toutes les phases du cycle de l’eau, on mesurée sous l’abri par l’évaporomètre de Pèche, est très intense à un maximum 398.4 mm en juillet et un minimum 91.5 mm en janvier. Le cumul annuel est de 2691,40 mm.

Tableau II-5 : Valeurs moyennes mensuelles d’évaporation (mm) à la station de Ghardaïa (Période : 2000 – 2010).

mois	sept	oct	nov	dés	jan	fév	mars	avril	mai	jui	juill	aout	moy
E(mm)	246	169,9	112,4	157,4	91,5	115,1	181,2	238,1	288,8	341,4	398,4	351,2	224,28

II.2.6.1. Représentation graphique de L'évaporation

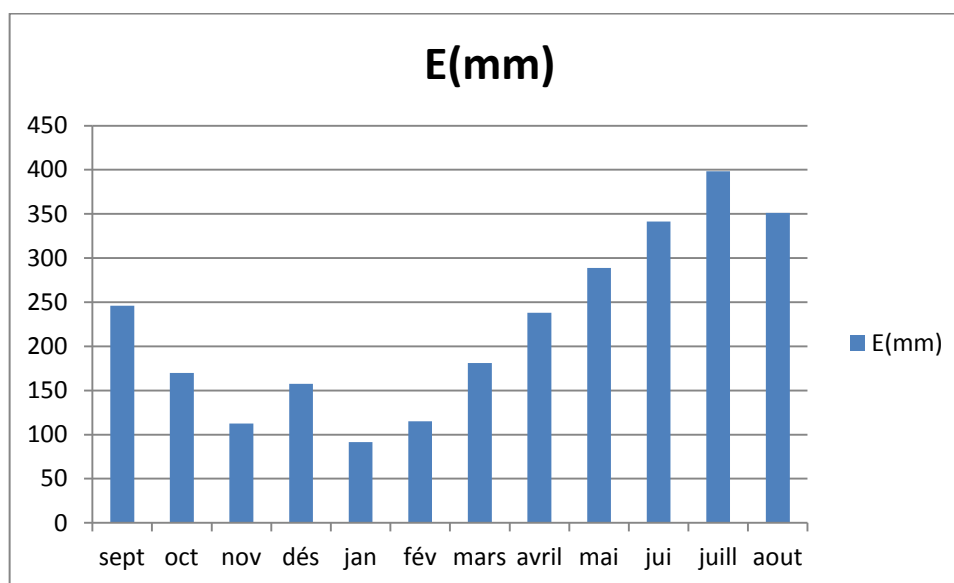


Figure II-5 : Répartition des L'évaporation annuelles (2000-2010).

II.2.6.2. Interprétation

D'après la figure de la répartition annuelle des L'évaporation on remarque une valeur maximale de l'ordre de 398.4 (mm) au mois de juillet et une valeur minimale de l'ordre de 91.5 au mois de Janvier.

II.2.7 Insolation

L'insolation est considérable dans la région durant toute l'année, avec un maximum 338.27 heures en juillet, et un minimum de 244.55 heures en février.

Tableau II-6: Valeurs moyennes mensuelles de l'insolation (heures) à la station de Ghardaïa

(Période : 2000 – 2010).

mois	Sept	oct	nov	dés	jan	fév	mars	avril	mai	jui	juill	aout	moy
I(h)	271,5	255,6	250,4	235	249,4	244,5	275,7	296,2	312,4	335,9	338,27	324,09	389,15

II.3. Diagramme Ombro thermique de GAUSSEN

Les températures et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région. Le diagramme ombro thermique de BAGNOULS et GAUSSEN permet de définir la période sèche, Un mois est considéré sec lorsque les précipitations mensuelles correspondantes exprimées en millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré Celsius.

- En abscisses sont représentés les mois de l'année.
- En ordonnées sont portées les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- Une échelle de $P = 2T$.

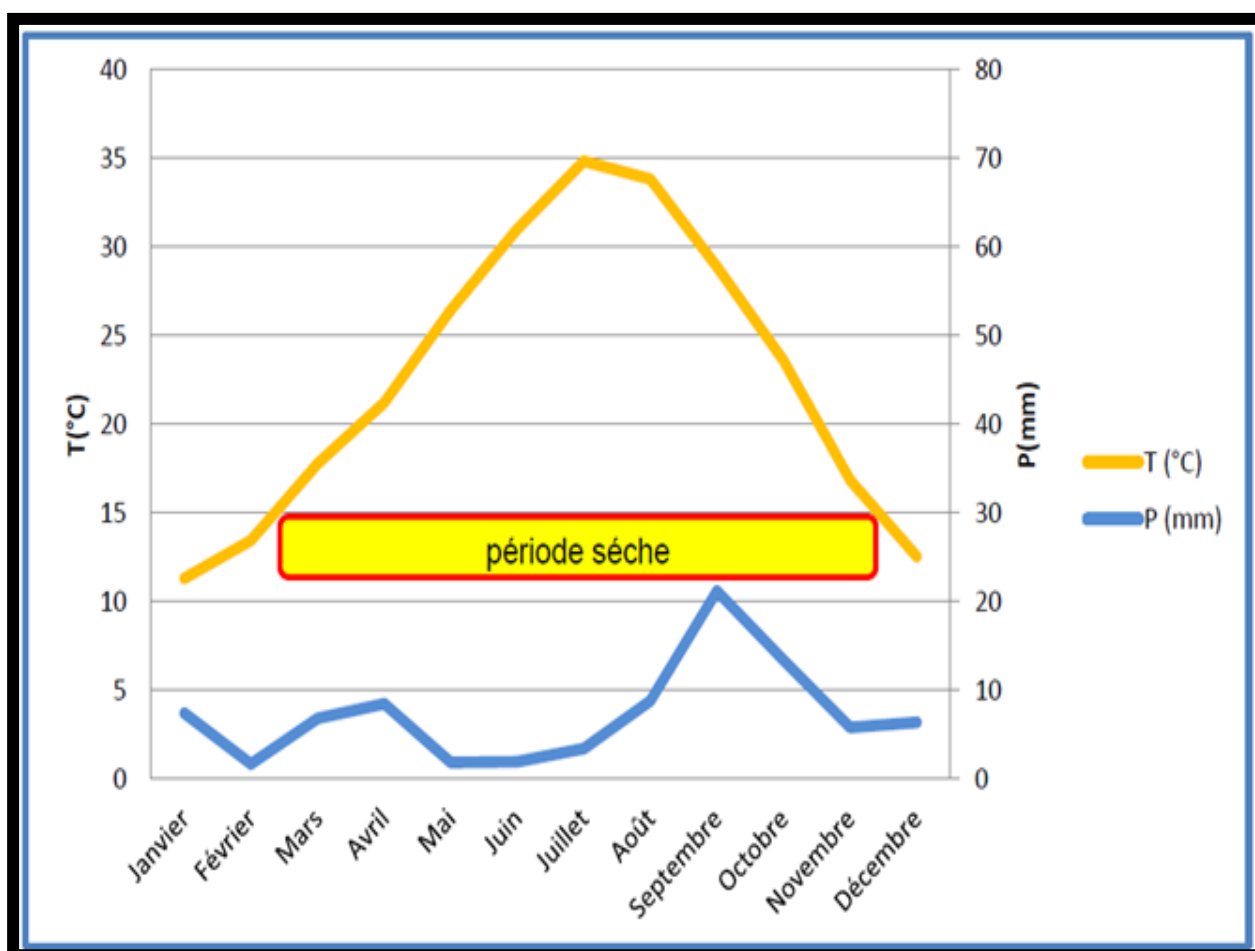


Figure II-6 : Diagramme Ombro thermique de GAUSSEN de Ghardaïa (2000 – 2010).

II.4. Bilan hydrique

Le but du bilan d'eau est d'évaluer la répartition des précipitations reçues par le bassin versant entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir, l'infiltration, l'écoulement et l'évapotranspiration. Ce dernier étant le plus important car il conditionne l'abondance ou l'absence de l'écoulement.

Le bilan hydrique est estimé par la formule générale suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Où : P: Précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR: Evapotranspiration réelle en (mm).

R: Ruissellement moyen annuelle en (mm).

I: Infiltration moyenne annuelle en (mm).

II.4.1. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration correspond à la somme de la quantité d'eau évaporée par suite d'un déficit hygrométrique de l'air et de la quantité d'eau transpirée par la végétation. De nombreuses formules de l'évaluation de l'évapotranspiration ont été proposées (Penman, 1950 ; Thornthwaite, 1948 ; Thornthwaite and Mather, 1955 ; Turc, 1954 ; Turc, 1961). Elles reposent sur les hypothèses de calcul nécessitant la connaissance, en partie ou en totalité, des valeurs de la température, des précipitations, d'humidité relative de l'air et de l'insolation. Les données disponibles dans la région d'étude conduisent à utiliser les méthodes de Turc et de Thornthwaite pour évaluer l'évapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR).

- l'évapotranspiration réelle (ETR) : c'est l'eau réellement "perdue" sous forme de vapeur (en fait une partie sera recyclée sous forme de rosée ou précipitation)
- l'évapotranspiration potentielle (ETP) : c'est l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions quand elle n'est plus facteur limitant.

Le calcul de l'ETR est un point sensible dans toute modélisation de nappe car bien qu'il fasse appel à des méthodes assez imprécises le résultat joue un rôle important dans le calage du modèle. La

comparaison de l'ETP avec les précipitations P , compte tenu d'une réserve d'eau facilement utilisable RFU dans le sol superficiel fixée à une valeur donnée, entraîne le déroulement du processus suivant :

- Si $ETP = P$, il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifie pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.

Compensation de l'ETP. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.

- Si $ETP < P$, la RFU pourra atteindre son maximum au-delà duquel il y aura infiltration vers la nappe. Nous obtenons ainsi une suite discontinue et irrégulière de valeurs d'excédent correspondant à des taux de pluie efficace qui alimente effectivement la nappe sur un intervalle de temps donné.

II 4.1.1. L'évapotranspiration réelle (ETR)

On estime l'ETR à partir de la formule de « TURC ».

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \text{ en } \left(\frac{mm}{an}\right)$$

Avec : $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$

ETR: Evapotranspiration réelle en (mm).

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T: Température moyenne annuelle en (°C).

II.4.1.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP)

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

$$ETP = 16 \left(10 \frac{t}{i}\right)^a . K$$

Où:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \text{ et } I = \sum_1^{12} i$$

Et $a=0,016.I+0,5$

Avec :

ETP: Evapotranspiration potentielle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

I : indice thermique annuel.

K : coefficient d'ajustement mensuel.

í : indice thermique mensuel.

Remarque :

Dans la zone étudiée on ne peut pas établir le bilan hydrique puisque les précipitations sont faibles pour ne pas dire qu'elles sont rares ; donc notre réserve reste presque toujours vide avec des difficultés en ce qui concerne l'estimation de l'évapotranspiration potentielle. Cette difficulté nous empêche de faire les autres calculs (ETR, DA, EX).

II .5.Conclusion

La vallée du M'Zab est caractérisé par un climat de type saharien caractérisé par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver, Les précipitations sont faibles et irrégulières, Elles tombent essentiellement sous la forme de pluies d'orage, en automne et au printemps, Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides, La période des vents de sables s'échelonne du mois de Mars au mois de Mai.

CHAPITRE III : SYNTHESE HYDROLOGIQUE

III. 1.Introduction

La prédétermination des débits de crue est nécessaire pour la conception des Aménagements des cours d'eau, le dimensionnement des ouvrages de franchissement ainsi que la protection des zones urbaines contre les inondations.

L'homme de tout temps s'est donc intéressé aux crues, que ce soit à leur Prédétermination ou à leur prévision ; il en a résulté une foule de méthodes d'étude.

La prédétermination peut être définie comme l'annonce des caractéristiques physiques et statistiques d'un événement futur non précisément daté.

III. 2. METHODES DE PREDETERMINATION DES DEBITS DE CRUE

Selon la disponibilité des données, on peut distinguer trois (3) catégories de méthodes :

III. 2.1. CAS OU LES DONNEES HYDROMETRIQUES EXISTENT EN NOMBRE SUFFISANT

Il existe plusieurs méthodes dans ce cas, dont :

❖ METHODE DES MAXIMA ANNUELS

Quand on dispose de séries d'observations hydrométriques assez longues (généralement un nombre d'année >20ans), on peut procéder à un ajustement graphique des débits de crues annuelles par les lois statistiques.

Les étapes à suivre sont les suivantes :

- ❖ L'échantillonnage : l'échantillon sera constitué du débit max instantané de chaque année, on obtient donc un échantillon $\{q_i\}$ où i varie de 1 à NA (nombre d'années).
- ❖ vérification des hypothèses d'indépendance, stationnarité et d'homogénéité de l'échantillon de travail.
- ❖ classement de l'échantillon du plus fort débit au plus faible ou inversement ; attribution à chacune des observations d'une fréquence empirique $f_i = i / (NA+1)$.
- ❖ Estimation des paramètres des lois, par La méthode des moments, celle ci consiste à vérifier que les premiers moments de la loi et les moments empiriques des observations coïncidentes autrement dit :

$$m(\alpha, \beta, \dots) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi \frac{\partial f}{\partial \varphi} d\varphi$$

$$\sigma(\alpha, \beta, \dots)^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} [\varphi - m(\alpha, \beta, \dots)]^2 \frac{\partial f}{\partial \varphi} d\varphi$$

Le calcul des paramètres se déduit de la résolution de ce système, en prenant autant de moment que de paramètres.

III.2.2. CAS OU LES DONNEES HYDROMETRIQUES SONT INSUFFISANTES

❖ METHODE DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE :

On appelle Hydro gramme Unitaire (HU), l'hydro gramme résultant d'une pluie effective (nette) de 1 cm (ou 1 mm), uniforme sur le BV, ayant un volume de ruissellement direct de 1 cm (ou 1mm).

C'est une méthode semi-empirique proposée par L.K. SHERMAN, en 1930. C'est l'une des plus importantes contributions relatives au calcul du ruissellement de surface. Elle permet de déterminer le ruissellement directe Q_{rd} , auquel on doit ajouter le débit de base Q_b , calculé par ailleurs pour obtenir le débit total Q_t et le volume total de la crue.

III.2.3.CAS OU IL N'EXISTE PAS DE DONNEES HYDROMETRIQUES

❖ FORMULES EMPIRIQUES :

Les formules empiriques sont multiples mais souvent d'une portée assez régionale, nous verrons trois méthodes :

❖ FORMULE DE TURAZZA :

Turazza a établi une formule, adoptée en Italie, qui est la suivante :

$$Q = \frac{c * H * A}{3,6 * Tc}$$

Où Q : débit maximum de la crue en m³/s ; C : coefficient de ruissellement ;

H : hauteur totale maximum des précipitations relevée pendant une durée égale au temps de concentration Tc du BV (en heures).

• METHODE RATIONNELLE :

La méthode rationnelle est utilisée pour déterminer le débit de pointe d'un bassin versant pour une précipitation donnée.

Elle est basée sur l'hypothèse qu'une pluie constante et uniforme sur l'ensemble d'un bassin versant produit un débit de pointe lorsque toutes les sections du bassin versant contribuent à l'écoulement, soit après un temps égal au temps de concentration.

Par simplification, la méthode rationnelle suppose aussi que la durée de la pluie est égale au temps de concentration.

Elle ne tient pas compte de l'hétérogénéité de la pluviométrie et a tendance à surévaluer le débit de pointe.

$$Q_p = C * I * A$$

Où

Q_p : débit de pointe en m³/s.

C : coefficient de ruissellement (0 < C < 1).

I : intensité d'une averse dont la durée est égale au temps de concentration du BV.

A : superficie du BV en km².

❖ METHODE DE CAQUOT

C'est la méthode ponctuelle la plus communément utilisée pour calculer des débits maximums pour un bassin versant urbain. Elle établit le débit de pointe (Q) de fréquence de DépassementF.

$$Q = K * I * C * A * m$$

Avec :

Q : Débit de pointe en (m³/s).

I : Pente moyenne du bassin versant (m/m) ;

C : Coefficient d'imperméabilisation.

A : Superficie du bassin versant (ha).

K : Paramètres fonctions de la région considérée et de la période de retour (T) de la pluie.

m : Coefficient d'ajustement lié à la forme (allongement) du bassin versant.

Limites de validité :

1 ha < A < 200 ha (A = surface du bassin versant).

0,2 % < I < 5 % (I = pente moyenne du bassin versant).

C > 0,2 (C = coefficient d'imperméabilisation).

III.3. INTERETS DE LA RECHERCHE HISTORIQUE

Les crues sont un phénomène suffisamment important pour que l'on conserve le souvenir des principales catastrophes. Ce souvenir peut se traduire par des descriptions écrites, par des repères de niveau marqués par l'homme, par des déplacements de blocs de rochers.

La période sur laquelle portent ces souvenirs est variable de quelques dizaines d'années à quelques centaines.

Généralement, les crues sont caractérisées par un niveau d'eau (les débits ne sont guère mesurés que depuis le début du siècle). Il nous faudra, pour dimensionner des ouvrages, passer des hauteurs aux débits.

Ceci ne peut se faire que si une courbe de tarage, établie de nos jours, est valable pour les périodes anciennes.

Une telle validité dans le temps n'est justifiée que si le site a été hydrauliquement stable. Cette stabilité est envisageable dans certains cas comme des passages de ponts anciens, des endiguements entre des quais.

De toute façon, le passage des hauteurs aux débits, lorsqu'il est possible, sera toujours entaché d'une forte incertitude.

Il se peut très bien que les observations chiffrées disponibles sur une période restreinte ne permettent pas d'envisager l'ampleur de crues excessivement rares et provoquées par des phénomènes tout à fait exceptionnels et d'une autre nature que ceux observés habituellement.

Dans tous les cas, il est donc recommandé de procéder à une investigation "historique".

Que ce soit dans des textes anciens ou tout au moins par interrogation des populations locales. Les résultats que l'on peut en espérer serviront essentiellement à vérifier que les estimations de débits de crues faites par d'autres méthodes permettent de rendre raisonnablement compte des différentes crues catastrophiques enregistrées.

Donc la recherche historique apporte un ordre de grandeur du phénomène.

III .4. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'ZAB

La prédétermination du débit d'une crue consiste à associer au dépassement d'un certain débit une probabilité d'occurrence. Pendant très longtemps, les hydrologues ont travaillé avec l'idée qu'il existait sur un bassin versant, un débit maximum possible.

Cette notion de crue maximale possible est généralement réfutée aujourd'hui. On considère que si la probabilité de dépassement d'un débit x tend vers 0, ce débit tend lui-même vers l'infini.

Nous ne parlerons donc plus de crue maximale possible mais de débits de crue de fréquence donnée.

Les paramètres essentiels qui influent sur le débit de crue de fréquence donnée pour un bassin versant sont :

1. la surface.
2. la pluviométrie.
3. la nature géologique du bassin.

Les méthodes utilisées pour évaluer une crue de projet se fondent principalement sur la connaissance et l'analyse des écoulements observés d'une part, et des pluies d'autre part.

Pour le bassin du M'Zab jusqu'à El Atteuf, d'une superficie de 1600 Km², il a été distingué 23 sous-bassins élémentaires pouvant être combinés en de nombreux ensembles dont les grands bassins suivants: L'oued El Abiod à Dhayet Ben Dhahoua, l'oued Lhadhira à Dhayet Ben Dhahoua, regroupés à leur confluence en l'oued M'Zab à Dhayet Ben Dhahoua, les bassins aux alentours de Ghardaïa depuis Dhayet Ben Dhahoua jusqu'à El Atteuf, et l'ensemble de l'oued M'Zab à El Atteuf.

III .4. 1. INDICE DE PENTE GLOBALE I_g (Dubreuil 1965)

Dubreuil a proposé la formule suivante pour calculer l'indice de pente :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

D : étant la dénivelée $h_5\% - h_{95}\%$, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique.

L: étant la longueur du rectangle équivalent.

Rodier et Auvray (1965) fixent la troncature des profils longitudinaux et transversaux à 20% des extrémités amont et aval. Ceci, dans le cas du M'Zab, change peu la valeur de l'indice et pour tenir compte de pentes transversales fortes, supérieures de 30m/km à I_g , un indice de pente corrigé (I_{gc}) est parfois utilisé.

$$I_{gc} = \frac{I \text{ transversale} + I_g}{2}$$

Afin de pouvoir classer le relief du bassin versant étudié, nous nous basons sur le tableau ci-dessous :

Tableau III -1 : Classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants selon leur indice de pente globale

R1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
R4	Relief modéré	$0,010 < I_g < 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$

CHAPITRE III: SYNTHESE HYDROLOGIQUE

R6	Relief fort	$0,050 < I_g < 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

En se basant sur l'hypsométrie, on adopte l'indice **R4** pour les bassins du M'Zab, compte tenu des indices calculés pour chaque sous bassin.

III .4.2. CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

La géologie d'un bassin versant est un facteur très important du régime des cours d'eau qui drainent ce bassin. En période de crue, les volumes écoulés seront d'autant plus grands que le bassin sera plus imperméable. En période de basses eaux, les débits seront d'autant plus forts que les nappes sont plus nombreuses et importantes.

On se contente généralement de caractériser la géologie d'après le comportement hydrogéologique du bassin. Afin de pouvoir classer la perméabilité du bassin versant étudié, nous nous basons sur le tableau ci-dessous :

Tableau III -2 : Classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants selon leurs caractéristiques géologiques.

Classe	Intitulé	Exemple
P1	Perméable à aquifère drainant ou non drainé	Formation gréseuse dont les exutoires sont à l'extérieur du bassin
P2	Perméable à aquifère drainé	Formation gréseuse dont les sources alimentent le réseau
P3	Perméabilité moyenne ou faible	Alternance de marnes et calcaires
P4	Karstique	Formation calcaire, perméabilité de fissures et développement d'un réseau souterrain
P5	Imperméable	Terrain marneux, cristallin, <i>etc.</i>

Dans le M'Zab, comme en témoignent les photos aériennes obliques et verticales, le bassin est bien homogène. Les terrains dominants, sans couverture pédologique, permettent de classer les bassins en perméabilité P2, les zones d'épandage détritique représentant moins de 15% de la surface. Toutefois certaines parties basses des hauts bassins de l'oued El Abiodh, tels que celui où se trouve la Dhayet Belkassem, devraient être classés en P3 pour tenir compte de leur nature détritique. Cependant, en l'absence d'une reconnaissance de terrain, on demeurera prudent car des croûtes peuvent rendre en surface les sédiments plus imperméables qu'il n'y paraît. Donc le bassin versant de Ghardaïa appartient à la classe **P2**.

III.5. PRECIPITATIONS DU BASSIN VERSANT DE M'ZAB

Pour les précipitations, nous disposons de statistiques diverses, notamment sur les pluies journalières à Ghardaïa et à d'autres stations environnantes. Ce sont :

- ❖ Les statistiques de Dubief (1963) pour la période antérieure à 1950 ou 1960.
- ❖ Les statistiques des bulletins décennaux de l'Office national de météorologie d'Algérie (ONM) pour la décennie 1974-1985.

Toutefois Les pluies journalières individuelles ont pu être obtenues pour la période 1971-1995. La pluviométrie moyenne annuelle, à Ghardaïa, est de 67,3 mm, avec un écart-type de 34,0 mm. La médiane, susceptible d'être dépassée une année sur deux, est de 62,4 mm. La tendance sur 110 ans, mais avec 88 années de données effectives, est à une stabilisation de la moyenne. Un ajustement linéaire indiquerait une stabilité de la tendance tandis qu'un ajustement polynomial montre un minimum centré sur 1940, puis une remontée, probablement en raison de quelques années de fortes pluies en fin de période. Des observations sur une durée encore plus longue apparaissent nécessaires pour étayer toute tendance actuelle.

La pluie annuelle décennale a été évaluée à 114 mm, la centennale à 170 mm et la millennale à 217 mm. Les mois les plus pluvieux à Ghardaïa s'échelonnent de septembre à avril avec une grande sensibilité dans leur classement selon les groupes d'années pris en considération. Les totaux mensuels généralement les plus élevés sont ceux de novembre et mars. En ne comptant que les pluies journalières supérieures à 20 mm, les mois d'octobre et novembre, puis mars et janvier arrivent en tête.

Les périodes de sécheresse séparées par des pluies journalières de 5 mm durent 4 mois en moyenne. Cependant 24% d'entre elles ne dure qu'un mois, et une sur deux ne dépasse pas deux mois. Cette durée médiane de deux mois est plus courte que celle séparant les écoulements une fois sur deux. Ceci confirme que le seuil de hauteur de pluie journalière au-delà duquel se produit

CHAPITRE III: SYNTHESE HYDROLOGIQUE

l'écoulement est supérieur à 5 mm. Le fait le plus important est que la durée des phases pluvieuses est assez longue en hiver. Par contre en plein été, et particulièrement en juillet, les périodes pluvieuses sont toujours de courtes durées, comprises entre une heure et quelques minutes.

Les pluies journalières de hauteurs supérieures ou égales respectivement à 5 mm, 10 mm et 25 mm représentent respectivement environ 60%, 40%, et 9% du total annuel. De même, 5% du total annuel est fourni par des pluies supérieures à 35 mm. Plus de la moitié du total annuel est encore donné par des précipitations supérieures à 5 mm tombant avec une intensité moyenne supérieure à 1 mm / h. Cette proportion n'est plus que de 20 à 40 % pour une intensité moyenne supérieure à 2 mm / h. Les pluies supérieures à 7,5 mm donnent la moitié du total annuel. On peut penser que ce seuil de 7,5 mm est assez proche du seuil moyen de déclenchement du ruissellement. Ce n'est donc seulement que 50% des 67 mm annuels qui pourraient déclencher l'écoulement, ou 40% pour un seuil de pluie journalière supérieur à 10 mm. Il vaut mieux parler dans ce cas de déclenchement de l'écoulement que de ruissellement par lequel on est tenté de passer à une fonction de production, phénomène plus complexe que ce simple rapport. Seule une proportion de ces pluies importantes s'écoulera donc à travers Ghardaïa.

Les hauteurs de pluies journalières de fréquence décennale et centennale ont été évaluées respectivement à 36 mm et 70 mm. La pluie journalière quadri centennale a une hauteur de 100 mm. Enfin, la pluie millennale est déterminée à 140 mm. La pluie journalière de 57,1 mm a une période de retour de 35 ans. La hauteur centennale de 70 mm sera retenue pour procéder à une évaluation des crues par analogie avec les bassins versants de la marge méridionale du Sahara et du Sahel. Celle de 100 mm servira pour les analogies avec le Nordeste.

Pour ce qui est de l'intensité moyenne extrême d'averses, on retiendra à Ghardaïa en mars, 36 mm en 22 minutes, soit 98 mm/h, et encore en mars, 8,7 mm en 3 minutes, soit 174 mm/h. Cette dernière averse n'a fourni qu'une faible crue. Là encore, ces extrêmes devraient être facilement dépassés, avec le développement des enregistrements pluvio graphiques. Les « hyétogrammes types » retenus pour l'étude des crues décennales de petits bassins versants au Sahel ne dépassent pas une intensité de 142 ou 178 mm / h sur 5 minutes, pour une durée totale de 1 h 30.

Cela dit, tant au point de vue des durées que des intensités, les pluies sahariennes ne sont pas très originales. Si la plupart d'entre elles ont des durées relativement courtes, certaines, en hiver notamment peuvent persister de plusieurs heures à quelques jours.

III .6. CRUES DE L'OUED M'ZAB

Les crues de l'Oued M'Zab sont présentées comme suit :

III .6.1. SOURCES DE DONNEES

Pour le M'Zab, aucune mesure hydrométrique n'a jamais été faite, mise à part l'observation sommaire et qualitative des crues qui ont traversé l'agglomération de Ghardaïa. Pour la période de 1907-1953, nous nous sommes basé sur la liste récapitulée par Dubief et qui a même proposé une analyse fréquentielle selon les sites atteints. Par la suite, c'était les crues de juin 1991 et septembre 1994 qui ont été prises en considération. Des évaluations de débits peuvent aussi être faites par des formules hydrauliques en certains sites où les hauteurs d'eau et les pentes maximales sont repérables sur des photos prises après les dernières crues.

III .6.2. INVENTAIRE DES CRUES DE L'OUED M'ZAB

A partir de 1921, on dispose de la liste ci-dessous recueillie par Dubief (1953) :

Tableau III -3 : Crues de 1921 à 1937 d'après les documents de l'Annexe de Ghardaïa, communiqués à Capot-Rey, en février 1938

Dates des crues	Importance	Observations
1921 28 mai	Importante	La crue arrive au 3ème barrage, la palmeraie est inondée.
1923 23 mai	Importante	Inondation des oasis de Ghardaïa, Mélika, Bou Noura, El Atteuf. Atteint Zelfana à 64 km en aval de Ghardaïa, à 150 km de la source.
1925 15-17 mars	Importante	Dépasse Bou Noura après avoir rempli tous les barrages situés en amont.
1929 7 Septembre	Importante	Remplit tous les barrages.
1931 29 mai	Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa.
1932 8 novembre	Importante	Coule jusqu'au barrage; oasis arrosée.
1932 décembres	Importante	Remplit les barrages de Ghardaïa et s'arrête à celui de Mélika.
1933 3 novembre	Très Importante	les barrages de Ghardaïa, Mélika, et Bou

CHAPITRE III: SYNTHESE HYDROLOGIQUE

		Noura. S'arrête à celui d'El Atteuf qui n'a pas été atteint depuis 1932.
1935 23 avril	Peu Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa.

Tableau III -4 : Crues de 1938 à 1951 d'après les états mensuels fournis par l'Annexe de Ghardaïa depuis avril 1938, complétés par ceux du poste Météorologique de Ghardaïa.

1938 18 avril	Importante	Coule jusqu'à la ville de Ghardaïa
1938 25 novembre	Importante	Inondation totale des oasis de Ghardaïa, Béni Isguen, partielle de celle de Bou Noura (oued Zouil)
1939 février	Importante	Arrive jusqu'à El Atteuf, remplissant à moitié le barrage d'aval de l'oasis. Tous les barrages situés sur le parcours aval de l'oued ont été remplis
1940 mars	Légère	Crués des affluents des oueds El Abiodh et M'Zab. Le barrage dit "Sed Edjedid" (dit aussi "Habbas Djedid") presque entièrement rempli.
1941 mars	Importante	Inondation de la palmeraie; premier barrage (à 1500 m en amont du Ksar) rempli
1941 avril	Moyenne	Inondation de l'oasis; barrage en parti rempli
1942 7 juin	Moyenne	Crue des oueds secondaires
1943 18 février	Faible	Oued Adira au NW de Ghardaïa
1943 mars	Faible	Partie N de la palmeraie arrosée
1943 avril	Faible	Inondation de l'oasis. Fortes crues des oueds secondaires
1943 octobre	Importante	Inondation de l'oasis de Ghardaïa; premier barrage rempli
1943 décembre	Peu Importante	Inondation de l'oasis de Ghardaïa
1944 février	Peu Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
1944 mars	Peu Importante	
1946 21 janvier	Très Importante	Inondation de toutes les oasis. L'oued M'Zab est arrivé à El Atteuf, tous les barrages ont été remplis sauf El Atteuf qui ne l'a été qu'en partie

CHAPITRE III: SYNTHESE HYDROLOGIQUE

1946 24 avril	Assez Importante	Inondation de la partie nord de l'oasis de Ghardaïa
1946 15 septembre	Faible	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
1947 6 avril	Moyenne	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
1948 avril	Faible	
1948 septembre	Fortes	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa. Oueds secondaires
1949 24 mars	Légère	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
1949 24 avril	Importante	Inondation de l'oasis de Ghardaïa. Barrages partiellement remplis
1950 6 septembre	Forte	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
1950 octobre	Forte	Inondation de l'oasis de Ghardaïa; barrage de Ghardaïa rempli
1951 5 mars	Forte	Inondation de l'oasis de Ghardaïa. La crue arrive jusqu'à El Atteuf

Tableau III -5 : Crues de 1951 à 1953 d'après une communication personnelle de J. Dubief recueillie par M.A. Roche (1996)

1951 13 et 19 septembre	Moyenne	Crue moyenne des oueds secondaires Bouchamdne, Takdit, Touzouze, Argdane. Une partie de la palmeraie a été arrosée. Une crue de l'oued M'Zab a été signalée dans son cours inférieur (renseignement de l'annexe d'Ouargla).
1951 2 octobre	Forte	L'oued M'Zab est arrivé jusqu'à El Atteuf, après avoir rempli les barrages de Ghardaïa et Mélika. Plus en aval, la crue alimentée par les affluents inférieurs du M'Zab atteint Hassi Chegga le 4 octobre. Le 17 le lit de l'oued était encore humide; un plan d'eau de 250 m ² subsistait à Chaab M'Zab.
1952 24 avril	Très forte	La chute de pluie a été considérable à partir d'un point situé à 15 km en amont de Ghardaïa et jusqu'au-delà de Zelfana. Les oueds du bassin supérieur du M'Zab n'ont pas ou peu coulé (oueds El Kekakh, El Abiod, Djaref). A Ghardaïa, la crue ne s'est fait sentir qu'à partir de la

CHAPITRE III: SYNTHESE HYDROLOGIQUE

		Daïa ben Dahoua; elle est de courte durée, mais violente par suite d'un ruissellement intense. A Zelfana, le débit maximum a pu être évalué entre 500 et 1000 m ³ seconde. La crue emporta des tentes, noya plus de 1200 têtes de bétail (renseignements d'Ouargla).
1952 23 septembre	Assez forte	Crue de l'oued M'Zab alimentée par les oueds immédiatement en amont; barrages remplis. Forte crue de l'oued N'Tissa qui remplit le barrage d'El Atteuf: léger déversement de celui-ci. Le barrage de Béni-Isguen a été très endommagé. L'oued coule en aval d'El Atteuf, grâce aux crues des oueds inférieurs et surtout Noumerate.
1953 mars	Faible	La palmeraie de Ghardaïa a été partiellement arrosée.
1953 12 juillet	Faible	Oued Zouil. Quelques jardins de l'oasis de Bou Noura ont été arrosés.
1953 5 septembre	Faible	Oueds secondaires: Touzouze, Akhalkhal ,les crues y sont arrivées.

Tableau III -6 : Crues de 1954 à 1996

1984 fin octobre		Au moins le barrage en amont de la palmeraie de Ghardaïa est rempli.
1990 11 mai		Laisse de crue repérée à l'altitude de 498,85 à la distance de 473,70 m en amont du pont Adaoud.
1991 2 juin	Très importante	Nombreux dégâts.
1993	Probable forte.	
1994 30 septembre	Très importante	
1995 8 octobre	Assez forte	

III .7. SIMILITUDE ET ANALOGIE ENTRE LES BASSINS VERSANTS

En l'absence de données locales, nous procédons par analogies avec les résultats acquis dans d'autres régions du monde aussi semblables que possible à la région mozabite, et pour les appliquer il faut prendre en considération la similitude de la pluviométrie d'une part et les caractéristiques physiques (superficie, perméabilité, et relief) d'autre part. Les zones de similitudes sont : La marge méridionale du Sahara et du Sahel (zone sahélienne et subdésertique au sud du Sahara : Niger; Burkina + Niger; Tchad + Nord Cameroun), le Sud du Maroc et le Nordeste. Malgré l'identification de similitude, une approximation demeure toujours lorsqu'on applique à une région des résultats obtenus dans une autre région. Nous allons donc utiliser différentes méthodes, afin de pouvoir comparer les valeurs hydrologiques auxquelles nous aboutissons.

III .7.1. SIMILITUDE DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Les observations hydrologiques disponibles caractérisent près de 130 bassins versants de 5 à 200 km² dont les caractéristiques physiques se rapprochent de celles du M'Zab sous des pluviométries de 100 à 700 mm par an dans des zones arides et semi-arides du Sahel en Afrique de l'Ouest.

III .7.2. SIMILITUDE DE LA PLUVIOMETRIE

Il y'avait près de 21 bassins versants qui ont satisfait cette conditions au Nordeste du Brésil. Dans ces régions, les résultats obtenus sur le principe de l'hydro gramme unitaire ont pu être « régionalisés », c'est-à-dire qu'il est possible d'interpoler les valeurs de caractéristiques de crue pour tout bassin versant de la zone en fonction des caractéristiques pluviométriques et physiques. Les hauteurs d'averses et leur nature sont à peu près les mêmes dans le Nordeste et le Sahel. Dans cette dernière région, les hauteurs décennales y varient entre 100 mm au sud et 50 mm au nord. Les valeurs de 70 et 100 mm y ont été généralement choisies pour évaluer les crues décennales. Dans le Nordeste, ces valeurs varient entre 60 et 110 mm. Une hauteur annuelle de 104 mm y a été choisie pour représenter la pluie journalière décennale dans toute la région. A Ghardaïa, une pluie journalière de 50 mm à une fréquence estimée trentennale à quarantennale. Une pluie de 70 mm y a une fréquence centennale, et une pluie de 100 mm une fréquence quadri centennale.

III .8. RESULTATS DE L'ANALOGIE

Les bassins du M'Zab sont plus comparables aux bassins du Nord-Est pour leurs pentes et à ceux du Sahel pour leurs perméabilités.

III .8.1. TEMPS CARACTERISTIQUES

Les différents temps caractéristiques sont

III .8.1.1. TEMPS DE BASE T_b

Le temps de base T_b est la durée pendant laquelle la partie ruisselée de l'averse s'écoule à une station. D'après les classifications suivant les pertes de R1 à R6 (Classification ORSTOM), on peut proposer des abaques donnant T_b dans les conditions de la crue décennale. Les abaques donnant T_b dans les conditions de la crue décennale sont présentés dans l'annexe 1. Pour les régimes sahéliens et subdésertiques, et d'après l'abaque ci-dessus, on peut tirer l'équation de T_b pour R4 :

$$T_b = 2,146 A^{0.368}$$

On a retenu aussi le barème établi pour les ruissellements du Nordeste sur des superficies de 5 à 1000 km² (Cadier, 1993), en l'exprimant par une équation du même type que la précédente, valable pour des classes de relief comprises entre R3 et R5: $T_b = 4,602 A^{0.270}$.

III .8.1.2. TEMPS DE MONTEE T_m

Le temps de montée est la durée entre le début de l'écoulement et le maximum de hauteur de la crue. Les temps de montée sont données dans (l'annexe 1) selon la classification ORSTOM. Pour les régimes sahéliens et subdésertiques, et d'après l'abaque ci-dessus, on peut tirer l'équation de T_m pour R4 : $T_m = 0,395 A^{0.409}$.

III .8.1.3. TEMPS DE CONCENTRATION T_c

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin versant la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci.

Plusieurs expressions peuvent être utilisées pour évaluer le temps de concentration T_c ,

en heure. Néanmoins, nous utiliserons la formule de Giandotti.

Parmi les méthodes utilisées pour l'évaluation du temps de concentration, nous citons.

FORMULE DE LA CALIFORNIA HIGHWAYS AND PUBLIC WORKS

$$Tc = 0,95 (L^3 / DH)^{0.385} .$$

L (km) : est la longueur du talweg le plus long ; DH (m) : est la dénivelée du bassin.

FORMULE DE VENTURA

$$Tc = 0,1272 (A / i)^{0.5} .$$

A (km²) : est la superficie du bassin.

i (m / km) : est la pente moyenne du thalweg principal.

FORMULE DE GIANDOTTI

$$Tc = \frac{(4A^{0.5} + 1.5l)}{(0.8[h_{moy} - h_{min}]^{0.5})}$$

A (km²) : la superficie du bassin versant.

L (km) : la longueur du Thalweg principal.

H_{moy} (m) : l'altitude moyenne du bassin versant.

H_{min}(m) : l'altitude minimale du bassin.

III .8.2. LE VOLUME DE CRUE

Le volume de crue est quantifié par la formule suivante :

$$V (10^6 \text{ m}^3) = Pj (\text{mm}) * Ka * Kr * A (\text{km}^2) / 1000$$

Les volumes de crue VF₁₀₀ ainsi obtenus pour une pluie de 70 mm de fréquence centennale. Ce volume de crue peut être exprimé par deux types d'équations:

$$VF_{100} = 0,0586 * A^{0.832}$$

Ou

$$VF_{100} = - 5 * 10^{-6} A^2 + 0,0217 A + 0,46$$

L'équation de puissance est mieux ajustée pour les superficies inférieures à 425 km².

Au-delà, on préférera l'équation binomiale.

A Dhayet Ben Dhahoua, le volume d'une crue du M'Zab de fréquence centennale est ainsi évalué à 20 millions de m³. A El Atteuf, ce volume atteint 23 millions de m³.

III .8.3.LE COEFFICIENT D'ABATTEMENT K_a

Pour passer de la pluie ponctuelle à la pluie sur le bassin versant de surface S, on applique un coefficient d'abattement K qui, en Afrique, varie avec la surface S (en km²), la hauteur de pluie annuelle Pan (en mm) et la période de retour T (en années) de l'averse :

$$K_a = 1 - 0,001 (9 \log T - 0,042 Pan + 152) \log S$$

III .8.4.LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT K_r

C'est le rapport entre la lame d'eau moyenne ayant ruisselé sur la surface du bassin et la lame d'eau moyenne apportée par la pluie. Pour les bassins sahéliens et subdésertiques au sud du Sahara, Rodier et Auvray (1965) ont établi des relations entre des coefficients de ruissellement K_r , la superficie A, en tenant compte des indices de relief et de perméabilité, pour de fortes pluies journalières comprises entre 60 mm et 110 mm. Dans cette région, la hauteur de l'averse décennale varie entre 60 et 85 mm pour la zone subdésertique et entre 85 et 110 mm pour la zone sahélienne. A Ghardaïa, de telles pluies journalières de 60 mm et 110 mm ont des périodes de retour beaucoup plus, respectivement de 50, et 200 à 300 ans environ. D'après les classifications suivant les pertes de R1 à R6 et suivant la perméabilité de P1 à P5 (Classification ORSTOM), on peut proposer des abaques donnant K_r dans les conditions de la crue décennale.

Les coefficients de ruissellement sont donnés dans (l'annexe 02) Pour les régimes sahéliens et subdésertiques, et d'après l'abaque ci-dessus, on peut tirer l'équation de K_r pour R4P2 :

$$K_r = 110. A^{-0,186}$$

Compte tenu du calage de ces coefficients de ruissellement sur une pluie décennale de 70 mm dans la Sahel et la zone subdésertique, on considère que ces valeurs sont valables pour une pluie

CHAPITRE III: SYNTHESE HYDROLOGIQUE

journalière de même hauteur mais de fréquence centennale à Ghardaïa. Les coefficients de ruissellement des différents sous bassins sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III -7 : Coefficients de ruissellement des différents sous bassins

BASSIN VERSANT	Kr (%)
El Abiod à Dhayet Ben Dhahoua	31,3
Lhadhira à Dhayet Ben Dhahoua	35,7
M'Zab à Dhayet Ben Dhahoua	29
Ghardaïa à El Atteuf	38,4
M'Zab à El Atteuf	28
Plus grand bassin élémentaire	40
Plus petit bassin élémentaire	57

III .8.5.COEFFICIENT DE POINTE **a**

Le coefficient de pointe $a = Q_{\max} / Q_{\text{moy}}$ est égal au débit maximum Q_{\max} sur le débit moyen Q_{moy} de la crue, supposé uniformément réparti sur tout le temps de base T_b .

Pour les bassins du M'Zab de superficie inférieure à 25 km², on adopte un coefficient **a** de 2,6 et au-delà de 70 km², la valeur de **a** découlera des résultats de l'équation :

$$a = 0,24 \text{ Ln } (A) + 2$$

Entre 25 et 75 km², les valeurs de **a** sont intermédiaires. On a ainsi **a** = 2,75 pour 50 km² et 3,1 pour 100 km². Pour l'ensemble des bassins versants, le coefficient de pointe **a** sera compris entre 2,6 et 3,8. Sa valeur est de 3,7 pour le bassin de l'oued M'Zab à Dhayet Ben Dhahoua. Les valeurs du coefficient de pointe sont données dans (l'annexe 03).

III .9. DEBITS MAXIMUMS

❖ **FORMULES DE DEBITS MAXIMUMS EN FONCTION DE LA SUPERFICIE**

Parmi ces formules nous pouvons distinguer :

1. FORMULES DE TYPE MYER

On obtient généralement une fonction de puissance qui conduit à des formules, appelées « formules Myer » aux Etats-Unis. C'est le débit de fréquence décennale Q_{10} , en m^3/s , qui est évalué en fonction de la superficie A (km^2), sous la forme:

$$Q_{10} = a * A^n$$

Avec : **a** (cote Myer) et **n** dépendent en fait des caractéristiques morphologiques et climatiques du bassin.

Dans le Sahel, pour différents pays ou groupes de pays, les paramètres des corrélations de ce type ont été établis par Puech et Chabi-Gonni (1984), d'après les résultats obtenus sur plusieurs dizaines de bassins versants représentatifs observés par l'ORSTOM. La pluie journalière décennale y est comprise entre 60 et 110 mm. Si l'on admet pour une hauteur de pluie journalière de 70 mm, la correspondance entre la fréquence décennale au Sahel et la fréquence centennale à Ghardaïa, on peut attribuer aux résultats obtenus une fréquence centennale. Les équations sont les suivantes:

Tableau III -8 : Equations donnant le débit centennal dans chaque zone

ZONE	EQUATION
Niger	$Q_{100} = 10,05 * A^{0,632}$
Tchad + Nord Cameroun	$Q_{100} = 10,41 * A^{0,415}$
Burkina Faso + le Niger, + Mali	$Q_{100} = 9,87 * A^{0,501}$
Zone sahélienne et subdésertique au sud du Sahara, pluviométrie annuelle: inférieure à 400 mm, pluie journalière décennale: 60 à 85 mm.	$Q_{100} = 10,76 * A^{0,678}$

Les résultats obtenus diffèrent selon les équations. On peut retenir et appliquer au bassin versant du M'Zab l'équation correspondant à la médiane des résultats calculés par ces 4 formules.

Pour l'oued M'Zab, on retiendra finalement l'équation :

$$Q_{100} = 9,6 A^{0,59}$$

Le débit maximum centennial du M'Zab à Dhayet Ben Dhahoua est ainsi évalué à 657 m³/s. Il est de 340 et 519 m³/s à cette même station respectivement pour les oueds Laadhira et El Abiod. La valeur est de 738 m³/s à El Atteuf voir (annexe 04)

2. COURBES ENVELOPPES (METHODE FRANCOU – RODIER)

On a l'équation

$$Q_{\max} = 10^6 (A / 10^8)^{1-K/10}$$

Q_{max} : est le débit maximum en m³/s.

A : est la superficie du bassin versant en km².

K : coefficient empirique caractérise la région.

L'application de cette formule est limitée à des bassins de superficie supérieure à 100 km². En dessous de cette limite, la crue maximale est de plus en plus dépendante de l'intensité pluviométrique maximale. L'évaluation des débits maximums de l'oued M'Zab. Voir(annexe 05)

Détermination du coefficient K

Afin de pouvoir déterminer le coefficient K du bassin versant étudié, nous nous basons sur le tableau ci-dessous :

Tableau III -9 : Valeur de K selon la zone

Régions (bassin versant)	Valeur de K
régions semi-arides du sud du Texas, et les régions limitrophes du Nouveau Mexique et du Mexique.	6
une partie des cours d'eau des Indes et de l'Australie et pour certains cours d'eau de l'Amérique centrale et du Mexique.	5,5 à 5,6
fleuves à régimes tropical et méditerranéen	4,5 et 4,8

du Brésil et de l'Uruguay et les cours d'eau de la Californie et de l'Ohio.	
Les cours d'eau les plus violents d'Afrique du Nord	4,7 à 5

Compte tenu des pluviométries journalières qui restent modestes dans le M'Zab, une valeur de K de 3,5 à 3,6 semble la plus appropriée, et selon les courbes enveloppes de Francou et Rodier, les débits maximums de fréquence approximativement centennale sont de 663 m³/s à Dhayet Ben Dhahoua, et de 738 m³/s à El Atteuf.

❖ LA METHODE DE RODIER ET AUVRAY (1965), ANALOGIE AVEC LE SAHEL ET LA ZONE SUBDESERTIQUE AU SUD DU SAHARA

Selon la méthode de Rodier et Auvray (1965), revue par Rodier et Ribstein (1988) pour les petits bassins. Le débit de pointe est évalué par :

$$Q_{\max} = a \cdot Q_{\text{moy}} = a \cdot V / T_b$$

Les débits de pointe $Q_{\max F100}$ (m³/s) s'ajustent en fonction de la superficie A (km²) à l'équation :

$$Q_{\max F100} = 32.6 A^{0,426}$$

Pour le M'Zab à Dhayet Ben Dhahoua, on a retenu les valeurs : $a = 3.7$; $V_{F100} = 20,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$;

$T_b = 30 \text{ h } 00 \text{ mn.}$

Le débit moyen est ainsi évalué à 185 m³/s. Le débit maximum est de 688 m³/s, pour une période de retour de 100 ans. Il est estimé à 750 m³/s à El Atteuf.

❖ METHODE DE PUECH ET CHABI-GONNI (1984), ANALOGIE AVEC LE SAHEL ET LA ZONE SUBDESERTIQUE AU SUD DU SAHARA

Des régressions multiples entre les débits maximums de pointe et les facteurs morphologiques et pluviométriques des bassins versants ont été établies par Puech et Chabi-Gonni (1984), pour la région sahélienne et subdésertique au sud du Sahara. Ils ont utilisé les résultats de recherches menées par l'ORSTOM sur plusieurs dizaines de bassins versants représentatifs. Les pluies journalières correspondantes sont comprises entre 60 et 110 mm et la pluie moyenne annuelle comprise entre 100 et 600 mm. L'équation de régressions multiples est de forme :

$$Q_{\max} = a \cdot A^n \cdot I_g^m \cdot P_{an} - p$$

Les régressions multiples de Puech et Chabi-Gonni, établies pour la même région que celle de Rodier et Auvray, permettent d'évaluer le débit maximum centennal entre de 657 m³/s et 685 m³/s, par sélection des valeurs respectives médiane et moyenne de plusieurs évaluations.

❖ METHODE DE L'HYDROGRAMME SYNTHETIQUE

Le débit centennal de crue évalué par Bou Noura à El Atteuf, par la méthode de l'hydro gramme synthétique est de 772 m³/s. On a souvent observé, dans les diverses évaluations faites, un écart de débit de pointe de l'ordre de 10% entre Dhayet Ben Dhahoua et El Atteuf. D'après cette proportion, le débit maximum centennal à Dhayet Ben Dhahoua est de 695 m³/s.

III .10. DEBIT DE PROJET

D'après l'étude faite sur l'évaluation du débit, on peut dire que le débit maximum centennal du M'Zab à El Atteuf est de 738 m³/s.

Toutefois, ce débit ayant été obtenu sans prendre en considération la présence des 3 barrages à l'amont du tronçon considéré, notre débit de dimensionnement sera calculé de la manière suivante :

$$Q_{\text{proj}} = Q_{\text{lam1}} + Q_{\text{lam2}} + Q_{\text{lam3}} + Q_{\text{aff}}$$

Avec

$$Q_{\text{aff}} = 738 - Q_1 - Q_2 - Q_3$$

Où Q_{proj} désigne le débit de projet recherché.

$Q_{\text{lam } i}$: débit laminé par le barrage i .

Q_i : débit qui arrive au barrage i .

Q_{aff} : débit apporté au cours d'eau par les affluents se trouvant à l'aval des 3 barrages.

Nous aboutissons au final à un débit de projet $Q_{\text{proj}} = 308 \text{ m}^3/\text{s}$.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

IV.1. INTRODUCTION

Les inondations sont un phénomène qui est considéré de nos jours, comme un danger persistant pour les populations, surtout celles résidant aux abords des cours d'eau, considérés comme des zones à haut risque. Le phénomène est d'autant plus complexe, qu'il est difficile de le contrer sans étude approfondies. Ces études la consistant en l'analyse des ondes de submersion engendrée par une crue, ce qui permet des cartes de risque, qui illustrant l'étendue des inondations par apport à certain niveaux d'alertes. Cela permet de réaménager les zones à risques, d'établir des plans d'évacuations des populations.

La protection contre les inondations doit reposer sur 3 piliers :

- maîtrise des implantations nouvelles en évitant toutes constructions dans les zones inondables.
- mise en place de système d'alerte de façon à réduire les conséquences les plus dramatiques des inondations.
- actions d'aménagement correctives permettant de réduire les impacts des inondations.

La classification des zones vulnérables a permis d'orienter le choix des mesures palliatives nécessaires aussi bien structurelles que non structurelles. S'appuyant sur les orientations et les recommandations de l'étude du Plan National de Protection contre les inondations, le plan d'action établi s'articule autour des deux types de mesures suivantes :

IV.1.1 Mesures correctives

Elles visent l'atténuation ou la réduction de l'aléa naturel par la mise en œuvre des mesures structurelles qui concourent à la protection (partielle le plus souvent au moins en terme de période de retour) des zones exposées. Il s'agit d'endiguement, d'élargissement ou de curage des cours d'eau pour la suppression des obstacles à l'écoulement. Parmi les mesures structurelles, on trouve également la réalisation des barrages à buts multiples permettant l'écêtement des crues.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

IV.1.2 Mesures préventives

- Elles visent une meilleure prévention à travers les actions permettant le contrôle de toutes les actions anthropiques ayant pour conséquence d'étendre ou d'aggraver les impacts des inondations. Ces actions concernent les composantes suivantes:

- La délimitation du domaine public hydraulique :

les empiètements sur ce domaine et l'accumulation des dépôts de déchets solides dans les lits des cours d'eau limitrophes des zones urbanisées constituent un obstacle à l'écoulement et favorisent les risques d'inondation,

- La réalisation des études de définition des zones inondables.

- Le contrôle et la réglementation de l'occupation de sol au niveau des zones inondables :

la protection contre les inondations est étroitement liée, dans plusieurs de ses aspects, à la problématique de l'aménagement du territoire. La prévention du risque d'inondations passe en priorité par la maîtrise de l'expansion souvent anarchique des espaces urbanisés au niveau des zones inondables,

- L'amélioration de la prévision et de l'annonce des inondations à travers la modernisation et l'extension du système d'annonce de crues aux fins de couvrir tous les bassins versants de la zone et tout particulièrement ceux dont les montées de crues sont rapides et qui nécessitent de courts délais de prévision.

IV.2. Ouvrages types pour l'aménagement de la vallée

L'utilisation de techniques constructives et de matériaux locaux est privilégiée en vue d'intégrer au mieux les aménagements projetés dans le cadre de la vallée. Pour cette raison, le bureau d'étude propose l'emploi de la maçonnerie traditionnelle dans la plupart des ouvrages types.

Le dimensionnement est basé sur les théories classiques de la géotechnique et de calcul de structure.

La résistance et la stabilité des sections des ouvrages ont été contrôlées pour deux situations de calculs :

- Phase de construction (charges dues aux engins de chantier)
- Phase d'exploitation (cas d'une crue)

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

Ces calculs devront être repris lors de l'exécution pour prendre en compte les conditions réellement rencontrées.

IV.2.1. Murs de berges

Les murs berges sont construits en maçonnerie traditionnelle.

En phase d'exploitation, la pression de l'eau sur le parement côté rive est diminuée par un système de drainage composé d'une couche de gravier drainant et de barbacanes.

Lors des crues, les éventuels phénomènes d'érosion ou d'affouillement en pied de l'ouvrage sont cartés en imposant le niveau de fondation à 1.0 m sous le niveau du lit.

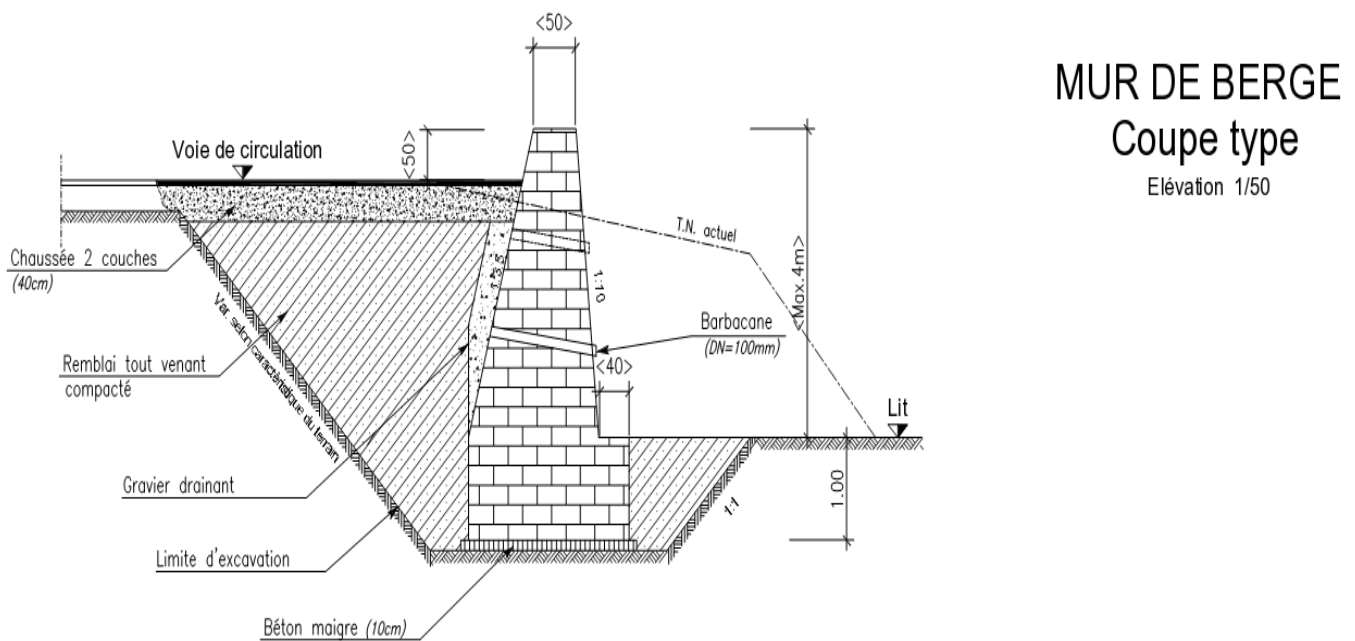


Figure IV-1 : Mur de berge.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

IV.2.2. Murs de berges existants : Contrôle / Réhabilitation

Dans le cas du calibrage de l'oued par une section rectangulaire, les berges sont stabilisées par des murs de soutènement. Hormis les nouveaux murs projetés, certains tronçons de l'oued sont calibrés par des murs existants.

Dans la configuration du projet, des tronçons de murs peuvent montrer des déficits de résistance ou de stabilité dus au rehaussement de la berge derrière l'ouvrage et à la présence d'eau dans le sol.

De plus, le niveau du couronnement des murs existants ne présentent pas toujours une revanche suffisante par rapport au niveau d'eau de la crue centennale.

Trois étapes sont prévues pour déterminer avec précision les sections qui nécessitent des interventions:

- Contrôle de l'état actuel (Expertise)
- Définition des interventions
- Contrôle de l'état projeté (Calcul)

Le principe du confortement est montré à la figure ci-dessous :

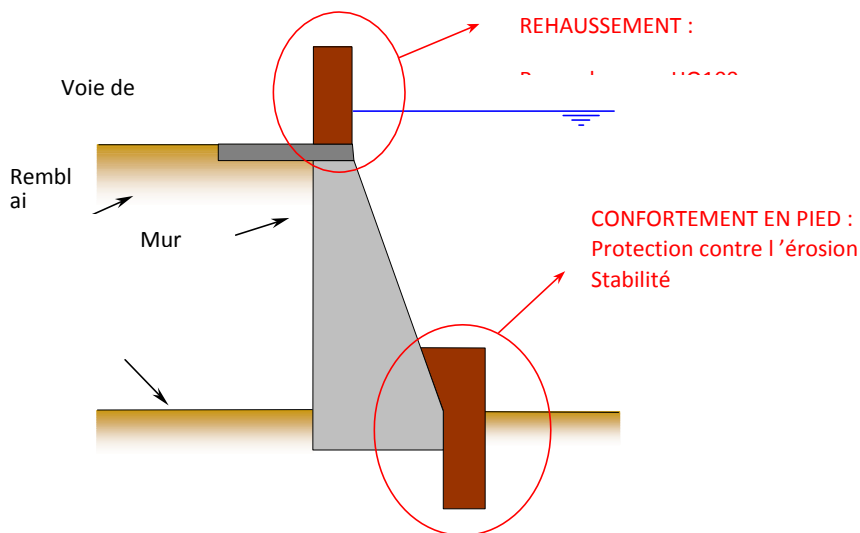
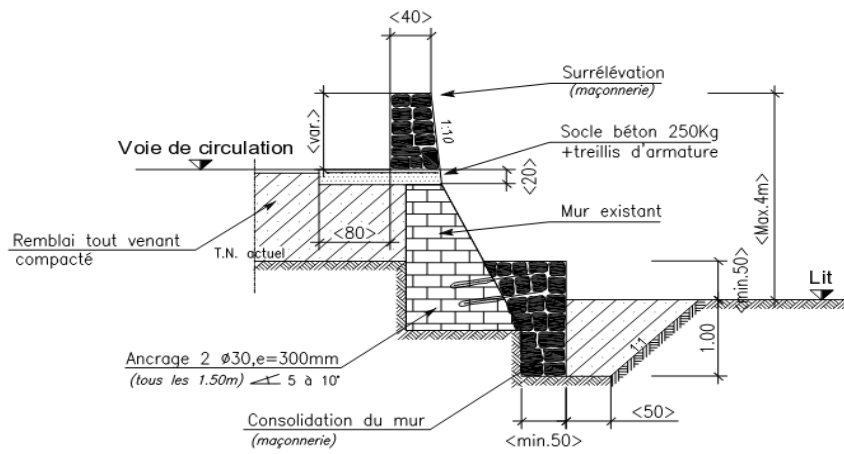


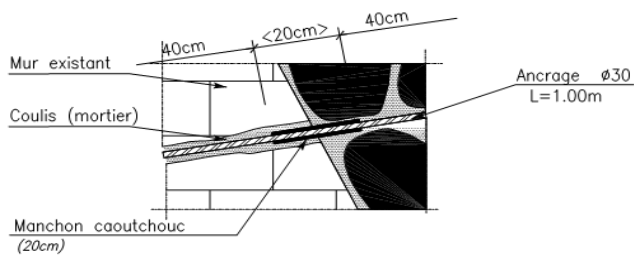
Figure IV-2 : Confortement d'un mur existant

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB



MUR DE BERGE (existant)

Elévation 1/50



BARRE D'ANCRAGE (JOINT) protection contre la corrosion

Détail 1/10

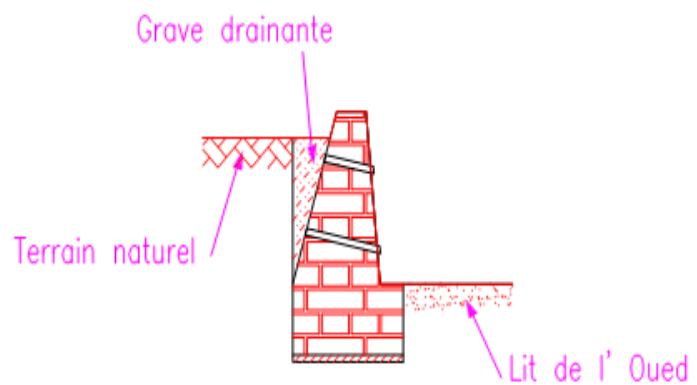
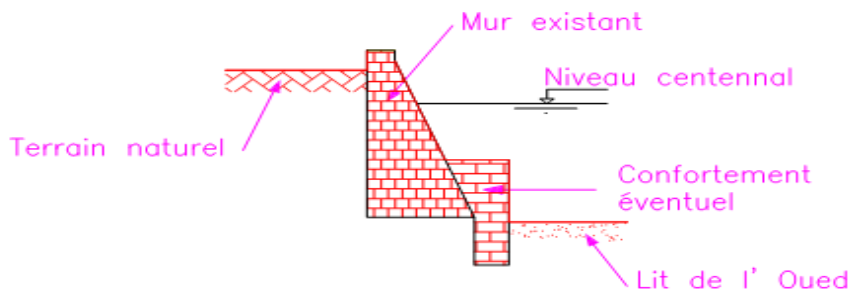


Figure IV-3 : Confortement et dimensions d'un mur existant

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

De manière générale, la stabilité des murs est satisfaisante. Le contrôle du niveau de la fondation est nécessaire afin d'écarter les éventuels risques d'érosion en pied des ouvrages.

IV.2.3. Perrés maçonnés et talus naturels

Les terrasses naturelles situées sur certaines portions des rives de l'oued permettent un calibrage des sections par un perré maçonné qui prend assise sur des talus réaménagés avec un fruit de 2 horizontal/1 verticaux.

L'épaisseur de maçonnerie nécessaire est de 0.30 m et est construite à l'aide de blocs de cette taille. Ces perrés sont munis de barbacanes. Le pied du talus est protégé contre l'affouillement par un mur de fondation également maçonné d'une profondeur d'au moins 1.0 m. Un petit mur en sommet de talus est un élément de sécurité important, en particulier lorsque l'oued est longé par une voie de circulation.

Dans les zones où l'espace sur les berges est suffisant, les talus sont façonnés avec un fruit de 3 horizontal/1 vertical et sont laissés naturels avec une protection en pied réalisée avec des gabions ou des enrochements.

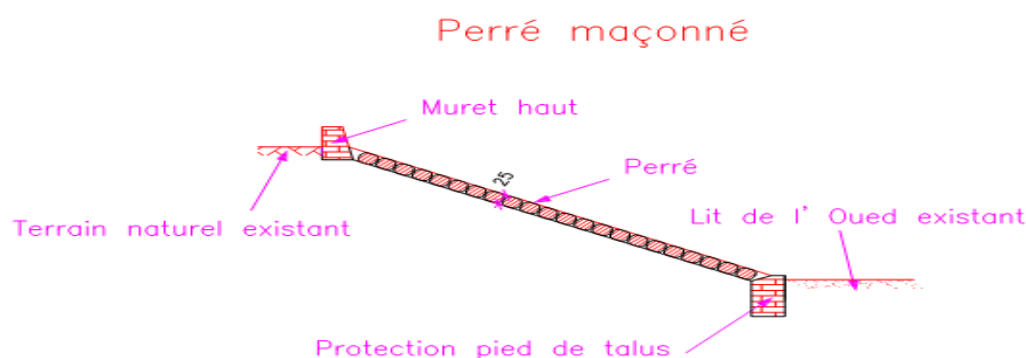


Figure IV-4 : Coupe type d'un perré maçonné

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

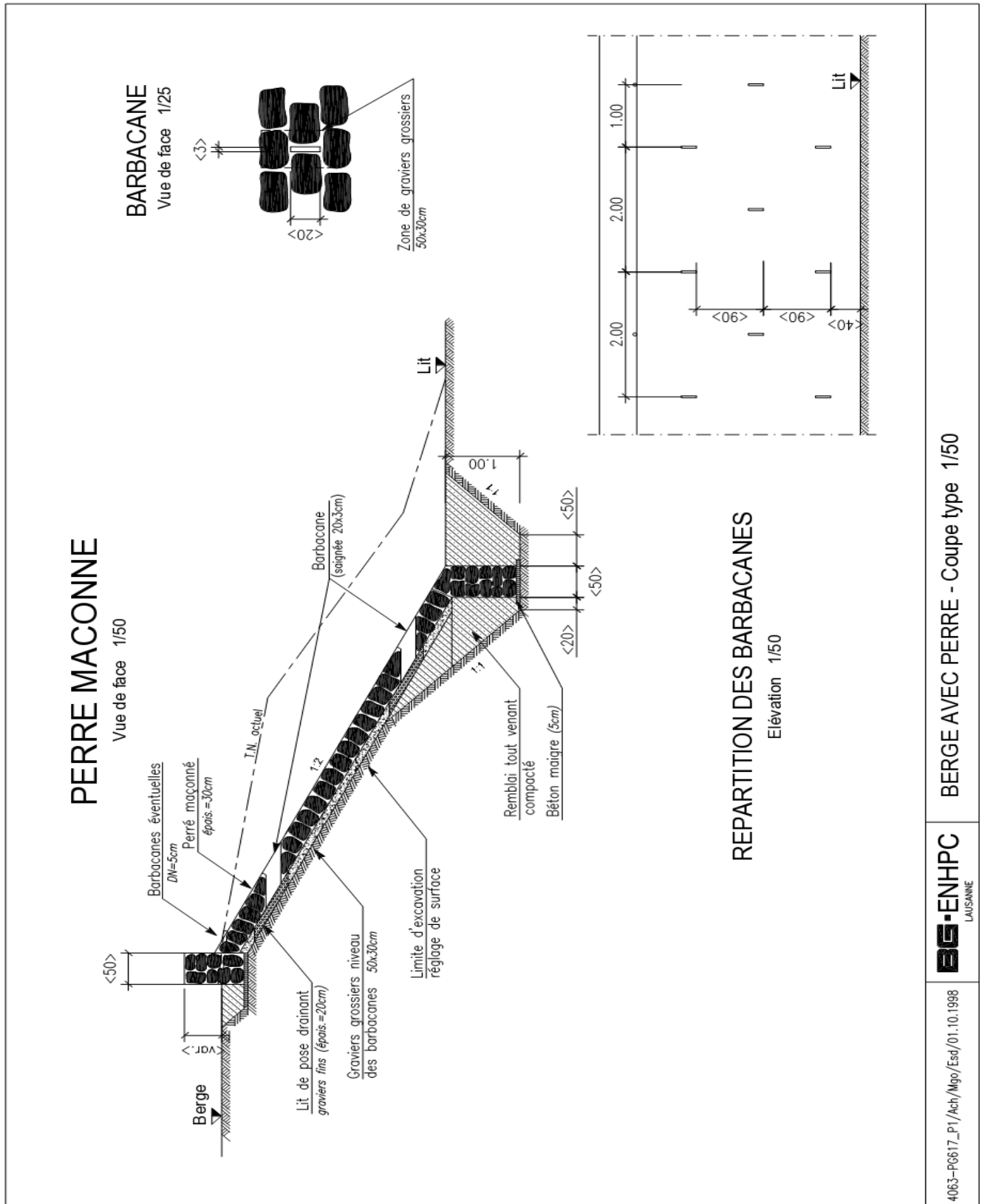


Figure IV-5 : Coupe schématique de Perrés maçonnés.

BERGE AVEC PERRE - Coupe type 1/50

EG-ENHPC
LAUSANNE

4063-P6617_P1/Ach/Mgp/Est/01.10.1998

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

IV.2.4. Endiguements

La mise en place de digues pour contenir la crue de projet se révèle opportun en particulier lorsque le lit de l'oued est peu marqué et est constitué d'un soubassement rocheux ou d'alluvions particulièrement cimentées, ou encore lorsque la pente de l'oued est telle que l'abaissement du lit conduirait à des volumes d'excavation trop important.

Ces ouvrages dont la hauteur varie entre 1.50 m et 2.50 m (cf. figure) sont constitués de matériaux de remblai mis en place par compactage. En règle générale, ces endiguements rehaussent une berge existante et présentent donc un parement côté rive beaucoup moins élevé.

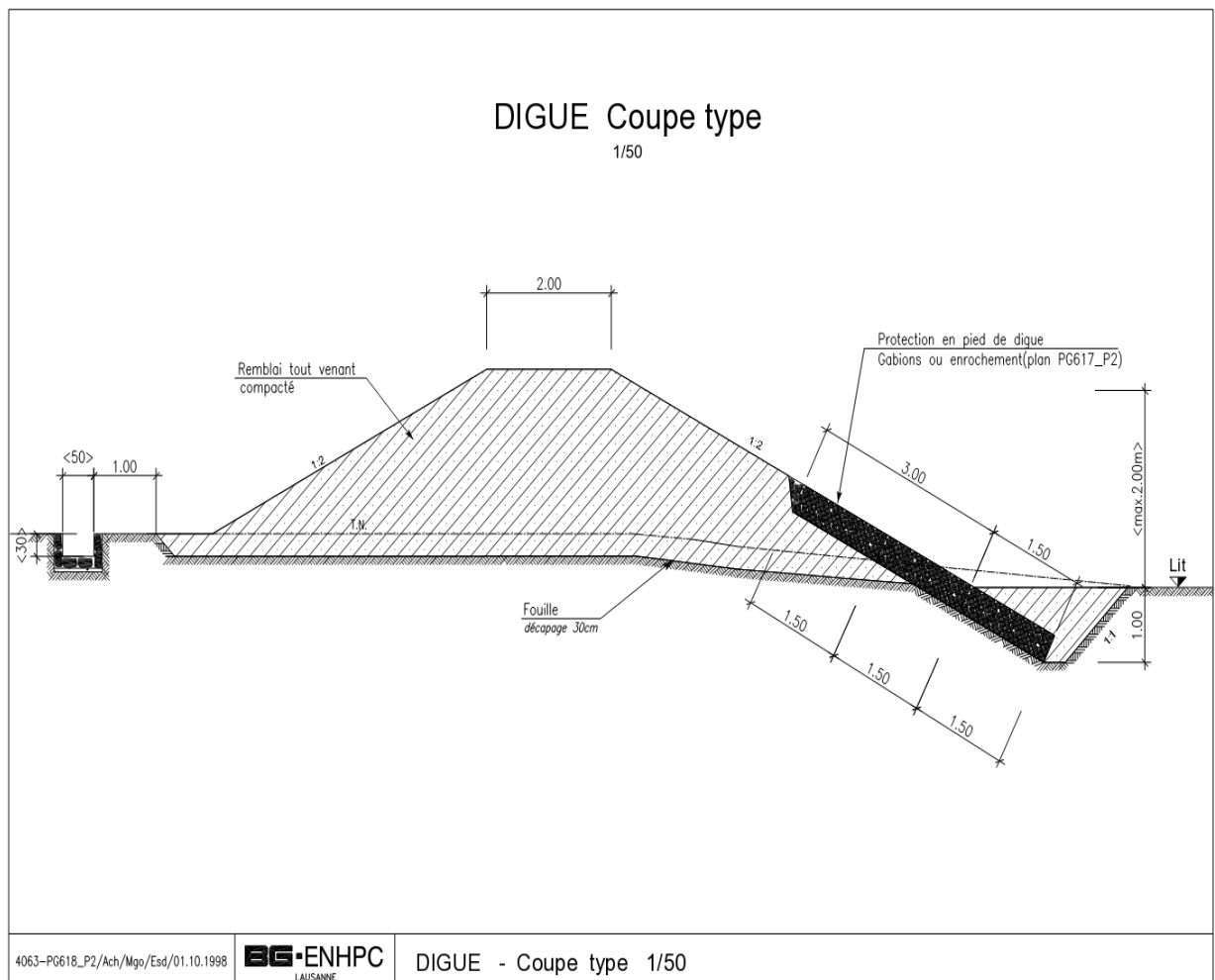


Figure IV-6 : Coupe type d'une digue

Dans les zones urbanisées, le parement amont est réalisé en perré maçonné d'une épaisseur d'environ 0.30 m (fruit 2H/1V) qui limite:

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

l'emprise des ouvrages par la réduction du fruit du parement.

- les phénomènes d'érosion dans les zones où l'écoulement peut atteindre des vitesses élevées.

Dans les zones où l'espace disponible est suffisant, le lit de l'oued est généralement plus large et par conséquent les vitesses observées sont plus faibles. Le parement amont est alors en général laissé naturel.

Dans tous les cas, le pied de la digue est composé d'un mur maçonné, ou d'un tapis d'enrochement qui la protège contre les risques d'affouillement. Une protection du pied amont en gabions ne peut être envisagée que dans les secteurs de très faible vitesse (fragilité du grillage en situation de charriage).

L'évacuation des eaux ruisselées sur les zones protégées par ces ouvrages est contrôlée par un petit contre canal qui se prolonge en aval jusqu'à un exutoire au-dessus du niveau de crue dans le lit de l'oued.

IV.2.5. Gués

Afin de maintenir une possibilité de desserte de certains quartiers isolés, tout en évitant la construction de ponts supplémentaires, le bureau d'étude propose d'implanter 5 passages submersibles permettant la traversée à sec durant la seconde phase de la crue de projet (vidange des retenues).

Ces passages submersibles sont constitués d'une petite "digue" en remblai compacté, soigneusement protégées contre l'érosion, comportant en partie centrale un certain nombre de passes en béton armé. Lors de la phase de vidange des retenues, le débit s'écoule par ces passes, permettant une traversée à sec, lors de la pointe initiale, la crue s'écoule tant par les passes que par dessus la digue qui fonctionne alors comme un déversoir.

De manière générale, le nombre de passes varie entre 5 et 8, pour des dimensions de l'ordre de 3.50m de largeur x 1.50m de hauteur.

Les rampes d'accès à l'ouvrage sont conçues de manière à ne pas constituer un obstacle ou une singularité hydraulique significative.

La puissance de l'écoulement en situation de crue par dessus les culées nécessite :

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

- d'une part une protection sérieuse du talus aval de la culée.
- d'autre part de protéger efficacement le pied de cette culée contre les affouillements.

Il convient au final de remarquer que ces ouvrages ne constituent pas un élément de protection contre les crues, et plus encore, que la rupture de l'un d'eux ne constitue pas un facteur aggravant.

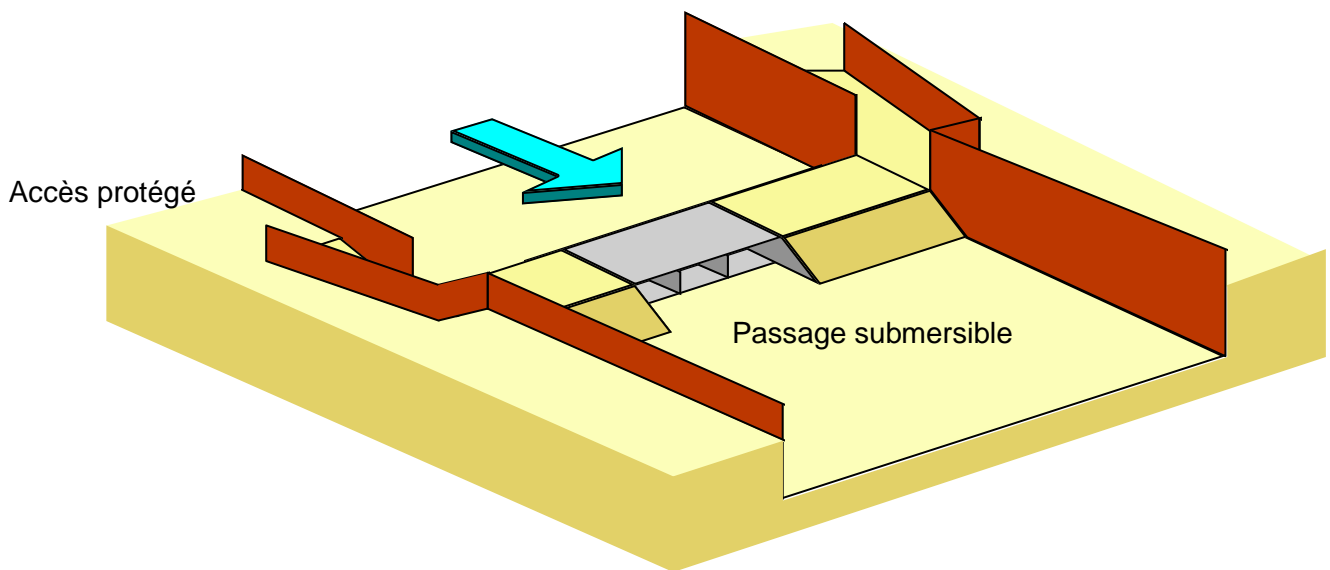


Figure IV-7 : Passage submersible

IV.2.6. Accès au lit

La traversée de l'oued actuellement aisée grâce à un lit généralement peu marqué sera rendue difficile par l'implantation d'un chenal.

Lors des périodes sèches et dans les zones distantes des ponts et des passages submersibles, l'accès d'une rive à l'autre est réalisé par la construction de rampes (véhicules) et d'escaliers.

IV.3. Projection des corrections dans la zone d'étude

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

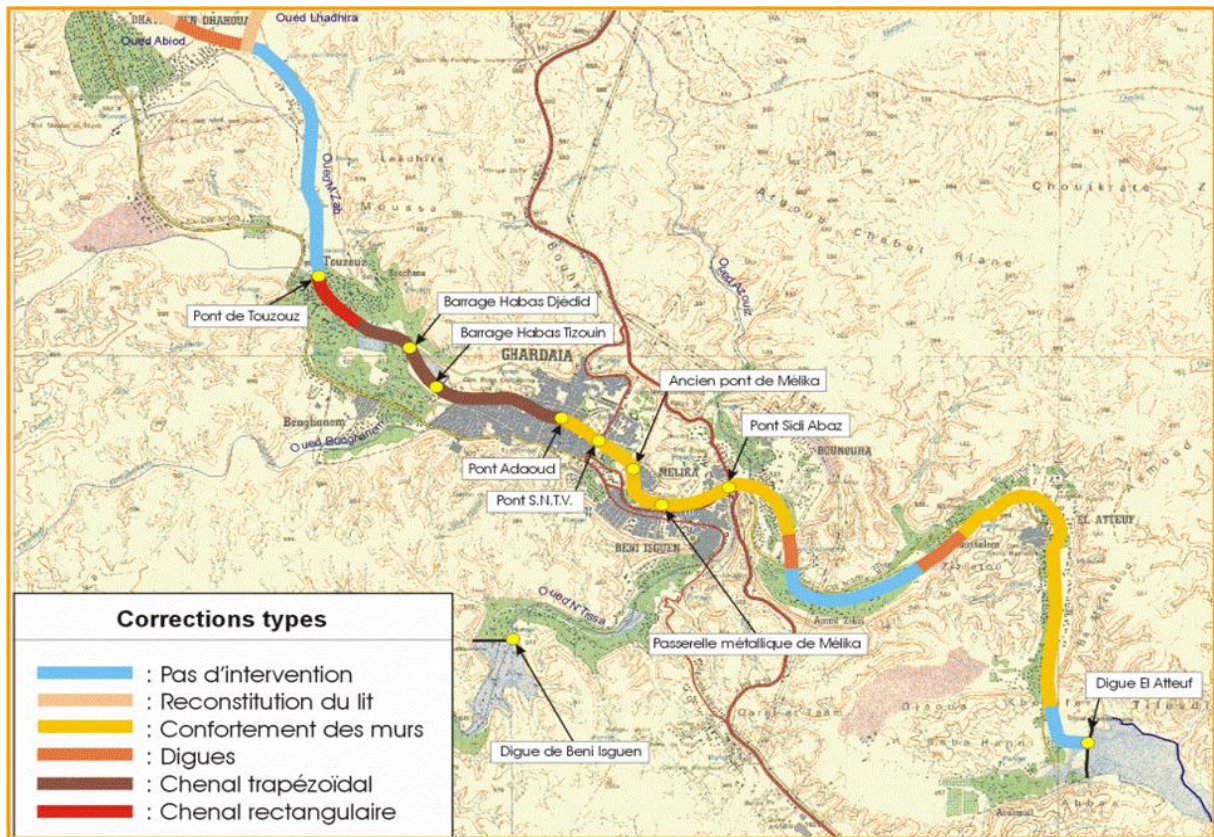


Figure IV-8 : carte géologique du déférent type de correction

IV.3.1. Digue El Atteuf

La limitation de l'étendue de la retenue de la digue El Atteuf qui influence actuellement le plan d'eau sur 2.5 km est réalisé par un ouvrage de dérivation qui évacue un débit excédentaire de

$276.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le déversoir de la digue traditionnelle conserve sa fonction puisque un débit de $31.5 \text{ m}^3/\text{s}$, qui correspond à une lame d'eau de 30 cm sur la crête de l'ouvrage, est déversé en cas de crue.

IV.3.2. Digue Habass Djédid

La réduction de l'étendue de la retenue est obtenue par la dérivation d'un débit de $185 \text{ m}^3/\text{s}$, en conservant une lame d'eau de 0.30 m sur la crête de l'ouvrage traditionnel.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

L'aménagement se compose (cf. figure ci-après):

- d'un déversoir frontal en maçonnerie
- d'un bassin amortisseur en béton
- d'un chenal de dérivation

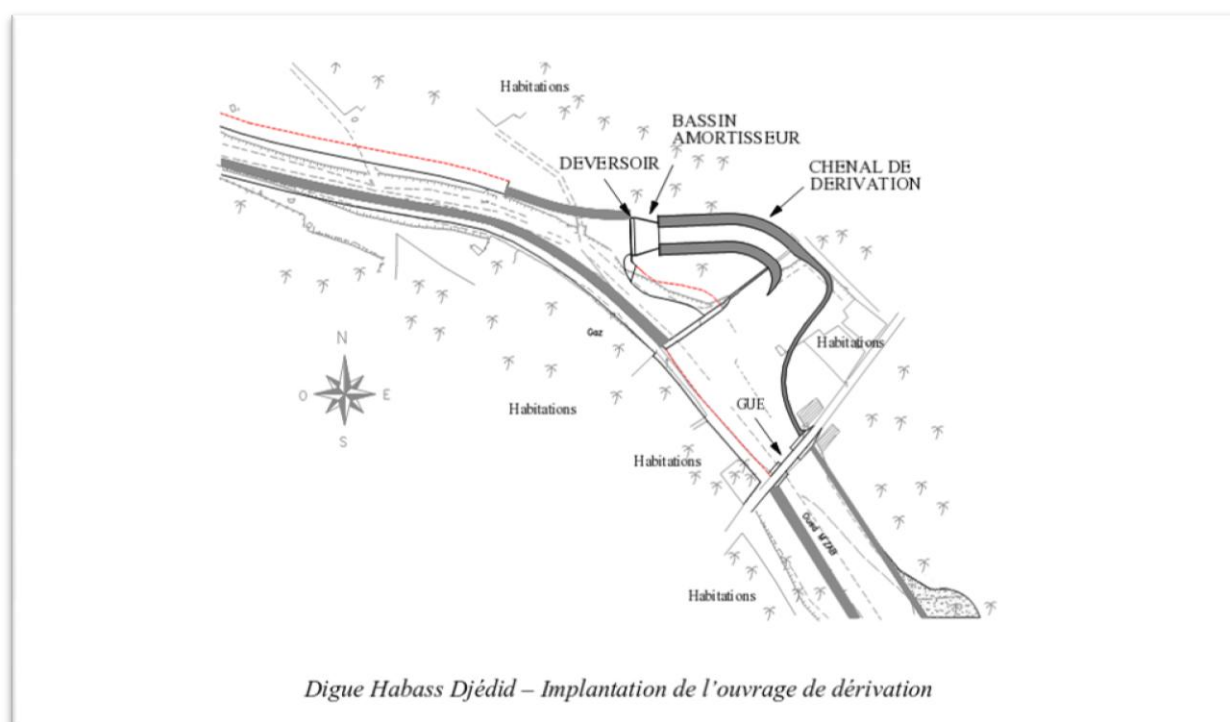


Figure IV-9 : Digue Habass Djédid – Implantation de l'ouvrage de dérivation .

IV.3.3. Pont Adaoud

Le tronçon de l'oued qui s'étend sur 450 m, de l'aval du pont jusqu'au cimetière de Ghardaïa, présente des conditions hydrauliques particulières puisque la largeur du lit passe de 31.0 m à 20.0 m dans sa partie la plus étroite (au niveau de la mosquée) pour une pente de l'ordre de 5.0 ‰.

Dans ces conditions le passage de la crue de projet, dont le débit s'élève à 244 m³/s dans cette zone, a pour conséquence des niveaux d'eau excessifs qui sont abaissés par la modification du profil en long et la maîtrise de la rugosité du lit.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

Concrètement, la reconstruction des murs de berges en rive gauche et l'implantation d'un radier en béton et le recalibrage de la courbe du chenal à l'amont du pont actuel permettent de contenir l'écoulement de la crue centennale.(voire annexe)

IV.3.4. Pont de Boussalem

La simulation numérique de la zone concernée montre qu'une section trapézoïdale au niveau du pont (largeur 75.0 m) permet l'écoulement de la crue de projet avec une revanche de 0.50 m par rapport à la limite inférieure du tablier située à 1.60 m au-dessus du niveau du lit.

L'implantation de 3 piles de pont dans le lit conduit à des portées de 18.75 m, le nombre de piles n'influençant pas les niveaux d'eau aux abords de l'ouvrage. La figure ci-dessous montre la ligne d'eau simulée.

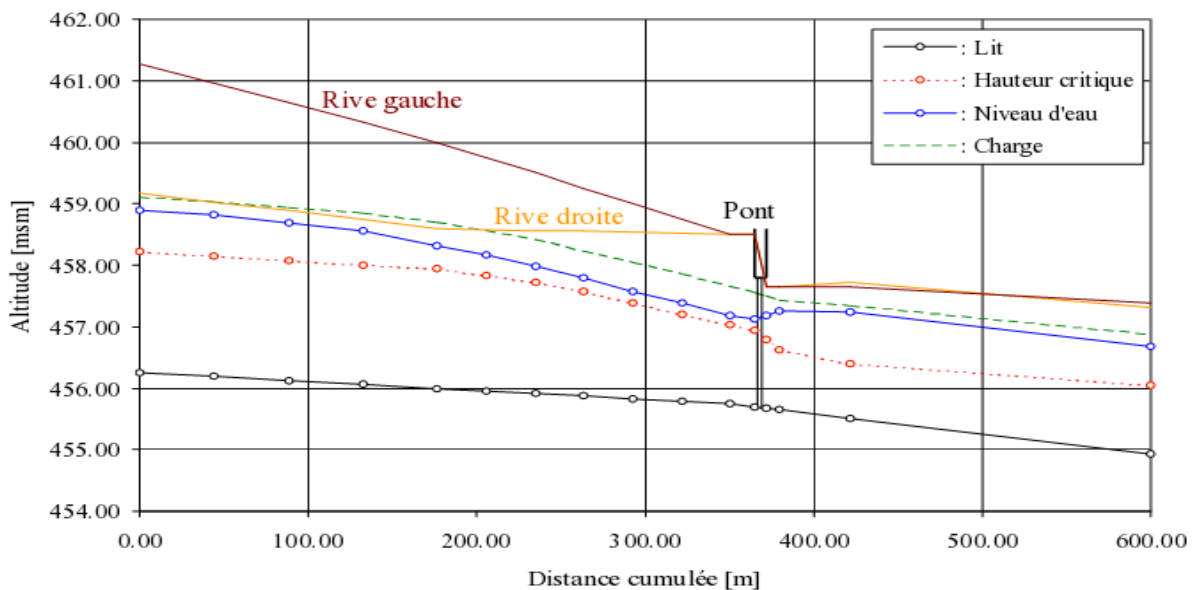


Figure IV-10 : Pont de Boussalem – Ligne d'eau pour la crue de projet

IV.3.5. Pont de Touzouz

De façon similaire au pont de Boussalem, le remplacement du pont de Touzouz actuel par un ouvrage au-dessus de l'oued a fait l'objet d'une simulation numérique.

Les calculs montrent que le nombre de piles de pont n'influencent pas le niveau du plan d'eau à l'amont de l'ouvrage. L'implantation de trois piles dans le canal, d'une largeur de 48.0 m à cet

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

endroit, conduit à des portées de 16.0 m, le niveau inférieur du tablier se situant à 2.30 m au-dessus du niveau du lit.

La figure ci-dessous présente la ligne d'eau calculée.

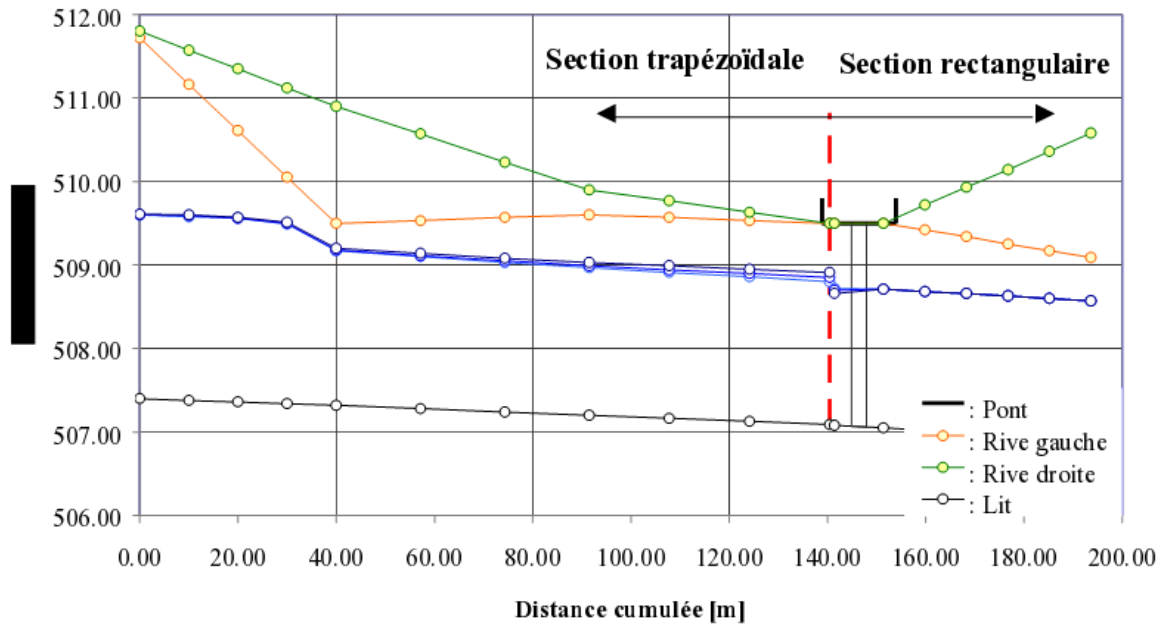


Figure IV-11 : Pont de Touzouz – Ligne d'eau pour la crue de projet

V.3.6. Passerelle Mélika

Le réaménagement actuel de cette zone se base sur un projet local dont le principe vise à prolonger l'ancien ouvrage par une nouvelle passerelle.

Le calcul hydraulique de cette configuration met en évidence:

-l'absence d'inondations à l'amont de la zone concernée due à un faible tirant d'eau (~1.0 m) sous l'ouvrage complet, l'écoulement sous l'ancienne passerelle étant centré sous la plus grande arche.

-l'apparition d'un ressaut hydraulique à l'aval immédiat du pont S.N.T.V, qui favorise l'érosion puis le dépôt de matériaux plus à l'aval.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

-La nécessité de supprimer le goulet d'étranglement actuel situé une centaine de mètre en amont de la passerelle. Cet élargissement local peut se faire, certes en déplaçant la route actuelle, mais sans empiéter sur les propriétés avoisinantes. (Voire annexe) .

IV.4.Conclusions

Cette partie de l'étude des variantes de protection de la vallée du M'Zab s'inscrit dans le mécanisme de génération du concept de protection de ladite vallée.

L'étendue des inondations et les points durs hydrauliques à l'origine de la surélévation du plan d'eau mettent en évidence la faible capacité hydraulique de l'oued M'Zab dans son état actuel.

L'effet du laminage de la crue centennale par les ouvrages de rétention amont montre un abaissement très significatif du niveau d'eau. Cependant, certaines zones demeurent inondées et divers points durs hydrauliques subsistent. Ils ont dû être traités pour assurer le passage du débit laminé. C'est le cas notamment des digues Habas Djédid et El Atteuf ainsi que du pont Adaoud.

Les ouvrages de dérivation des digues et la réhabilitation des ponts permettent de limiter l'influence de ces points durs hydrauliques en conservant leur fonction originale et leur caractère historique.

Les zones inondables sont réduites par un curage du lit ou par la création de digues dans les zones où le rocher affleure. Les interventions les plus importantes sont localisées dans la palmeraie de Touzouz où les conditions d'occupation du sol nécessitent un réaménagement total du lit de l'oued.

CHAPITRE IV : AMENAGEMENT DE L'OUED M'ZAB

Conclusion générale

L'oued M'Zab s'étend sur une longueur de 320 km et coule de l'Ouest à Est, de la région de El-Botma Rouila à 745 mètres d'altitude où il est appelé oued Labiodh; il se déverse dans son exutoire naturel qui est la sebkha Safioune au Nord de la ville de Ouargla à une altitude de 107 mètres. Le M'Zab est une région qui se situe à 600 km au sud d'Alger.

Le climat est de type saharien caractérisé par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. Les moyennes générales, et celles des minima et des maxima sont : 21.5°, 15.4°, 26.4°. Les précipitations sont faibles et irrégulières. Elles tombent essentiellement sous la forme de pluies d'orage, en automne et au printemps. Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. La période des vents de sables s'échelonne du mois de Mars au mois de Mai.

Les paramètres essentiels qui influent sur le débit de crue de fréquence donnée pour un bassin versant sont :

1. la surface.
2. la pluviométrie.
3. la nature géologique du bassin.

Les méthodes utilisées pour évaluer une crue de projet se fondent principalement sur la connaissance et l'analyse des écoulements observés d'une part, et des pluies d'autre part.

Pour le bassin du M'Zab jusqu'à El Atteuf, d'une superficie de 1600 Km², il a été distingué 23 sous-bassins élémentaires pouvant être combinés en de nombreux ensembles dont les grands bassins suivants: L'oued El Abiod à Dhayet Ben Dhahoua, l'oued Lhadhira à Dhayet Ben Dhahoua, regroupés à leur confluence en l'oued M'Zab à Dhayet Ben Dhahoua, les bassins aux alentours de Ghardaïa depuis Dhayet Ben Dhahoua jusqu'à El Atteuf, et l'ensemble de l'oued M'Zab à El Atteuf.

La protection contre les inondations doit reposer sur 3 piliers :

- maîtrise des implantations nouvelles en évitant toutes constructions dans les zones inondables.
- mise en place de système d'alerte de façon à réduire les conséquences les plus dramatiques des inondations.
- actions d'aménagement correctives permettant de réduire les impacts des inondations.

Conclusion générale

La protection de la vallée contre les crues de l'oued M'Zab grâce à :

- l'édification d'ouvrages de retenue à l'amont.
- des travaux d'aménagement des berges et du lit de l'oued.

Les ouvrages projetés pour répondre aux objectifs précités comprennent d'amont en aval :

- des digues de rétention amont sur les oueds El Abiod, El Haimeur et Bou Brik
- des aménagements de protection contre les crues : endiguements, murs de berge, correction et recalibrage du lit de l'oued
- la mise en place du collecteur principal pour les eaux usées, de Daya Ben Daoua jusqu'à la digue d'El Atteuf

Conclusion générale

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- A .N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), Ouargla, 2003.
- A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), Ghardaia.
- ALI AZOUAOU 2008 «SIMULATION DE LA CRUE D'OCTOBRE 2008 Dans la COMMUNE DE GHARDAIA Via le code de calcul Rubar 20 »Mémoire de fin d'étude : p 71.
- APD (l'avant projet détaillé) de la DHW de Ghardaïa.
- Banouh Nouh-Mefnoue, 2006, « Contribution à la stratigraphie de la barre carbonaté cénomano-turonienne de la plate forme saharienne : étude des affleurements de Ghardaïa (Dorsale du M'Zab) ». Mémoire de fin d'études, stratigraphie. Faculté des sciences de la terre, de la géologie et de l'aménagement du territoire, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene.136 pages.
- Bonnard & Gardel ingenieurs-conseils, 2000, "Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab".84 pages.
- Bonnard & Gardel ingenieurs-conseils, 2001, "Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab".190 pages.
- Bonnard et Gardel (BG), (1996). «Étude hydrologique de l'oued M'Zab». Editeur : R.Kerbachi, R. Joumard, M. Boughedaoui, T. Goger. 194 pages.
- Boukraa, T., 2003, " Gestion des ressources hydriques en zones arides-cas de Ghardaïa". Mémoire de fin d'études, Agronomie. Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Département d'agronomie, Université de Mostaganem. 76 pages.
- Carlier, M. (1986). « Hydraulique générale et appliquée ». Edition Eyrol.
- DJOUDI , RAFA 2009 « *Fonctionnement du système hydraulique* » Mémoire de fin d'étude : p64.
- Google Earth .
- GOUDJIL KACI ,2009 « Ecole Nationale Supérieure Polytechnique » Mémoire de fin d'étude.
- Kadir O., (2005). «Délimitation des zones inondables». Mémoire de magister de l'Ecole Nationale Polytechnique, Alger. 90 pages.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- La Direction des ressources en Eau.
- *Meddi, M.; Labadi, A.S. & Dali, A.* (05/2008), " Mission de reconnaissance, système hydraulique de la vallée du m'zab", 5 pages.
- Office National de la Météorologie Station de Ghardaïa (2013).
- SAOUCHA Lamia 2009 « Etude de faisabilité d'une digue sur oued laadhira wilaya de Ghardaïa » Mémoire de fin d'étude : P90.

ANNEXES

Annexe 01 : Temps de montée (heures) de la crue centennale à Ghardaïa en fonction de la superficie **A** (km²) et de la classe de relief **R** :

A	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	200
R5	0.33	0.5	0.75	0.83	1.08	1.17	1.25	1.33	1.42	1.58	1.68	2.10
R4	0.75	1	1.33	1.67	1.83	2	2	2.25	2.36	2.58	2.75	3.43
R3	1.33	2	2.92	3.58	4.17	4.67	5.17	5.58	5.92	6.58	7.17	9.5

Annexe 02 : Coefficient De Ruissellement **Kr** Applicable A Une Pluie Journalière Centennale

A(km ²)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	200
R4P1	91	87	78	74	70	67	64	62	60	58	55	50
R4P2	79	73	64	59	56	53	51	49	48	47	45	41
R4P3	49	44	39	37	36	35	35	35	34	34	33	33
R4P3	42	37	32	30	28	28	28	27	27	26	25	24

ANNEXES

Annexe 03 : Valeurs du coefficient de pointe « a »

	A (km²)	TmR4(h,10)	Tb R4 (h,10)	Kr R4 P2	Ka	V (10⁶m³)	Qmoy (m³/s)	a	Qmax (m³/s)
Zone Moussa	5.7	0.80	2.79	56.9	1.00	0.23	22.6	2.6	59
Akdham b A	7.0	0.87	2.90	55.1	1.00	0.27	25.9	2.6	67
Lathem	9.1	0.97	3.08	52.9	1.00	0.34	30.5	2.6	79
Lahdhira b T	9.8	1.00	3.13	52.3	1.00	0.36	31.8	2.6	83
Garet et Tam	10.9	1.05	3.22	52.2	0.99	0.39	34.1	2.6	89
Zone El Atteuf	15.1	1.20	3.62	52.0	0.98	0.54	41.7	2.6	108
El Abiod E-HBN	16.7	1.25	3.77	51.9	0.98	0.59	43.8	2.6	114
Argdeïd	22.6	1.41	4.33	51.5	0.98	0.80	51.2	2.6	133
Azouïl	24.0	1.45	4.46	51.4	0.98	0.85	52.1	2.6	137
Benghanem	24.6	1.46	4.52	51.4	0.98	0.87	53.3	2.6	139
El Abïodh HBN-B	26.3	1.50	4.68	51.3	0.98	0.93	54.9	2.6	143
Bou Brick	33.2	1.65	5.34	50.9	0.97	0.15	59.6	2.7	161
Touzouz	47.0	1.90	6.65	50.0	0.96	1.58	66.1	2.7	178
Lahdhira HA-A	57.9	2.07	7.69	49.3	0.95	1.90	68.5	2.8	192
Lahdhira A-B	69.2	2.23	8.77	48.6	0.94	2.21	70.0	2.9	203
"100"	100	2.59	11.70	46.7	0.92	2.99	71.1	3.1	221
Lahdhira HSbA	106	2.65	11.95	46.2	0.91	3.13	72.0	3.1	227
N'Tissa	141	2.98	13.27	43.8	0.90	3.87	81.0	3.2	258
El Abiodh El B-E	152	3.07	13.64	43.2	0.89	4.09	83.3	3.2	267
El Kelakh	174	3.25	14.34	42.1	0.88	4.53	87.7	3.2	284
El Abiodh belkhas	234	3.67	15.99	39.8	0.86	5.64	98.0	3.3	224
BV Ghardaïa	284	3.97	17.18	38.4	0.85	6.52	105	3.4	354
El Haïmeur dbd	423	4.67	19.89	35.7	0.83	8.76	122	3.5	422
El Abiodh dbd	866	6.26	25.89	31.3	0.79	14.9	160	3.6	579
M'Zab dbd	1289	7.37	29.98	29.0	0.76	20.0	185	3.7	688
M'Zab El Atteuf	1573	7.99	32.26	28.0	0.75	23.1	199	3.8	749

ANNEXES

Annexe 04: Evaluation Des Débits Maximums De Fréquence Centennale De L'oued M'Zab.
 Application d'équations De Type Myer : Débit De Pointe En Fonction De La Superficie
 $Q_{max100} = aA^n$ 1 : Equation Sud Maroc, $a = 2$ $n = 0,8$ et $Q_{100} = 2,2 * Q_{10}$ (Cf. Dujardin et Lavorel, 1984). 2 : Courbe choisie dans l'ensemble des bassins du Sahel (Cf. Méthode Puech et Gonni, 1984 - Choix d'auteur). 3 : Médiane des résultats (2), avec $a = 9,6$ $n = 0,59$ (cf. Puech et Gonni, 1984 – Choix d'auteur).

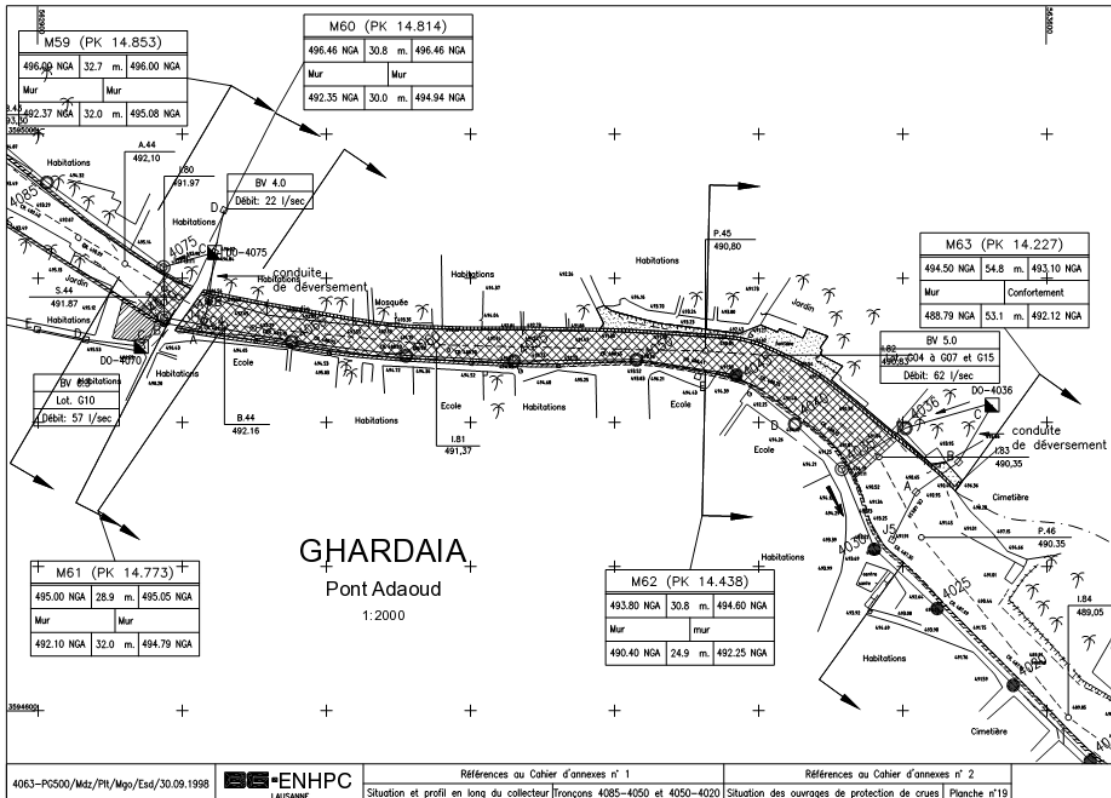
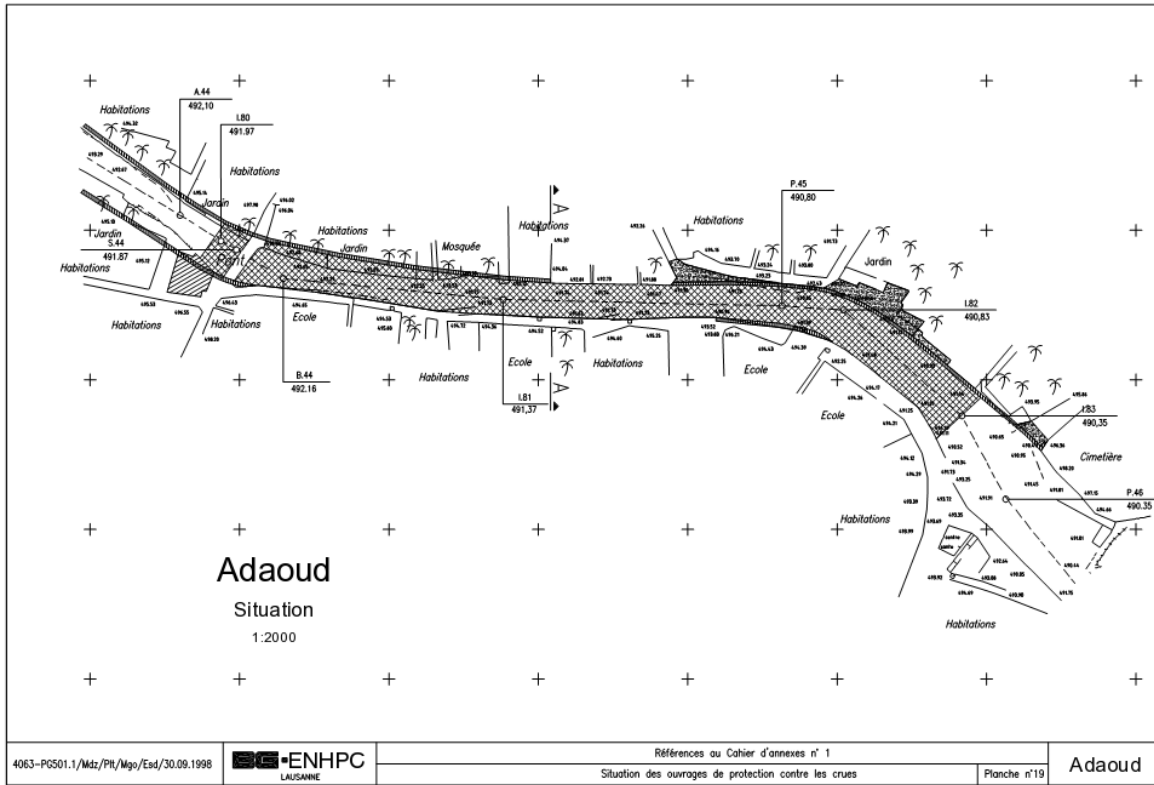
Bassin versant	A km ²	1 m ³ /s	2 m ³ /s	3 m ³ /s
Zone Moussa	5.7	17.7	18.6	26.8
Akdham b A	7.0	20.9	21.3	30.3
Lathem	9.1	25.7	25.2	35.3
Laadhira b T	9.8	27.3	26.5	36.9
Garet et Tam	10.9	29.7	28.3	39.3
Zone El Atteuf	15.1	38.6	35.0	47.6
El Abiodh E-HBN	16.7	41.8	37.4	50.5
Argdeïd	22.6	53.3	45.5	60.4
Azouil	24.0	55.9	47.3	62.6
Benghanem	24.6	57.0	48.1	63.5
El Abiodh HBN-B	26.3	60.2	50.2	66.1
Bou Brick	33.2	72.5	58.5	75.8
Touzouz	47.0	95.7	73.3	93.1
Laadhira HA-A	57.9	113	83.9	105
Laadhira A-B	69.2		94.2	117
"100"	100		120	145
Laadhira HSbA	106		124	150
N'Tissa	141		150	178
El Abiodh El B-E	152		157	186
El Kelakh	174		172	201
El Abiodh	234		208	240
Belkhassem				
BV Ghardaïa	284		236	269
Laadhira dbd	423		306	340
El Abiodh dbd	866		487	519
M'Zab dbd	1289		631	657
M'Zab El Atteuf	1573		718	738

ANNEXES

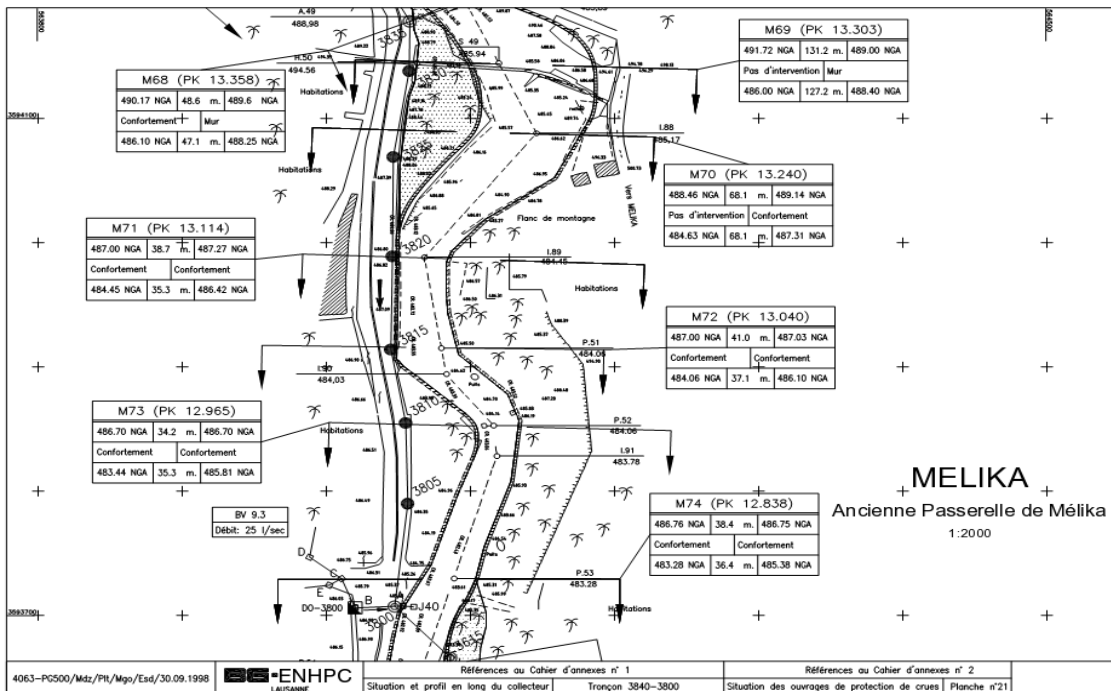
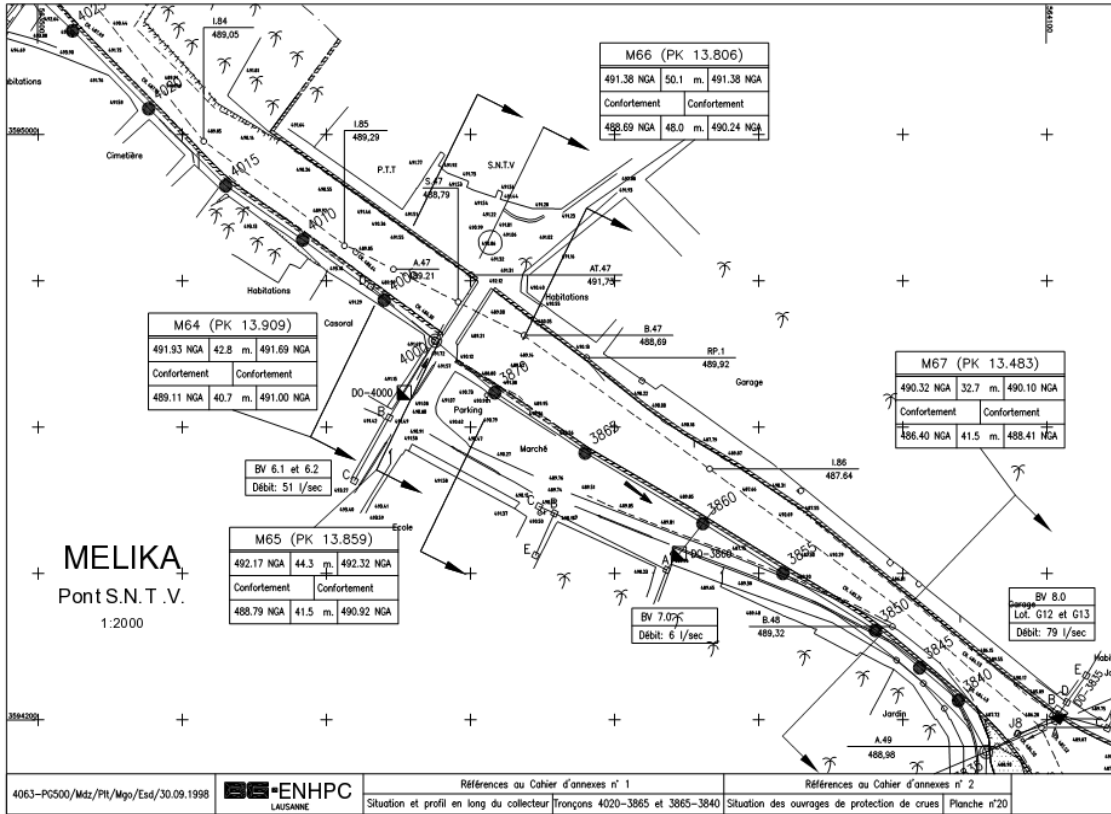
Annexe 05 : Evaluation des débits maximums de l'oued M'Zab par les courbes enveloppes de Francou et Rodier (1967)

Bassin versant	A	5	K	K	K	K	K	K	K
	km²	m³/s	3.4	3.5	3.55	3.6	3.7	3.8	3.9
Laadhira HSbA	106	150	114	131	140	150	172	198	227
N'Tissa	141	178	138	157	168	180	206	236	270
El Abiodh El B-E	152	186	145	165	177	189	216	247	282
El Kelakh	174	201	158	180	193	206	235	269	307
El Abiodh Belkhassem	234	240	192	219	233	249	284	323	367
BV Ghardaïa	284	269	218	248	264	282	320	364	414
Laadhira dbd	423	340	284	321	342	364	412	466	527
El Abiodh dbd	866	519	456	512	543	575	647	727	816
M'Zab dbd	1289	657	593	663	702	742	831	930	1041
M'Zab El Atteuf	1573	738	676	755	798	843	942	1052	1175

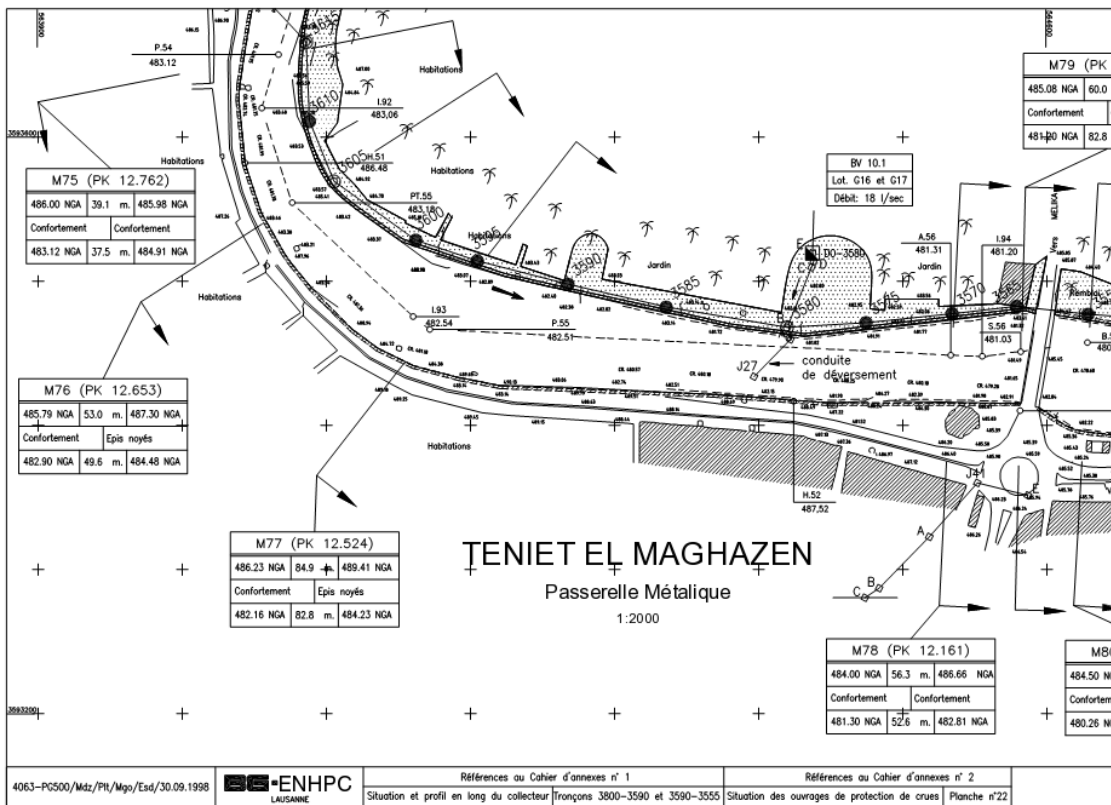
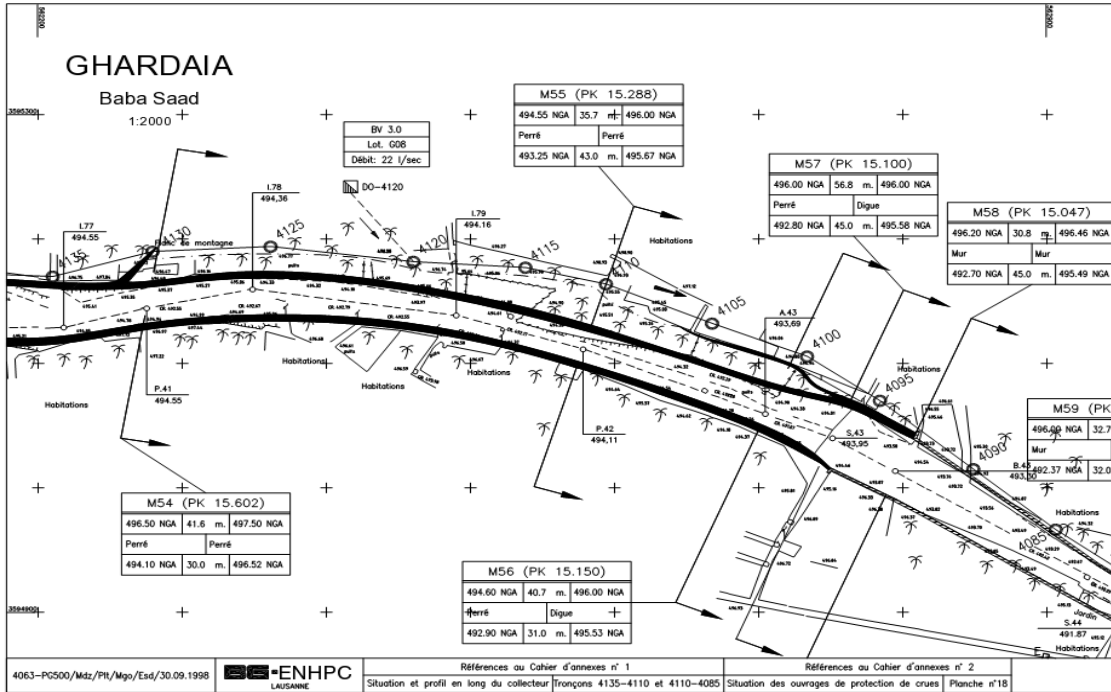
ANNEXES



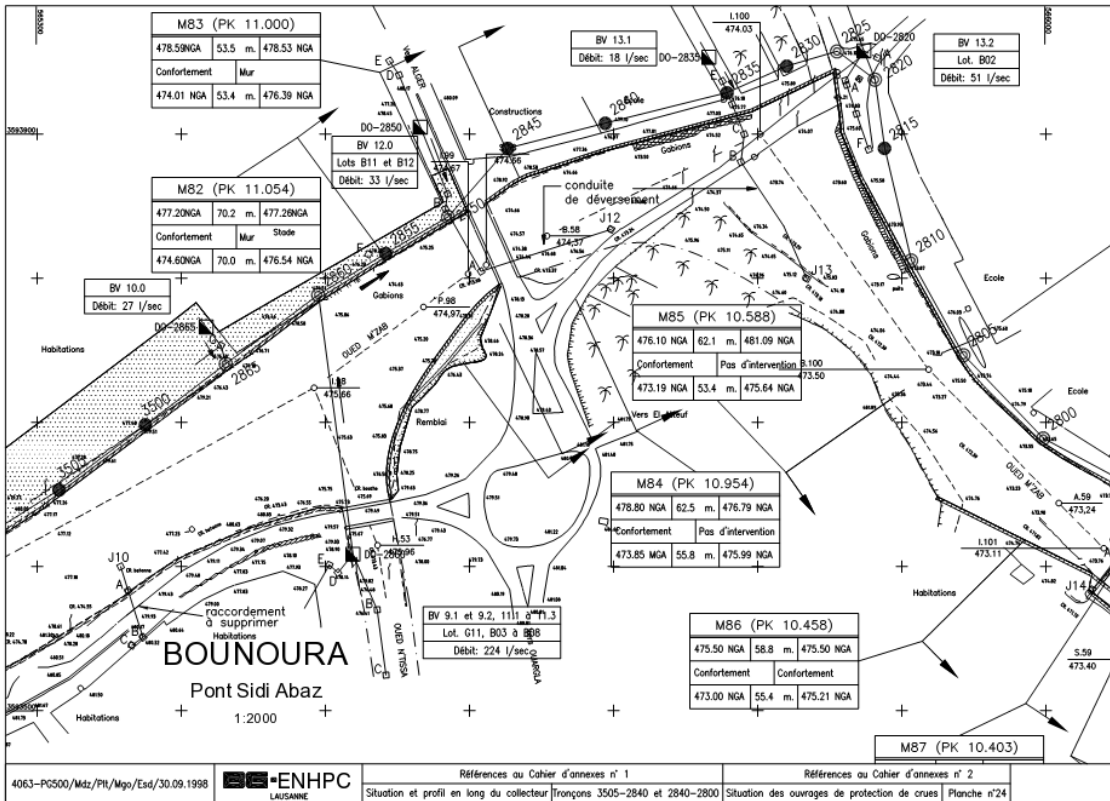
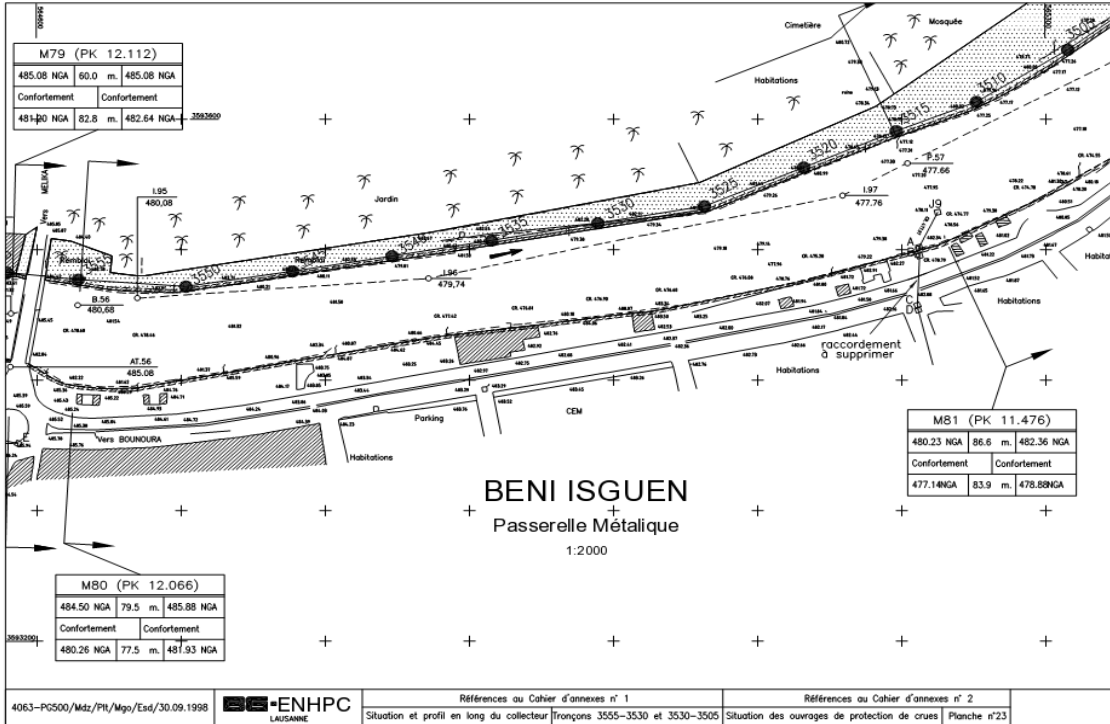
ANNEXES



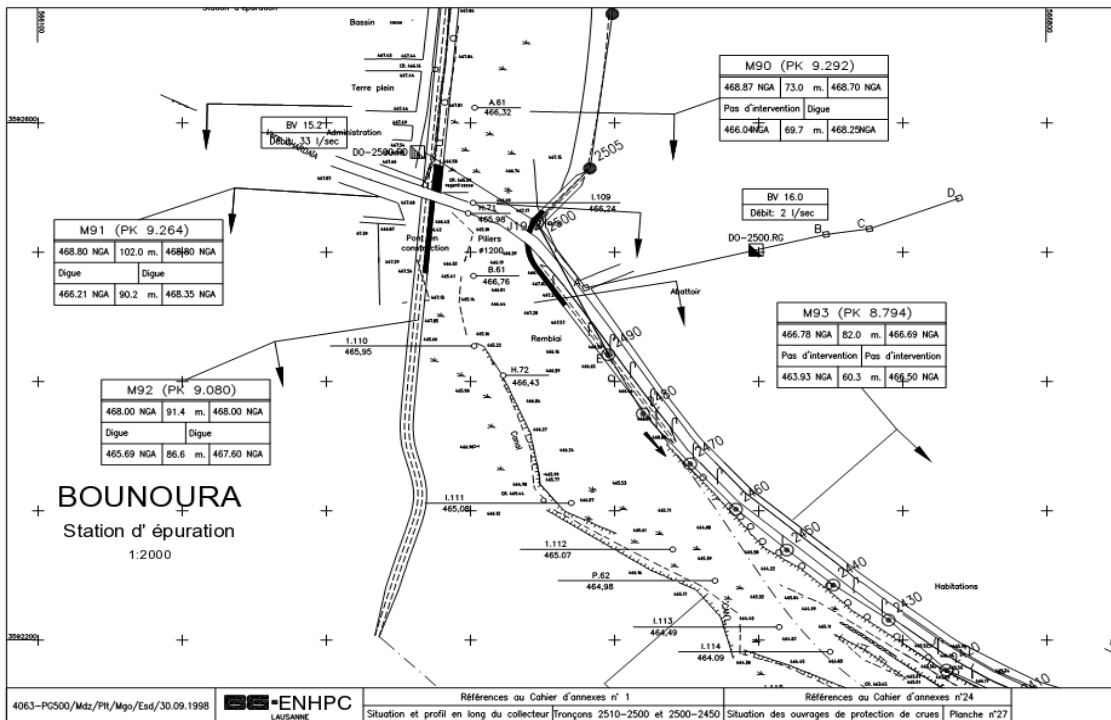
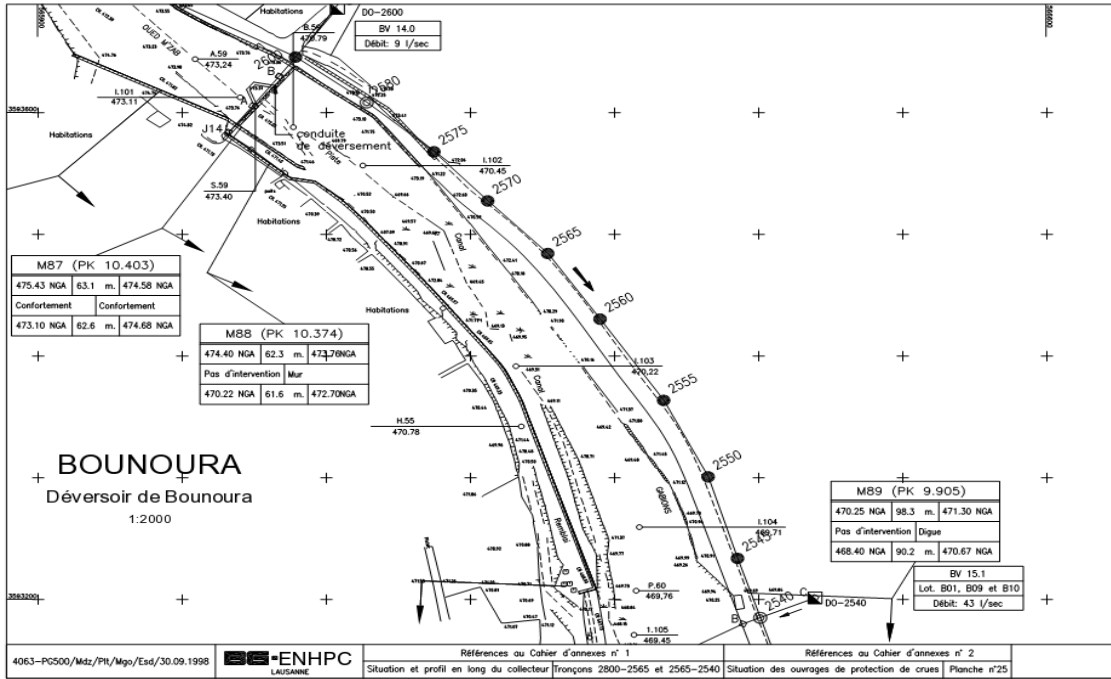
ANNEXES



ANNEXES



ANNEXES



ANNEXES
