

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
Ecole Nationale Polytechnique



Ecole Nationale Supérieure Polytechnique  
Département d'Hydraulique

***MEMOIRE DE FIN D'ETUDES***

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Thème :

*Fonctionnement du système  
hydraulique de partage de la palmeraie  
Est de Ghardaïa*

Réalisé par :

M<sup>elle</sup> DJOUDI Hakima

M<sup>elle</sup> RAFA Amina

Directeurs de mémoire :

Dr. BENMAMAR Saâdia

Mr. BENZIADA Salim

Mr. SIOUSSIOU Rostom

Promotion: Juin 2009

## ملخص

إن عملنا هذا المعنون بـ " دراسة عمل النظام الهيدروليكي التقسيمي للواحة الشرقية لغرداية " يهدف الى تقدير كمية المياه الفيضانية المجمعة و المستعملة في الري.

هذا النظام تعرض الى تدهور كبير بعد الفيضانات الاخيرة التي تعرضتن لها المنطقة في أكتوبر 2008 ، و لهذا قمنا كذلك بفحص الجهة الخاصة بالتقسيم و الري على مستوى الواحة و ذلك بهدف إقتراح حلول من شأنها إعادة الواحة الى حالة جيدة.

**كلمات المفتاحية** : تسباط ، الكوى ، آبار ، تقسيم المياه، مزاب.

## **Resumé**

Notre travail qui s'intitule l'étude du fonctionnement du système hydraulique de partage de la palmeraie Est de ghardaia , a pour objectif de quantifier les eaux de crue captées et utilisées pour l'irrigation.

Le système a subi une dégradation remarquable après la dernières crues d'Octobre 2008. De ce fait, nous avons aussi diagnostiquer la partie partage et irrigation de la palmeraie, afin de proposer des solutions pour la maintenir en bonne état.

**Mots clés** : *Tissembads, El Koua*, puits, partage des eaux, M'Zab.

## **Abstract**

Our work which is entitled the study of function of division hydraulic system of the est palm plantation of ghardaia, aims to quantify the water of rising collected and used for the irrigation.

The system underwent a remarkable fallback afer the last floods of October 2008. This fact, we have also to diagnose the part divides and irrigation of the palm plantation, in order to propose solutions to maintain it in good situation.

**Key words** : *Tissembads, El Koua*, well, division of water, M'Zab.



## 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 promotrice **Melle Benmamar Saâdia**, pour tout le temps qu'elle nous a consacré, et tout l'intérêt qu'elle nous a accordé, pour tous les conseils qu'elle nous a donné, et les remarques qu'elle nous a fait. Elle était toujours présente et prête à nous aider. Les mots ne sont pas suffisants pour vous remercier. **Merci***

*Nous remercions très vivement, Mr et Mme Sioussiou qui nous ont accueilli dans leur maison pendant notre séjour à Ghardaïa.*

*Nous tenons à remercier Mr. Benziada Salim pour ses conseils, et sa gentillesse.*

*C'est avec un plaisir particulier que nous remercions les Oumanas de Ghardaïa pour tout l'intérêt qu'ils nous ont accordé.*

*Nous remercions aussi Mr. Hamou Nacer pour son aide sur ce travail.*

*Nous tenons à remercier M. Kettab pour l'honneur qu'il nous fait en présidant notre jury.*

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

**Merci**

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé tout au long de ma vie.*

*A mes très chères sœurs Souad et Hayet,*

*A mon très chers frère Abdelah,*

*A mon cousin Zouhir,*

*A toute la famille,*

*A mon binôme Hakima, avec qui j'ai passé des moments inoubliables,*

*A mes camarades de classe : Lamia, Imene, Thanina, Mimi, Fethi, Yanis, Samir, Djamel, Soufiane, Amirouche, Dris, Alex, Kouider, Rochdi, Khaled, Amine, je vous souhaite que de la joie et la réussite.*

*A mes amis Asma, Safa, Zahra, Ahmed, Omar, Raouf, Nacer et Souad.*

*Et à tous ceux qui me sont chers*

*A mon Ecole Polytechnique*

*Amina*

*Je dédie mon travail à mes inestimables et mes chères parents qui ont tout sacrifié pour que je puisse réussir.*

*A mes très chères sœurs Sara, Asma et à mes frères Fethi, Mohamed et surtout au petit Rafik.*

*A mon petit neveu Tahar et sa mère Sarah, à Lina et son père Djamel.*

*A ma grand-mère qui prie toujours pour moi.*

*A Samir qui était très compréhensible et qui m'a soutenu aux moments les plus difficiles.*

*A mes amies Aminati et Ryma avec lesquelles j'ai cru à l'existence de l'amitié.*

*A toutes mes amies Nesma, Meriem...*

*A mes cousines et mes cousins.*

*A mon binôme Amina, qui a été patiente avec moi.*

*A mes camarades de promo Lamia, Thanina, Imène, Mimi et à Samir, Yanis, Djamel, Fethi, Dris, Amirouche, Soufiane, Alex, Kouider, Rochdi, Khaled, Amine, à qui je souhaite toute la réussite.*

*Et a toutes les personnes qui m'ont soutenue dans ce projet.*

*Hakima ...~3.N*

# Sommaire

**Notations principales**

**Terminologie**

**Liste des figures**

**Liste des photos**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale..... 01**

## **Chapitre I : Présentation générales de la vallée du M'Zab**

1. Présentation de la wilaya de Ghardaïa.....	02
1.1 Situation géographique.....	02
1.2 Les régions naturelles de la wilaya.....	03
1.3 Structure spatiale de la wilaya.....	05
1.4 Structure administrative.....	06
2. La vallée du M'Zab.....	07
2.1 Description générale de la vallée.....	07
2.2 Les oueds de Ghardaïa .....	07
2.3 Description générale de l'oued M'Zab.....	08
2.4 Données climatologie.....	09
2.4.1 Températures.....	09
2.4.2 Vents.....	09
2.4.3 Précipitations.....	10
2.4.4 Humidité.....	11
2.4.5 Evaporation.....	11
2.5 La géologie de la vallée du M'Zab.....	12
2.6 Les ressources en eau de la vallée du M'Zab.....	13
2.6.1 Les eaux souterraines.....	13
2.6.1.1 L'aquifère des alluvions.....	13

2.6.1.2 L'aquifère du Continental .....	13
2.6.2 Les eaux de surface.....	13
2.7 Hydrologie.....	13
2.7.1 Inventaire des crues de l'oued M'Zab.....	14
2.7.2 Les crues de la palmeraie.....	17
2.7.3. Les effets des crues pour la palmeraie.....	17

## **Chapitre II : Description et fonctionnement du système de partage des eaux**

Introduction.....	18
1. Situation de la zone d'étude.....	18
2. Description et fonctionnement du système.....	19
2.1. Description et fonctionnement de la partie "collecte des eaux".....	19
2.1.1 Description.....	19
2.1.1.1 Les canaux de collecte des eaux.....	19
2.1.1.2 Les ouvrages de régulation " <i>Tissambads</i> ".....	19
2.1.1.3 Les vannes.....	20
2.1.1.4 Les déversoirs.....	21
2.1.1.5 Digue d' <i>Inirez</i> .....	22
2.1.1.6 Le barrage de <i>Bouchène</i> .....	23
2.1.2 Fonctionnement.....	24
2.2 Description et fonctionnement de la partie "partage et irrigation".....	25
2.2.1 Le partage des eaux au niveau de l'Ouvrage " <i>Tissembads de partage</i> ".....	25
2.2.1.1 Les canaux à ciel ouvert " <i>Tardja</i> ".....	29
2.2.1.2 L'irrigation des jardins en temps de crue.....	29
a. " <i>El-koua</i> " : Orifice.....	29
b. " <i>Rasfa</i> " : Seuil.....	30
c. Trop plein d'un jardin.....	30
2.2.2 Le système de puisage et irrigation.....	31

2.2.2.1 Le puits.....	32
a. Les puits capteurs "Tamedjoujt".....	34
b. Les puits de transfert "Adjem".....	35
2.2.2.2 Premier bassin "Assefy".....	35
2.2.2.3 Deuxième bassin "Madjel".....	35
2.2.2.4 Seguia d'un jardin.....	36
3. La recharge de la nappe phréatique.....	37
Conclusion.....	37

## **Chapitre III : Diagnostic des ouvrages hydrauliques constituant le système de partage des eaux**

Introduction.....	38
1. C'est quoi le diagnostic ?.....	38
2. Objectif de l'étude de diagnostic.....	38
3. Déroulement d'une étude de diagnostic.....	38
4. Diagnostic des différents ouvrages hydrauliques.....	39
4.1 Diagnostic des canaux souterrains.....	39
4.1.1 Bref présentation de ces canaux.....	39
4.1.2 Calcul des pentes des canaux souterrains.....	39
4.1.3 Résultats et analyses.....	42
4.1.4 Recommandations.....	43
4.2 Diagnostic des puits.....	43
4.2.1 Puits fonctionnels.....	43
i. Analyse des résultats.....	46
ii. Calcul du remblai des puits.....	46
4.2.2 Puits non fonctionnels.....	46
i. Puits endommagés par la crue d'Octobre 2008.....	46
iii. Puits enterrés.....	47

iv. Puits en pierre réhabilités en mortier.....	47
4.2. 3 Influence du pompage sur les puits.....	48
i. Avantages.....	49
ii. Inconvénients.....	49
4.2. 4 Nos recommandations.....	49
4.3 L'ouvrage "Tissembads de partage".....	49
4.4 Les Ruelles .....	50
4. 4.1 Nos observations sur site.....	50
4.4.2 Problème.....	50
Conclusion .....	52

## **Chapitre IV : Calculs hydrauliques des débits**

Introduction.....	53
1. Calcul du débit capté par les puits capteurs.....	53
2. Le débit entrant dans l'ouvrage "Tissambads de partage".....	54
3. Calcul des débits des jardins irrigués à travers les Koua par l'eau de la ruelle de Hamou aïssa lors de la crue.....	56
3.1 Caractéristiques de la ruelle de Hamou aïssa.....	56
3.2 Calcul du débit.....	56
i. Présentation du logiciel HEC-RAS.....	56
ii. Les données demandées par le logiciel.....	57
ii.1 Les données géométriques.....	57
ii.2 Les données caractérisant l'écoulement dans ce tronçon.....	57
iii. Principe de fonctionnement d'El Koua.....	57
3.3 Exemple d'application.....	59
Conclusion.....	63
 <b>Conclusion générale.....</b>	 <b>64</b>

### **Références bibliographiques**

### **Annexe**



## Notations principales

$B_{\text{déversoir}}$  : La largeur du déversoir (en m) ;

$B_{\text{Koua}}$  : La largeur d'*El Koua* (en m) ;

$C_d$  : Le coefficient du débit (-) ;

$C_k$  : Le coefficient du débit du *Koua* (-) ;

$e_o$  : La hauteur moyenne de l'orifice (en m) ;

$e_v$  : Levée de la vanne (en m) ;

$g$  : Accélération due à la gravité =  $9,81\text{m/s}^2$  ;

$H$  : La charge moyenne sur l'orifice (m) ;

$h$  : Lame d'eau amont (en m) ;

$h_{\text{crête}}$  : La hauteur de la pelle du déversoir (-) ;

$L_o$  : La largeur moyenne de l'orifice (en m) ;

$L_v$  : Largeur de l'ouverture de la vanne (en m) ;

$L_r$  : La longueur du tronçon (en m) ;

$m$  : Coefficient de débit = 0,61 pour une vanne verticale de section rectangulaire (-) ;

$m_c$  : Le coefficient de contraction de la section (-) ;

$m_j$  : Coefficient de perte de charge dû au frottement du liquide contre les parois intérieures de l'orifice (-) ;

$n$  : Coefficient de Manning (-) ;

$Q_{\text{déversé}}$  : Le débit déversé (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$Q_{\text{capté par puits}}$  : Débit capté par les puits ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$Q_{\text{Koua}}$  : Le débit entrant dans les jardins à travers les *Koua* ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$Q_{\text{orifice}} = Q_o$  : Débit entrant dans chaque orifice ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$Q_v$  : Débit traversant la vanne (en  $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$S_o$  : La section intérieure de l'orifice à veine moulée(en  $\text{m}^2$ ).



## Terminologie

---

<b><i>Madjel</i></b>	Bassin secondaire pour récupérer les eaux du premier bassin et irriguer le jardin
<b><i>Mnafes</i></b>	Les puits d'aération
<b><i>Assefy</i></b>	Premier bassin pour récupérer les eaux de puisage
<b><i>Tissambad</i></b>	Orifice
<b><i>Seguia</i></b>	Canal a ciel ouvert
<b><i>Tachrif</i></b>	Déversoir
<b><i>Koua (Khana)</i></b>	Orifice qui alimente le jardin en eau
<b><i>Adjem</i></b>	Puits de transfert
<b><i>Tirsine (PL. Tirst)</i></b>	Puits
<b><i>Aghled nou lam</i></b>	Chemin de chameau, piste de halage
<b><i>Delou</i></b>	Une outre en peau de chèvre, ouverte en haut et prolongée d'un tuyau sur le bas permettant d'évacuer l'eau puisée (BENYOUCEF, B., 1992)
<b><i>Ahbas</i></b>	Un barrage
<b><i>Rasfa</i></b>	Seuil
<b><i>Châaba (Châabet)</i></b>	Sous bassin versant
<b><i>Madun</i></b>	Une pierre plate
<b><i>Tardja</i></b>	Ruelle qui sert comme canal
<b><i>Amlaga</i></b>	Point de confluence

## Liste des figures

### Chapitre I : Caractéristiques générales de la vallée du M'Zab

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Figure I-1 :</b>	<i>Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa</i>	02
<b>Figure I-2 :</b>	<i>Les régions naturelles</i>	03
<b>Figure I-3 :</b>	<i>Schéma structural de la wilaya</i>	04
<b>Figure I-4 :</b>	<i>Bassin versant des oueds de la région du M'Zab</i>	08
<b>Figure I-5 :</b>	<i>Coupe géologie schématique de la région du M'Zab</i>	12

### Chapitre II : Description et fonctionnement du système de partage des eaux

<b>Figure II-1 :</b>	<i>La dérivation des eaux de crue dans le canal de Bouchemdjene</i>	24
<b>Figure II-2 :</b>	<i>Les canaux souterrains.</i>	26

### Chapitre III : Diagnostic des ouvrages hydrauliques constituant le système de partage des eaux.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Figure III-1 :</b>	<i>Tracé du canal souterrain Boulila.</i>	40
<b>Figure III-2 :</b>	<i>Tracé du canal souterrain Châaba.</i>	40
<b>Figure III-3 :</b>	<i>Tracé du canal souterrain Boudhrissa.</i>	41
<b>Figure III-4 :</b>	<i>Tracé du canal souterrain Hamou aïssa.</i>	41
<b>Figure III-5 :</b>	<i>Puits.</i>	43
<b>Figure III-6 :</b>	<i>Puits de profondeur de 50m.</i>	44
<b>Figure III-7 :</b>	<i>Puits de profondeur 35m.</i>	45
<b>Figure III-8 :</b>	<i>Puits de profondeur de 25m.</i>	45

### Chapitre IV : Calculs hydrauliques des débits.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Figure IV-1 :</b>	<i>Orifice à veine moulée.</i>	53
<b>Figure IV-2 :</b>	<i>Schéma représente de l'ouvrage de "Tissambads de partage ".</i>	54
<b>Figure IV-3 :</b>	<i>Caractéristiques d'un orifice vanné.</i>	55
<b>Figure IV-4 :</b>	<i>Représentation d'un tronçon du canal dans le cas où <math>h \leq h_{crête}</math>.</i>	58

## Liste des figures

---

<b>Figure IV-5 :</b>	<i>Représentation d'un tronçon du canal dans le cas où <math>h &gt; h_{crête}</math>.</i>	59
<b>Figure IV-6 :</b>	<i>Fenêtre des données géométriques.</i>	60
<b>Figure IV-7 :</b>	<i>Fenêtre Données caractérisant l'écoulement.</i>	61
<b>Figure IV-8 :</b>	<i>Fenêtre des résultats.</i>	61

## Liste des photos

### Chapitre II : Description du système de partage des eaux

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Photo II-1 :</b>	Vue aérienne de la zone d'étude	18
<b>Photo II-2 :</b>	Les Tissambads de régulation de canal Bouchemdjene	20
<b>Photo II-3 :</b>	Les vannes de regulation de debit	20
<b>Photo II-4 :</b>	Déversoir de canal Bouchemdjene vers canal Bouchène	21
<b>Photo II-5 :</b>	Déversoir de canal Bouchemdjene vers le barrage Bouchene	21
<b>Photo II-6 :</b>	Digue de "Chaabet Inirez"	22
<b>Photo II-7 :</b>	La retenue de barrage Bouchène	23
<b>Photo II-8 :</b>	Un puits capteur dans la retenue de barrage Bouchène	23
<b>Photo II-9 :</b>	Les Tissambads de partage de Bouchemdjene vers les jardins de la palmeraie	25
<b>Photo II-10 :</b>	Les puits d'aération	27
<b>Photo II-11 :</b>	Un puits d'aération	27
<b>Photo II-12 :</b>	Les sorties des différents canaux souterrains	28
<b>Photo II-13 :</b>	<i>1. Canal à ciel ouvert, 2. Voies de secours en période de crue</i>	29
<b>Photo II-14 :</b>	Le partage de l'eau au niveau du jardin ( <i>Koua, Rasfa</i> ).	30
<b>Photo II-15 :</b>	<i>Trop-plein d'un jardin (dans une zone urbanisée)</i>	30
<b>Photo II-16 :</b>	<i>Trop-plein d'un jardin (dans une zone non urbanisée)</i>	31
<b>Photo II-17 :</b>	<i>Le système de puisage (1. puits, 2. Assefy, 3. Madje)</i>	31
<b>Photo II-18 :</b>	<i>Un puits</i>	32
<b>Photo II-19 :</b>	<i>La piste de halage "Aghlad Nou Lam"</i>	33
<b>Photo II-20 :</b>	<i>Un puits capteur</i>	34
<b>Photo II-21 :</b>	<i>Un puits de transfert d'eau de puisage "Adjem"</i>	35
<b>Photo II-22 :</b>	<i>Bassin de récupération d'eau "Madjel"</i>	36
<b>Photo II-23 :</b>	<i>Les seguias des jardins</i>	36

## Liste des photos

### Chapitre III : Diagnostic des ouvrages hydrauliques constituant le système de partage des eaux.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<i>Photo III-1 :</i>	<i>Puits endommagé par la crue Octobre 2008.</i>	46
<i>Photo III-2 :</i>	<i>Puits effondrés</i>	47
<i>Photo III-3 :</i>	<i>Puits enterré.</i>	47
<i>Photo III-4 :</i>	<i>Puits avec des matériaux locaux.</i>	48
<i>Photo III-5 :</i>	<i>Puits en pierre réhabilité en mortier.</i>	48
<i>Photo III-6 :</i>	<i>Puisage par traction animal.</i>	48
<i>Photo III-7 :</i>	<i>Puisage par une pompe.</i>	48
<i>Photo III-8</i>	<i>Rupture des Tissembads</i>	50
<i>Photo III-9</i>	<i>Une ruelle dans le quartier Takdhite.</i>	51
<i>Photo III-10</i>	<i>Mini engin de 0,9 m de largeur.</i>	51

### Chapitre IV: Calculs hydrauliques des débits.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<i>Photo III-1 :</i>	<i>Puits endommagé par la crue Octobre 2008.</i>	46
<i>Photo III-2 :</i>	<i>Puits effondrés</i>	47
<i>Photo III-3 :</i>	<i>Puits enterré.</i>	47
<i>Photo III-4 :</i>	<i>Puits avec des matériaux locaux.</i>	48
<i>Photo III-5 :</i>	<i>Puits en pierre réhabilité en mortier.</i>	48
<i>Photo III-6 :</i>	<i>Puisage par traction animal.</i>	48
<i>Photo III-7 :</i>	<i>Puisage par une pompe.</i>	48
<i>Photo III-8</i>	<i>Rupture des Tissembads</i>	50
<i>Photo III-9</i>	<i>Une ruelle dans le quartier Takdhite.</i>	51
<i>Photo III-10</i>	<i>Mini engin de 0,9 m de largeur.</i>	51

### Chapitre IV : Calculs hydrauliques des débits.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<i>Photo IV-1 :</i>	<i>Les orifices d'un puits capteur.</i>	53
<i>Photo IV-2 :</i>	<i>Ouvrage de "Tissambads de partage ".</i>	54
<i>Photo IV-3 :</i>	<i>Le partage de l'eau au niveau du jardin (Koua).</i>	58

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Caractéristiques générales de la vallée du M'Zab

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Tableau I-1 :</b>	Les agglomérations de la wilaya de Ghardaïa	05
<b>Tableau I-2 :</b>	Les surfaces des communes	06
<b>Tableau I-3 :</b>	Température moyenne mensuelle sur une période d'observation (1998/2007)	09
<b>Tableau I-4 :</b>	Vitesse du vent moyenne mensuelle sur une période d'observation (1998/2007)	09
<b>Tableau I-5 :</b>	Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa	10
<b>Tableau I-6 :</b>	Précipitations observées à Ghardaïa (1964/2004)	10
<b>Tableau I-7 :</b>	Humidité moyenne mensuelle sur une période d'observation (1998/2007)	11
<b>Tableau I-8 :</b>	Evaporations sur une période d'observation (1998/2007)	11
<b>Tableau I-9 :</b>	Les crues de l'oued M'Zab	14

### Chapitre II : Description et fonctionnement du système de partage des eaux

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Tableau II-1 :</b>	Les dimensions de Tissambads de partage de Bouchemdjene vers les jardins de la palmeraie	25
<b>Tableau II-2 :</b>	La répartition des <i>Tissambads</i> (les orifices) en fonction des canaux souterrains.	26

### Chapitre III : Diagnostic des ouvrages hydrauliques constituant le système de partage des eaux.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b>Tableau III-1 :</b>	Canal souterrain <i>Boulila</i> .	42
<b>Tableau III-2 :</b>	Canal souterrain <i>Châaba</i> .	42
<b>Tableau III-3 :</b>	Canal souterrain <i>Boudhrissa</i> .	42
<b>Tableau III-4 :</b>	Canal souterrain <i>Hamou aissa</i> .	42

## Liste des tableaux

---

Chapitre IV : Calculs hydrauliques des débits.

<i>Numéro</i>	<i>Titre</i>	<i>page</i>
<b><i>Tableau IV-1 :</i></b>	<i>Débit entrant dans l'ouvrage "Tissambads de partage".</i>	55
<b><i>Tableau IV-2 :</i></b>	<i>Les données géométriques du premier tronçon.</i>	59

### Introduction générale

La vallée du M'Zab, fondée au XI<sup>ème</sup> siècle, est un véritable musée à ciel ouvert situé en plein désert. Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982.

En raison du climat aride de la vallée du M'Zab, les réserves d'eau souterraines constituent principalement la base de la formation des oasis. La localisation des oasis tient compte de la conjonction possible de trois facteurs : le niveau de la nappe, le mode de prélèvement de l'eau et la présence de terres alluviales cultivables.

Pour cette raison, le fameux fondateur "Hamou Ould El Hadj" a pensé de créer en **1306**, un système hydraulique très complexe qui permet d'exploiter les crues aux profits de l'irrigation, de la recharge de la nappe et de modérer leurs puissances.

Ce système permet aussi le transport des sédiments fertiles et de les répartir sur les surfaces cultivées de telle sorte à ne provoquer ni d'intenses activités de l'érosion à l'amont des palmeraies ni de laisser le sol appauvri en matières organiques à l'aval.

Dans notre projet de fin d'études qui s'est déroulé en partie, à la palmeraie Est de Ghardaïa, entre le 10 Avril et le 06 Mai 2009, nous avons visités tout le système hydraulique ancestral du point de confluence des deux oueds (*Laabiodh* et *Lâadirah*) jusqu'au barrage de *Ahbas jdid*.

Dont l'objectif était de voir de plus près les différents ouvrages hydrauliques constituant ce système ingénieux, ainsi que son état actuel. Nous avons aussi mesurés les caractéristiques de chaque ouvrage hydraulique nécessaires pour faire notre étude.

Dans notre premier chapitre, nous donnons un aperçu général de différentes caractéristiques de la zone d'étude.

Dans le second chapitre, nous allons décrire le fonctionnement hydraulique des différents ouvrages, constituant le système de partage des eaux dans la palmeraie de Ghardaïa-Est.

Le troisième chapitre, consiste à analyser l'état actuel des différents ouvrages constituant ce système.

Dans le dernier chapitre, nous présentons le calcul hydraulique des débits d'eau entrants dans les différents ouvrages.

Et enfin nous terminerons ce mémoire par une conclusion.



## Chapitre I

## Présentation générale de la vallée du M'Zab

## 1. Présentation de la wilaya de Ghardaïa

## 1.1 Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa, se situe dans la zone septentrionale du Sahara algérien, à 600 Km au sud de la capitale Alger avec une superficie de plus de 86 105 km<sup>2</sup> et est bordée :

- Au Nord par la wilaya de *Laghouat* et de *Djelfa* ;
- A l'Est par la wilaya d'*Ouargla* ;
- A l'Ouest par les wilayas d'*Adrar* et d'*El Bayadh* ;
- Au Sud par la wilaya de *Tamanrasset*.

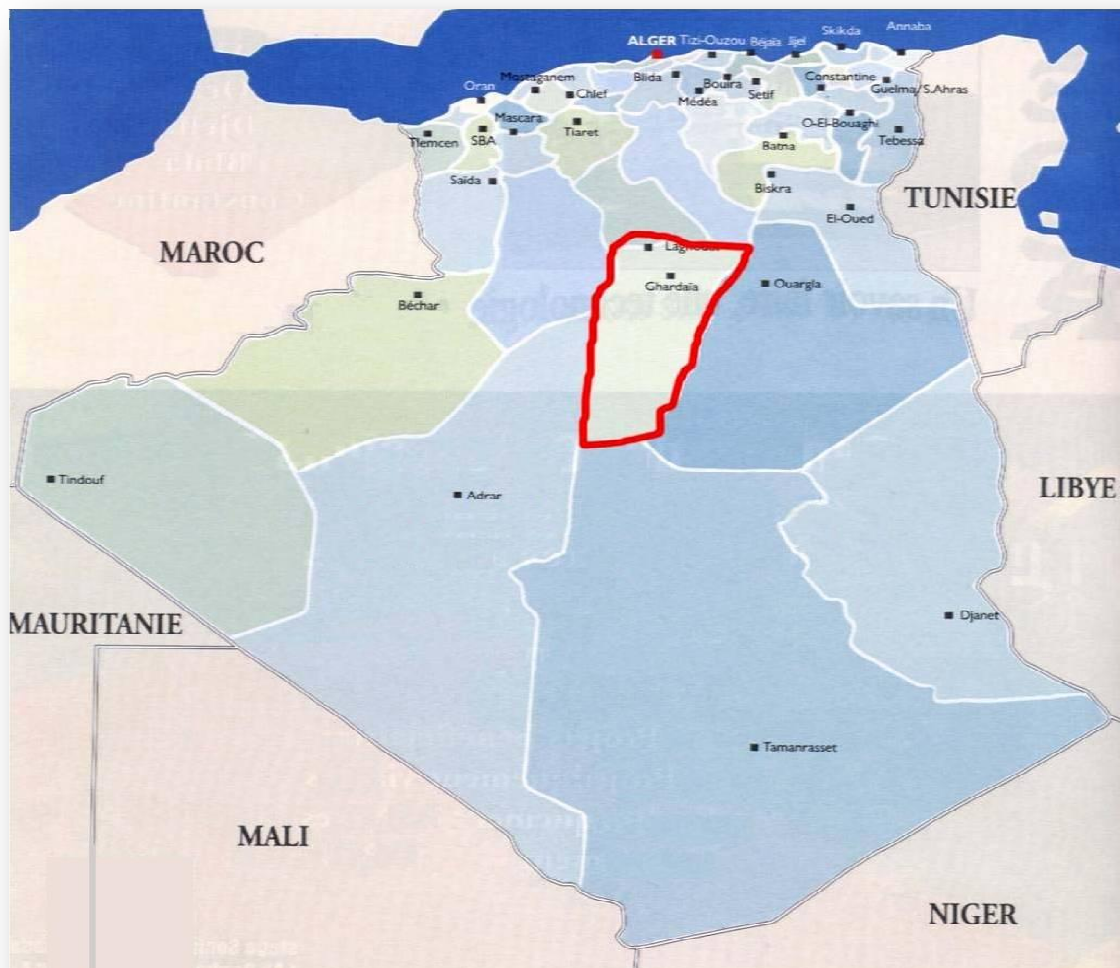
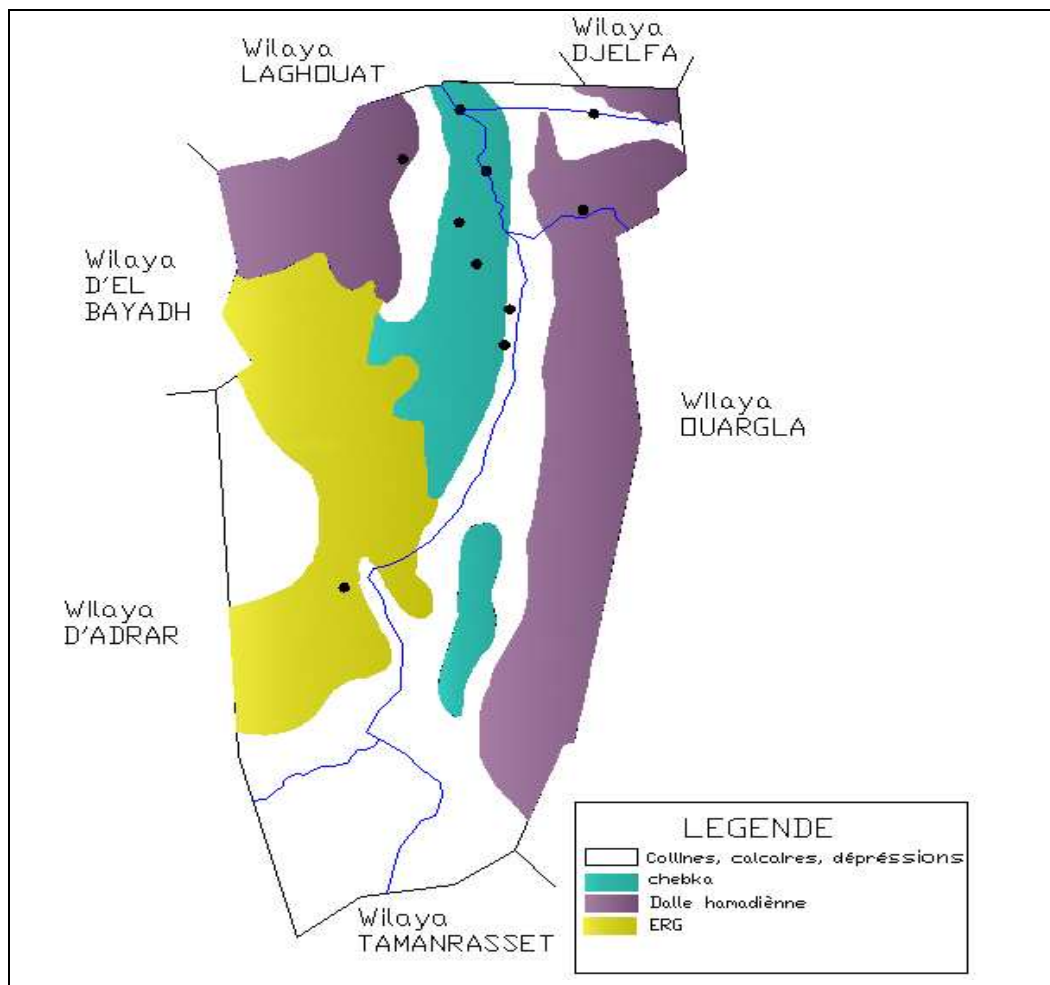


Figure I-1 : Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa.

## 1.2 Les régions naturelles de la wilaya

Les régions naturelles, de la wilaya sont : (figure I-2)

- **Les plaines de la dalle hamadienne** ; cuirasse calcaire avec, en surface un cailloutis anguleux;
- **Les régions ensablées** ; partie du grand erg occidental avec des cordons dunaires particulièrement denses et élevés;
- **La chebka** ; dorsale centrale à dominance calcaire en corniches continues de direction nord – sud.



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

### 1.3 Structure spatiale de la wilaya

L'immense étendue de la wilaya est pratiquement vide : les localités y apparaissent comme des points de peuplement dans le désert, à proximité des points d'eau. Elles se situent dans des vallées correspondant aux parcours d'oueds presque tous aujourd'hui desséchés. Ces vallées peuvent être soit encaissées et délimitées par des versants abrupts, soit à peine tracées formant une légère dépression dans une vaste étendue. Les agglomérations, au nombre de onze, sont d'origines séculaire ou récente, mozabite ou due à la sédentarisation de nomades.

**Tableau I-1** : Les agglomérations de la wilaya de Ghardaïa (Bonnard & Gardel, 1996)

Villes ou agglomérations	Origines - Séculaire : S - Récente : R	Date de la création	Tradition - Urbaine : U - Nomade : N	Intégrée à une palmeraie	Chefs-lieux composant l'agglomération
Ghardaïa	S	11 <sup>ème</sup> siècle	U	X	Ghardaia, Bounoura et El-Atteuf
Berriane	S	17 <sup>ème</sup> siècle	U	X	
Guerrara	S	17 <sup>ème</sup> siècle	U	X	
El Goléa	S	09 <sup>ème</sup> siècle	N		El Goléa et Hassi N'Gara
Metlili	S	10 <sup>ème</sup> siècle	N	X	
Daya	S	19 <sup>ème</sup> siècle	N	X	
Zelfana	R	1949	N		
Sebseb	R	1949	N		
Mansoura	R	1945	N		
Hassi F'hel	R	1943	N	X	
Ain Loussig	R	1968	N	X	

### 1.4 Structure administrative

La wilaya se compose de neuf (09) daïras et de treize (13) communes selon la dernière organisation administrative de 1991.

- Daïra de Ghardaïa            commune de Ghardaïa
- Daïra de Guerrara        commune de Guerrara
- Daïra de Berriane        commune de Berriane
- Daïra de Daya            commune de Daya
- Daïra de Zelfana        commune de Zelfana
- Daïra de Bounoura      commune de Bounoura et de El Atteuf
- Daïra de Metlili        commune de Metlili et de Sebseb
- Daïra de Mansoura      commune de Mansoura et de Hassi El F'hel
- Daïra de El Ménéa      commune de El Ménéa (ou El Goléa) et de Hassi El Gara.

Le tableau suivant fournit les surfaces des différentes communes.

**Tableau I-2 :** Les surfaces des communes (Bonnard & Gardel, 1996)

Commune	Surface (km <sup>2</sup> )
Ghardaïa	590
Berriane	2 250
Guerrara	2 600
Daya	1 880
Bounoura	720
El Atteuf	690
Metlili	7 300
Sebseb	5 640
Mansoura	6 500
El F'hel	6 715
Zelfana	2 220
El Ménéa	27 000
Hassi El Gara	22 000
<b>Totaux</b>	<b>86 105</b>

## 2. La vallée du M'Zab

### 2.1 Description générale de la vallée

La vallée du M'Zab à laquelle se rattache notre étude, est la plus importante des zones habitées de la wilaya, elle est située à l'enceinte du bassin versant.

La vallée du M'Zab est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien. Elle regroupe trois (03) daïras et quatre (04) communes, à savoir :

**Tableau I :** Les communes de la vallée

Daïra	Commune
Ghardaïa (chef-lieu de la wilaya)	Ghardaïa, Béni Isguen et Melika
Bounoura	Bounoura et d'El Atteuf
Daya Ben Dahoua	Daya Ben Dahoua

### 2.2 Les oueds de Ghardaïa

La région de *Ghardaïa* est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont :

- Oued *Sebseb* ;
- Oued *Metlili* ;
- Oued *M'zab* ;
- Oued *N'sa* ;
- Oued *Zegrir*.

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du *M'Zab* (figure I-4). Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région.

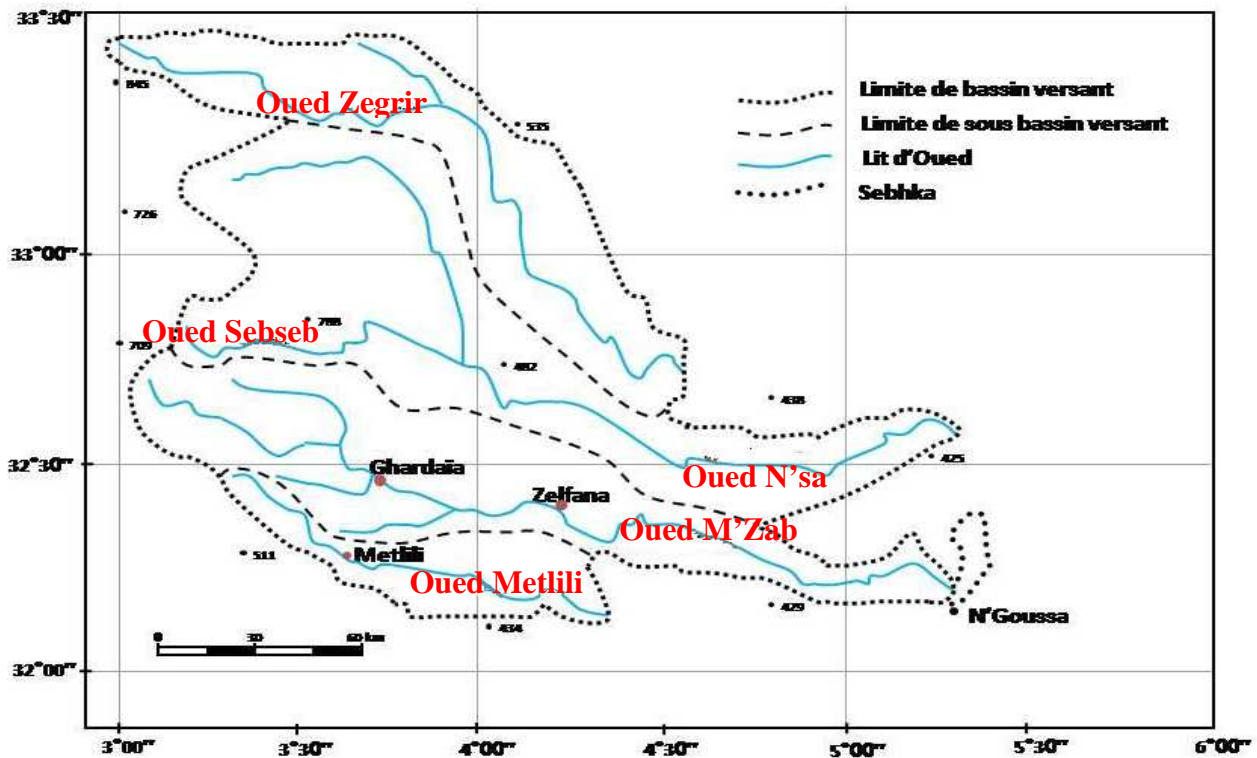


Figure I-4 : Bassin versant des oueds de la région du M'Zab (ANRH Ouargla, 2003).

### 2.3 Description générale de l'oued M'Zab

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 *Labioldh*; il se déverse dans son exutoire naturel qui est la *sebkha Safiounne* au Nord de la ville de Ouargla à une altitude de 107 mètres.

Le principal affluent du oued M'Zab, appelé oued *Labioldh* 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 *Beni 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 *Nessaimou*. Enfin, très en aval de cette nouvelle Oasis, l'oued *Hasseï*, alias oued *Ouillou* qui draine la partie Nord du bassin du *M'Zab*.

En outre, l'oued *M'Zab* reçoit d'autres affluents de faible importance appelés "*chaâbats*", tel que *chaâbat Benghanem* sur la rive droite et celles de *Bensmara* 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 (ANRH Ouargla, 2003).

## 2.4 Données climatologie

Le climat de la vallée est saharien, se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée.

### 2.4.1 Températures

L'analyse d'une série d'observations statistiques enregistrée au niveau de la Wilaya de Ghardaïa, sur une période d'observations de 10 ans, a fait ressortir que la température moyenne mensuelle enregistrée est de 22,40 °C, comme indiqué dans le (tableau I-3) :

**Tableau I-3 :** Température moyenne mensuelle sur une période d'observation (ONM, 1998/2007).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Température moyenne mensuelle (°C)</b>	10,86	13,10	17,63	21,34	25,71	31,26	34,60	34,60	28,77	23,84	16,17	11,78

### 2.4.2 Vents

Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région d'El-Ménéa surtout pendant le printemps, les mois d'avril, mai et juin.

Pour ce qui est du Sirocco dans la zone de Ghardaïa, on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui s'étend du mois de Mai à Septembre, comme le montre le (Tableau I-4).

**Tableau I-4 :** Vitesse moyenne mensuelle sur une période d'observation (1998/2007).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Vitesse du vent moyen mensuel (m/s)</b>	3,41	3,72	3,68	4,06	4,22	3,72	3,45	3,25	3,50	3,01	3,15	3,39

### 2.4.3 Précipitations

Selon *Dubief* (1953), les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes.

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter-annuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. C'est le cas de Ghardaïa

La seule station pluviométrique qui existe est celle de Ghardaïa, dont ses caractéristiques sont illustrées dans le tableau suivant :

**Tableau I-5 :** Caractéristiques de la station pluviométrique de Ghardaïa.

Nom		Ghardaïa
Organisme (source)		Office Nationale de la Météorologie (ONM)
Coordonnées	Latitude	32°24 N
	Longitude	03°48 E
Altitude (m)		468
Période d'observation		1964–2004
Nombre d'années observées		41

D'après les données statistiques, sur une période d'observation de 41 ans, on constate que la pluviométrie est très faible. La moyenne annuelle est de 68,4 mm. Le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours, entre les mois de Janvier et Mars ([Tableau I-6](#)).

**Tableau I-6:** Précipitations observées à Ghardaïa (1964-2004).

Année	Précipitation annuelle (mm)	Année	Précipitation annuelle (mm)
1964	5,5	1985	46,9
1965	59,4	1986	98,1
1966	69,6	1987	55,5
1967	20,7	1988	58,3
1968	51,8	1989	34,7
1969	78,4	1990	124,2
1970	9,4	1991	55,5



1971	46,3	1992	63,2
1972	87,3	1993	34,9
1973	77,1	1994	167,3
1974	45,2	1995	62,5
1975	96,6	1996	66,8
1976	115,9	1997	105,8
1977	66,9	1998	25,5
1978	31,2	1999	104,2
1979	58,7	2000	43,5
1980	148,1	2001	49,1
1981	41,7	2002	85,6
1982	63,7	2003	95,1
1983	12	2004	172,7
1984	69,5	<b>Pluie annuelle moyenne (mm) 68,4</b>	

#### 2.4.4 Humidité

Les données de la station météorologique de Ghardaïa montrent qu'il y a une période de sécheresse de mois de juin et de juillet et il y a une période humide qui est en automne et en hiver (Tableau I-7).

**Tableau I-7 :** Humidité moyenne mensuelle sur une période d'observation (1998/2007).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
<b>Humidité moyenne mensuelle (%)</b>	56,90	46,10	38,50	33,60	29,40	24,70	21,30	25,30	35,10	39,70	50,80	56,70

#### 2.4.5 Evapotranspiration

La quantité d'eau évaporée dans la région de Ghardaïa est influencée par le degré de température, les vents et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa (tableau I-8).

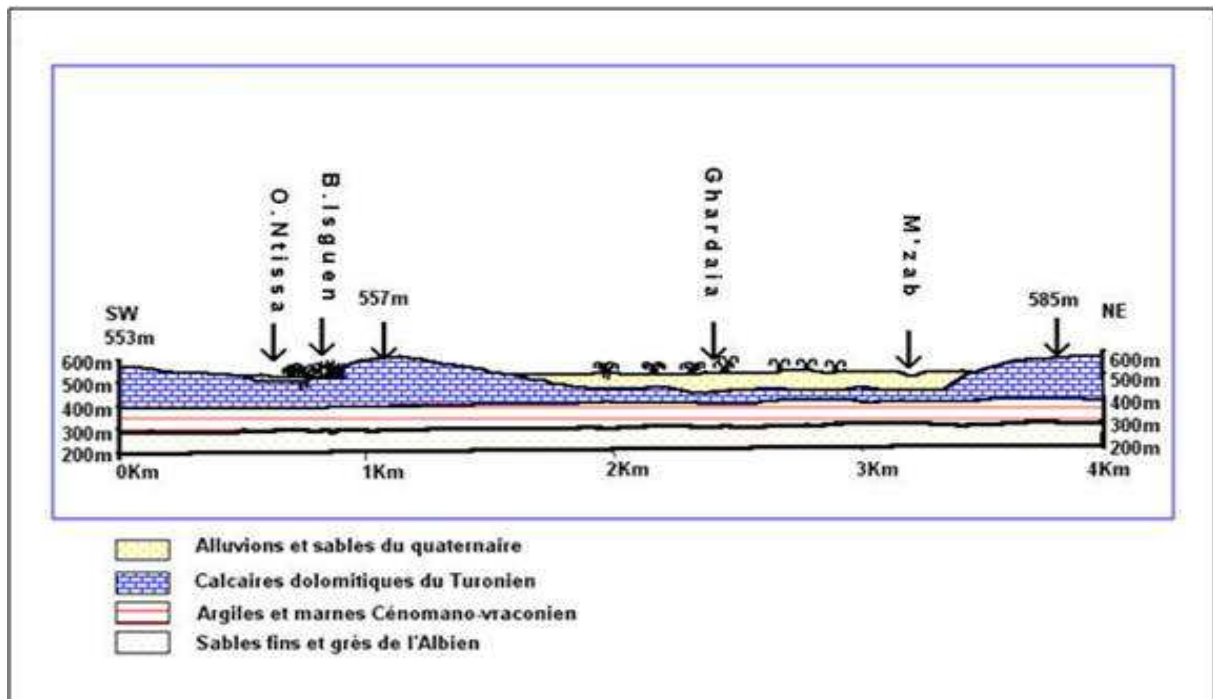
**Tableau I-8** : Evapotranspirations sur une période d'observation (1998/2007).

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Evapotranspiration (mm/an)	3649	3826	2981	2850	2681	2580	2439	2503	2549	2412

## 2.5 La géologie de la vallée du M'Zab

Du point de vue géologique, la vallée est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires Turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (Figure I-5).

**Figure I-5** : Coupe géologie schématique de la région du M'Zab (ANRH Ouargla, 2003).

## 2.6 Les ressources en eau de la vallée du M'Zab

### 2.6.1 Les eaux souterraines

Les ressources en eau de la vallée du M'Zab proviennent de deux aquifères :

- L'aquifères des alluvions ;
- L'aquifères du Continental intercalaire.

#### 2.6.1.1 L'aquifère des alluvions

L'aquifère des alluvions renferme la nappe phréatique qui alimentait autrefois l'Oasis. D'après J. Flandrin (1952), il est situé entre 40 et 70 m de profondeur. L'alimentation de cette nappe est étroitement liée à la pluviométrie. Dès 1938, des forages au Continental Intercalaire ont peu à peu supplanté les puits de la nappe phréatique qui tendent à être abandonnés.

#### 2.6.1.2 L'aquifère du Continental intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grésio-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est.

L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique.

### 2.6.2 Les eaux de surface

Les quelques oueds traversant la région, présentent un écoulement rare qui se manifeste à la suite d'averses orageuses. Les eaux des crues alimentent la nappe phréatique et irriguent les palmeraies.

## 2.7 Hydrologie

L'hydrologie des déserts est encore mal connue en raison du faible nombre des données recueillies et de la difficulté de la documentation. Elle souffre de l'aridité, qui est la cause principale, et de la discontinuité des phénomènes (*Fernand, J., 2006*).

En effet, les Oueds sahariens n'ont pas un régime de crues régulier mais plutôt de caractère accidentel: quand les pluies s'abattent, les Oueds coulent quelques jours et débordent même (*Gardi, 1973*).

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, les oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment par l'oued M'Zab, qui à chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement à la ville de Ghardaïa. (*ANRH, Direction régionale Sud Ouargla, 2003*).

### 2.7.1 Inventaire des crues de l'oued M'Zab

#### De 1921 à 1937 :

D'après les documents de l'Annexe de Ghardaïa, communiqués à Capot-Rey, en février 1938.

*Tableau I-9* : Les crues de l'oued M'Zab (Bonnard & Gardel, 1996).

Dates des crues	Importance	Observations
28 mai 1921	Importante	La crue arrive au 3 <sup>ème</sup> barrage, la palmeraie est inondée.
23 mai 1923	Importante	Inondation des oasis de Ghardaïa, Melika, Bou Noura, El Atteuf. Atteint Zelfana à 64 km en aval de Ghardaïa, à 150 km de la source.
15-17 mars 1925	Importante	Dépasse Bounoura après avoir rempli tous les barrages situés en amont.
7 Septembre 1929	Importante	Remplit tous les barrages
29 mai 1931	Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa.
8 novembre 1932	Importante	Coule jusqu'au barrage; oasis arrosée.
Décembre 1932	Importante	Remplit les barrages de Ghardaïa et s'arrête à celui de Melika.
3 novembre 1933	Très Importante	Les barrages de Ghardaïa, Melika, et Bou Noura. S'arrête à celui d'El Atteuf qui n'a pas été atteint depuis 1932.
23 avril 1935	Peu Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa

#### 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.

18 avril 1938	Importante	Coule jusqu'à la ville de Ghardaïa
25 novembre 1938	Importante	Inondation totale des oasis de Ghardaïa, Beni Isguen, partielle de celle de Bou Noura (oued Zouil)
Février 1939	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
<b>Mars 1940</b>	Légère	Crues des affluents des oueds El Abiodh et M'zab. Le barrage dit "Sed Edjedid" (dit aussi "Habbas Djedid") presque entièrement rempli.
<b>Mars 1941</b>	Importante	Inondation de la palmeraie; premier barrage (à 1500 m en amont du Ksar) rempli
<b>Avril 1941</b>	Moyenne	Inondation de l'oasis; barrage en parti rempli
<b>7 juin 1942</b>	Moyenne	Crue des oueds secondaires
<b>1943 18 février</b>	Faible	Oued Adira au NW de Ghardaïa
<b>Mars 1943</b>	Faible	Partie N de la palmeraie arrosée
<b>Avril 1943</b>	Faible	Inondation de l'oasis. Fortes crues des oueds secondaires
<b>Octobre 1943</b>	Importante	Inondation de l'oasis de Ghardaïa; premier barrage rempli
<b>Décembre 1943</b>	Peu Importante	Inondation de l'oasis de Ghardaïa
<b>Février 1944</b>	Peu Importante	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
<b>Mars 1944</b>	Peu Importante	
<b>21 janvier 1946</b>	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
<b>24 avril 1946</b>	Assez Importante	Inondation de la partie nord de l'oasis de Ghardaïa
<b>15 septembre 1946</b>	Faible	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
<b>6 avril 1947</b>	Moyenne	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
<b>avril</b>	Faible	
<b>Septembre 1948</b>	Fortes	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa. oueds secondaires
<b>24 mars 1949</b>	Légère	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
<b>24 avril 1949</b>	Importante	Inondation de l'oasis de Ghardaïa. Barrages partiellement remplis
<b>6 septembre 1950</b>	Forte	Inondation partielle de l'oasis de Ghardaïa
<b>Octobre 1950</b>	Forte	Inondation de l'oasis de Ghardaïa; barrage de

		Ghardaïa rempli
<b>5 mars 1951</b>	Forte	Inondation de l'oasis de Ghardaïa. La crue arrive jusqu'à El Atteuf

**De 1951 à 1953 :**

Communication personnelle de J. Dubief recueillie par M.A. Roche (1996).

<b>13 et 19 septembre 1951</b>	Moyenne	Crue moyenne des oueds secondaires Bouchamdjene, Takdit, Touzouz, Argdeine. 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).
<b>2 octobre 1951</b>	Forte	L'oued M'Zab est arrivé jusqu'à El Atteuf, après avoir rempli les barrages de Ghardaïa et Melika. Plus en aval, la crue alimentée par les affluents inférieurs du M'Zab atteignit Hassi Chegga le 4 octobre. Le 17 le lit de l'oued était encore humide; un plan d'eau de 250 m <sup>2</sup> subsistait à Chaab M'Zab.
<b>24 avril 1952</b>	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 Abiod, Djaref). A Ghardaïa, la crue ne s'est fait sentir qu'à partir de la 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 <sup>3</sup> seconde. La crue emporta des tentes, noya plus de 1200 têtes de bétail (renseignements d'Ouargla).
<b>23 septembre 1952</b>	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 Beni-Isguen a été très endommagé. L'oued coule en aval d'El Atteuf, grâce aux crues des oueds inférieurs et surtout Noumerate.
<b>Mars 1953</b>	Faible	La palmeraie de Ghardaïa a été partiellement arrosée.
<b>12 juillet 1953</b>	Faible	Oued Zouil. Quelques jardins de l'oasis de Bou Noura ont été arrosés.

<b>5 septembre 1953</b>	Faible	Oueds secondaires: Touzouze, Akhalkhal, les crues y sont arrivées.
-------------------------	--------	--

### **De 1954 à 1996**

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

#### **2.7.2 Les crues de la palmeraie**

La palmeraie de Ghardaïa a été fréquemment inondée d'une manière irrégulière et exceptionnelle dont les écoulements sont d'importance variable. Ces inondations peuvent se produire à toutes les saisons avec une grande fréquence des crues importantes.

Des crues ont été signalées dans la région de Ghardaïa qui sont quelques fois très importantes, mais leurs apports et leurs fréquences restent encore inconnues.

Les crues plus ou moins importantes se produisent donc à peu près chaque année, soit au cours d'un seul mois, soit à plusieurs reprises au cours d'une même année.

Ce ruissellement superficiel au Sahara qui est resté peu étudié jusqu'à ce jour peut se produire dans des oueds secs d'une manière accidentelle et résultant d'une crue violente en une courte durée parfois surprenante que nous ne pouvons pas négliger tant de point de vue fréquence ou quantité.

#### **2.7.3. Les effets des crues pour la palmeraie**

- Elles alimentent la nappe phréatique en eau directement et aussi par le biais des puits réalisés à cet effet ;
- Elles sont à l'origine d'un amendement naturel et régulier des sols de culture ;
- Elles lessivent les terres agricoles et empêchent la formation d'un éventuel écran nuisible à la qualité du sol.



## Chapitre II

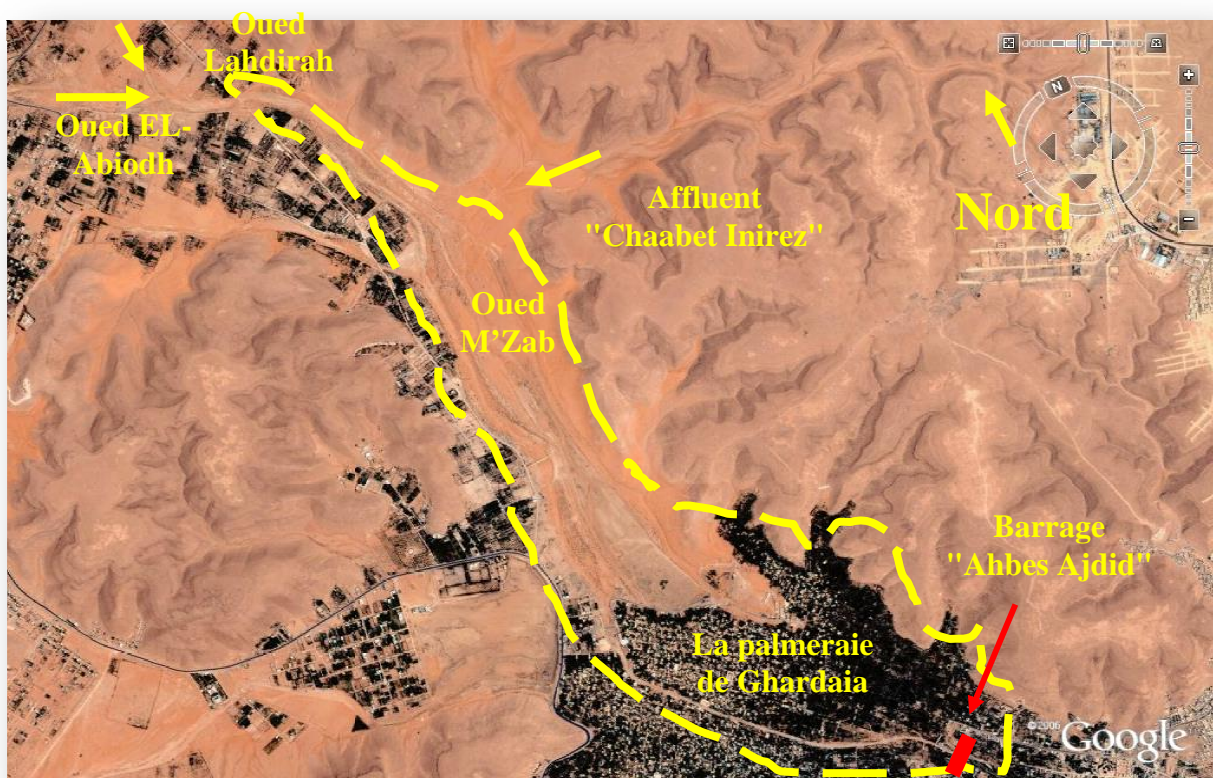
## Description et fonctionnement du système de partage des eaux

### Introduction

Ce chapitre a pour but de décrire le fonctionnement hydraulique des différents ouvrages, qui constituent ce système de partage de la palmeraie Est de Ghardaïa.

#### 1. Situation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans le lit de l'oued M'Zab, entre le point de confluence des deux oueds "Laadirah", "Labiiodh" et le barrage "Ahbas Ajdid" à l'aval de la palmeraie (Photo II-1).



*Photo II-1* : Vue aérienne de la zone d'étude (Google Earth, 2009).



## 2. Description et fonctionnement du système

Le système consiste à détourner, en amont de la palmeraie, les eaux des crues dans des canaux, qui vont par la suite les acheminer vers l'ouvrage de partage, pour l'irrigation des jardins et le remplissage de la nappe phréatique.

Ainsi, nous pouvons subdiviser ce système en deux :

- Une partie qui collecte et canalise les eaux de pluies orageuses vers le partage,
- Et une partie qui partage les eaux collectées au niveau de la palmeraie.

### **2.1 Description et fonctionnement de la partie "collecte des eaux"**

#### 2.1.1 Description

Nous commençons d'abord par la description de la première partie du système qui collecte les eaux, elle est composée des ouvrages suivants ([voir le plan schématique](#)) :

- Deux Canaux parallèles de collecte (canal *Bouchemdjene*, canal *Bouchène*) ;
- Des ouvrages de régulation appelé "*Tissambads* de régulation" ;
- Des déversoirs à côté de chaque "*Tissambads* de régulation" ;
- Une digue appelée (Digue *Inirez*); et
- Un barrage collinaire (barrage de *Bouchène*).

##### **2.1.1.1 Les canaux de collecte des eaux**

Les canaux de collecte des eaux de *Bouchemdjene* et *Bouchène* sont des cours d'eau artificiels, dont leurs parois sont conçues en pierres.

##### **2.1.1.2 Les ouvrages de régulation "*Tissambads*"**

L'ouvrage de régulation est constitué de plusieurs orifices appelés "*tissambads*" qui se trouvent en série ([Photo II-2](#)). Ces orifices permettent la régulation du niveau d'eau aval dans le canal à l'aide de vannes métalliques. ([Les ouvrages et leurs dimensions sont donnés en Annexe](#))



*Photo II-2 : Les Tissambads de régulation de canal Bouchemdjene.*

### **2.1.1.3 Les vannes**

Une vanne est un organe mobile, permettant de modifier localement la section d'écoulement de la fermeture à l'ouverture complète. Un tel organe permet de régler la hauteur d'eau à un niveau désiré (*Photo II-3*). (*Sinniger & Hager, 1988*)



*Photo II-3 : Les vannes de régulation de débit.*

#### 2.1.1.4 Les déversoirs

Pour éviter la surverse au dessus des ouvrages de régulation (et leur rupture quasi certaine) lors des crues, les Mozabites ont aménagé deux types de déversoirs.

- Des déversoirs qui permettent, à partir d'un certain niveau, d'évacuer le surplus du canal (*Photo II-4*).



**Photo II.4 :** Déversoir de canal *Bouchemdjene* vers canal *Bouchène*.

- Et un déversoir qui permet, à partir d'un certain niveau, d'évacuer le surplus de l'ouvrage *Tissambads* de partage vers le barrage de *Bouchène* (*Photo II-5*).



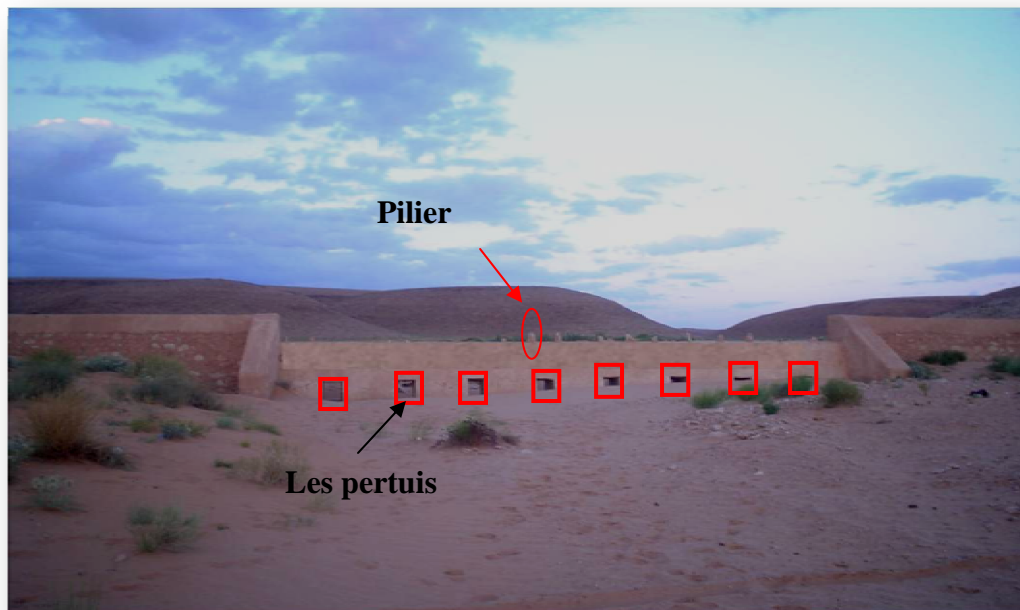
**Photo II-5 :** Déversoir de canal *Bouchemdjene* vers le barrage *Bouchène*.

### 2.1.1.5 Digue d'Inirez

La digue se situe à l'exutoire de l'un des affluents de l'oued M'Zab qui est "Inirez". Elle est conçue pour réguler le débit pendant les crues. Cet ouvrage est donc toujours vide sauf pendant les crues (Photo II-6).

Le déversoir de cette digue est subdivisé par des piliers de différentes formes et tailles. Ces piliers servent à imposer à l'écoulement une direction déterminée, pour que le débit soit distribué uniformément tout au long du déversoir. (Sinniger & Hager, 1988)

Les huit pertuis sont placés au point bas de la digue et sont équipés par des vannes métalliques. Lors des crues, ces vannes sont manœuvrées par les *Oumanas*\*.



**Photo II-6 :** Digue de "Chaabet Inirez".

\* : Oumanas Essail : association bénévole, ils contrôlent le fonctionnement du système de partage traditionnel ainsi que son entretien.



### 2.1.1.6 Le barrage de Bouchène

Le barrage de *Bouchène* est constitué d'une digue en terre consolidée de pierre et d'un déversoir latéral (Photo II-5).

Il permet le stockage des eaux de crue dans un lac momentané, pour faciliter leurs infiltrations vers la nappe phréatique. Il reçoit l'eau excédentaire du canal de *Bouchemdjene* (Photo II-7).



**Photo II-7 :** La retenue de barrage *Bouchène*.

Des puits capteurs de diamètre de 2 m (Photo II-8) sont également forés dans la retenue de barrage, permettant aussi l'alimentation de la nappe.

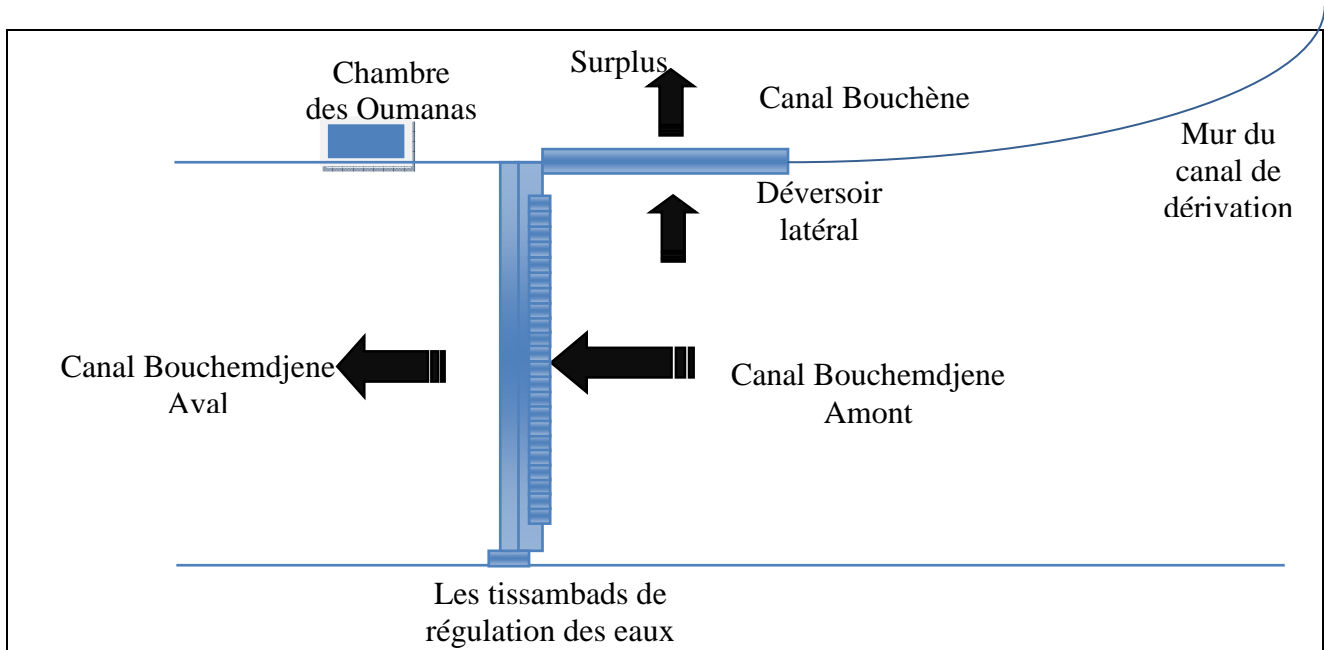


**Photo II-8 :** Un puits capteur dans la retenue de barrage *Bouchène*.

### 2.1.2 Fonctionnement

Le principe général de fonctionnement est le suivant (voir le plan schématique) :

Le canal principal *Bouchemdjene*, est alimenté par la confluence de *Labiodh* et *Laadirah*, ainsi que par *Inirez*. A l'entrée du canal, un système composé des *tissambads* de régulation et un déversoir latéral (Figure II-1) chargé de réguler les arrivées d'eau en évacuant les surplus vers le canal *Bouchène*.



**Figure II-1** : La dérivation des eaux de crue dans le canal de *Bouchemdjene*.

Au niveau d'*Inirez*, un système semblable est mis en place.

Enfin, à l'aval de ce canal, l'ouvrage *tissembads* de partage accompagné d'un déversoir (Photo II.5) permet de réguler les eaux vers les jardins, et évacuer le surplus vers le barrage de *Bouchène*.

Le canal *Bouchène* permet d'alimenter le canal souterrain de *Takdhite* et le barrage de *Bouchène*, par les eaux de surplus du canal *Bouchemdjene*.

Ce canal achemine les eaux jusqu'au système de transfert de ces eaux vers le canal souterrain de *Takdhite*. A l'amont de ce système, deux déversoirs de trop pleins situés respectivement : juste à l'aval du premier déversoir de canal de *Bouchemdjene* et au niveau de la confluence d'*Inirez* et canal *Bouchemdjene*. Ces déversoirs évacuent les surplus vers oued M'Zab.

c

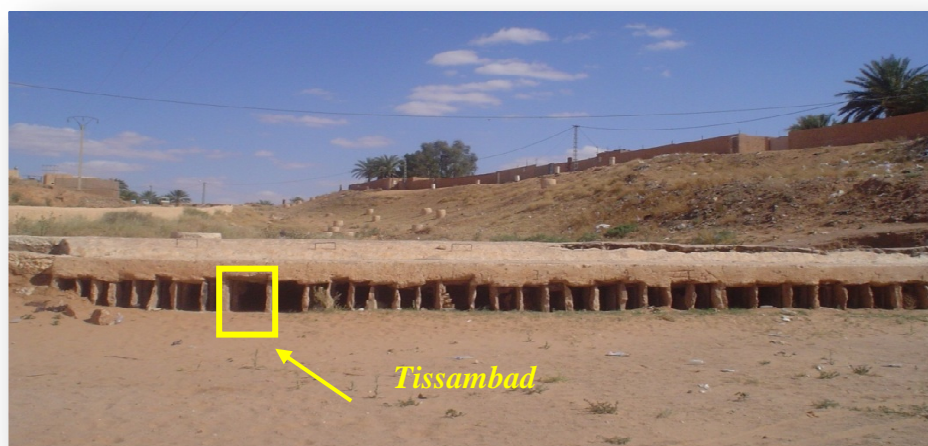
## 2.2 Description et fonctionnement de la partie partage et irrigation

Suivant le fonctionnement du système en temps de crue ou en temps ordinaire, cette partie est constituée de deux types d'ouvrages :

- Ouvrages de partage des eaux de crue au niveau de l'Ouvrages "Tissambads de partage" et l'irrigation ; et
- Ouvrages de puisage et irrigation.

### 2.2.1 Le partage des eaux au niveau de l'Ouvrage "Tissembads de partage"

L'eau de crue qui arrive au "Tissambads de partage de Bouchemdjene" (Photo II-9, Tableau II-1), est drainé par des canaux souterrains, dont les ouvertures maçonnées en pierre plates "madùn" sont soumises à de minutieux calculs, afin de permettre une répartition équitable. Ces canaux souterrains s'étendent sur des centaines de mètres, ils sont percés par des puits d'aération (Photo II-10, Photo II-11), pour ne pas avoir de refoulement vers les "Tissambads". Les canaux débouchent dans les différentes ruelles des quartiers (Tableau II-3).



**Photo II-9 :** Les *Tissambads* de partage de *Bouchemdjene* vers les jardins de la palmeraie.

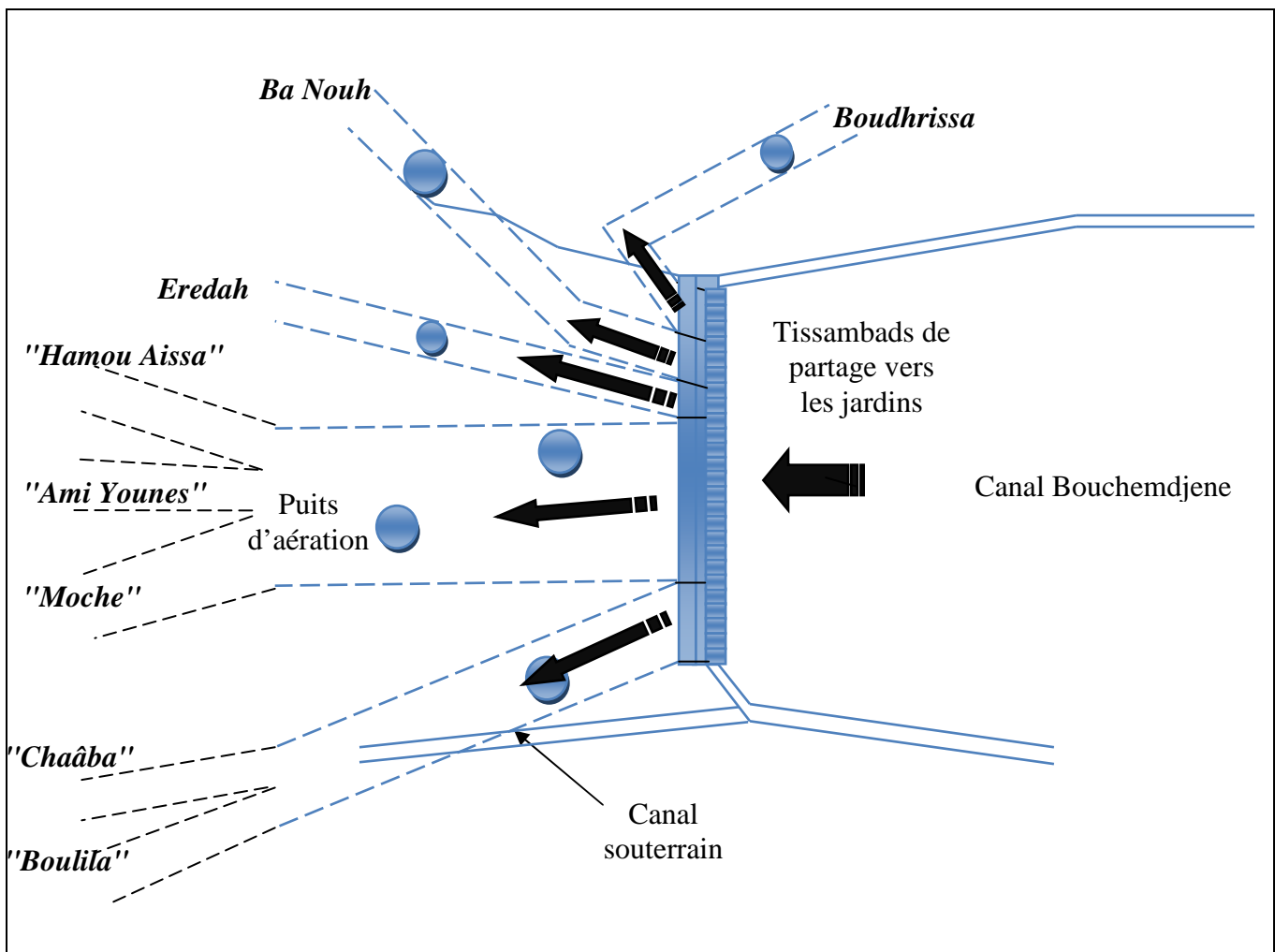
**Tableau II-1 :** Les dimensions de *Tissambads* de partage de *Bouchemdjene* vers les jardins de la palmeraie (ARSET).

Le nombre des <i>Tissambads</i> (orifices)	38
Hauteur d'un <i>Tissambad</i> (m)	0,80
Longueur d'un <i>Tissambads</i> (m)	0,50
Largeur d'un <i>Tissambads</i> (m)	2,20
Hauteur totale (m)	1,10
Longueur totale (m)	20,30
Largeur totale (m)	2,20

Chaque nombre de *Tissembads* alimente un canal souterrain (Tableau II-2), et certain de ces canaux présente des embranchements secondaires (Figure II-2).

**Tableau II-2** : La répartition des *Tissembads* (les orifices) en fonction des canaux souterrains.

Nom de canal souterrain	Nombre d'orifice " <i>Tissembad</i> " par canal
Canal " <i>Bouhrissa</i> "	1
Canal " <i>Ba Nouh</i> "	09
Canal " <i>Eredah</i> "	02
Canal " <i>Moche</i> ", " <i>Ami Younes</i> ", " <i>Hamou Aissa</i> "	15
Canal " <i>Boulila</i> ", " <i>Chaâba</i> "	11
Nombre total des " <i>Tissembads</i> "	38



**Figure II-2** : Les canaux souterrains.










**Photo II-10:** Les puits d'aération.



**Photo II-11:** Un puits d'aération.

	
<p>Canal souterrain "Hamou Aissa"</p>	<p>Canal souterrain "Moche"</p>
	
<p>Canal souterrain "Ami Younes"</p>	<p>Canal souterrain "Ba Nouh"</p>
	<p><i>Eredah, Boulila et Chaaba (pas d'accès)</i></p>
<p>Canal souterrain "Takdhite"</p>	

**Photos II-12** : Les sorties des différents canaux souterrains.



### 2.2.1.1 Les canaux à ciel ouvert "Tardja"

En temps de crue, les ruelles se transforment en canaux qui transportent de l'eau vers les différents jardins.

Nous classons les canaux d'après leurs largeur moyenne de la section transversale rectangulaire en :

- Canal principal : 2,50 m
- Canal secondaire : 1,50 m
- Canal tertiaire : 1 m

"Toult" ou bien "Menaâ" est une voie de secours plus élevée que le canal, elle permet la circulation des habitants en temps de crue (Bensalah, 2007). (Photo II-13).



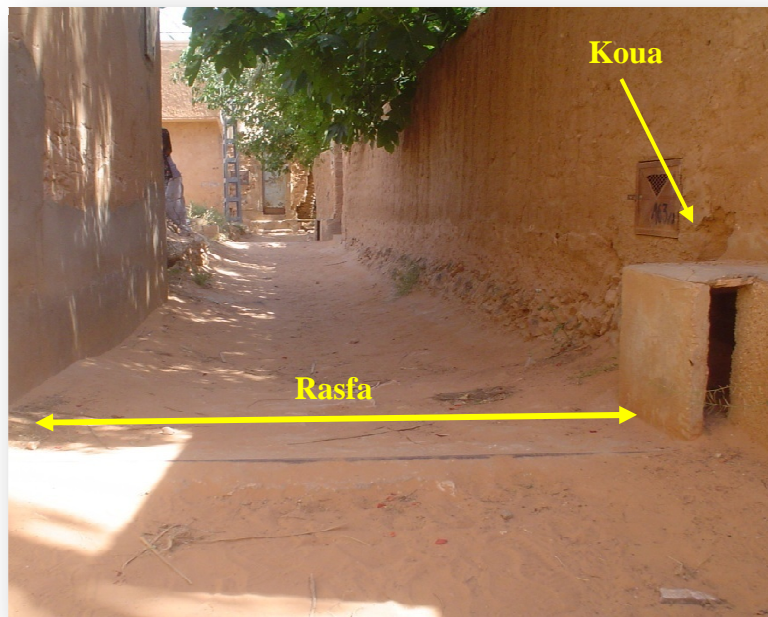
**Photo II-13** : 1. Canal à ciel ouvert, 2. Voies de secours en période de crue.

### 2.2.1.2 L'irrigation des jardins en temps de crue

#### a. "El-koua" : Orifice

Pour permettre un meilleur drainage des eaux de crue, des ouvertures appelées "Koua" ou bien "Khana" sont aménagées sur la partie inférieure du mur de chaque jardin, dimensionnées en fonction du nombre de palmier et du volume de l'activité de jardinier (à la conception et l'entretien du système de partage), afin que chaque jardin reçoive la quantité d'eau qui lui revient de droit (Photo II-14).

Ces "Koua" sont dimensionnés à l'aide des noyaux des dattes d'un palmier nommé "Akerbouche", de largeur moyenne de 1,1cm.



**Photo II-14:** Le partage de l'eau au niveau du jardin (*Koua, Rasfa*).

*b. "Rasfa" : Seuil*

Afin d'élever le plan d'eau, des petits seuils appelés "*Rasfa*" sont aménagés devant chaque ouverture ([Photo II-14](#)).

*c. Trop plein d'un jardin*

Une fois l'irrigation de tous les jardins est terminée, l'eau excédentaire est évacuée par le trop-plein. Cette eau sert à irriguer d'autres jardins (jardin étagé), ou bien poursuit son chemin jusqu'à rejoindre Oued M'Zab ([Photo II-15](#), [Photo II-16](#)).



**Photo II-15 :** Trop-plein d'un jardin (dans une zone urbanisée).



**Photo II-16 :** Trop-plein d'un jardin (dans une zone non urbanisée).

### 2.2.2 Le système de puisage et irrigation

En temps ordinaire, l'irrigation dans la palmeraie se fait par le système de puisage qui est composé de : (Photo II-17)

- Un puits de puisage (1) ;
- Premier bassin de récupération d'eau de puisage "Assefy" (2) ;
- Deuxième bassin de récupération d'eau de puisage "Madjel" (3) ;
- La *segua* du jardin.



**Photo II-17:** Le système de puisage (1. puits, 2. Assefy, 3. Madjel).



### 2.2.2.1 Le puits

Les puits "*tirest Pl. Tirsine*" sont éparpillés, de manière à ce que chaque jardin soit doté du sien. Ils constituent ainsi l'unique et principale source d'eau en temps ordinaire. Le particularisme de ces puits réside dans leur aménagement. Pour atteindre la nappe phréatique, ils sont creusés de 20 à 55 m et sont maçonnés en pierre ; en haut sont dressés deux montants verticaux où est fixée la barre horizontale qui supporte la poulie. Le puisage se fait à l'aide de la traction horizontale de l'animal ([Photo II-18](#)).

Sur la poulie passe la corde à laquelle est suspendu le récipient "*Delou*" (une outre en peau de chèvre, ouverte en haut et prolongée d'un tuyau sur le bas permettant d'évacuer l'eau puisée), alors que l'autre bout est attaché à l'animal (chameau ou âne). La piste de halage "*aghled nou lam*" est aménagée en pierre taillée ([Figure II-19](#)), suivant un plan incliné ; elle est aussi longue que le puits est profond ; l'animal en la parcourant permet de faire descendre et de remonter le "*Delou*". Ce dernier descend à peu près, deux fois chaque minute et déverse, les 20 ou 30 litres d'eau amassées, dans un bassin aménagé au pied du puits "*assefy*", à partir duquel des "*seguia*" (canaux) conduisent l'eau soit vers le deuxième bassin "*Madjel*" soit vers les différentes parties du jardin. ([Benyoucef, 1992](#))



**Photo II-18:** Un puits.



**Photo II-19:** La piste de halage "Aghlad Nou Lam".

Suivant la classification locale des puits, nous pouvons distinguer :

- Le puits de puisage (paragraphe précédent) ;
- Le puits capteur "Tamedjoujt" ;
- Le puits de transferts "Adjem".

**a. Les puits capteurs "Tamedjoujt"**

Quatre vingt puits (80) capteurs pour la recharge de la nappe phréatique. Dans la majorité des cas, le fond de puits est constitué d'argile noire.

Ils sont intéressants pour le captage des eaux de crues mais pas pour le puisage (Figure II-20).



**Photo II-20:** Un puits capteur.



**b. Les puits de transfert "Adjem"**

Au nombre de seize (16), les puits de transfert d'eau appelé "Adjem", sont réalisés pour irriguer les jardins qui se trouvent à une côte plus élevée que le puits de puisage. Ce sont des réservoirs sous forme des puits. Ils sont remplis à partir des puits de puisage afin d'être utilisés à l'irrigation (Photo II-21).



**Photo II-21:** Un puits de transfert d'eau de puisage "Adjem".

**2.2.2.2 Premier bassin "Assefy"**

"Assefy" est un bassin de récupération des eaux de puisage, directement de puits. Tous les "Assefy" sont conçus en pierre plate appelé "Madun".

**2.2.2.3 Deuxième bassin "Madjel"**

"Madjel" est un bassin de récupération et de régularisation qui reçoit l'eau d'assefy. De profondeur relativement faible, il joue le rôle d'un château d'eau.

Il se situe (à côté de puits) à la côte la plus élevée du jardin afin de permettre à l'eau de s'écouler par gravité dans des *seguias* et d'irriguer l'ensemble du jardin. Le "Madjel" est construit de façon à se remplir en 24 heures. On peut distinguer le "Madjel" en terre, plus ancien, dont le fond est couvert d'une couche d'argile pour éviter les infiltrations (Photo II-22). Le *Madjel* le plus récent est conçu en mortier.



**Photo II-22:** Bassin de récupération d'eau "Madjel".

L'irrigation s'effectue en règle générale de bonne heure, que ce soit en été ou en hiver. La multiplication et la répartition des "Madjels" dans la palmeraie créent une fraîcheur pendant l'été grâce à l'humidité qu'ils dégagent durant la journée.

#### **2.2.2.4 Seguia d'un jardin**

La seguia permet l'écoulement de l'eau de puisage vers les jardins grâce à sa pente (Photo II-23).



**Photo II-23:** Les seguias des jardins.

### 3. La recharge de la nappe phréatique

Cette technique de la recharge artificielle a été créée la première fois au monde au niveau de la vallée du *M'Zab* (l'oasis de Ghardaïa).

Le remplissage de la nappe se fait en temps de crue par les puits capteurs et par infiltration au niveau du barrage de *Bouchène*, en temps ordinaire. D'après les Oumanas\*, la recharge par infiltration dure six mois sous une température très élevée.

#### Conclusion

Les bâtisseurs savaient que la vallée est une zone inondable, de ce fait, ils ont mis en place ce système complexe qui capte, canalise et partage les eaux des crues.

Ce système composé de plusieurs ouvrages hydrauliques est caractérisé par une gestion judicieuse d'une haute précision et d'une extrême rationalité.

## Chapitre III

# Diagnostic des ouvrages hydrauliques constituant le système de partage des eaux

## Introduction

Lorsque des difficultés de gestion, ou des problèmes de fonctionnement apparaissent, il est fortement conseillé d'engager une étude couramment appelée "Diagnostic".

C'est l'occasion de faire le point général sur tout le système de partage des eaux.

### 1. C'est quoi le diagnostic ?

Le diagnostic est une étude destinée à établir un bilan aussi complet que possible de l'état structurel et de l'état de fonctionnement des systèmes hydrauliques.

### 2. Objectif de l'étude de diagnostic

L'étude de diagnostic nous permet de juger l'état physique ainsi que le bon fonctionnement hydraulique d'un ouvrage, dont les objectifs sont :

- Augmenter le rendement de l'ouvrage ;
- Améliorer sa fiabilité ;
- Prolonger sa durée de vie ;
- Assurer une bonne gestion et entretien futur.

### 3. Déroulement d'une étude-diagnostic

Le premier travail est de rechercher des documents relatifs au système (plans, dimensions des ouvrage, etc) ;

Le deuxième est de repérer et inventorier tous les ouvrages hydrauliques existant dans la palmeraie ;

Effectuer en troisième lieu une synthèse des informations concernant le système ;

Enfin, une dernière phase consiste en la rédaction d'un rapport d'étude qui répond à un double objectif :

- Réaliser la synthèse des opérations menées dans le cadre de l'étude-diagnostic et notamment mettre en évidence les dysfonctionnements rencontrés.
- Proposer des solutions techniques viables ainsi qu'un échéancier des travaux à prévoir afin d'assurer un fonctionnement optimum du système en situation actuelle mais également future.

## 4. Diagnostic des différents ouvrages hydrauliques

### 4.1 Diagnostic des canaux souterrains

L'eau s'écoule normalement dans les canaux souterrains pour atteindre les ruelles, qui vont par la suite irriguer les jardins.

L'eau de crue qui pénètre dans les canaux souterrains n'est pas claire, elle est chargée en matières solides. Ces derniers provoquent des dépôts de sédiments en favorisant la formation de bouchons à l'écoulement. Suite à cela les *Oumanas*\* nettoient ces canaux après chaque crue.

#### 4.1.1 Bref présentation de ces canaux

Ils existent six (6) canaux souterrains principaux de différentes destinations *Boudhrissa, Banouh, Erredah, Hamou aissa, Châaba et Boulila* comme le montre (*le plan schématique des canaux souterrains, ARSET, 2002*).

Ces canaux reçoivent les eaux de canal *Bouchemdjene*, et un autre canal souterrain appelé canal *Takdhite* reçoit les eaux du canal *Bouchène*.

#### 4.1.2 Calcul des pentes des canaux souterrains

Par difficulté d'accès aux canaux souterrains pour la mesure des pentes, nous avons calculé les pentes  $I_i$  entre chaque deux puits d'aération situé consécutivement dans chaque canal (*Figure III-2*), par la formule suivante :

$$\text{Pente } I_i = \frac{\text{Cote du fond de puits 1}(Y_1) - \text{Cote du fond de puits 2}(Y_2)}{\text{Distance entre deux puits d'aération successive}(L)} \text{ (m/m)}.$$

$$\text{Avec : } Y = \text{Cote de sommet du puits}(m) - \text{Profondeur du puits}(m)$$

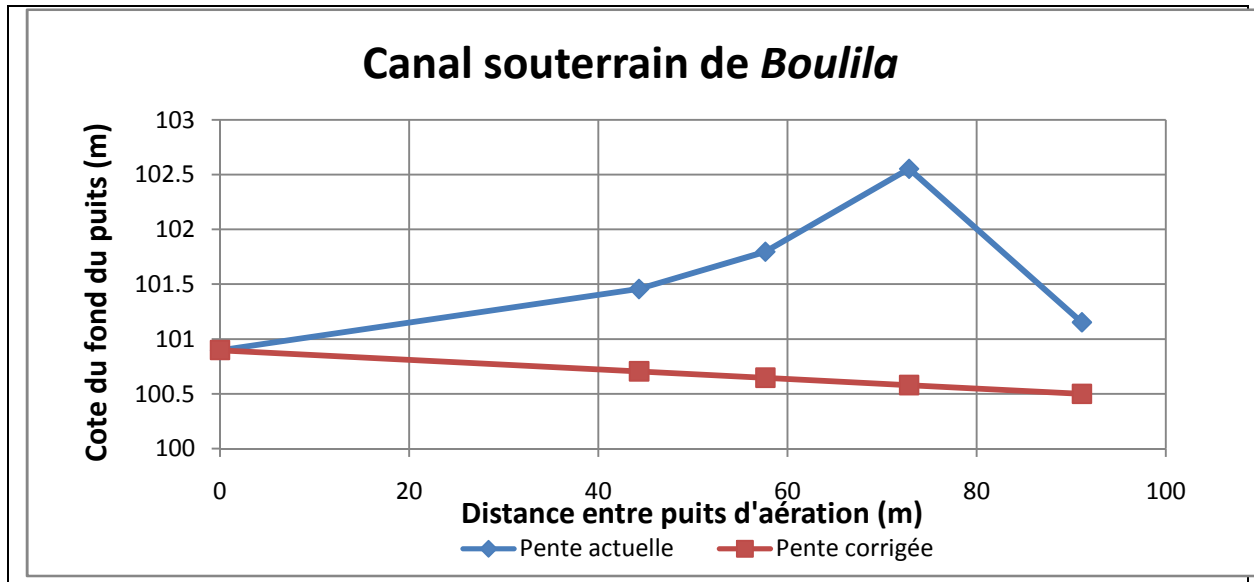
Nous avons mesuré sur site les profondeurs des puits d'aération correspondant à chaque canal à l'aide d'un décimètre ;

Nous avons pris les cotes des sommets de ces puits ainsi que les distances entre eux du levé topographique des canaux souterrains (*ARSET, 2002*) ;

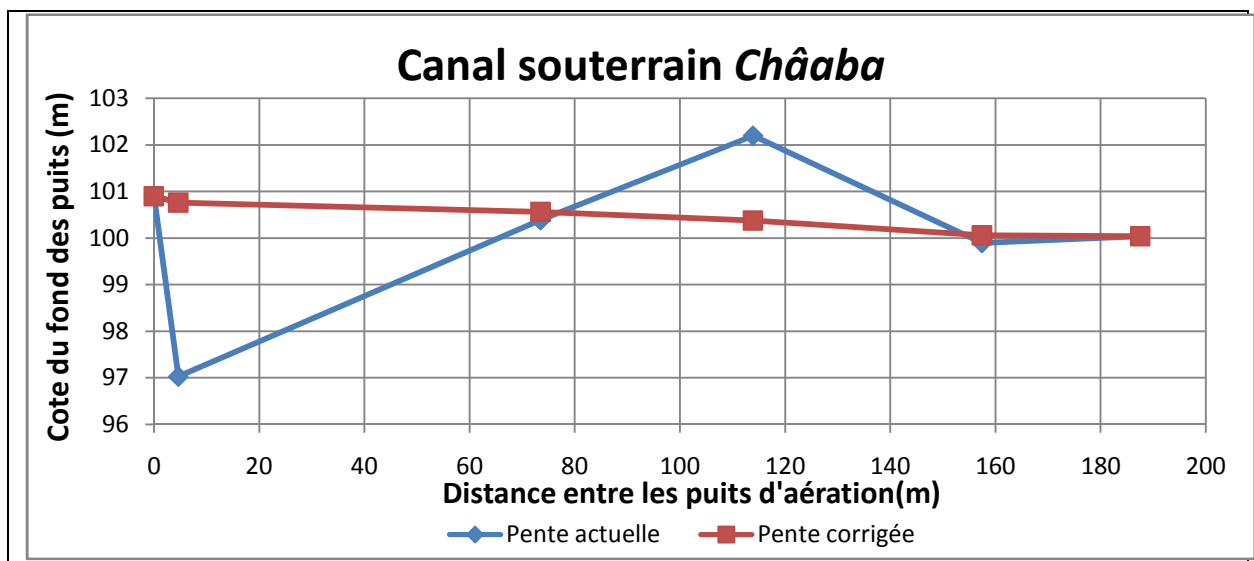
Nous allons calculer les pentes de quelques canaux souterrains qui sont : canal de *Boudhrissa, Hamou Aissa, Châaba et Boulila* à travers les puits d'aérations percés dans ces canaux. Parce que :

- Le canal souterrain d'*Erredah* est complètement effondrée;
- Le canal souterrain de *Banouh* ne contient pas de puits d'aérations ;
- Aucune de données concernant les cotes terrain des puits d'aération du canal souterrain *Takdhite*.

Les figures suivantes (*Figure III.1÷ III.4*) représentent les cotes du fonds des puits d'aération en fonction de la distance qui les sépare.



*Figure III-1: Tracé du canal souterrain Boulila.*



*Figure III-2 : Tracé du canal souterrain Châaba.*



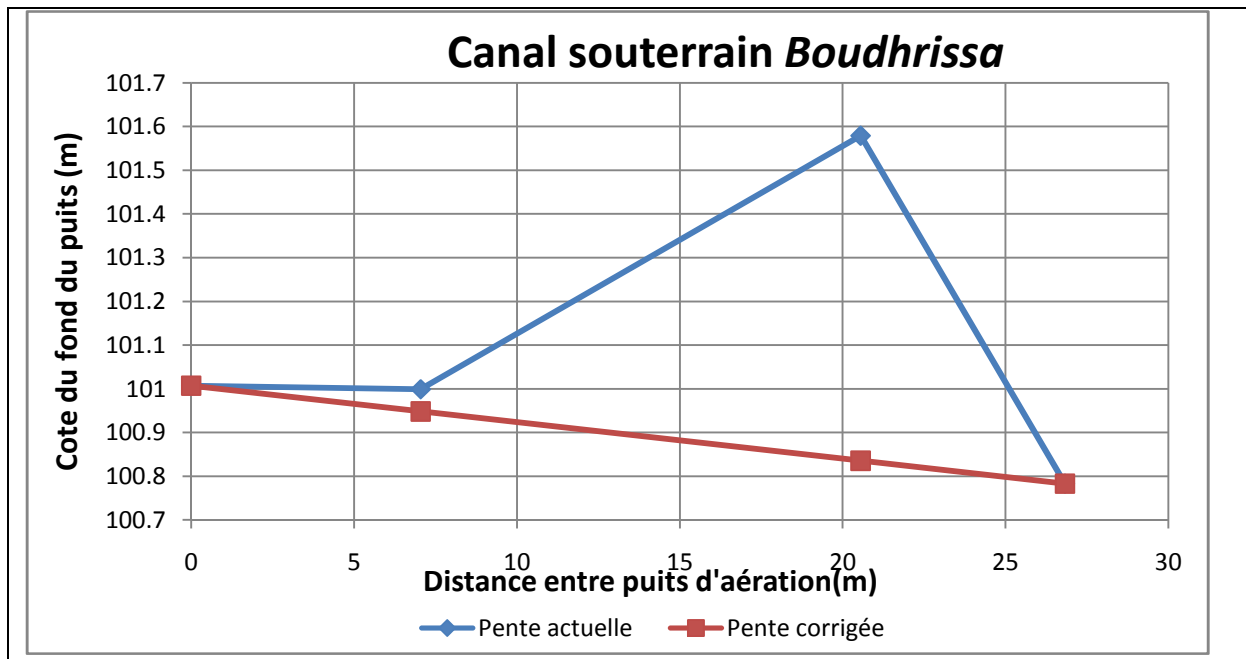


Figure III-3: Tracé du canal souterrain Boudhrissa.

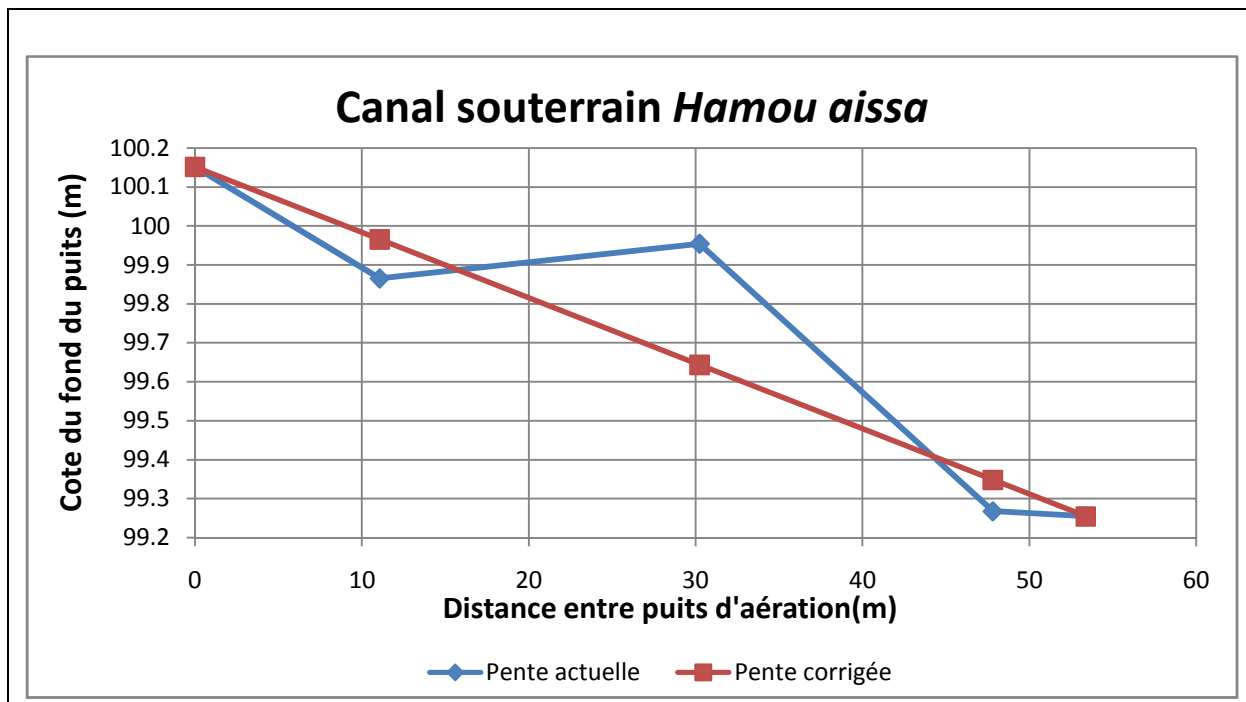


Figure III-4 : Tracé du canal souterrain Hamou aissa.

**4.1.3 Résultats et analyses**

Nous remarquons que les pentes ne sont pas régulièrement gravitaire comme le montre les tableaux suivantes :

**Tableau III-1 : Canal souterrain Boulila.**

<i>Distance entre les puits d'aérations (m)</i>	<i>De 0,00 à 44, 32</i>	<i>De 44, 32 à 57,67</i>	<i>De 57,67 à 72, 87</i>	<i>De 72,87 à 91,14</i>
<i>La pente entre deux puits d'aération actuelle (m/m)</i>	0,0126	0,0253	0,0497	-0,0765
<i>La pente corrigée (m/m)</i>	0,0044			

**Tableau III-2 : Canal souterrain Châaba.**

<i>Distance entre les puits d'aérations (m)</i>	<i>De 0 à 4,65</i>	<i>De 4,65 à 73,52</i>	<i>De 73,52 à 113,91</i>	<i>De 113,91 à 157,43</i>	<i>De 157,43 à 187,50</i>
<i>La pente actuelle entre deux puits d'aération (m/m)</i>	0,83170	-0,04873	-0,04480	0,05283	-0,00482
<i>La pente corrigée (m/m)</i>	0,0046				

**Tableau III-3 : Canal souterrain Boudhrissa.**

<i>Distance entre les puits d'aérations (m)</i>	<i>De 0 à 7,05</i>	<i>De 7, 05 à 20,55</i>	<i>De 20, 55 à 26, 82</i>
<i>La pente actuelle entre deux puits d'aération (m/m)</i>	-0,00113	0,04295	-0,12691
<i>La pente corrigée (m/m)</i>	0,0083		

**Tableau III-4 : Canal souterrain Hamou aissa.**

<i>Distance entre les puits d'aérations (m)</i>	<i>De 0 à 11,07</i>	<i>De 11,07 à 30,23</i>	<i>De 30,23 à 47,81</i>	<i>De 47,81 à 53,37</i>
<i>La pente actuelle entre deux puits d'aération (m/m)</i>	0,0258	-0,0046	0,0391	0,0023
<i>La pente corrigée (m/m)</i>	0,0168			



### 4.1.3 Recommandations

- Nettoyage régulier des canaux souterrains ;
- Après le nettoyage il faut vérifier que les pentes soient respectées
- Réhabilitation du canal souterrain *Erredah* avec des matériaux locaux de haute résistance.
- Remblayer et déblayer afin d'avoir la pente corrigée de chaque canal souterrain.

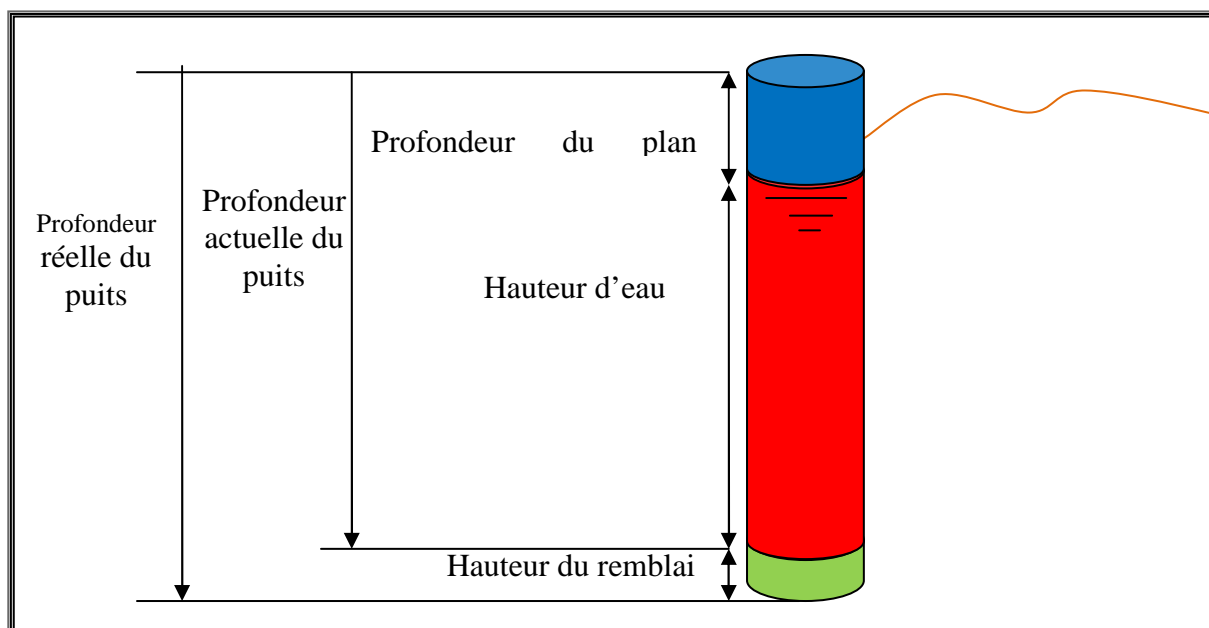
### 4.2 Diagnostic des puits

Nous avons procédé à une campagne d'inventaire des puits situés au niveau de la palmeraie au cours de mois d'avril 2009. Et d'après notre recensement, ils existent 323 puits dont :

- 186 sur 323 sont fonctionnels ;
- 95 non fonctionnels (40 puits effondrés, et 13 puits endommagés par cette dernière crue d'Octobre 2008, et 42 puits enterrés) ;
- 16 puits de transfert ;
- Et nous n'avons pas pu prendre les mesures pour les 26 puits qui restent pour une difficulté d'accès, donc leurs états n'est pas connus.

#### 4.2.1 Puits fonctionnels

Ce schéma représente les différentes profondeurs existantes dans un puits,



*Figure III-5* : Puits.

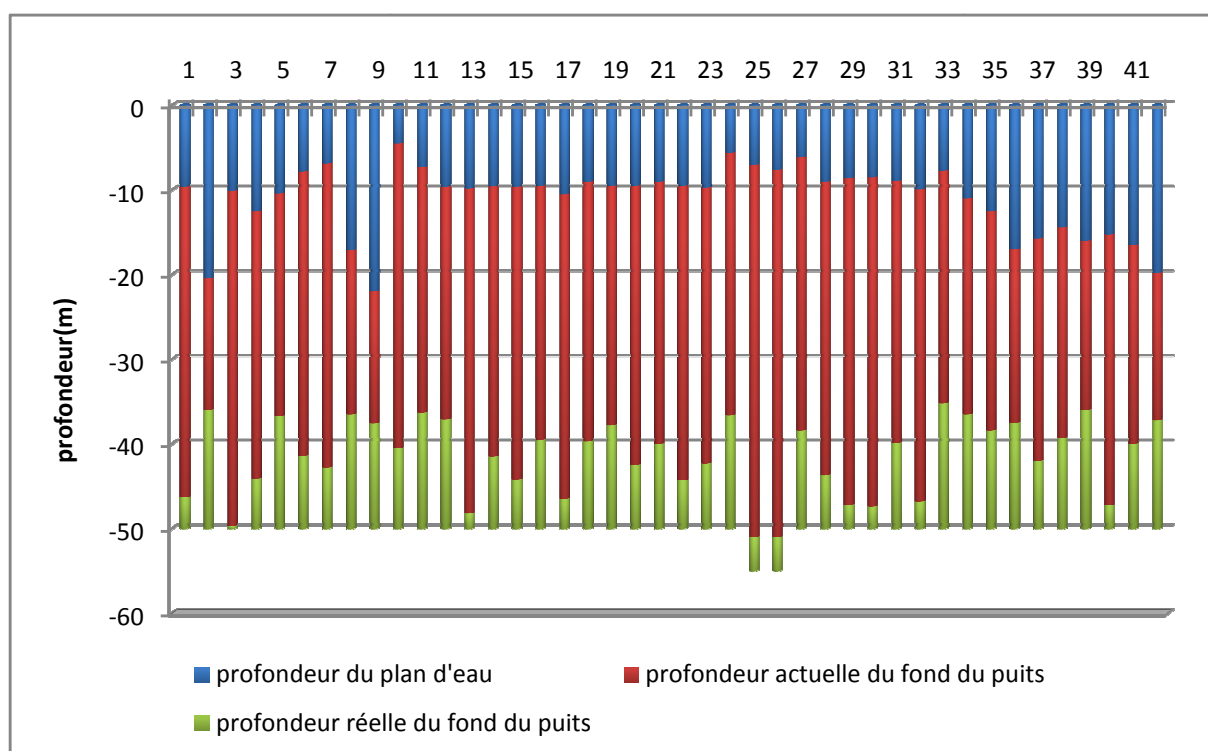
Nous avons fait les mesures des différentes profondeurs des puits fonctionnels (Figure III.5).

Selon les longueurs des *aghlad noulam* (Chapitre II ; paragraphe 2.2.2.a.), les puits existants dans la palmeraie ont trois intervalles de profondeurs réelles différentes :

- 42 puits ont une profondeur réelle de 50 m.
- 102 puits ont une profondeur réelle de 30 ou 35 m ; et
- 42 puits ont une profondeur réelle de 20 ou 25 m.

Profondeurs réelle du puits = La longueur de la piste de halage "*aghlad noulam*" que nous avons mesuré sur site à l'aide d'un décimètre.

Dans les figures (III. 6, 7,8), nous représentons les profondeurs des différents puits existants dans la palmeraie.



**Figure III-6 :** Puits de profondeur de 50m.

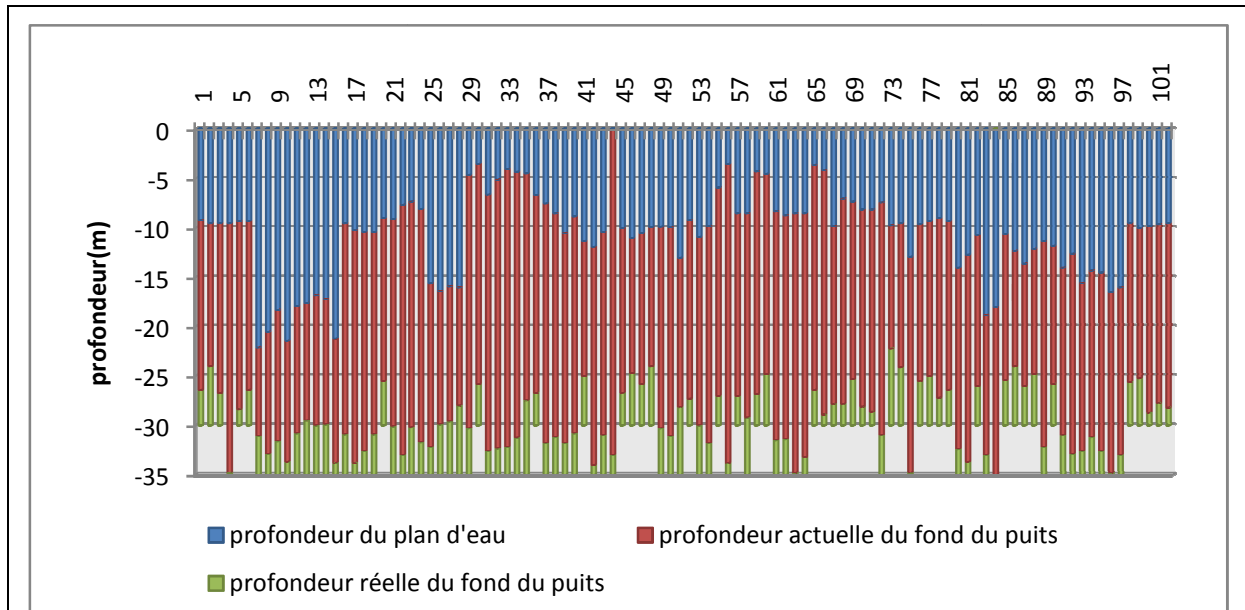


Figure III-7 : Puits de profondeur 35m.

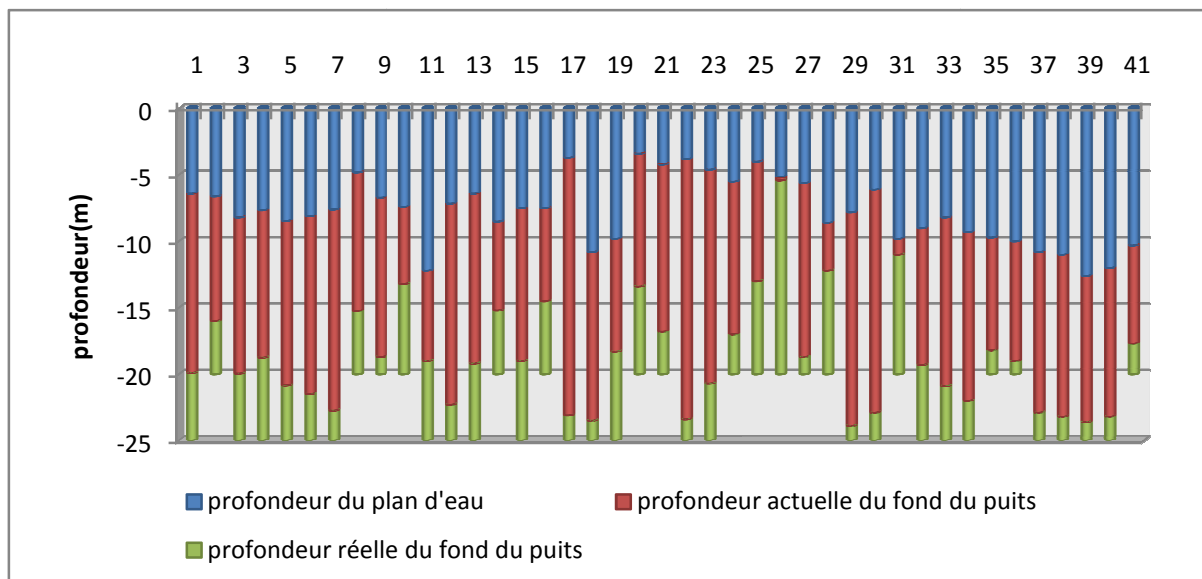


Figure III-8 : Puits de profondeur de 25m.

*i. Analyse des résultats*

Nous remarquons que tous les puits ont une couche de remblai. Et que la hauteur du remblai varie entre [0,20 : 14,80 m]

*ii. Calcul du remblai des puits*

- Hauteur du remblai

La hauteur du remblai des puits est calculée par :

$H = \text{Hauteur du remblai} = \text{Profondeur réelle du puits} - \text{Profondeurs actuelle du puits} \quad (\text{m}).$

$H_{\text{total}} \text{ du remblai} = \quad = 952,62\text{m}.$

- Pourcentage du remblai par rapport à la hauteur réelle de l'eau est calculé comme suit:

$H\% = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} = 19,65\%.$

$H \text{ réelle de l'eau} = \text{la somme de toutes les hauteurs d'eau réelle des puits}.$

**4.2.2 Puits non fonctionnels***i. Puits endommagés par la crue d'Octobre 2008*

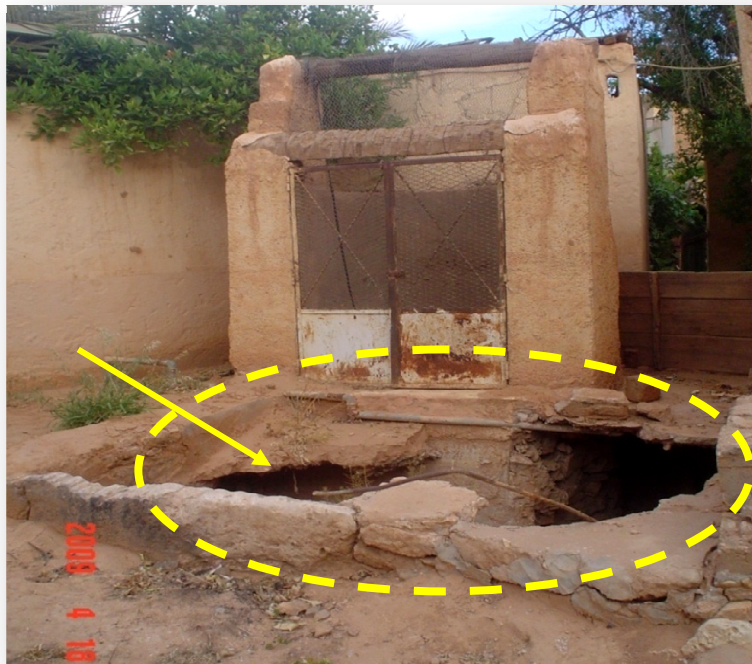
Les puits du quartier *Takdhite* ont été très endommagés par la crue d'Octobre 2008. (*Photo III.1*).



**Photo III-1** : Puits endommagé par la crue Octobre 2008.

*ii. Puits effondrés*

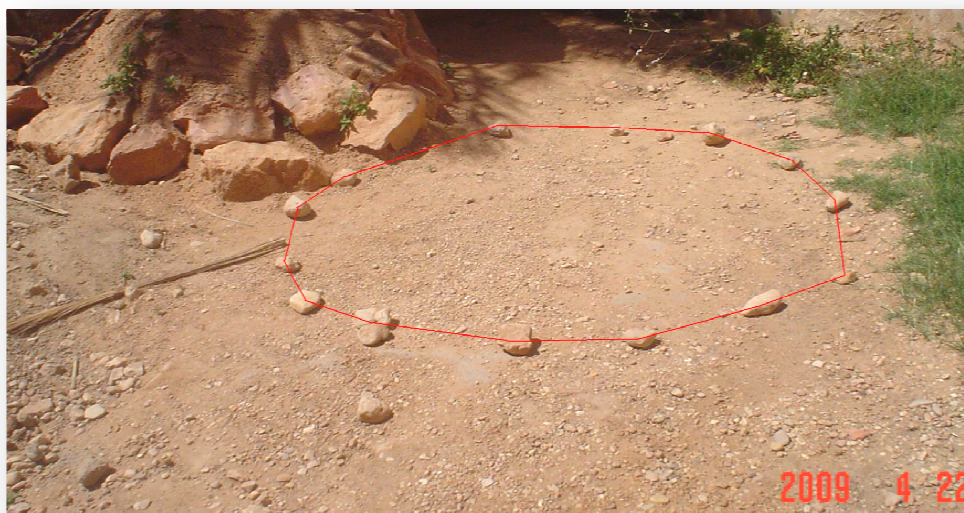
Sur les 323 puits recensés, 12, 38% sont effondrés (*Photo III.2*).



**Photo III-2** : Puits effondrés

*iii. Puits enterrés*

42 puits étaient déjà enterrés (*Photo III-3*), aucune indication sur la superstructure. Nous les avons recensés à l'aide des témoignages des habitants de la palmeraie.



**Photo III-3** : Puits enterré.



*iv. Puits en pierre réhabilités en mortier*

Lors de nos travaux, nous avons constaté que certains puits en pierre étaient réhabilités en mortier. Ceci fausse l'utilisation des matériaux locaux traditionnels (*Photo III-4, 5*).



**Photo III. 4:** Puits avec des matériaux locaux.



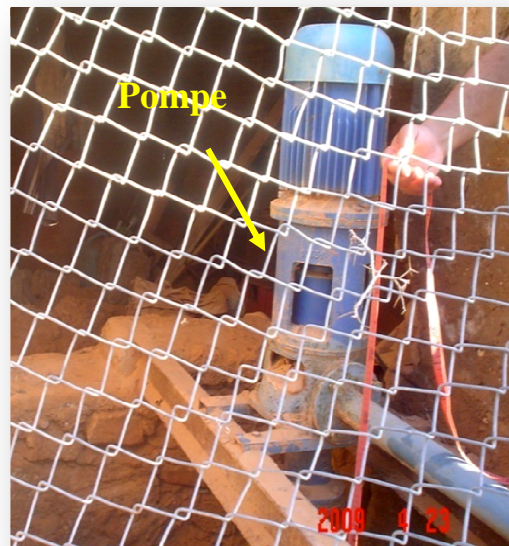
**Photo III. 5:** Puits en pierre réhabilité en mortier.

**4.2. 3 Influence du pompage sur les puits**

L'évolution de la vie de l'homme à influencer sur le mode de puisage par l'utilisation des pompes au lieu d'un animal (âne ou chameau). (*Photo III-6, 7*).



**Photo III-6:** Puisage par traction animal.



**Photo III-7:** Puisage par une pompe.

Citons quelques avantages et inconvénients de l'utilisation des pompes :

**i. Avantages**

- Le puisage ne nécessite ni animal ni ouvrier.
- Economie en temps d'irrigation.

**ii. Inconvénients**

- La maintenance et la réparation de la pompe sont coûteuses.
- Quand le taux de pompage est extrême, il peut y avoir affaissement du sol.
- Lorsque le taux de pompage excède le taux de recharge, le niveau de la nappe s'abaisse.

**4.2. 4 Nos recommandations**

- Restauration des puits détériorés avec des matériaux locaux.
- Programmer le temps de pompage (pas tous en même temps).
- Déblayer le remblai des puits.
- Equiper les puits par des pompes à énergie solaire pour gagner en énergie et préserver la nature.

**4.3 L'ouvrage "Tissembads de partage"**

Nous rappelons que l'ouvrage de *Tissembads* de partage est composé de 38 orifices dont:

- 01 orifice *Boudhrissa*;
- 09 orifices *Banouh* ;
- 02 orifices *Erredah* ;
- 15 orifices *Hamou aissa* ;
- Et 11 orifices *Châaba*.

Lors de la dernière crue d'Octobre 2008, il ya eu rupture de la moitié droite en l'occurrence : L'orifice de *Boudhrissa*, les deux (2) orifices d'*Erredah*, et les neuf (9) orifices de *Banouh* (*photo III .8*).

Nous proposons :

- La réhabilitation de l'ouvrage de *tissembads* de partage avec des Matériaux locaux de haute résistance.
- Et automatisation des vannes secteurs (capteur de niveau d'eau).



*Photo III-8 : Rupture des Tissembads.*

#### **4.4 Les Ruelles**

Lors de la crue les ruelles de la palmeraie deviennent des canaux à ciel ouvert.

##### **4.4.1 Nos observations sur site**

Les ruelles du quartier « *Takdhite* » ont été très endommagées par la crue octobre 2008 (*Photo III.9*).

##### **4.4.2 Problème**

Les ruelles à l'intérieur de la palmeraie ont une largeur qui varie de 1m à 2,5m, donc, il n'existe pas de moyen pour le nettoyage (déblayer) des traces des endommagements (proposition) à part l'animal (âne).





**Photo III-9 :** Une ruelle dans le quartier *Takdhite*.

Nous proposons des mini engins qui peuvent circuler dans les différentes ruelles (*Photo III.10*).



**Photo III-10 :** Mini engin de 0,9 m de largeur.

## Conclusion

Vu l'importance de ce système et la diversité de ses éléments composants, il est vital de maintenir en bon état ses ouvrages.

De ce fait, sa restauration doit être prise en urgence pour arrêter son processus de dégradation, pour la survie du mode de vie oasien typique à la vallée et la préservation de la palmeraie.

Au terme de notre étude et compte tenu des résultats auxquels nous sommes parvenus et des constats que nous avons pu faire sur le terrain avec les Oumanas\*, nous formulons les propositions et recommandations générales qui s'articulent comme suit :

- Réhabilitation de tous les ouvrages constituant le système de partage endommagé, ou en état de dégradation, en respectant leurs caractéristiques hydrauliques.
- Restauration de ces ouvrages en utilisant les matériaux locaux à haute résistance, et de les entretenir.

Chapitre IV

## Calculs hydrauliques des débits

Introduction

Nous allons essayer dans ce chapitre de quantifier ou de calculer les débits suivants :

1. Le débit capté par les puits capteurs des eaux de ruissellement;
2. Le débit entrant dans l'ouvrage "Tissambads de partage";
3. Les débits entrant dans les jardins irrigués par l'eau de la ruelle de *Hamou aissa* lors d'une crue.

1. Calcul du débit capté par les puits capteurs

Les quatre vingt (80) puits existant dans la palmeraie captent les eaux de ruissèlement par quatre orifices rectangulaire (*Photo IV-1*).

Les orifices d'un puits capteur sont analogue à un orifice de type "orifice à veine moulée" (*Figure IV-1*), du fait que les parois intérieures de l'orifice épousent la forme de la veine jusqu'à contenir la section contractée. Si l'on considère l'aire facilement mesurable  $S$  de la section extérieure de l'orifice, le débit traversant l'orifice est donnée par la formule suivante :

$$Q_o = m_c m_j S_o \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (1)$$

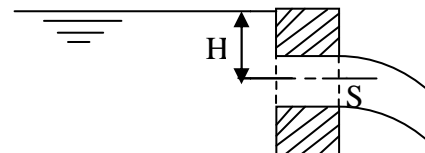
Il n'y'a plus de contraction à l'aval de cette section. Le coefficient de contraction  $m_c$  est donc égale à 1. Et la veine est dite moulée et l'orifice est dit parfaitement évasé. En fait, il subsiste toujours une légère perte de charge par suite des frottements du liquide contre les parois intérieures de l'orifice, Le coefficient  $m_j = 0,98$  représente en somme le coefficient de perte de charge. (*Carlier, 1980*).

Donc :

$$Q_o = 0,98 S_o \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (2)$$



**Photo IV-1 :** Les orifices d'un puits capteur.



**Figure IV-1 :** Orifice à veine moulée.

D'après nos mesures sur site, les dimensions des orifices sont comme suit:

- La largeur moyenne de l'orifice est :  $L_o = 0,5m$  ;
- La hauteur moyenne de l'orifice est :  $e_o = 0,45m$ ;
- Et la charge moyenne sur l'orifice est :  $H = 0,575m$ .
- La section intérieure est :  $S_o = L_o \cdot e_o$

En utilisant la formule(2), nous avons :

$$Q_{orifice} = 0,98L_o e_o \sqrt{2gH}$$

Donc le débit qui passe par chaque orifice est de:

$$Q_{orifice} = 0,74 m^3 / s .$$

Du fait que chaque puits contient quatre (4) orifices nous obtenons un débit capté de :

$$Q_{capté\ par\ puits} = 2,96m^3 / s .$$

Et la capacité de captage des quatre vingt (80) puits est de:

$$Q_{captés} = 236,8m^3 / s .$$

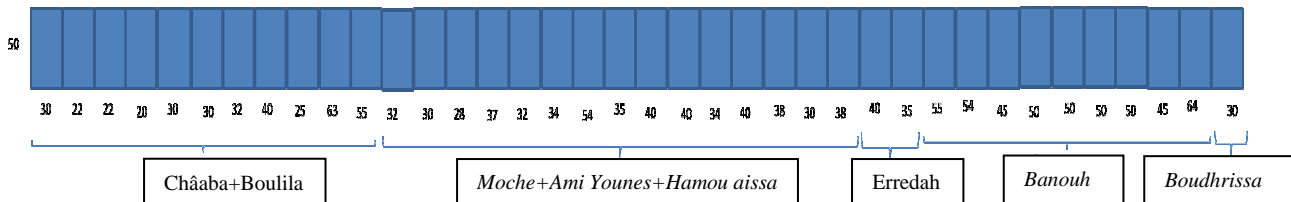
Vu l'importance de ces puits sur l'atténuation des crues nous recommandons de les restaurer et de les entretenir.

**2. Le débit entrant dans l'ouvrage "Tissambads de partage"**

Cet ouvrage est constitué de plusieurs orifices en série (Photo IV-2) équipés de vannes métalliques rectangulaire dont leurs dimensions varient d'une section à une autre (Figure IV-2).

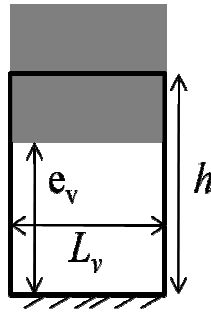


**Photo IV -2 :** Ouvrage de "Tissambads de partage ".



**Figure IV-2 :** Schéma représente de l'ouvrage de "Tissambads de partage ".

Dans la figure suivante, nous donnons les caractéristiques d'un orifice vanné.



**Figure IV -3** : Caractéristiques d'un orifice vanné.

Le débit traversant ces vannes est calculé par la formule suivante :

$$Q_v = mL_v e_v \sqrt{\frac{2gh}{1 + \frac{m \cdot e_v}{h}}} \dots\dots\dots(3)$$

Avec,

$Q_v$  = Débit (en m<sup>3</sup>/s) ;

$m$  = Coefficient de débit = 0,61 pour une vanne verticale de section rectangulaire ;

$e_v$  = Levée de la vanne (en m) ;

$L_v$  = Largeur de l'ouverture de la vanne (en m) ;

$h$  = Lamme d'eau amont (en m) ;

$g$  = Est l'accélération due à la gravité = 9,81m/s<sup>2</sup>.

Bien entendu, cette formule n'est valable que pour un écoulement non noyé ou dénoyé. (*Carlier, 1980*).

D'après nos mesures, pour toutes les ouvertures nous avons:

- $e_v = 0,5\text{m}$ , les vannes complètement ouvertes ;
- $h = e_v$ , pour calculer le débit maximum qui peut passer par ces ouvertures.

Le tableau suivant représente les débits calculés entrant dans chaque canal souterrain et le débit total entrant dans l'ouvrage "Tissembads de partage".

**Tableau IV.1** : Débit entrant dans l'ouvrage "Tissambads de partage".

$Q_{\text{Châaba+Boulila}}$ (m <sup>3</sup> /s)	2,80
$Q_{\text{(Hamou aissa +moche+Ami Younes)}}$ (m <sup>3</sup> /s)	4,18
$Q_{\text{Erredah}}$ (m <sup>3</sup> /s)	0,57

$Q_{Banouh}$ (m <sup>3</sup> /s)	3,52
$Q_{Boudhrissa}$ (m <sup>3</sup> /s)	0,23
$Q_{total}$ (m <sup>3</sup> /s)	11,31

### 3. Calcul des débits des jardins irrigués à travers les Koua par l'eau de la ruelle de Hamou aissa lors de la crue

Nous allons calculer les débits entrants dans les différents jardins irrigués par la ruelle principale de *Hamou aissa*.

#### 3.1 Caractéristiques de la ruelle de Hamou aissa

Cette ruelle est analogue à un canal à ciel ouvert de longueur  $L_r=1076,51$  m et de section rectangulaire.

La ruelle de *Hamou aissa* irrigue une surface de = 204736,77m<sup>2</sup>. Cette surface a été découpée en plusieurs jardins lors de notre séjour dans la palmeraie de Ghardaïa.

La ruelle a été subdivisée en trente sept (37) tronçons de sections différentes. Le découpage s'est fait suivant la présence d'une variation de section de contraction ou expansion et où se trouve "*El Koua*".

#### 3.2 Calcul du débit

Pour calculer les débits entrants dans les jardins, il faut connaître d'abord quelle est la hauteur de la lame d'eau à l'entrée de chaque orifice latéral "*El Koua*". Et pour calculer la hauteur de la lame d'eau, nous allons utiliser le logiciel "HEC-RAS 4.0".

##### i. Présentation du logiciel

Le HEC-RAS, *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System* (système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux. Le programme a été élaboré par le ministère étasunien dans le but de gérer les rivières, développée par l'*Hydrologic Engineering Center (HEC)*, ce système permet aux ingénieurs hydraulique d'analyser les débits dans les rivières et déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composantes d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et graphiques. La procédure de base de calcul du logiciel HEC-RAS pour l'écoulement permanent est basé sur la solution de l'équation de conservation de l'énergie à une dimension. Les pertes d'énergie sont évaluées par les frottements et les effets de contraction/expansion. L'équation de quantité de mouvement est également utilisée dans les situations d'écoulement rapidement varié, par exemple au niveau de ressauts hydrauliques, de ponts et de confluence.

Pour les écoulements non permanents, le logiciel résout l'ensemble dynamique des équations de Saint Venant par la méthode des différences finies.

HEC-RAS est capable de modéliser un réseau de chenaux, un système hydrographique détritique ou une simple partie d'un cours d'eau. Certaines simplifications doivent être réalisées pour modéliser les situations d'écoulements complexes avec HEC-RAS. ([HEC-RAS Guide](#)).

Le logiciel est téléchargeable à l'adresse (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/hecras-hecras.html>target=new><http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-hecras.html>)

## ii. Les données demandées par le logiciel

A l'entrée de chaque canal, il faut introduire les données géométriques et les données caractérisant l'écoulement dans la ruelle.

### ii.1 Les données géométriques

Les données géométriques sont:

- Les caractéristiques de chaque tronçon tel que les coordonnées des sections amont et aval, la longueur ( $L_r$ ) qu'il les sépare ;
- Le coefficient du Manning ( $n$ ) des berges et du lit du tronçon.

### ii.2 Les données caractérisant l'écoulement dans ce tronçon

Les données caractérisant l'écoulement sont :

- Le débit ( $Q_{canal}$ ) à l'entrée de chaque tronçon ;
- La lame d'eau ( $h$ ) à l'entrée de chaque tronçon.

## iii. Principe de fonctionnement d'El Koua

Le principe de fonctionnement hydraulique d'El Koua ([Schleiss, 2002](#)) est le suivant :

- Si la hauteur d'eau  $h$  dans la ruelle est inférieure à la hauteur de la pelle  $h_{crête}$  ( $h \leq h_{crête}$ ) aucun débit n'est déversé dans le canal, la totalité s'écoule à l'intérieur d'El Koua ([Photo IV-3, Figure IV-4](#)). Le débit  $Q_{Koua}$  est donné par la formule suivante:

$$Q_{Koua} = B_{Koua} \sqrt{g \left( \frac{2}{3} h \right)^3} \dots\dots\dots(4)$$

D'après nos mesures, la hauteur de la pelle des différents déversoirs est de moyenne de  $h_{crête}=0,1m$ .

Donc pour  $h = h_{crête} = 0,1m$  ; nous avons :

$$Q_{Koua} = 0,054 B_{Koua} \quad (m^3/s)$$



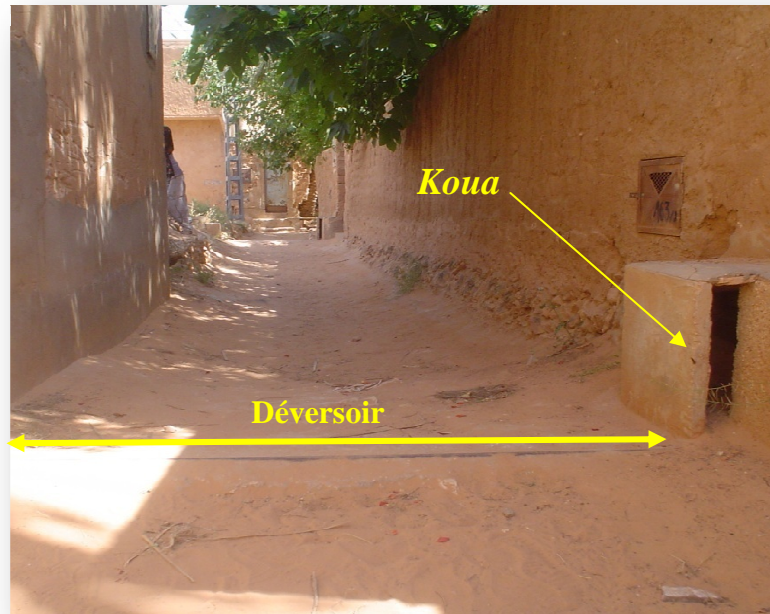


Photo IV-3 : Le partage de l'eau au niveau du jardin (Koua).

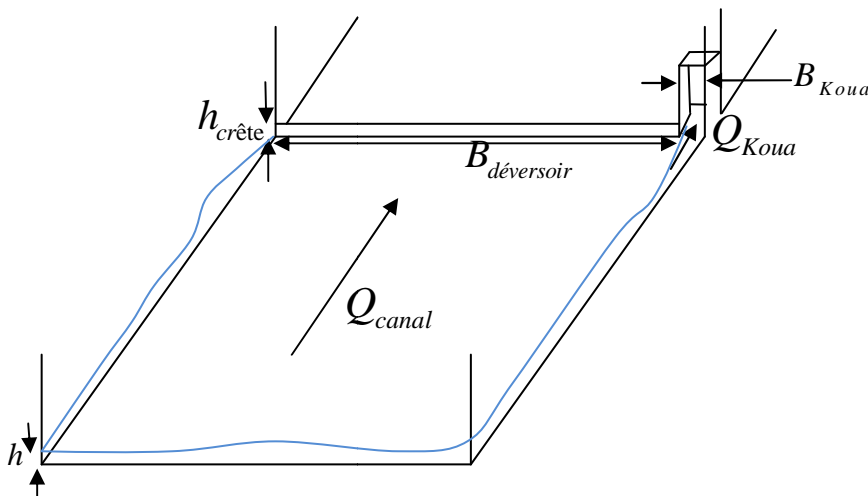


Figure IV-4 : Représentation d'un tronçon du canal dans le cas où  $h \leq h_{crête}$ .

- Si la hauteur d'eau  $h$  dans la ruelle est supérieure à la hauteur de la pelle  $h_{crête}$  (Figure IV-5), une partie du débit est dérivée vers El Koua et l'autre se déverse dans le tronçon suivant.

Le débit déversé est :

$$Q_{déversé} = C_d B_{déversoir} \sqrt{2g} (h - h_{crête})^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(5)$$



Avec  $C_d$  coefficient du débit donné par l'expression :

$$C_d = 0,494 \left( \frac{h - h_{cr\grave{e}te}}{h_{cr\grave{e}te}} \right)^{0,12} = 0,494 \left( \frac{h - 0,1}{0,1} \right)^{0,12} \dots\dots\dots(6)$$

Et le débit entrant dans la Koua est:

$$Q_{Koua} = C_k h B_{Koua} \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(7)$$

Avec,  $C_k$  coefficient du débit de la Koua donnée par :

$$C_k = C_0 \exp\left(-\frac{1}{2}\left(1 - \frac{\pi^2}{24}\right)\right) = 0,74C_0 \text{ O\`u } C_0 = \frac{B_{d\acute{e}versoir} + B_{Koua} e^{-0,76\frac{\pi^2}{2}}}{9} \dots\dots\dots(8)$$

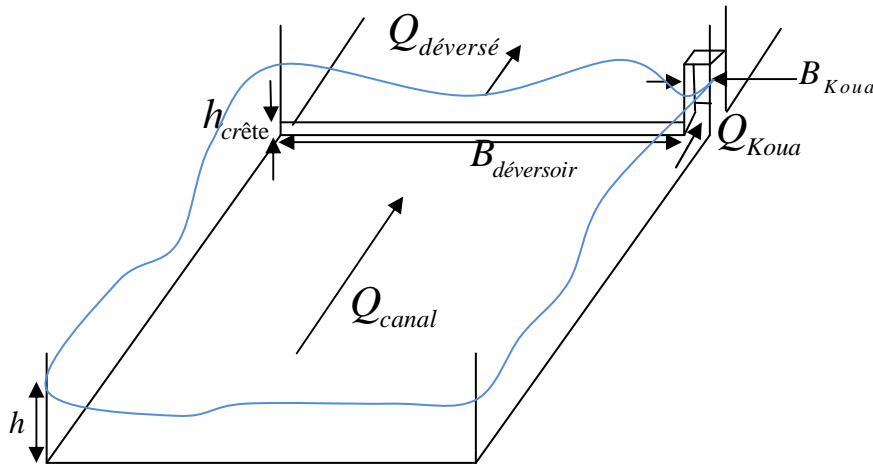


Figure IV-5 : Représentation d'un tronçon du canal dans le cas où  $h > h_{cr\grave{e}te}$  .

### 3.3 Exemple d'application

- Introduire les données géométriques dans le logiciel

Les données qu'il faut introduire dans le logiciel sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV-2 : Les données géométriques du premier tronçon.

		x	y (cotes)
Section amont	1	0.000	55.000
	2	0.000	50.000
	3	1.647	50.000
	4	1.647	55.000
Section aval	1	0.000	55.000
	2	0.000	49.988
	3	1.647	49.988
	4	1.647	55.000
$L_r$		8.409	
$n$ (Cauvin et Guerrée,1978)	0.033	0.033	0.033

Nous avons pris les dimensions des tronçons du levé topographique (ARSET, 2009).

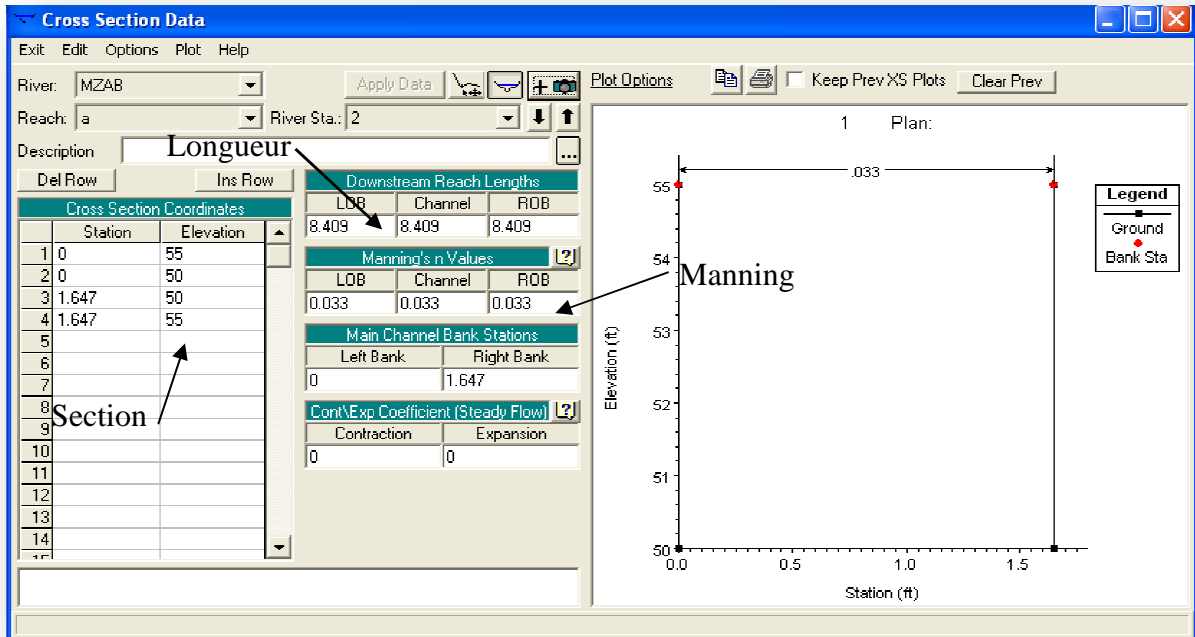


Figure IV-6: Fenêtre des données géométriques.

- Introduire les données caractérisant l'écoulement dans le logiciel à savoir le débit et la hauteur d'eau.

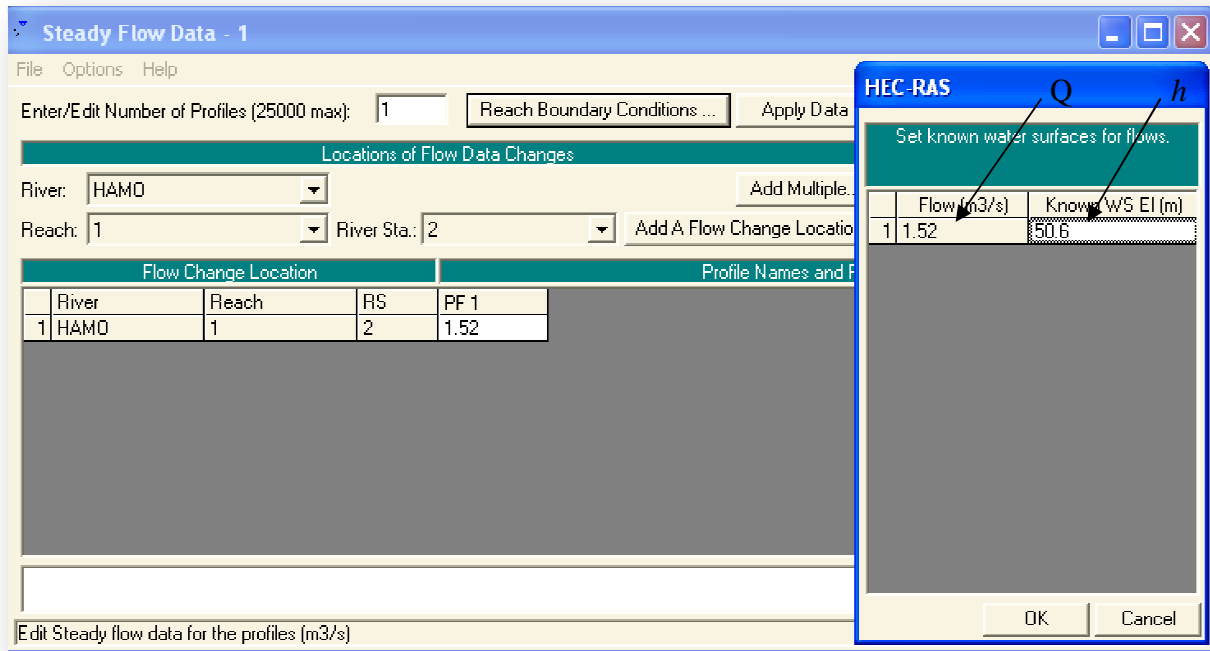
$Q$ ( $m^3/s$ )	1.520
$h$ (m)	50.600

Avec, la hauteur initiale de la lame d'eau  $h=0,6$  m. (Oumanas\*)

Et le débit déversé dans le premier tronçon est calculé par la formule (5), avec un coefficient de débit  $C_d=0,6$ , et une largeur de du déversoir  $B_{déversoir}=1,617$ m

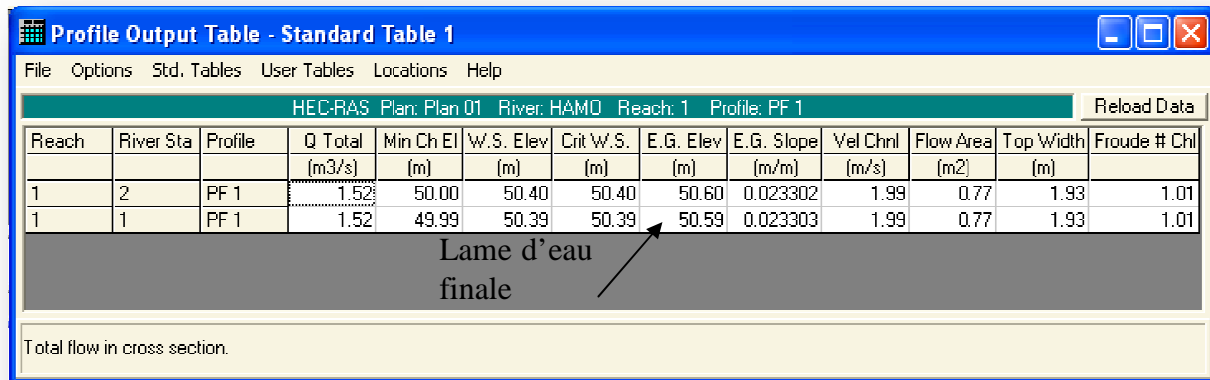
Nous obtenons un débit :

$$Q_{déversé} = 1,52 m^3 / s$$



**Figure IV-7:** Fenêtre Données caractérisant l'écoulement.

Après avoir introduire les données du premier tronçon tel que les dimensions, le coefficient de Manning  $n$  le débit  $Q_{déversé}$  et la lame d'eau initial, le logiciel, nous donne la lame d'eau à la sortie de ce tronçon  $h_{final}$  (Figure IV-8)



**Figure IV-8:** Fenêtre des résultats.

Après avoir déterminé la lame d'eau à l'entrée d'El Koua via HEC-RAS, calculons le débit entrant dans le premier jardin par la formule (7) avec :

$$C_k = C_0 \exp\left(-\frac{1}{2}\left(1 - \frac{\pi^2}{24}\right)\right) = 0,74 C_0$$

$$\text{Et } C_0 = \frac{B_{\text{déversoir}} + B_{\text{Koua}} e^{-0,76 \frac{\pi^2}{2}}}{9}$$

- pour le deuxième tronçon, nous soustrairons  $Q_{\text{Koua}}$  de  $Q_{\text{canal}}$  du premier, et le prendre comme  $Q$  du deuxième canal et recommencer.

Le tableau suivant donne les différents débits alimentant chaque jardin.

Numéro du Koua en fonction du numéro du jardin à irriguée	Largeur du Koua(m)	La lame d'eau au niveau du Koua(m)	$Q_{\text{koua}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
3	0.03	0.601	0.008
4	0.03	0.578	0.009
6	0.05	0.569	0.016
7	0.08	0.503	0.023
8	0.05	0.554	0.014
8'	Fermée	0.592	0.000
9'	0.37	0.922	0.277
9	0.04	0.715	0.020
16	Fermée	0.645	0.000
26	0.04	0.373	0.007
17	0.05	0.435	0.011
27	0.06	0.371	0.037
40	0.50	0.378	0.094
41	0.12	0.378	0.025
46	0.03	0.417	0.055
45	0.13	0.209	0.012
47	0.05	0.312	0.008
48	0.04	0.312	0.007
75	0.04	0.318	0.007
79	0.17	0.326	0.030
86'	0.14	0.327	0.024
81	0.71	0.437	0.125
87	Fermée	0.303	0.000
86''	0.07	0.287	0.010
93	0.03	0.287	0.004
93'	0.08	0.335	0.012
104	0.31	0.291	0.039
108	0.19	0.285	0.023
109	0.28	0.297	0.033

111	0.18	0.167	0.012
116	0.05	0.308	0.006
118	0.14	0.231	0.016
118'	0.06	0.231	0.007
119	0.11	0.234	0.007
121	0.42	0.248	0.039
124	0.44	0.141	0.012

### Conclusion

Le système hydraulique ingénieux ancestral a toujours joué un rôle important lors des crues.

Au terme de notre travail, il ressort que le système a un effet de:

- L'atténuation de la crue ;
- Et la recharge de la nappe phréatique.

### Conclusion générale

Depuis près de 10 siècles, la civilisation mozabite a réussi une prouesse architecturale, celle de créer des oasis artificiels, ainsi que la mise en place d'un système hydraulique des plus ingénieux, constitué d'ouvrages à but multiples qui assure l'irrigation et la protection de ces oasis. Aussi, Les mozabites ont mit tout leur génie et leur savoir faire pour préserver ce monument ancestral, et ce à travers toutes les générations.

Cependant, la crue qui à submergé la vallée en Octobre 2008 dernier, a causé d'énormes dégâts au dudit système, à savoir

- Les puits ;
- Une partie importante de l'ouvrage "*Tissambads de partage*" ;
- Certains ouvrages sont non fonctionnels suite à la négligence et aux décisions des habitants de la palmeraie : *koua* obturées, réhabilitation des puits avec du mortier.

Une dégradation générale du système est observée suite au vieillissement.

Notre étude, qui concerne l'ensemble du système, nous amène à faire des recommandations qui consistent à restaurer ces ouvrages en respectant :

- Leur fonctionnalité hydraulique ;
- L'utilisation de matériaux locaux qui sont réputés pour leurs grandes et hautes résistances ;
- Sans oublier d'entretenir constamment l'édifice ;
- Et surtout de garder et de préserver l'architecture traditionnelle.

### Bibliographie

**ANRH** (Agence Nationale des ressources Hydrauliques), Direction régionale Sud Ouargla, Mars 2003, "Note relative a l'étude de la nappe phréatique".

**ARSET** (Bureau d'études Cabinet d'ARchitecture, Suivi et Etudes Techniques), 2002, "Relevé des ouvrages du partage des eaux", XX pages

**ARSET** (Bureau d'études Cabinet d'ARchitecture, Suivi et Etudes Techniques), 2002, "Levé topographique des puits d'aérations"

**ARSET** (Bureau d'études Cabinet d'ARchitecture, Suivi et Etudes Techniques), 2002, "Plan schématique du système traditionnel de partage des eaux de Ghardaïa"

**ARSET** (Bureau d'études Cabinet d'ARchitecture, Suivi et Etudes Techniques), 2009, "Levé topographique du Canal Hamou Aïssa"

**Bensalah, i., Bougattoucha z., Menaï n.,** 2007. *"Contribution a la maitrise de l'urbanisation dans la palmeraie de Ksar de Ghardaïa"*. Mémoire de fin d'études, Faculté des sciences de la terre, Département de l'Aménagement, Université Badi Mokhtar Annaba. 115 pages.

**Benyoucef, B.,** 1992, "Le M'Zab, espace et société". Edition IAD, Alger.

**Bonnard & Gardel ingenieurs-conseils,** 1996, "Etude hydrologique de l'oued M'Zab", 93 pages.

**Bonnard & Gardel ingenieurs-conseils,** 2000, "Etude d'assainissement et de protection contre les crues de l'oued M'Zab", 80 pages.

**Boukraï, 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.,** 1980, "Hydraulique générale et appliquée". Edition Eyrolles, 567 pages.

**Cauvin, A., Guerree, H.,** 1978, "éléments d'hydraulique". Edition Eyrolles. 239 pages

**DUBIEF, J., 1953,** "Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara". Edition : service des études scientifiques, Alger. pp. 26-103.

**Fernand, J.,** 2006, "Les eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des déserts", université Denis Diderot.

URL: <http://geomorphologie.revues.org/index93.html>.

**GARDI, R., 1973** "Sahara", Edition: Kummerly et Frey, Paris, 3<sup>ème</sup> édition, 51 pages.

Google Earth, 2009.

## Bibliographie

---

**Schleiss, A.**, 2002. "Aménagements Hydrauliques". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 426 pages

**O.N.M (Office Nationale de la Météorologie)**, 2005, Données climatiques de Ghardaïa

**Sinniger, R., Hager, W.**, 1988, "Constructions hydrauliques". Edition ISBN. 437 pages.

**STEFFEN, L.**, "Technique de mesure de débit".

## Webographie

href="http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/hecrashecras.html"target=new>http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/hecrashecras.html



## Annexe

### Les dimensions des ouvrages de collecte et canalisation des eaux

#### 1. Canal Bouchemdjene

##### (1) Le premier point de régulation du plan d'eau

**Tableau 1 :** Les dimensions des Tissambads de régulation (canal Bouchemdjene)

Nombre de Tissambad	28
Hauteur d'un Tissambad (m)	0,8
Longueur des Tissambads (m)	15,6
Largeur des Tissambads (m)	1,6
Hauteur totale (m)	1,8
Longueur totale (m)	20
Largeur totale (m)	1,6

**Tableau 2 :** Déversoir canal Bouchemdjene vers canal Bouchene

Hauteur (m)	1,3
Longueur (m)	10,3
Largeur (m)	2,5

**Tableau 3 :** Dimension de la digue d'Inirez

Hauteur totale (m)	2
Longueur totale (m)	16,75
Largeur totale (m)	1,10
Nombre de pertuis	8

##### (2) Le deuxième point de régulation du plan d'eau

**Tableau 4 :** Les dimensions des Tissambads de régulation (canal Bouchemdjene)

Hauteur d'un Tissambad (m)	0,8
Longueur des Tissambads (m)	13,20
Largeur d'un Tissambads (m)	0,5

Hauteur totale (m)	1,6
Longueur totale (m)	19
Largeur totale (m)	1,85

**Tableau 5 :** Les dimensions de deuxième déversoir, de canal Bouchemdjene vers canal Bouchène.

Hauteur (m)	1,5
Longueur (m)	28,5
Largeur (m)	3,5

### (3) Le deuxième point de régulation du plan d'eau

**Tableau 6 :** Les dimensions des tissambads (deversoir du canal Bouchemdjenevers le barrage de Bouchène)

Le nombre de Tissambads	36
Hauteur d'un Tissambad (m)	0,60
Longueur des Tissambads (m)	12,20
Largeur des Tissambads (m)	2,20
Hauteur totale (m)	1,20
Longueur totale (m)	12,90
Largeur totale (m)	2,20

**Tableau 7 :** Les dimensions de "Tissambads de partage de Bouchemdjene vers les jardins de la palmeraie

Le nombre des Tissambads	38
Hauteur d'un Tissambad (m)	0,80
Longueur d'un Tissambads (m)	0,50
Largeur d'un Tissambads (m)	2,20
Hauteur totale (m)	1,10
Longueur totale (m)	20,30
Largeur totale (m)	2,20

## 1. Canal de Bouchène

### (1') Le premier point de régulation du plan d'eau dans le canal

**Tableau 8 :** Tissambads de régulation canal Bouchène

Hauteur d'un Tissambad (m)	1,00
Longueur des Tissambads (m)	20,00
Largeur d'un Tissambads (m)	1,00
Hauteur totale (m)	1,80
Longueur totale (m)	24
Largeur totale (m)	1,00

**Tableau 9 :** les dimensions du déversoir canal Bouchène vers oued M'Zab

Hauteur totale (m)	1
Longueur totale (m)	13
Largeur totale (m)	0,5



**Figure X :** Les Tissambads du canal de Bouchène

**(2') Le deuxième point de régulation du plan d'eau dans le canal****Tableau 10** : Déversoir de canal Bouchene vers oued M'Zab

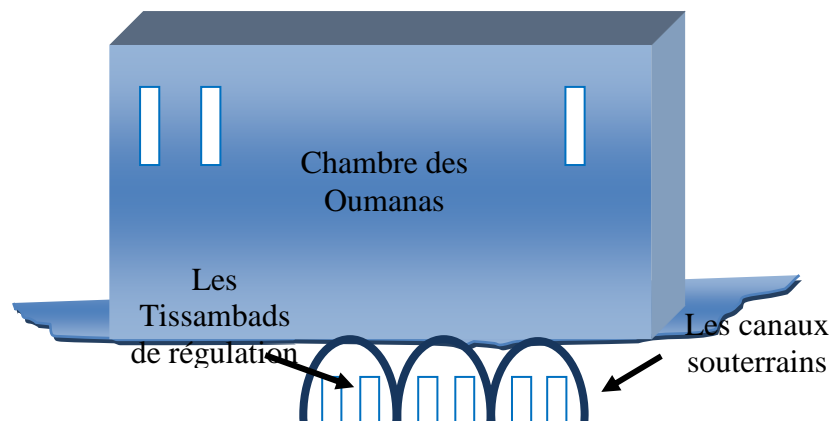
Hauteur totale (m)	2,80
Largeur totale (m)	2,60
Longueur totale (m)	40,00

**Tableau 11** : Mur de dérivation d'eau vers Tissambads de régulation de Takdite (vers les canaux souterrain)

Hauteur de mur (m)	0,80
Longueur de mur (m)	76,00
Largeur de mur (m)	0,70

**Tableau 12** : Tissambads de régulation Takdite (Canaux souterrain)

Nombre de Tissambad	06
Hauteur d'un Tissambad (m)	0,60
Longueur des Tissambads (m)	13,20
Largeur d'un Tissambads (m)	0,50
Hauteur totale (m)	1,00
Longueur totale (m)	5,90
Largeur totale (m)	0,70

**Figure X** : Les canaux souterrains de Takdite