



Licence Sciences et Techniques (LST)  
**CALCUL SCIENTIFIQUE ET APPLICATIONS**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques**

**Etude statistique des ressources en eaux Au sein du Bassin  
Hydraulique de Sebou de Fès**

**Présenté par :**

◆ **ZOUGGARI Sara**

**Encadré par :**

- ◆ **Pr F.EZZAKI (FST-FES)**
- ◆ **Pr N.Kadri (FST-FES)**
- ◆ **Mr AARAB (ABHS)**

**Soutenu Le 11 Juin 2014 devant le jury composé de :**

- **Pr F.EZZAKI**
- **Pr N.KADRI**
- **Pr A.EL HILALI ALAOUI**
- **Pr O.SIDKI**

**Stage effectué à l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou de Fès**

**Année Universitaire 2013 / 2014**

# Introduction

En vue de me perfectionner dans ma formation « calcul scientifique et applications », et pour la préparation de mon projet de fin d'études, j'ai été amené à effectuer un stage au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS) qui est un établissement public responsable de la gestion des ressources en eau du bassin versant du Sebou.

Ce stage, d'une durée de deux mois, accompli dans la division de développement et de gestion des ressources en eau (DDGRE) relevant de cette Agence, m'a permis d'appliquer les connaissances théoriques acquises au niveau de la FST dans le monde du travail, m'a offert l'opportunité d'acquérir une expérience non négligeable en m'impliquant au travail dont se charge cette division.

En effet, cette occasion m'a permis de développer mes idées et de découvrir de nouvelles connaissances en ce qui concerne le travail au sein de l'agence tout en participant activement à l'étude de débits annuels dans 5 stations hydrométriques, et aux traitements des données en utilisant des méthodes statistiques.

L'objectif de ce travail est de réaliser l'étude statistique des débits annuels en 5 stations hydrométriques en utilisant des techniques acquises au cours de mon cursus universitaire et d'aboutir à des résultats et des conclusions.

Pour atteindre cet objectif, je commencerai dans une première partie par une présentation générale de l'agence du bassin hydraulique de Sebou et ses différentes divisions.

Ensuite, j'entamerai dans une deuxième partie les différents types de jaugeages appliqués dans les stations hydrométriques pour obtenir le débit.

Il s'imposera dans une troisième partie de donner les outils mathématiques avant de les utiliser.

Enfin la dernière partie sera réservée à l'étude statistique des débits annuels de 5 stations hydrométriques.

# PARTIE I

## *Présentation Générale de L'ABHS (Agence du Bassin Hydraulique de Sebou)*



L'Agence du Bassin Hydraulique de  
Sebou (ABHS)

L'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS) : est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Cette agence gère la totalité des ressources en eau d'un bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau en veillant en permanence à la gestion rationnelle de ces ressources, la planification et à la protection du Domaine Public Hydraulique.

Le Bassin hydraulique de Sebou se situe au Nord du Maroc entre le pré Rif et le Moyen Atlas. Il couvre 40 000 km<sup>2</sup> (6% du territoire national). La région de Sebou connaît un plus fort degré d'industrialisation et l'agriculture y est très développée.

Les agences des bassins hydrauliques sont des établissements publics dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Ils ont pour mission d'évaluer, de planifier, de gérer, de protéger les ressources en eau et de délivrer les autorisations et concessions relatives au domaine public hydraulique au niveau de leur zone d'action.

Les ressources financières de ces agences sont constituées des produits et bénéfices d'exploitation, des redevances recouvrées auprès des usagers de l'eau, d'emprunts, de subventions, de dons et legs, d'avances, de prêts, ...

Elles peuvent accorder des prêts, aides et subventions à toute personne physique ou morale engageant des investissements d'aménagement ou de protection des ressources en eau.

Les agences des bassins hydrauliques sont dirigées par des Conseils d'Administration qui ont pour attributions de :

- ✓ Examiner le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin et veiller à son application ;
- ✓ Etudier les programmes de développement des ressources en eau ;
- ✓ Proposer les taux et l'assiette des redevances constituant la rémunération des prestations de l'agence ;

Les agences de bassins constituent un espace de prise de décisions impliquant l'ensemble des intervenants dans le secteur de l'eau. En effet, le Conseil d'Administration, présidé par le Ministre chargé de l'Eau, est composé des représentants de l'Etat, des établissements publics produisant de l'eau potable, de l'eau d'irrigation ou de l'hydroélectricité, des chambres d'agriculture, de commerce et d'industrie, des assemblées préfectorales ou provinciales, des collectivités ethniques et des associations d'usagers.

## *I. Présentation des différentes divisions et services de l'ABHS*

### **1. Division développement et gestion des ressources en eau :**

Cette division compte 2 services dont les attributions sont énumérées ci-après :

#### **1.1. Service développement des ressources en eau :**

- ✚ Réalise les études hydrologiques ;
- ✚ Etablit les cartes piézométriques ;
- ✚ Etablit les cartes et documents thématiques et de synthèse ;
  
- ✚ Réalise les études pour la délimitation du domaine public hydraulique ;
- ✚ Réalise les études des nappes d'eau souterraine piézométriques ;
- ✚ Elabore les données et les séries d'apports d'eau aux stations hydrologiques et aux barrages ;

- ✚ Participe aux études d'aménagement des bassins versants ;
- ✚ Réalise les travaux de recherche d'eau souterraine ;
- ✚ Assure l'assistance technique aux tiers ;
- ✚ Réalise et suit les travaux d'AEP dans les zones rurales ;
- ✚ Etudie les dossiers d'aide financière pour le développement des ressources en eau, en collaboration avec les autres services de l'agence.

## 1.2. Service de planification et de gestion des ressources en eau :

- ✚ Réalise les études de gestion des ressources en eau ;
- ✚ Participe aux études sectorielles sur la tarification de l'eau ;
- ✚ Elabore les études économiques ;
- ✚ Assure le suivi de l'AEP des villes et centres urbains ;
- ✚ Etablit et gère la banque de données sur les utilisations de l'eau ;
- ✚ Propose les mesures d'accompagnement à la mise en œuvre des plans directeurs ;
- ✚ Gère les situations exceptionnelles (sécheresse, inondations).

## 2. Division entretien des ouvrages et suivi des eaux :

Cette division supervise l'entretien des ouvrages (barrages, lacs collinaires...) et le suivi des eaux par les actions et interventions suivantes :

### 2.1. Service entretien des ouvrages hydrauliques :

- ✚ Réalise et analyse les mesures d'auscultation des barrages ;
- ✚ Assure l'exploitation des barrages ;
  
- ✚ Réalise les ouvrages de protection contre les inondations ;
- ✚ Réalise les études bathymétriques ;
- ✚ Interprète les mesures d'auscultation et établit les rapports ;
- ✚ Programme et réalise les travaux d'entretien des barrages, en liaison avec les services centraux de la DGH.

## 2.2. Service suivi des ressources en eau :

- ✚ Réalise les jaugeages et les relevés piézométriques ;
- ✚ Assure l'inventaire des ressources en eau ;
- ✚ Procède au dépouillement des mesures piézométriques ;
- ✚ Edite les annuaires hydrologiques ;
- ✚ Actualise et gère la base de données ressources en eau ;
- ✚ Etablit en relation avec les autres services, les programmes de mesure ;
- ✚ Suit le réseau d'annonce de crues ;
- ✚ Réalise les installations, l'entretien et le développement des réseaux de mesure (stations hydrologique, climatologiques et piézomètres) ;
- ✚ Dépouille les mesures hydrologiques et de transport solide.

## 3. Division des aides et redevances :

### 3.1. Service des aides financiers :

- ✚ Reçoit les dossiers de demande d'aides ;
- ✚ Instruit les dossiers de subventions, de prêt pour les actions de Développement, d'économie, de protection des ressources en eau et de prévention contre les inondations ;
  - ✚ Transmet le certificat de constat des travaux au service financier pour établir la fiche de paiement ;
  - ✚ Etudie en relation avec les autres services, l'éligibilité des projets aux aides financières ;
  - ✚ Prépare les conventions d'aides ;
  - ✚ Etablit le rapport de présentation et la fiche récapitulative des demandes d'aides ;
- ✚ Contrôle les pièces justificatives de la demande de paiement avant leur envoi au service financier ;

### 3.2. Service de redevance :

- ✚ Emet les déclarations d'activité et des volumes d'eau consommés ou utilisés ;
- ✚ Contrôle la véracité des déclarations ;
- ✚ Prépare les titres de recettes et les transmet au service financier ;
- ✚ Gère la relation avec les redevables ;
- ✚ Réalise les études d'actualisation des redevances d'eau ;
- ✚ Etablit les assiettes des redevances ;
- ✚ Etudie et délimite les zones d'extraction des matériaux du DPH ;

### **3.3. Service gestion du domaine public hydraulique :**

- ✚ Reçoit les demandes d'autorisation et de concessions pour l'utilisation du domaine public hydraulique ;
- ✚ Etudie des demandes en collaboration avec les services concernés de l'agence ;
- ✚ Etablit les autorisations et les concessions relatives au domaine public hydraulique ;
- ✚ Propose les textes législatifs et réglementaires de gestion du DPH ;
- ✚ Tient à jour le registre des autorisations, de concessions et d'utilisation du DPH ;
- ✚ Organise les interventions en matière de police des eaux ;
- ✚ Se charge du suivi du contentieux relatif au domaine public hydraulique (DPH) ;
- ✚ Assure la police des eaux ;
- ✚ Garantit la mise en œuvre d'un système d'échange régulier des procès-verbaux avec les directions provinciales de l'équipement concernées en matières de police de l'eau et de contrôle du domaine public hydraulique ;
- ✚ Etablit les autorisations de prélèvement d'eau et de rejets en collaboration avec les autres services de l'agence.

## **4. Division des ressources humaines et financières :**

### **4.1. Service du personnel et de formation :**

- ✚ Gère les affaires du personnel ;
- ✚ Assure la paie du personnel ;
- ✚ Elabore et exécute les programmes de la formation du personnel ;
- ✚ Gère le parc automobile ;
- ✚ Supervise les stocks des magasins ;
- ✚ Assure l'administration générale des activités de l'agence (logistique) ;
- ✚ Prend en charge la gestion de carrière du personnel de l'agence.

#### **4.2. Service de comptabilité et financier :**

- ✚ Elabore le budget annuel de l'agence ;
- ✚ Tient la comptabilité de l'agence ;
- ✚ Gère les marchés ;
- ✚ Recouvre les redevances ;
- ✚ Tient les relations avec le contrôleur financier et l'agent comptable ;
- ✚ Prépare la tenue des sessions des conseils d'administration de l'agence ;
- ✚ Prépare les délibérations et décision du conseil ;
- ✚ Gère les relations avec les membres du conseil ;
- ✚ Exécute le budget de l'agence ;
- ✚ Assure le règlement des aides financières ;
- ✚ Assure le secrétariat des assemblées (compte rendu) ;
- ✚ Prospecte et mobilise les sources de financement ;
- ✚ Développe les partenariats ;
- ✚ Gère les relations de coopération technique étrangère.

#### **4.3. Cellule de communication et de documentation :**

- ✚ Informe les usagers et public en général sur les activités de l'agence ;
- ✚ Diffuse auprès des administrations les documents du conseil d'administration et comptes rendus des différentes réunions ;

- ✚ Met en place et suit les relations publiques (accueil, orientation des citoyens...);
- ✚ Assure les relations avec les médias ;
- ✚ Réalise et exécute le plan de communication, en coordination avec les autres services de l'agence ;
- ✚ Gère les documents et les archives de l'agence ;
- ✚ Entretien la base de données documentaire ;
- ✚ S'occupe des acquisitions de documents ;
- ✚ Informe les services de l'agence des nouvelles acquisitions documentaires ;
- ✚ Gère l'activité informatique de l'agence.

#### 4.4. Service de protection de la qualité de l'eau :

- ✚ Etablit et gère la banque de données relative la qualité de l'eau ;
- ✚ Réalise les études de protection de la qualité de l'eau et les études d'impact sur les ressources en eau ;
- ✚ Elabore les rapports périodiques se rapportant à cette qualité en éditant des bulletins d'information ;
  - ✚ Etablit les cartes et documents thématique ;
  - ✚ Entreprennd des études d'impact des projets sur l'environnement ;
  - ✚ Initie avec les services concernés les normes et les objectifs de la qualité de l'eau ;
  - ✚ Suit la situation de protection des ressources en eau ;
  - ✚ Réalise l'inventaire des foyers de population et des zones vulnérables ;
    - ✚ Assure l'assistance technique aux tiers ;
    - ✚ Elabore les programmes de suivi de la qualité de l'eau ;
    - ✚ Identifie et définit les besoins en matière de protection et de conservation des ressources en eau ;
      - ✚ Etudie les dossiers d'aide financière pour la dépollution, en relation avec les services concernés de l'agence ;
      - ✚ Etablit les analyses physiques, chimiques et biologiques des ressources en eau.

## II. *Mission de l'Agence*

### 1. Organisation :

La mission de l'agence du bassin hydraulique de Sebou est l'organisation et le développement des ressources en eaux via les étapes suivantes :

- ✚ L'évaluation des ressources en eau.
- ✚ La planification de l'aménagement des ressources en eau.
- ✚ Le suivi qualitatif et quantitatif des ressources en eau.
- ✚ La gestion des ressources en eau.
- ✚ Le recouvrement des redevances financières.

### 2. Sécurité :

L'agence veille également à la sécurité des ressources et du patrimoine à travers :

- ✚ La sauvegarde du domaine public Hydraulique.
- ✚ La prévention et gestion des situations exceptionnelles.
- ✚ L'entretien, la maintenance et l'exploitation des ouvrages Hydrauliques.

### 3. Service :

L'agence est toujours au service des tiers à travers les actions suivants :

- ✚ L'assistance technique et prestations aux usagers.
- ✚ Le développement du partenariat.
- ✚ L'assistance financière à la dépollution et au développement des ressources en eau.
- ✚ La concertation avec les acteurs de l'eau pour la gestion de la ressource.

# PARTIE II

## *Le jaugeage*



## *I. Définition du jaugeage*

Un jaugeage est l'ensemble des opérations de mesures et des calculs destinés à déterminer le débit d'un cours d'eau, d'un canal, d'une conduite, d'une source en un point donné. Sur un cours d'eau, ce point est appelé "station de jaugeage" ou "station hydrométrique".

Le jaugeage permet de connaître la vitesse du courant d'eau, à partir duquel on déduit le débit exprimé en  $\text{m}^3/\text{s}$  (ou en  $\text{l/s}$  pour les basses eaux et les débits de sources).

Les mesures de débits ou jaugeages permettent de connaître les volumes d'eau qui passent à travers une section par unité de temps.

- ✓ Le débit est donc le rapport d'un volume (en  $\text{m}^3$  par exemple) par un temps  $t$  (exprimé souvent en secondes).
- ✓ Le débit c'est également le produit d'une vitesse du courant d'eau (en  $\text{m/s}$ ) avec une surface, en l'occurrence la surface mouillée exprimée en  $\text{m}^2$ .

## *II. Les types de jaugeages :*

Il ya plusieurs types de jaugeage :

- Le jaugeage par voie directe, généralement utilisé pour les buts suivants :
  1. Mesure des faibles débits : on dispose d'un saut de volume connue  $V$  et on le remplit en un temps  $t$  le débit mesuré est alors  $Q=V/t$ .
  2. Jaugeage au déversoir : pour les petits cours d'eaux l'emploi d'un déversoir est le plus commode pour la mesure quotidienne du

débit parce qu'il dispense de toute opération autre qu'une simple lecture à l'échelle.

- Jaugeage par voie indirecte :

Parmi les méthodes les plus utilisées on a :

Jaugeage au moulinet :



Figure 1 : Moulinet à hélice

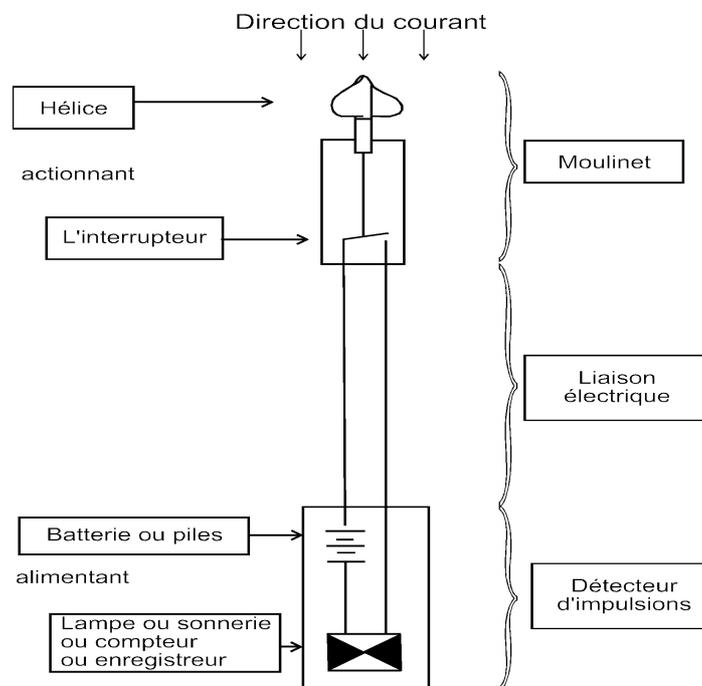


Figure 2 : les composantes d'un moulinet

Les mesures sont généralement faites à partir de moulinets à hélice, à axe horizontal. Le moulinet est composé d'un élément appelé « corps du moulinet » comportant un axe horizontal sur lequel tourne une hélice ce dernier transmet les indications à un compteur. La rotation de l'hélice produit des impulsions qui sont détectées et comptabilisées par un dispositif électronique appelé compteur, connecté au corps du moulinet.

Les moulinets sont montés sur des perches pour jauger les basses eaux ; ou sur des saumons pour jauger les hautes eaux et les crues.

Le moulinet est immergé dans le cours d'eau face au courant, la vitesse de rotation de l'hélice est liée, à la vitesse locale d'écoulement. Une hélice est caractérisée par son pas et son diamètre. Les diamètres les plus courants sont 125 et 100 mm, on peut descendre à 30 mm pour les hélices de micro-moulinets. Le pas de l'hélice est la distance parcourue par l'eau pour générer un tour d'hélice.

La vitesse de l'écoulement définie par :

$$V=a \times n+b$$

- V : vitesse du courant en m/s.
- a : pas de l'hélice en m.
- n : nombre de tours d'hélice par seconde.
- b : vitesse de frottement ou vitesse de démarrage.

Jaugeage au moulinet : Le débit au volume d'eau qui passe dans la section S d'une rivière peut être défini comme étant le produit de S par la composante de la vitesse moyenne  $V_m$  perpendiculaire à cette section  $Q=V_m \times S$ . La méthode de mesure au moulinet consiste à mesurer les vitesses en divers points de la section dont on détermine simultanément la géométrie.

On distingue deux méthodes de jaugeage par moulinet :

- ✓ Procédé d'exploration par points :

Le moulinet mesure la vitesse en un point donné. La méthode de mesure des débits sur une section transversale exige la détermination de la vitesse moyenne dans chacune des verticales choisies pour la mesure.

✓ Procédé par intégration continue :

La mesure de la vitesse moyenne s'effectue en faisant descendre lentement et à vitesse constante un moulinet à partir de la surface jusqu'au fond.

### *III. Dépouillement des jaugeages au moulinet et calcul des débits*

#### **1. Choix des positions des verticales de mesure :**

D'abord il faut diviser la section en plusieurs verticales selon la qualité de la section de jaugeage et la précision recherchée. On utilisera 5, 7 à 9 verticales de mesure (parfois plus pour des sections très larges). Si la section est très régulière et symétrique ou les vitesses sont uniformément réparties on pourra répartir les verticales de mesure d'après la règle des milieux : L'emplacement de ces verticales se fera de la façon suivante :

-une verticale au milieu ( $1/2$ ).-Deux verticales au milieu entre la verticale  $1/2$  et les 2 rives (verticales  $1/4$  et  $3/4$ ).-Deux verticales au milieu entre ces dernières et les 2 rives ( $1/8$  et  $7/8$ ).-Deux verticales au milieu entre ces dernières et les 2 rives ( $1/16$  et  $15/16$ ).-Deux verticales au milieu entre ces dernières et les 2 rives ( $1/32$  et  $31/32$ ).

#### **Exemple :**

Pour une section transversale de 18 m de largeur, il y aura une verticale de mesure à 9 m de la rive, puis à 4,5 et 13,5 m, ensuite à 2,25 et 15,75.

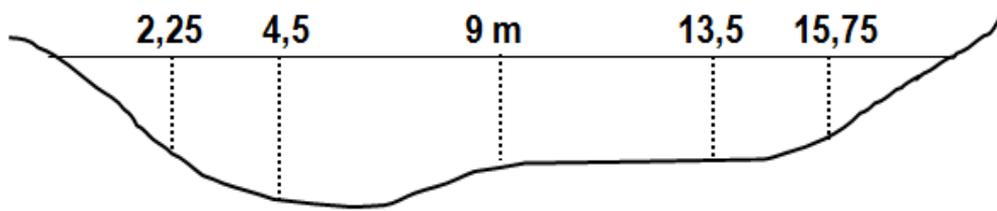


Figure 3 : les verticales choisies dans une section

## 2. Profondeurs de mesure des vitesses du courant :

Selon la profondeur, on effectue généralement 3 à 5 mesures par verticale.

- Pour les jaugeages au micro moulinet (basses eaux), on commence à 3 cm au-dessus du fond, et on terminera au moins à 3 cm sous la surface de l'eau.

Pour choisir  $n$  points de mesure, on applique la règle :  $\frac{PT-6}{n-1}$

$PT$  : est la profondeur totale (ou hauteur d'eau).

### Exemple :

Si la hauteur d'eau est de 40 cm et on veut effectuer 4 points de mesure par exemple :

$40 - 6 = 34$  et  $34 / 3 = 11,3$  qu'on peut arrondir à 11.

On choisira alors les points espacés de 11 cm, soit les hauteurs :

3, 14, 25 et 36 cm.



Figure 4 : les points de mesure choisis dans une verticale

Pour choisir 5 points de mesure sur la verticale, on divise par 4 et on applique la même règle. On aura les hauteurs 3, 11, 20, 28 et 37 cm.

### 3. Exemple de jaugeage au moulinet :

On se propose de jaugeer sur une section large de 2 m (soit 200 cm). Les verticales de mesures sont choisies d'après la règle des milieux qu'on a vu précédemment, seront donc positionnées à 25, 50, 100, 150 et 175 cm de la rive.

Les résultats du jaugeage sont sur le tableau suivant, sachant que la formule de l'hélice qui donne la vitesse du courant est :

$$V = 0.056 n + 0,035$$

n : est le nombre de tops (tours de l'hélice par seconde).

*Tableau 1 : les résultats du jaugeage effectué*

Distance (cm)	Hauteur d'eau (cm)	Nombre de tops	Temps (s)	Vitesse (m/s)
0	0	0		
25	15			
	3	57	30	0,141
	6	64	30	0,154
	9	87	30	0,197
	12	96	30	0,214
50	18			
	3	47	30	0,123
	6	59	30	0,145
	9	63	30	0,153
	12	69	30	0,164
100	15	72	30	0,169
	15		30	
	3	93	30	0,209
	6	109	30	0,238
	9	112	30	0,244
150	12	99	30	0,220
	15			
	3	53	30	0,134
	6	64	30	0,154
	9	72	30	0,169
175	12	84	30	0,192
	9			
	3	37	30	0,104
	6	42	30	0,113

200	0		
-----	---	--	--

**Remarque :** La vitesse du fond est calculée à partir de la vitesse du 1er point de mesure à 3 cm au-dessus de ce fond :  $V_f = 0,8 * V$  à 3 cm de hauteur d'eau.  
La vitesse à la surface du plan d'eau est légèrement inférieure ou égale à la vitesse au point qui est juste en dessous

a) Exploration des champs des vitesses par la méthode des paraboles et calcul du débit :

On trace pour chaque verticale la courbe des vitesses en fonction de la profondeur (dite parabole des vitesses).

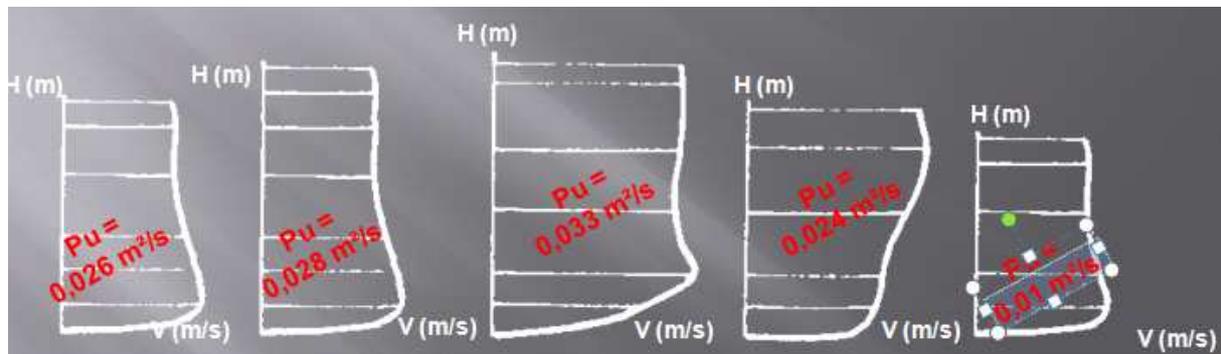


Figure 6 : les courbes de vitesse des 5 verticales choisies

$P_u$  : c'est la surface de chaque courbe qu'on détermine à l'aide d'un planimètre.

On trace ensuite la courbe de variation de ces débits unitaires suivant la largeur de la section.

Le planimétrage de l'aire délimitée par cette courbe donne le débit en  $m^3/s$ .

On trace également la courbe des profondeurs en fonction de la largeur.

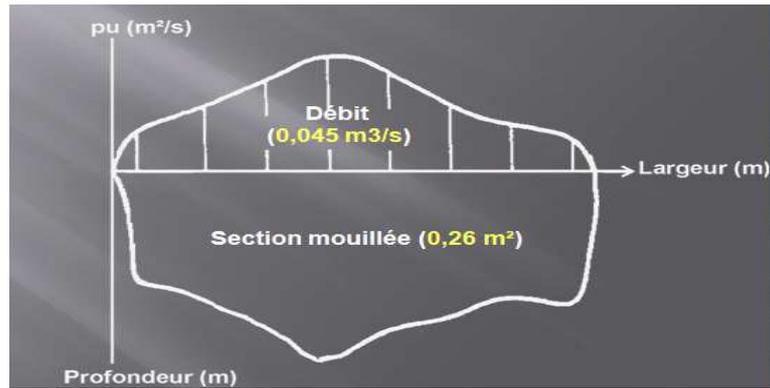


Figure 7 : Courbe des profondeurs en fonction de la largeur.

On déterminera alors :

- La surface de la section mouillée :  $S_m = 0,26 \text{ m}^2$ .
- La profondeur moyenne  $P_m = S_m / \text{Largeur} = 0,13 \text{ m}$ .
- La vitesse moyenne :  $V_m = Q / S = 0,173 \text{ m/s}$ .

Le débit de cette section est  $0,045 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4. Courbes d'étalonnage et relation hauteur d'eau - débit :

La courbe d'étalonnage est la courbe des débits en fonction des hauteurs d'eau correspondantes :

$Q = f(H)$ . Elle donne pour chaque hauteur d'eau observée le débit correspondant mesuré par le jaugeage.

Dans une station stable, la forme de la section transversale ne varie pas (ou varie peu).

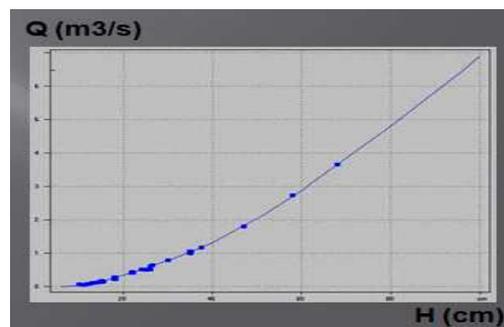


Figure 8 : Courbe d'étalonnage

#### Exemple :

On a le tableau suivant :

*Tableau 2 : les hauteurs et Débits correspondants*

H (cm)	Q (m3/s)
100	45
125	65
175	120
225	175
300	300
350	400
400	525
470	700

On obtient une courbe exponentielle de la forme  $Q = a H^n$  appelée : courbe de tarage.

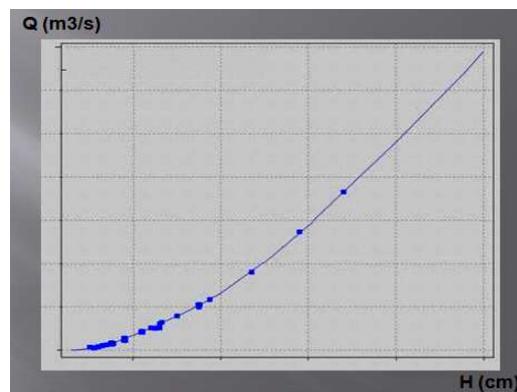


Figure 9 : Courbe exponentielle de tarage

Pour simplifier cette écriture, on peut la mettre sous forme :

$$\text{Log } Q = \text{log } a + n \text{ log } H, \quad \text{c'est-à-dire : } y = a x + b.$$

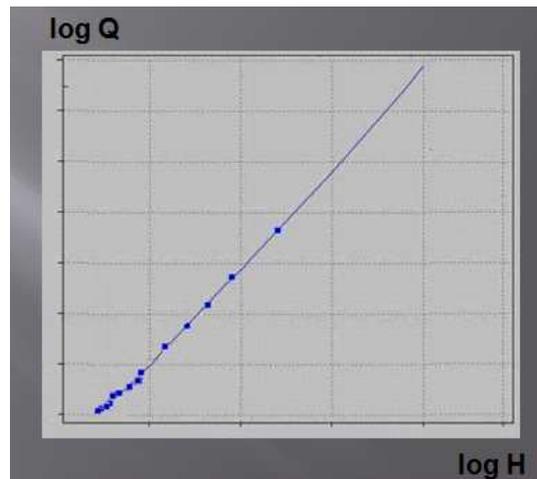


Figure 10 : Courbe linéaire

La relation devient linéaire, et on peut déduire les paramètres a et b de l'équation qui devient :

$$\text{Log } Q = 1,8 \text{ log } H - 1,95$$

On peut donc calculer le débit correspondant à une hauteur d'eau donnée :

Une côte de 205 cm par exemple correspondrait à un débit de 163 m<sup>3</sup>/s.

# PARTIE III

## *Outils Mathématiques*

## *I. L'analyse de la variance :*

### **1. Définition :**

L'analyse de la variance, expression souvent abrégée par le terme anglais ANOVA : (Analysis Of Variance) est une technique statistique permettant de comparer les moyennes de plus de deux populations. Son but est en fait de procéder à une sorte de généralisation de la comparaison des moyennes ou de la comparaison des pourcentages lorsqu'il y a plus de deux valeurs à comparer.

### **2. Condition d'application d'ANOVA :**

- Les échantillons sont tirés aléatoirement et sont indépendants.
- Les populations sont normalement distribuées ou approximativement normales.
- Les populations ont même variance.

### **3. Test d'adéquation à la loi normale :**

Les tests de normalité permettent de vérifier si des données réelles suivent une loi normale ou non. Les tests de normalité sont des cas particuliers des tests d'adéquation (ou tests d'ajustement, tests permettant de comparer des distributions).

Parmi ces tests le plus utilisé est le test de khi2 :

Pour appliquer le test de khi2 on suit les étapes suivantes :

#### Etape 1 :

Poser les hypothèses de départ :

4.  $H_0 : X \sim N(\mu, \sigma^2)$  La variable X suit une loi normale.
5.  $H_1 : X$  n'est pas distribuée normalement.

#### Etape 2 :

Déterminer le risque d'erreur, généralement  $\alpha=5\%$  ou  $1\%$ .

### Etape 3 :

On calcule les fréquences théoriques :

Pour calculer les fréquences théoriques de chacune des classes il faut d'abord calculer la probabilité (avec la loi normale) pour que votre variable soit comprise entre la limite inférieure et la limite supérieure d'une classe. Et cela pour chacune des classes. Mathématiquement on écrit :

$P(\text{limite inférieure de la classe} \leq X \leq \text{limite supérieure de la classe}) = \text{probabilité recherchée.}$

Finalement les fréquences théoriques seront obtenues en multipliant les probabilités que nous venons de calculer par la taille de l'échantillon. Cette opération doit être reproduite pour chacune des classes.

$F_{\text{théorique}} = P(\text{limite inférieure de la classe} \leq X \leq \text{limite supérieure de la classe}) \cdot n$

$n$  est la taille de l'échantillon.

On obtient le tableau suivant :

<i>Classes</i>	<i>Fréquences observées</i>	<i>Fréquences théoriques</i>
$[a_1 ; a_2[$	$F_1$	$F_{t1}$
$[a_2 ; a_3 [$	$F_2$	$F_{t2}$
$[a_n ; a_{n+1}[$	$F_n$	$F_{tn}$

Le degré de liberté de test  $u$  est obtenu par la formule suivante :

$u = \text{Nombre de classes dans la distribution} - \text{nombre de paramètres estimés} - 1$

### Etape 4 :

Pour effectuer notre test nous devons trouver le Khi carré observé. Il nous permettra de prendre éventuellement une décision. Il est donné par la formule suivante :

$$\chi^2 =$$

## Etape 5 :

Il faut maintenant trouver dans la table du  $\chi^2$  la valeur critique  $\chi^2_{\alpha, \nu}$  où  $\alpha$  est le risque d'erreur,  $\nu$  est le degré de liberté.

La règle de décision s'énoncera alors ainsi : Si  $\chi^2 > \chi^2_{\alpha, \nu}$  alors on rejette  $H_0$ , sinon on acceptera  $H_0$ .

### 4. Comparaison de plusieurs variances :

Le test Bartlett est utilisé pour évaluer l'hypothèse nulle,  $H_0$ , d'après laquelle les variances de  $k$  échantillons tirés sont identiques, contre l'hypothèse alternative,  $H_1$ , qu'au moins deux d'entre elles sont différentes.

Soit  $k$  échantillons de taille  $n_i$  et de variances empiriques  $S_i^2$ , alors le test de Bartlett est tel que :

$$X^2 = \frac{(N - k) \ln(S_p^2) - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(S_i^2)}{1 + \frac{1}{3(k-1)} \left( \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{n_i - 1} \right) - \frac{1}{N - k} \right)}$$

Où  $N = \sum_{i=1}^k n_i$  et  $S_p^2 = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2$  est l'estimation globale de la variance.

Le test statistique suit approximativement une loi de  $\chi^2_{k-1}$ . Le critère du test est tel que l'hypothèse nulle est rejetée si  $X^2 > \chi^2_{k-1, \alpha}$ .

Où  $\chi^2_{k-1, \alpha}$  est la valeur critique limite supérieure de la distribution  $\chi^2_{k-1}$ .

### 5. Hypothèses d'ANOVA :

- $H_0 : m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_k$  toutes les moyennes des populations sont égales.
- $H_1$  : les moyennes ne sont pas toutes égales : présence au moins d'une qui est différente.  
 $\exists i \neq j / m_i \neq m_j$ .

## 6. Décomposition de la variation totale :

L'intérêt est porté sur trois types d'écart :

$X_{ij} - \bar{X}$  : chaque observation par rapport à sa moyenne.

$\bar{X}_i - X_m$  : chaque moyenne par rapport à la moyenne globale.

$X_{ij} - X_m$  : chaque observation par rapport à la moyenne globale.

Donc on aura la formule suivante :

$$(X_{ij} - X_m) = (\bar{X}_i - X_m) + (X_{ij} - \bar{X})$$

$$X_m = \frac{n_1 \bar{X}_1 + n_2 \bar{X}_2 + \dots + n_k \bar{X}_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \text{ est la moyenne globale}$$

On obtient alors :

$$\sum_i \sum_j (X_{ij} - X_m)^2 = \sum_i \sum_j (\bar{X}_i - X_m)^2 + \sum_i \sum_j (X_{ij} - \bar{X})^2$$

On a ainsi :

$$SC_{tot} = SC_{ent} + SC_{int}$$

Avec

$$SC_{ent} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - X_m)^2$$

$$SC_{tot} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij})^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \right)^2$$

Avec n est le nombre de toutes les observations.

On a 2 types de variances :

✓ Variance entre les colonnes ou groupes :

$$S_{ent}^2 = \frac{SC_{ent}}{k-1}$$

- k-1 est le degré de liberté.

✓ Variance à l'intérieur des colonnes :

$$S_{\text{int}}^2 = \frac{SC_{\text{int}}}{n-k}$$

## 7. Le tableau ANOVA :

*Tableau 3 : Tableau ANOVA*

Source de variation	Degré de liberté	Somme des carrées	Moyenne des carrées	FC
Entre les groupes	k-1	SC <sub>ent</sub>	S <sub>ent</sub> <sup>2</sup>	S <sub>ent</sub> <sup>2</sup> / S <sub>int</sub> <sup>2</sup>
A l'intérieur des groupes	n-k	SC <sub>int</sub>	S <sub>int</sub> <sup>2</sup>	
Total	n-1	SC <sub>tot</sub>		

## 8. Le test de Fisher :

On a  $F = S_{\text{ent}}^2 / S_{\text{int}}^2$

On rejette l'hypothèse  $H_0$  si F est supérieur à la valeur donnée par le seuil de signification choisi :

$H_0$  rejetée si  $F > F_{\alpha, k-1, n-1}$

## 9. L'analyse multiple des moyennes :

Lorsqu'on rejette l'hypothèse  $H_0$  ça veut dire  $\exists i \neq j$  telle que  $m_i \neq m_j$  pour résoudre ce problème on utilise la méthode LSD (méthode de différences significatives). Ce test permet la détection des groupes différents par la comparaison des moyennes des groupes 2 à 2.

Pour chaque couple (i, j) avec  $i \neq j$  :

$H_0 : m_i = m_j$

$H_1 : m_i \neq m_j$

On calcule  $\bar{X}_i$  et  $\bar{X}_j$  alors on a :

$$\sigma_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}^2 = (1/n_i + 1/n_j) \sigma^2 \text{ et } \widehat{\sigma_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}^2} = (1/n_i + 1/n_j) S_{int}^2$$

Effectuer le test d'hypothèse avec :

$$LSD = t_{\alpha/2, n-k} \widehat{\sigma_{\bar{X}_i - \bar{X}_j}}$$

$n$  est le nombre de toutes les observations.

Comparer  $LSD$  avec  $|\bar{X}_i - \bar{X}_j|$  pour tout couple  $(i, j)$

Si  $|\bar{X}_i - \bar{X}_j| > LSD$  on rejette  $H_0$  c'est à dire il y a une différence significative entre  $m_i$  et  $m_j$ .

# PARTIE IV

## *Traitement statistique des données*

## I. Traitement des données à l'aide d'ANOVA :

Nous avons traité le débit calculé au cours des années dans 5 stations hydrométriques du bassin hydraulique de Sebou :

- Station Ain Timedrine
- Station Azib Soltane
- Station Azzaba
- Station Dar Arsa
- Station Mdez

### 1. Les données :

#### 1.1 Les débits annuels à la station Ain Timedrine :

*Tableau 4 : Débits annuels à la station Ain Timedrine*

Année	Débit	Année	Débit	Année	Débit
1934	17,0	1973	18,0	1993	12,0
1938	48,0	1974	17,0	1994	7,0
1955	33,0	1975	20,0	1995	26,0
1956	15,0	1976	24,0	1996	15,0
1957	20,0	1977	16,0	1997	12,0
1958	17,0	1978	17,0	1998	7,0
1959	31,0	1979	17,0	1999	4,0
1960	22,0	1980	11,0	2000	9,0
1961	16,0	1981	11,0	2001	11,0
1962	35,0	1982	11,0	2002	12,0
1963	20,0	1983	8,0	2003	13,0
1964	23,0	1984	9,0	2004	8,0
1965	8,0	1985	20,0	2005	9,0
1966	10,0	1986	13,0	2006	6,0
1967	23,0	1987	13,0	2007	7,0
1968	30,0	1988	10,0	2008	16,0
1969	22,0	1989	12,0	2009	23,0
1970	26,0	1990	18,0	2010	21
1971	28,0	1991	11,0		
1972	21,0	1992	6,0		

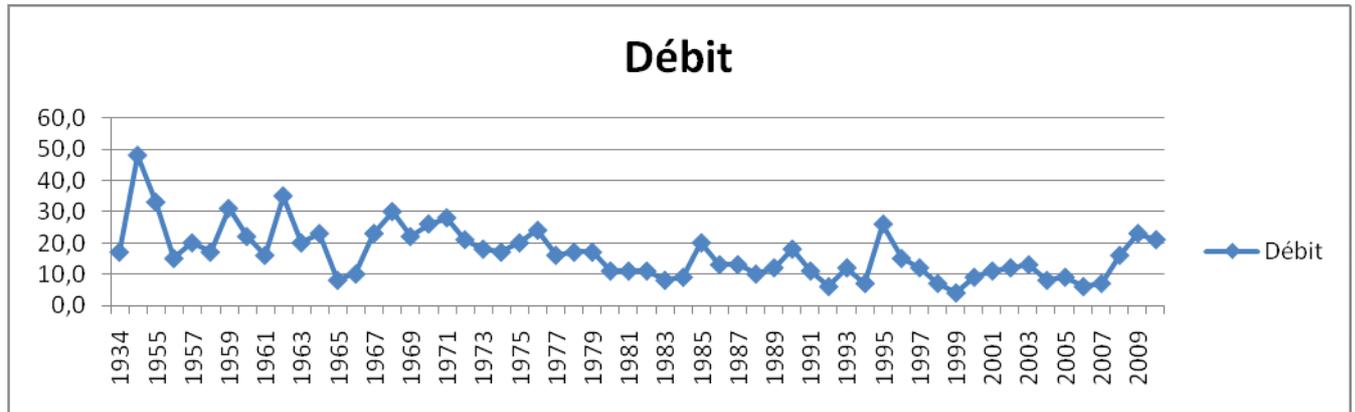


Figure 11 : la représentation graphique des débits de la stations Ain Timedrine

Le débit maximal de cette station 48 est enregistré en 1938.

On a la moyenne de cette station est 16,6 ; on remarque qu'avant 1980 la plupart des années ont un début supérieur à la moyenne par contre entre 1980 et 1984 et entre 1999 et 2008 le débit est inférieur à la moyenne ce sont les années de sécheresse.

Tableau 5 : Classification du tableau précédant sous forme de classe :

Le Débit	Centre de classe	Effectifs	fréquence	Fréquence cumulée
[4 ; 8[	6	6	0,1034	0,1034
[8 ; 12 [	10	13	0,2241	0,3275
[12 ; 16 [	14	9	0,1551	0,4826
[16 ; 20 [	18	10	0,1724	0,655
[20 ; 24 [	22	11	0,1896	0,8446
[24 ; 28 [	26	3	0,0517	0,8963
[28;32 [	30	3	0,0517	0,948
[32;36 [	34	2	0,0344	0,9824
[36;40 [	38	0	0	0,9824
[40;44 [	42	0	0	0,9824
[44;48 [	46	0	0	0,9824
[48 ; 52 [	50	1	0,0172	1

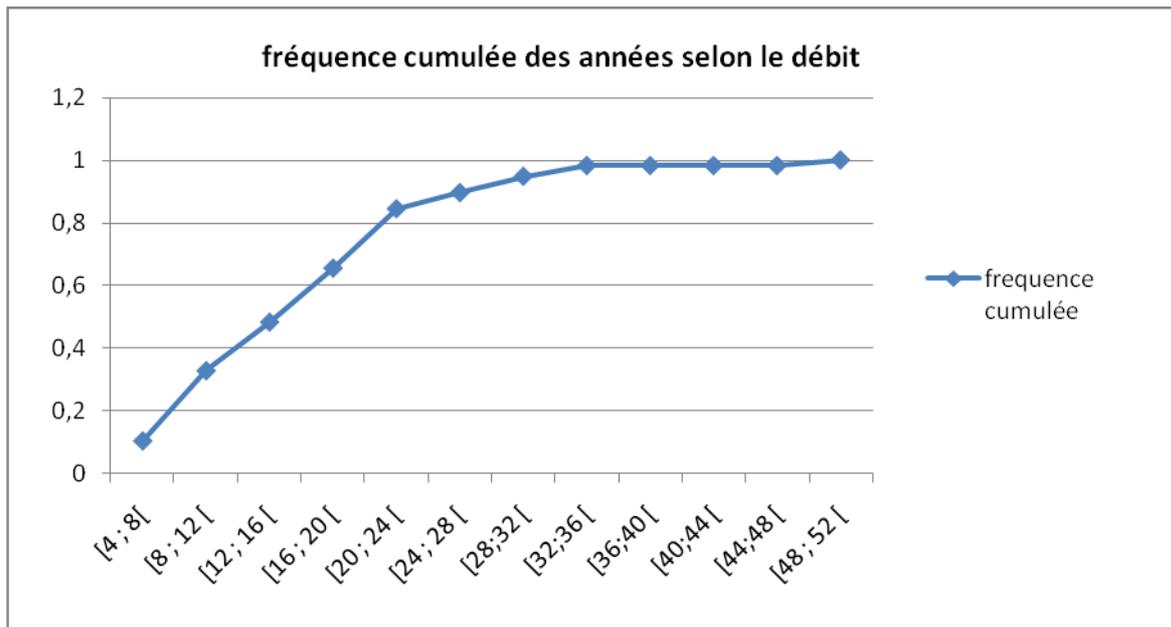


Figure 12 : polygone des fréquences cumulées des années selon le débit

la moyenne	Ecart type	la médiane	1 <sup>er</sup> quartile	3eme quartile	interquartile
17,241	8,451	16,40	10,61	22	11,39

On a le coefficient de variation(CV) égale  $\frac{\text{Ecart type}}{\text{la moyenne}} = \frac{8,451}{17,241} = 0,49$

On a  $Cv=0,49 > 0,1$  alors la moyenne n'est pas bonne, on peut représenter cette série par sa médiane.

La valeur médiane est l'abscisse  $x_m$  du point du polygone des fréquences cumulées croissantes dont l'ordonnée vaut  $\frac{1}{2}$ .

## 1.2 Les débit annuels à la station d'Azib Soltane :

Tableau 5 : Débits annuels à la station Azib Soltane

Année	Débit	Année	Débit	Année	Débit
1958	9,0	1977	44,0	1996	53,0
1959	100,0	1978	60,0	1997	31,0
1960	54,0	1979	37,0	1998	15,0
1961	51,0	1980	23,0	1999	8,0
1962	159,0	1981	26,0	2000	14,0
1963	93,0	1982	23,0	2001	9,0
1964	76,0	1983	20,0	2002	21,0
1965	31,0	1984	19,0	2003	31,0
1966	23,0	1985	45,0	2004	15,0
1967	52,0	1986	36,0	2005	13,0
1968	127,0	1987	26,0	2006	11,0
1969	113,0	1988	19,0	2007	11,0
1970	86,0	1989	21,0	2008	105,0

1971	69,0	1990	33,0	2009	138,0
1972	45,0	1991	19,0	2010	44,0
1973	47,0	1992	18,0		
1974	36,0	1993	17,0		
1975	36,0	1994	8,0		
1976	77,0	1995	41,0		

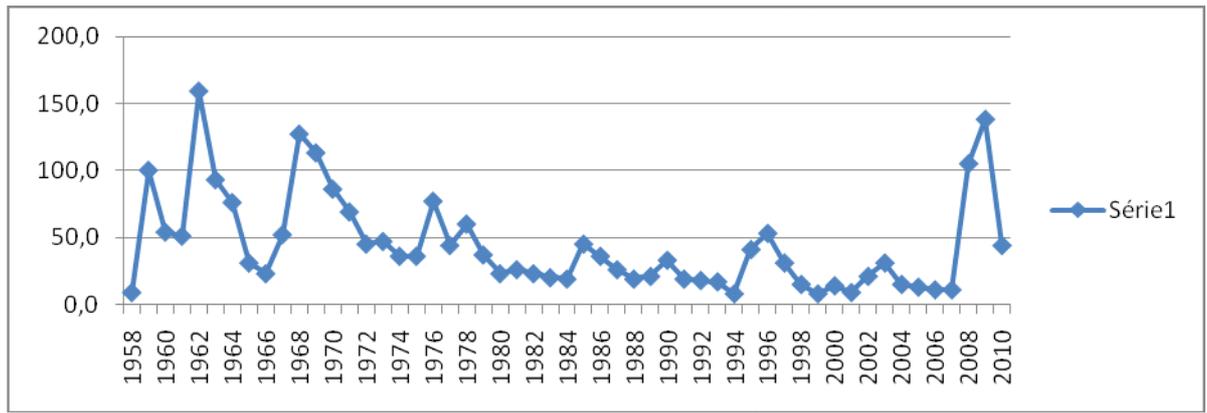


Figure 13 : représentation graphique des débits de la station Azib Soltane

Le débit maximal de cette station  $159 \text{ m}^3/\text{s}$  est enregistré en 1962.

On a la moyenne de cette station est  $44,1$  ; on remarque entre 1978 et 1995 le débit est inférieur à la moyenne et après on observe une petite augmentation entre 1994 et 1998 et après le débit démunie en dessous de la moyenne jusqu'à 2008 ce dernier augmente.

### 1.3 Les débits annuels à la station Azzaba :

Tableau 7 : Débits annuels à la station Azzaba

Année	Débit	Année	Débit	Année	Débit
1957	20,0	1983	8,0	2009	33,0
1958	19,0	1984	11,0	2010	19,0
1959	36,0	1985	20,0	2011	15,0
1960	23,0	1986	13,0		
1961	17,0	1987	13,0		
1962	37,0	1988	11,0		
1963	21,0	1989	11,0		
1964	21,0	1990	19,0		
1965	8,0	1991	12,0		
1966	10,0	1992	7,0		
1967	24,0	1993	12,0		
1968	33,0	1994	6,0		
1969	22,0	1995	24,0		
1970	27,0	1996	13,0		
1971	30,0	1997	10,0		

1972	22,0	1998	6,0
1973	20,0	1999	5,0
1974	19,0	2000	12,0
1975	21,0	2001	12,0
1976	25,0	2002	12,0
1977	17,0	2003	13,0
1978	19,0	2004	6,0
1979	16,0	2005	10,0
1980	12,0	2006	6,0
1981	11,0	2007	7,0
1982	12,0	2008	41,0

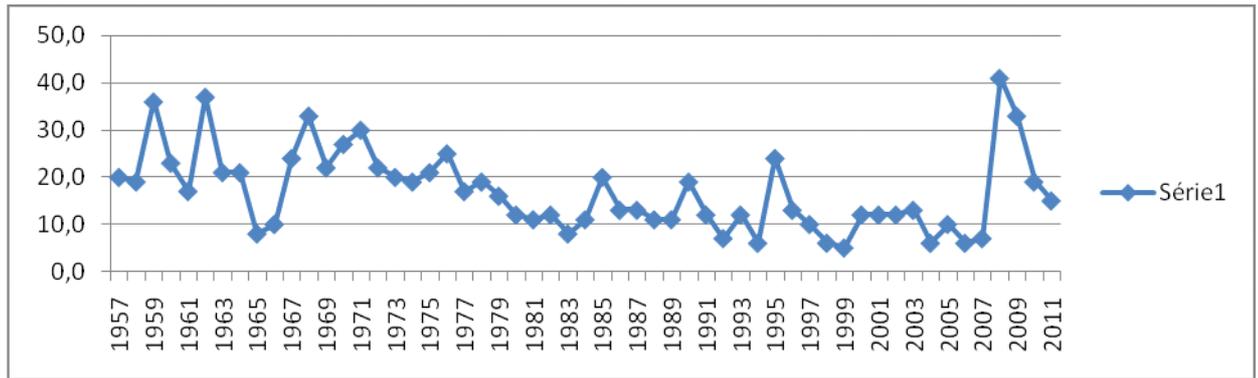


Figure 14 : représentation graphique des débits de la station d'Azzaba

On remarque que le débit maximal qui est  $41 \text{ m}^3/\text{s}$  de cette station est enregistré en 2008.

la moyenne de cette station 16,9 ; on remarque que le débit entre 1957 et 1978 est supérieur à la moyenne sauf pour les deux années 1965 et 1966. Entre 1979 et 2007 le débit est inférieur à la moyenne cela signifie qu'il y a une sécheresse, mais après 2007 on remarque une augmentation rapide du débit jusqu'à atteindre la valeur maximale en 2008.

#### 1.4 Les débits annuels à la station Dar Arsa :

Tableau 8 : Débits annuels à la station Dar Arsa

Année	Débit	Année	Débit
1970	40,0	1991	8,0
1971	41,0	1992	8,0
1972	32,0	1993	9,0
1973	25,0	1994	5,0
1974	24,0	1995	12,0
1975	26,0	1996	6,0
1976	33,0	1997	5,0
1977	24,0	1998	5,0
1978	25,0	1999	5,0
1979	23,0	2000	4,0

1980	16,0	2001	3,0
1981	15,0	2002	3,0
1982	15,0	2003	5,0
1983	12,0	2004	3,0
1984	13,0	2005	4,0
1985	24,0	2006	4,0
1986	17,0	2007	3,0
1987	18,0	2008	21,0
1988	12,0	2009	15,0
1989	15,0	2010	6,0
1990	16,0		

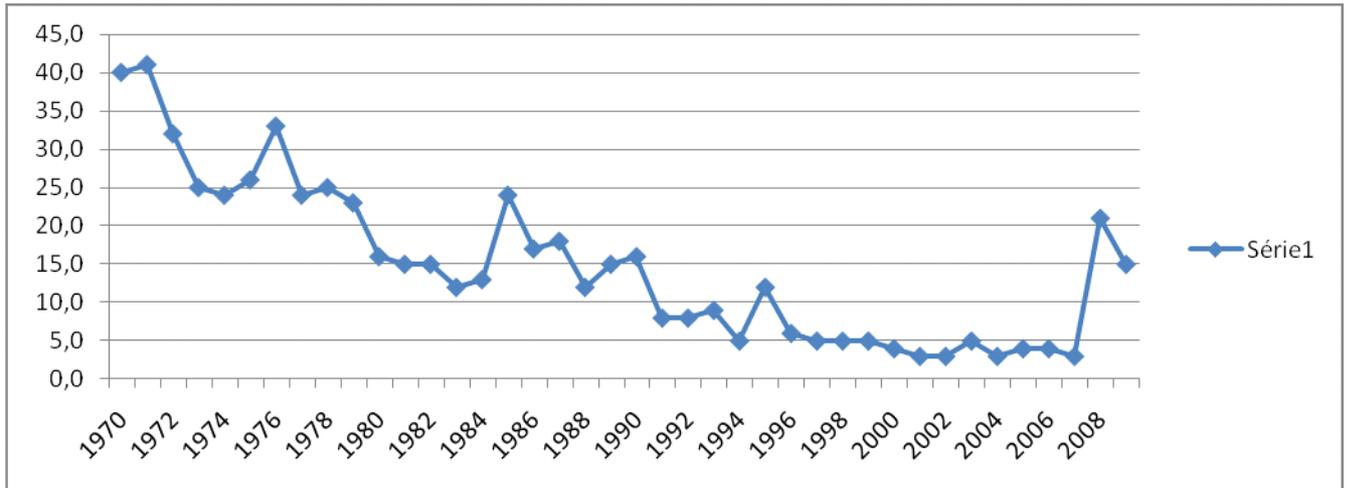


Figure 15 : représentation graphique des débits de la station Dar Arsa

Le débit maximal  $41 \text{ m}^3/\text{s}$  est enregistré en 1971.

La moyenne de cette station est 14,6. On remarque une diminution de débit jusqu'à atteindre son minimum en 2007 et après il augmente.

### 1.5 Les débits annuels à la station Mdez :

Tableau 9 : Débits annuels à la station Mdez

Année	Débit	Année	Débit	Année	Débit
1956	4,0	1982	2,0	2008	21,0
1957	6,0	1983	1,0	2009	18,0
1958	5,0	1984	2,0	2010	6,0
1959	11,0	1985	5,0		
1960	7,0	1986	4,0		
1961	6,0	1987	3,0		
1962	15,0	1988	2,0		
1963	7,0	1989	4,0		
1964	8,0	1990	7,0		
1965	2,0	1991	3,0		
1966	3,0	1992	1,0		
1967	8,0	1993	3,0		
1968	9,0	1994	2,0		
1969	8,0	1995	10,0		

1970	12,0	1996	4,0		
1971	12,0	1997	4,0		
1972	9,0	1998	1,0		
1973	6,0	1999	1,0		
1974	7,0	2000	2,0		
1975	9,0	2001	4,0		
1976	9,0	2002	4,0		
1977	4,0	2003	4,0		
1978	6,0	2004	3,0		
1979	6,0	2005	3,0		
1980	4,0	2006	3,0		
1981	3,0	2007	1,0		

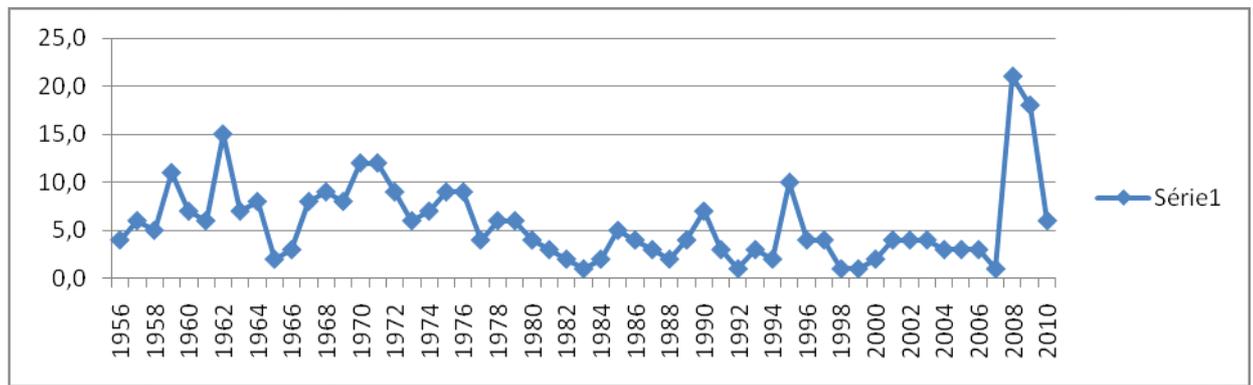


Figure 16 : représentation graphique des débits de la station Mdez

Le débit maximal 21 m<sup>3</sup>/s est enregistré en 2008.

La moyenne de cette station est 5,7. On remarque que le débit entre 1957 et 1979 est supérieur à la moyenne sauf pour les deux années 1965 et 1966. Par contre entre 1980 et 2007 le débit est inférieur à la moyenne sauf pour les années 1985,1990 et 1995. On remarque que le débit atteint sa valeur maximale en 2008.

## 2. Vérification de l'adéquation des données à une loi normale à l'aide de Lumière :

### 2.1 La station Ain Timedrine :

On applique le test d'adéquation à la loi normale sur les données de cette station par le logiciel par khi2 et Shapiro-Wilk et voila le résultat trouvé :

## Le test de khi2 :

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
16,6379	8,4203	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
8	5,5000	16,6065	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
5	CHP	99,4690	0,5310
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

## Test de Shapiro-Wilk :

Test de Normalité : SHAPIRO ET WILK

Statistique Calculée	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
0,9244	NORMALE	99,8604	0,1396
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

On remarque que pour les 2 tests la distribution est significativement différente d'une loi normale alors il y'a des valeurs aberrantes on doit les détecter à l'aide du logiciel :

Test sur Valeurs Aberrantes : Student

Minimum:	Maximum:	Etendue	Médiane
4,0000	48,0000	44,0000	16,0000
Stat. Minimum:	Stat. Maximum:	Confiance %:	Seuil:
1,5009	3,7246	95,0000	3,0130
Le maximum est aberrant.			

Alors la valeur aberrante trouvée par ce test est 48 et c'est la valeur maximale de cette station.

On enlève cette valeur et on répète le test d'adéquation :

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
16,0877	7,3686	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
8	3,8750	5,8290	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
5	CHP	67,6783	32,3217
La distribution n'est pas significativement différente d'une loi normale.			

Alors la distribution est devenue normale.

## **2.2 La station Dar Arsa :**

On applique le test d'adéquation à la loi normale sur les données de cette station par le logiciel par khi2 et Shapiro-Wilk et voila le résultat trouvé :

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
14,9800	6,2808	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	3,5714	7,6852	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHF	89,6186	10,3814
La distribution n'est pas significativement différente d'une loi normale.			

Alors d'après les le test de khi2 la distribution n'est pas significativement différente d'une loi normale.

## 2.2 La station de Mdez :

On applique le test d'adéquation à la loi normale sur les données de cette station par le logiciel par khi2 et Shapiro-Wilk et voila le résultat trouvé :

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
5,7091	4,1841	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	2,8571	13,7405	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHF	99,1829	0,8171
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

Test de Normalité : SHAPIRO ET WILK

Statistique Calculée	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
0,8570	NORMALE	99,9999	0,0001
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

On remarque que pour les 2 tests la distribution est significativement différente d'une loi normale alors il y'a des valeurs aberrantes on doit les détecter à l'aide du logiciel :

Test sur Valeurs Aberrantes : Student

Minimum:	Maximum:	Etendue	Médiane
1,0000	21,0000	20,0000	4,0000
Stat. Minimum:	Stat. Maximum:	Confiance %:	Seuil:
1,1255	3,6546	95,0000	2,9920
Le maximum est aberrant.			

Alors la valeur aberrante trouvée par ce test est 21 et c'est la valeur maximale de cette station.

On enlève cette valeur et on répète le test d'adéquation :

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
5,4259	3,6529	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	2,4286	6,8097	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHP	85,3709	14,6291
La distribution n'est pas significativement différente d'une loi normale.			

Alors la distribution est devenue normale.

## 2.4 La station d'Azib Soltane :

On applique le test d'adéquation à la loi normale sur les données de cette station par le logiciel par khi2 et Shapiro-Wilk et voila le résultat trouvé :

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
44,1132	35,7764	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	21,5714	19,2912	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHP	99,9311	0,0689
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

Test de Normalité : SHAPIRO ET WILK

Statistique Calculée	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
0,8325	NORMALE	100,0000	0,0000
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

On remarque que pour les 2 tests la distribution est significativement différente d'une loi normale.

Après plusieurs tests par le logiciel on trouve une distribution normale, elle est obtenue en enlevant 5 valeurs (159, 138, 127, 113, 105) de la série initiale.

Niveau de Confiance défini : 95,00 %.

Variable N° :	Libellé :		
2	deb deb		
Nombre d'observations:	Moyenne:	Ecart-Type:	D.D.L.:
48	35,3333	23,3022	47

Test de Normalité : CHI2

Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
35,3333	23,3022	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	13,1429	9,3063	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHP	94,6118	5,3882
La distribution n'est pas significativement différente d'une loi normale.			

## 2.5 La station d'Azzaba :

On applique le test d'adéquation à la loi normale sur les données de cette station par le logiciel par khi2 et Shapiro-Wilk et voila le résultat trouvé :

Test de Normalité : CHI2			
Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
16,8909	8,5908	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	5,1429	11,2334	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHF	97,5938	2,4062
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			
Test de Normalité : SHAPIRO ET WILK			
Statistique Calculée	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
0,9170	NORMALE	99,9178	0,0822
La distribution est significativement différente d'une loi normale.			

On remarque que pour les 2 tests la distribution est significativement différente d'une loi normale.

Après plusieurs tests par le logiciel on trouve une distribution normale, elle est obtenue en enlevant 5 valeurs (41, 37, 36, 33,33) de la série initiale.

Niveau de Confiance défini : 95,00 %.			
Variable N° :	Libellé :		
2	deb deb		
Nombre d'observations:	Moyenne:	Ecart-Type:	D.D.L.:
50	14,9800	6,2808	49
Test de Normalité : CHI2			
Moyenne Standard	Ecart-Type Standard	Regroupement demandé:	Regroupement effectué:
14,9800	6,2808	Non	Non
Nombre de Classes	Largeur(classe)	Statistique Calculée	
7	3,5714	7,6852	
D.D.L.:	Loi	Confiance %	Risque (alpha)%
4	CHF	89,6186	10,3814
La distribution n'est pas significativement différente d'une loi normale.			

A partir de ces distributions normales qu'on a saisies au logiciel, ce dernier nous donne la figure suivante :

Le logiciel nous donne la figure suivante :

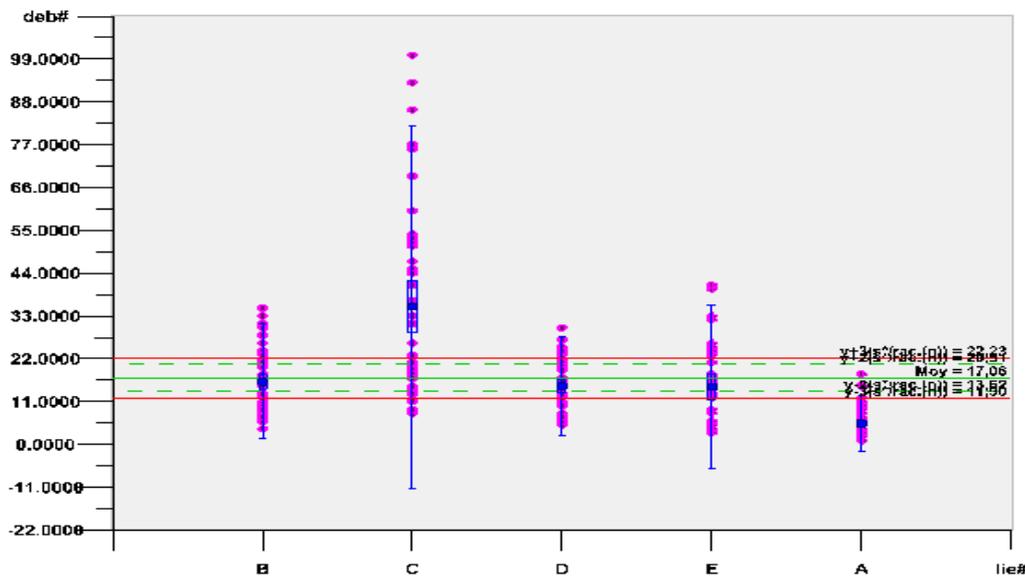


Figure 17 : l'analyse de la variance

Les taches en bleu ce sont les moyennes de chaque station et les autres taches ce sont les autres observations de débits pour chaque station au cours des années, on a aussi la ligne horizontale en vert ce dernier correspond au moyenne globale de toutes les observations qu'est égale à 17,06.

- ✓ On observe que pour la station B (Ain Timedrine) et D (Azzaba) et E (Dar Arsa) les valeurs sont très proches de leurs moyennes par contre pour la station C (Azib Soltane) les valeurs sont dispersées autours de leurs moyennes.
- ✓ On a aussi pour les 3 stations B, D et E leurs moyennes (taches en bleu) sont inférieures à la moyenne globale mais l'écart entre leurs moyennes et la moyenne global est petit.
- ✓ Pour la station C sa moyenne est supérieure à la moyenne globale et on a l'écart est grand.
- ✓ Pour la station A on observe d'après le graphe que sa moyenne est inférieure à la moyenne globale et que l'écart entre les deux est grand.

On constate aussi que presque toutes les valeurs de débits de cette station se trouvent sous la moyenne globale, ce qui signifie que le débit dans cette station est faible au cours des années.

**Tableau 10 : ANOVA**

Analyse de la Variance						
Source	Somme des Carrés	Ddl	Carrés Moyens	Fisher	Confiance %	Risque(Alpha)%
lie#	23802,4601	4	5950,6150	40,9248	100,00	0,00
Résidus	35478,5118	244	145,4037			
Total	59280,9719	248				

On a la valeur 23802,4601 est la somme des carrés entre les groupes (entre les 5 stations) et son degré de liberté c est k-1 égal à 5-1=4 dans ce cas, avec k est le nombre de groupes (le nombre de stations dans ce cas).

35478,5118 est la somme des carrées à l'intérieur des groupes et son degré de liberté est n-k=249-5=257.

On a la valeur 5950,6150 est obtenue à partir de la formule :

$$\frac{\text{somme des carrés}}{\text{Ddl}} = \frac{23802,4601}{4} = 5950,6150$$

La même chose pour la valeur 145,4037.

La valeur de Fisher est obtenue en divisant 5950,6150 par 145,4037 .

Le test de Fisher obtenue à partir du logiciel :

Tableau 11 : Tableau du test de Fisher

Test de Fisher : Résultats		
Moyenne Pondérée	Ecart-type entre les Moyennes	D.D.L.
17,0643	10,9312	4
Fisher Calculé	Confiance %	Risque (Alpha)%
40,9248	100,0000	0,0000
Les moyennes sont significativement différentes.		

Le test de Fisher nous montre que les moyennes sont significativement différentes, alors l'hypothèse  $H_0$  est rejetée et pour cela le logiciel fait un

autre test pour nous montrer quelles sont les moyennes qui diffèrent et les moyennes qui sont identiques :

Tableau 12 : Typologie des moyennes :

Typologie des Moyennes		
Groupe	lie#	Moyenne
1	54	5,4259
	A	
2	147	15,3741
	E-D-B	
3	48	35,3333
	C	

On trouve trois groupes :

- Le 1<sup>er</sup> groupe : la station A (Mdez) avec une moyenne de 5,4259 et 54 mesures de débits.
- Le 2<sup>ème</sup> groupe : on trouve trois stations E (Dar Arsa), B (Ain Timedrine) et D(Azzaba) qui ont la même moyenne 15,3741 c'est à dire que le débit dans ces stations varie presque de la même manière.
- Dans le 3<sup>ème</sup> groupe on trouve la station C (Azib Soltane) qui a une moyenne grande 35,3333 par rapport aux autres groupes.

### 3. L'application du test ANOVA sur toutes les données :

Cette fois on fait saisir toutes les données de 5 stations sans vérifier l'adéquation de ces derniers à la loi normale :

	B* AN_	C FLW	D V04	E V05	F V06
1	B	17			
2	B	48			
3	B	33			
4	B	15			
5	B	20			
6	B	17			
7	B	31			
8	B	22			
9	B	16			
10	B	35			
11	B	20			
12	B	23			
13	B	8			
14	B	10			
15	B	23			
16	B	30			
17	B	22			
18	B	26			
19	B	28			
20	B	21			
21	B	18			
22	B	17			
23	B	20			
24	B	24			
25	B	16			
26	B	17			
27	B	17			

28	B	11			
29	B	11			
30	B	11			
31	B	8			
32	B	9			
33	B	20			
34	B	13			
35	B	13			
36	B	10			
37	B	12			
38	B	18			
39	B	11			
40	B	6			
41	B	12			
42	B	7			
43	B	26			
44	B	15			
45	B	12			
46	B	7			
47	B	4			
48	B	9			
49	B	11			
50	B	12			
51	B	13			
52	B	8			
53	B	9			
54	B	6			
55	B	7			
56	B	16			
57	B	23			
58	B	21			
59	C	9			
60	C	100			
61	C	54			
62	C	51			
63	C	159			
64	C	93			
65	C	76			
66	C	31			
67	C	23			
68	C	52			
69	C	127			
70	C	113			
71	C	86			
72	C	69			
73	C	45			
74	C	47			
75	C	36			
76	C	36			
77	C	77			
78	C	44			
79	C	60			
80	C	37			
81	C	23			
82	C	26			
83	C	23			
84	C	20			
85	C	19			
86	C	45			
87	C	36			
88	C	26			
89	C	19			
90	C	21			
91	C	33			
92	C	19			
93	C	18			
94	C	17			
96	C	41			
97	C	53			
98	C	31			
99	C	15			
100	C	8			
101	C	14			
102	C	9			
103	C	21			
104	C	31			
105	C	15			
106	C	13			
107	C	11			
108	C	11			
109	C	105			
110	C	138			
111	C	44			
112	D	20			
113	D	19			
114	D	36			
115	D	23			
116	D	17			
117	D	37			
118	D	21			
119	D	21			
120	D	8			
121	D	10			
122	D	24			

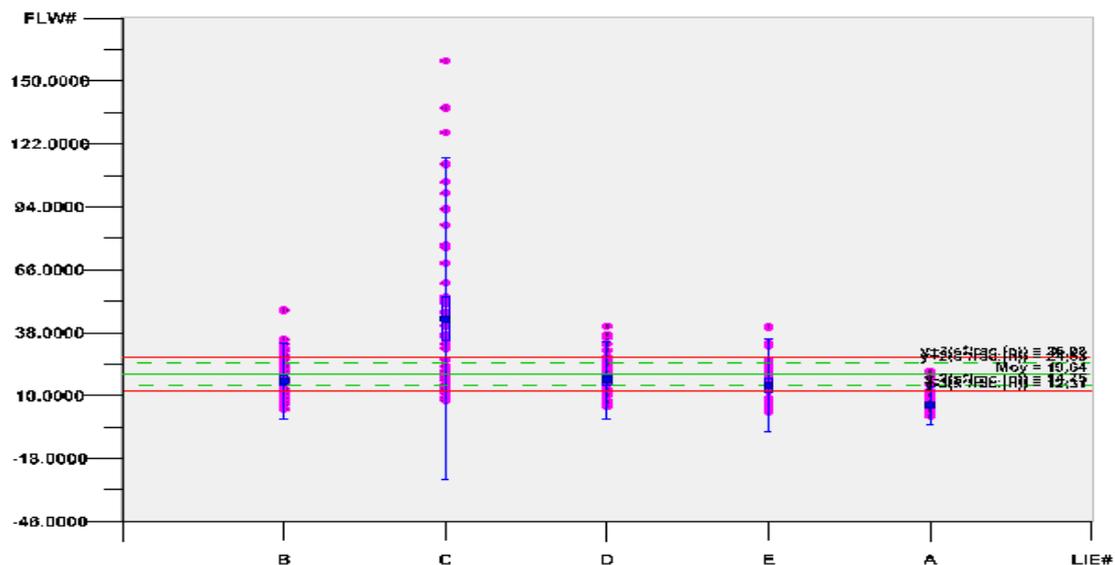
123	D	33		
124	D	22		
125	D	27		
126	D	30		
127	D	22		
128	D	20		
129	D	19		
130	D	21		
131	D	25		
132	D	17		
133	D	19		
134	D	16		
135	D	12		
136	D	11		
137	D	12		
138	D	8		
139	D	11		
140	D	20		
141	D	13		
142	D	13		
143	D	11		
144	D	11		
145	D	19		
146	D	12		
147	D	7		
148	D	12		
149	D	6		
150	D	24		
151	D	13		
152	D	10		
153	D	6		
154	D	5		
155	D	12		
156	D	12		
157	D	12		
158	D	13		
159	D	6		
160	D	10		
161	D	6		
162	D	7		
163	D	41		
164	D	33		
165	D	19		
166	D	15		
167	E	40		
168	E	41		
169	E	32		
170	E	25		
171	E	24		
172	E	26		
173	E	33		
174	E	24		
175	E	25		
176	E	23		
177	E	16		
178	E	15		
179	E	15		
180	E	12		
181	E	13		
182	E	24		
183	E	17		
184	E	18		
185	E	12		
186	E	15		
187	E	16		
188	E	8		
189	E	8		
190	E	9		
191	E	5		
192	E	12		
193	E	6		
194	E	5		
195	E	5		
196	E	5		
197	E	4		
198	E	3		
199	E	3		
200	E	5		
201	E	3		
202	E	4		
203	E	4		
204	E	3		
205	E	21		
206	E	15		
207	E	6		
208	A	4		
209	A	6		
210	A	5		
211	A	11		
212	A	7		
213	A	6		
214	A	15		
215	A	7		
216	A	8		
217	A	2		
218	A	3		
219	A	8		
220	A	9		
221	A	8		
222	A	12		
223	A	12		
224	A	9		
225	A	6		
226	A	7		
227	A	9		
228	A	9		
229	A	4		
230	A	6		

231	A	6		
232	A	4		
233	A	3		
234	A	2		
235	A	1		
236	A	2		
237	A	5		
238	A	4		
239	A	3		
240	A	2		
241	A	4		
242	A	7		
243	A	3		
244	A	1		
245	A	3		
246	A	2		
247	A	10		
248	A	4		
249	A	4		
250	A	1		
251	A	1		
252	A	2		
253	A	4		
254	A	4		
255	A	4		
256	A	3		
257	A	3		
258	A	3		
259	A	1		
260	A	21		
261	A	18		
262	A	6		

On a dans le tableau ci-dessus :

- ✓
  - 
  - 
  - 
  - 
  - 
  - ✓
- An** : ce sont les stations :
- B : Ain Timedrine.
  - C : Azib Soltane.
  - D : Azzaba.
  - E : Dar Arsa.
  - A : Mdez.
- Flw** : les Débits en m<sup>3</sup>/s.

A partir de ces données qu'on a entrées au logiciel, ce dernier nous donne la figure suivant :



On trouve les mêmes résultats qu'on a trouvés avec la vérification de l'adéquation des données à la loi normale.

Tableau 13: tableau

Niveau de Confiance défini : 95,00 %.			
Variable N° :	Libellé :	Nbre de Répétitions	
3	FLW DEBIT	1	
Nombre d'observations:	Moyenne:	Ecart-Type:	D.D.L.:
262	19,6412	21,8201	261

On a d'abord le niveau de confiance est 95 % c'est-à-dire le seuil de signification  $\alpha=5\%$  (0,05).

D .D.L est le degré de liberté égal à  $n - 1=262-1=261$

On trouve aussi dans le tableau la moyenne et l'écart type.

Voilà le tableau ANOVA trouvé à partir du logiciel :

Tableau 14 : ANOVA

Source	Somme des Carrés	Ddl	Carrés Moyens	Fisher	Confiance %	Risque(Alpha)%
LIE#	44383,3544	4	11095,8386	35,6976	100,00	0,00
Résidus	79882,9204	257	310,8285			
Total	124266,2748	261				

La valeur 44383,3544 est la somme des carrés entre les groupes (entre les 5 stations) et son degré de liberté est  $k-1$  égal à  $5-1=4$  dans ce cas, avec  $k$  est le nombre de groupes (le nombre de stations dans ce cas).

79882 ,9204 est la somme des carrées à l'intérieur des groupes et son degré de liberté est  $n-k=262-5=257$ .

La valeur 11095,8386 est obtenue à partir de la formule :

$$\frac{\text{somme des carrés } 44383,3544}{Ddl \quad 4} = 11095,8386$$

La même chose pour la valeur 310,8285.

La valeur de Fisher est obtenue en divisant 11095,8386 par 310,8285.

## Le test de Fisher obtenue à partir du logiciel :

*Tableau 15 : Tableau du test de Fisher*

Test de Fisher : Résultats		
Moyenne Pondérée	Ecart-type entre les Moyennes	D.D.L.
19,6412	14,5517	4
Fisher Calculé	Confiance %	Risque (Alpha)%
35,6976	100,0000	0,0000
Les moyennes sont significativement différentes.		

Le test de Fisher nous prouve que les moyennes sont significativement différentes alors l'hypothèse  $H_0$  est rejetée et pour cela le logiciel fait un autre test pour nous montrer quelle sont les moyennes qui diffèrent et les moyennes qui sont identiques :

*Tableau 16 : typologie des moyennes*

Typologie des Moyennes		
LIE#		
Groupe	Nombre de Mesures	Moyenne
1	55	5,7091
	A	
2	154	16,1948
	E-B-D	
3	53	44,1132
	C	

Dans le tableau ci-dessous on constate qu'il y a 3 groupes :

Le 1<sup>er</sup> groupe : la station A (Mdez) avec une moyenne de 5,7091 et 55 mesures de débits.

Le 2<sup>ème</sup> groupe : on trouve trois stations E (Dar Arsa), B (Ain Timedrine) et D (Azzaba) qui ont la même moyenne 16,1948 c'est à dire que le débit dans ces stations varie presque de la même manière.

Dans le 3<sup>ème</sup> groupe on trouve la station C (Azib Soltane) qui a une moyenne grande par rapport aux autres groupes.

# Conclusion

Ce stage était mon premier pas vers le monde professionnel, j'ai découvert l'organisation de l'agence du bassin hydraulique de Sebou. J'ai appris le travail du groupe dont l'objectif est commun, chaque mission est organisée sous forme d'un projet géré par le chef du projet ou chef de division et exécutée par ses membres selon l'expérience et la spécialité de chacun.

J'ai appris également que l'intégration et le travail dans le groupe est la clé de la réussite.

J'ai appris à appliquer et exploiter mes compétences acquises en probabilités et statistiques à des problèmes réels.

J'ai appris aussi à manipuler un nouveau logiciel de statistique.

Cette étude nous a permis de déduire qu'il y a une différence significative entre les moyennes de débit de ces stations. A travers les données nous avons défini la typologie des moyennes de ces débits, cela nous a aidé à classer les stations selon leurs débits au cours des années. Nous avons remarqué que les débits des trois stations : Ain Timedrine, Azzaba et Dar Arsa sont non significativement différents. Par contre la station Azib Soltane a un grand débit relativement aux autres. Mais la station Mdez a un petit débit par rapport aux quatre autres stations.

## *Références bibliographiques*

- Journées sur les mesures pratiques en hydrologie, Février 1985.
- Probabilités statistiques et leurs applications, Jean TRIGNAN.
- Polycopie de probabilités et statistique, Pr Mme Ezzaki, FST de Fès .

## Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
<i>Introduction</i> .....	2
PARTIE I .....	3
<i>Présentation Générale de L'ABHS (Agence du Bassin Hydraulique de Sebou)</i> .....	3
L'Agence du Bassin Hydraulique de Sebou (ABHS) .....	3
<i>I. Présentation des différentes divisions et services de l'ABHS</i> .....	5
1. Division développement et gestion des ressources en eau : .....	5
2. Division entretien des ouvrages et suivi des eaux : .....	6
3. Division des aides et redevances : .....	7
4. Division des ressources humaines et financières : .....	8
<i>II. Mission de l'Agence</i> .....	11
1. Organisation .....	11
2. sécurité .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3. Service.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
PARTIE II.....	12
<i>Le jaugeage</i> .....	12
<i>I. Définition du jaugeage</i> .....	13
<i>II. Les types de jaugeages :</i> .....	13
<i>III. Dépouillement des jaugeages au moulinet et calcul des débits</i> .....	16
1. Choix des positions des verticales de mesure : .....	16
2. Profondeurs de mesure des vitesses du courant : .....	17
3. Exemple de jaugeage au moulinet : .....	16
4. Courbes d'étalonnage et relation hauteur d'eau - débit : .....	20
PARTIE III .....	23
<i>Outils Mathématiques</i> .....	23
<i>I. L'analyse de la variance :</i> .....	24
1. Définition : .....	24
2. Condition d'application d'ANOVA : .....	24
3. Test d'adéquation à la loi normale: .....	25
4. Comparaison de plusieurs variances: .....	25
5. Hypothèses d'ANOVA : .....	25
6. Décomposition de la variation Totale : .....	26

7. Le tableau ANOVA :	27
8. Le test de Fisher :	27
9. L'analyse multiple des moyens:	27
PARTIE IV	29
<i>Traitement statistique des données</i>	29
<i>I. Traitement des données à l'aide d'ANOVA :</i>	30
1. Les données :	30
1.1 Les débits annuels à la station Ain Timedrine:	30
1.2 Les débit annuels à la station d'Azib Soltane :	32
1.3 Les débits annuels à la station D'Azzaba:	33
1.4 Les débits annuels à la station Dar Arsa:	34
1.5 Les débits annuels à la station Mdez:	35
2. Vérification de l'adéquation des données à une loi normale à l'aide de Lumière:	36
3. L'application du test Anova sur toutes les données	43
<i>Conclusion</i>	49
<i>Références bibliographiques</i>	50