

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique



Université : Mohamed Ben Ahmed.

Faculté : sciences de la terre et l'univers.

Département : Géologie.

Filière : Hydro-système et les ressources en eau.

Mémoire de projet fin d'études pour l'obtention du diplôme de master

Thème :

**PRÉDÉTERMINATION DES DÉBITS DE CRUES PAR
DIFFÉRENTES FORMULES EMPIRIQUES CAS DU BASSIN
VERSANT DE L'OUED SAIDA
(NORD-OUEST ALGÉRIEN)**

Présenté par :

Merah Bouchra

Devant le jury composé de :

- + PRESIDENTE : Madame Bekriti .**
- + ENCADREUR : Mm .Belkhir.**
- + EXAMINATEUR : Mr.Safa**

Année universitaire 2020/2021



REMERCIEMENT REMERCIEMENT

*Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de
M'avoir donné le courage et la patience pour réaliser Ce travail malgré toutes les
difficultés rencontrées*

*Nous tenons, d'abord à remercier en premier lieu et avant tout,
Notre DIEU le tout puissant qui nous a donné la force et la patience
Pour effectuer le présent travail.*

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens leurs patiences .

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude aux personnes qui

Nous ont aidé à effectuer ce travail et notamment notre encadreur :

Madame BELKHIR Pour son suivi et ses conseils durant l'évolution de ce travail.

Ainsi qu'à tout les enseignants du département Géologie .

*Nous remercions aussi tous les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour
accomplir ce travail.*



DEDICACE DEDICACE

Je dédie mon travail à :

- *A ma chère Grande mère qui nous a quittés, à l'âme toujours vivant qui
m'encourage, M'illumine le chemin, m'oriente de là-haut.*
- *A mes chères parents, que dieu les garde et les Protège pour leurs moral ,
Pour Leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.*
- *A mes belles sœurs Amina Hayat*
- *A mes frères Mohamed, Ahmed et Ibrahim .*
- *A Mes tantes Amina, Saliha et toute la famille Maaroufi.*
- *A Mes chères copines Samah et Ghizlaine Et Toute la famille SAFA.*
- *A Mes belles cousines fatima Nesrine et Asma.*

Résumé :

Les aménagements de protection contre les phénomènes de crues et d'inondations qui se manifestent de façon catastrophique, leur dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont toujours liés à une évaluation saine non seulement des débits disponibles en moyenne mais surtout des débits extrêmes. De ce fait nous avons reconstitué les débits de crue pour différentes périodes de retour dans le bassin versant de l'Oued saida à partir des précipitations observées, par le biais des formules empiriques de Turazza et de Sokolovski et Giandotti. L'application de ces formules empiriques se base sur l'étude morphométrique de bassin versant qui montre que le bassin de l'Oued saida est de Type modérément allongé. Avec un temps de concentration de 5,13 heures, et sur l'étude statistique des pluies, le choix de la loi se fait d'abord par un ajustement graphique à l'aide logiciel Hydrognomon ensuite on a calculé les pluies de courte durée et réalisé les courbes IDF. D'après les résultats obtenues nous avons conclu que la méthode du Sokolovsky est la plus optimale pour la détermination des débits maximum pour bassin Oued SAIDA, on retient un débit de projet $Q(100)$ de 119.90 m³/s au niveau de l'exutoire ; et un volume de crue de 1398.83 Hm³

Mots clés : crues ; débits extrêmes, formules empiriques, courbes IDF

Abstract

The arrangements for protection against the phenomena of floods which manifest themselves in a catastrophic manner, their sizing, the safety and proper operation of hydraulic structures are always linked to a sound assessment not only of the average available flows but above all of the flows extremes. As a result, we have reconstructed the flood flows for various return periods in the watershed of the Saida Wadi from the observed precipitation, using the empirical formulas of Turazza and Sokolovski and Giandotti. The application of these empirical formulas is based on the morphometric study of the watershed which shows that the basin of the Oued saida is of moderately elongated type. With a concentration time of 5.13 hours, and on the statistical study of the rains, the choice of the law is made first by a graphic adjustment using the Hydrognomon software then we calculated the short-term rains and realized the IDF curves. From the results obtained we concluded that the Sokolovsky method is the most optimal for the determination of the maximum flows for the Oued SAIDA basin, we retain a design flow $Q(100)$ of 119.90 m³ / s at the outlet level. ; and a flood volume of 1398.83 Hm³

Keywords: floods; extreme flow rates, empirical formulas, IDF curves,

Sommaire:

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale

Chapitre I : Considération Générale

I. Cadre générale	2
1. Situation géographique	2
II. La présentation de la zone d'étude	8
1. Définition bassin versant	3
2. Présentation du Bassin versant de l'Oued Saïda	3
3. La topographie du bassin Oued Saïda	4
4. Cadre géologique.....	5
▪ Le climat du bassin versant de l'oued Saïda	5
III. Caractéristiques morphométrique du bassin versant	6
1. Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Saïda	7
▪ La surface Le périmètre.....	7
2. Caractéristiques de formes	7
▪ Coefficient de compacité de Gravelius	7
3. Rectangle équivalent	8
4. Caractéristiques du relief	9
▪ La courbe hypsométrique	10
▪ Altitudes caractéristiques.....	10
5. Indices de pente	10
▪ Indice de pente globale I_g	11

▪ Pente de roche	12
▪ Pente moyenne.....	12
IV. Réseau hydrographique.....	14
1. Hiérarchisation du réseau	14
2. Densité de drainage Dd	14
3. Fréquence des cours d'eau (F)	16
4. Temps de concentration.....	16
Conclusion.....	18

Chapitre II : Etude climatologique et Analyse statistique des

I. Etude climatologique	20
1. Introduction	20
2. Etude des précipitations.....	20
3. Vents.....	21
4. L'humidité.....	22
5. Températures.....	23
6. Évaporation	24
7. Classification et paramètres climatique	25
i. Méthode pluviométrique	25
ii. Indices de De Martonne	25
iii. Déficit d'écoulement.....	25
a. Méthode de TURC	26
b. Méthode de COUTAGNE	26
c. Méthode de P. VERDEIL	27
d. Méthode de WUNDT	27

e.	Méthode de THORNTHWAITE	27
•	Evapotranspiration potentielle	27
•	Evapotranspiration réelle (E.T.R.)	28
8.	Discussion des résultats	29
II.	Ajustement des pluies maximales journalières	31
1.	Présentation du logiciel utilisé dans cette étude.....	31
	Ajustement échantillon de lois à un de pluie	31
i.	Choix de la loi d'ajustement	31
➤	Loi de Gumbel	32
➤	Loi de GALTON	32
➤	Lois exponentiel	33
➤	Loi Log normal	33
➤	loi GEV MAX	34
2.	Analyse des graphes (méthode visuelle)	33
3.	Analyse des critères statistiques (méthode numérique)	34
a.	Calcul de la pluie maximale journalière fréquentielle.....	35
b.	Calcul de la quantité de pluie maximale durant le temps de concentration (Tc)	36
c.	Les courbes IDF	36
d.	Pluies de courte durée et intensité	37
	Conclusion	40

Chapitre III : Les prédéterminations de Crues

I. Généralités au des crues	42
1. Introduction	42
2. Définitions crue	43
3. D'origines des crues	43
a. Evènement hydro météorologique	43
▪ La pluviométrie.....	43
▪ Fontes de neiges	43
▪ Embâcle ou débâcle de glace	44
▪ Autres causes	44
4. Le processus de formation des crues	44
5. Type des crues	45
a. Les crues fluviales	45
b. Les crues torrentielles ou rapides	45
6. Caractéristiques des crues	46
a. La hauteur de crue	46
b. Le débit de pointe de la crue	46
c. Volume de la crue	47
d. Durées relatives à un seul événement de crue	47
e. La fréquence d'apparition d'une crue et la notion de temps de retour	47
f. Période de retour de crues	48
7. Eléments descriptifs d'une crue	48
8. Estimation du débit maximum d'une crue	49

a.	Méthodes basées sur l'historique des crues	49
b.	Les méthodes probabilistes	49
II.	Les méthodes empiriques utilisées	50
a.	Débits maximums fréquentiels	50
▪	La formule TURAZZA	50
▪	Formule de Giandotti	51
▪	La méthode de SOKOLOVSKY.....	52
III.	L'hydrogramme de crue.....	54
a.	Cette méthode assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques	54
b.	Débits des crues.....	55
c.	Débits des décrues	55
d.	Calcul de volume de la crue.....	57
	CONCLUSION.....	58

Liste des figures :

Figure.1 : Localisation de la wilaya de Saida	2
Figure.2 : localisation de bassin versant Oued Saïda.....	4
Figure.3 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Saida	6
Figure.4 : Représentation schématique du rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Saida	8
Figure.5 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Saïda.....	10
Figure.6 : Représentation graphiques des précipitations moyennes mensuelles.....	21
Figure.7 : Fréquences des vents.....	22
Figure.8 : Représentation graphique d'Humidité moyenne.....	22
Figure.9 : Représentation graphiques des températures min, max et moyenne.....	23
Figure.10 : Le diagramme pluviométrique	25
Figure.11 : Abaque de WUNDT	28
Figure.12 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi de GumBel	32
Figure.13 :justement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi de GALTON	32
Figure.14 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi exponentiel	33
Figure.15 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi Log normal	33
Figure.16 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières loi GEV MAX.....	34
Figure.17 : Ajustement à une loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1977-2012).....	36

Figure.18: courbes d'intensités déferents périodes.....	39
Figure.19: courbes PTC déferentes périodes.....	40
Figure.20: Schématisation de processus de genèse des crues.....	45
Figure.21: éléments de l'hydrogramme de crue.....	49
Figure.22: Barres des débits maximum pour les trois méthodes.....	53
Figure.23: hydrogramme de crue.....	56

Liste des Tableaux :

Tableau.01 : Répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.....	9
Tableau.02 : Répartition des altitudes	11
Tableau.03 : les donnés de la station	12
Tableau 04: Les caractéristiques de les quatres sous-bassin.....	13
Tableau .05 Représentation du nombre de Talwegs (<i>K. Habib, 1991</i>).....	14
Tableau.06 : Les résultats de la densité drainage de les quatres sous-bassin.....	15
Tableau. 07: Fréquence des cours d'eau.....	17
Tableau. 08: Les principaux paramètres.....	18
Tableau. 09: les donnés de la station	20
Tableau. 10: précipitation moyenne mensuelle.....	20
Tableau. 11: fréquence de vent	21
Tableau. 12: Humidité moyenne	22
Tableau. 13: les températures min, max et moyenne.....	23
Tableau. 14: Valeurs d'évaporation moyenne	24
Tableau. 15: Températures et précipitations moyennes mensuelles.	24
Tableau. 16: Indice d'aridité mensuel à la station de Saida.....	25
Tableau. 17: Evapotranspiration réelle d'après TURC	25
Tableau. 18: Valeurs de l'ETP à la station de Saida (1983/2012).....	29
Tableau. 19: Le bilan de THORNTHWAITE.....	30
Tableau. 20: Résultats de l'E.T.R. d'après les différentes méthodes.....	30
Tableau. 21: Les valeurs observés (résultats numérique)	35
Tableau. 22: Pluie maximales fréquentielles.....	37
Tableau.23: pluie maximale pendant le temps de concentration.....	37
Tableau. 24: Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour.....	39
Tableau. 25: Intensité de pluies pour une durée égale à Tc	51
Tableau. 26: les valeurs de coefficient de ruissellement.....	51
Tableau. 27: Débits maximums pour différentes périodes de retour Méthode de Turazza.....	51

Tableau. 28: Débits maximums pour différentes périodes de retour Méthode de Giandotti.....	52
Tableau. 29: Débits maximums pour différentes périodes de retour Méthode de Sokolovsky.....	52
Tableau. 30: Débits maximums pour les trois formules.....	53
Tableau. 31: résultats débits des crues pour différentes période de retour	55
Tableau. 32: résultats débits des décrues pour différentes période de retour	55
Tableau. 33: Calcul de volume de crue pour différentes périodes.....	57

INTRODUCTION GENERALE:

L'Algérie est connue par son climat aride et semi aride, la région est sujette aux changements climatiques, caractérisé par une forte variabilité saisonnière des précipitations et donc des eaux de ruissellement concentrées en période hivernale.

Parmi les phénomènes enregistrés dans des études climatologiques, on compte un accroissement de la fréquence des pluies torrentielles qui ont entraînés des crues et qui figurant parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus dévastatrices en Algérie, touchant plusieurs régions, atteignant parfois l'ampleur d'une catastrophe. Ces phénomènes provoquent des catastrophes plus destructrices et occasionnent d'importants dégâts humains et matériels.

De nombreuses recherches se sont donc attachées, depuis plus d'un siècle, à essayer de comprendre les processus de génération des débits et le fonctionnement du bassin versant qui représente l'entité hydrologique de production et de concentration des écoulements.

Chow *et d'autres*, (1988) déclare que l'hydrologie est un sujet de grande importance pour la santé humaine et l'environnement, qui traite toutes les phases de l'eau terrestre.

L'hydrologie de surface C'est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface.

Ces problèmes se ramènent généralement à des prévisions (associer à une date une certaine grandeur) ou des prédéterminations (associer à une grandeur une certaine probabilité) de débits ou de volume en un point ou sur une surface.

L'hydrologue aura alors pour travail d'estimer des valeurs du débit d'un cours d'eau, ou parfois les valeurs des crues, pour différentes périodes de retour. .

L'estimation de débit de crue d'un cours d'eau a toujours été un problème central en hydrologie et demeure à ce jour.

Dans les régions arides, l'étude des débits de crues est de très grande importance.

Le but de cette étude est de présenter une synthèse bibliographique consistant sur la problématique des crues, avec utilisation des formules empiriques pour la prévision des crues sur le bassin versant Oued SAIDA.

➤ **Ce travail sera articulé en trois parties :**

Le premier chapitre, traite la considération générale de la zone étudiée et les caractéristiques morphométriques du bassin versant. Le deuxième chapitre concerne l'étude climatologique et l'analyse statistique des pluies et la troisième partie traite la définition des crues, les caractéristiques des inondations et la problématique des crues et inondations en Algérie, et consacre à la prédétermination des crues.

CHAPITRE I

CONSIDÉRATION GÉNÉRALES ET DANS LA ZONE ÉTUDIÉE

I. Cadre générale :

▪ Situation géographique :

La Wilaya de Saida occupe une position centrale dans l'Ouest de l'Algérie, elle est limitée :

- A du Nord, par la wilaya de Mascara.
- Au Sud, par la wilaya d'El Bayadh.
- A l'Ouest par la wilaya de Sidi Bel Abbés.
- A l'Est, par la wilaya de Tiaret.

Saida est le chef-lieu est située presque au milieu de la wilaya de 330 641 habitants (Recensement général de la population et de l'Habitat, RGPH 2008) Saida est constituée de six daïras et de seize communes, qualifiée et d'une superficie de 6631 km². Elle surnommée la ville des eaux, a cause de ses sources.

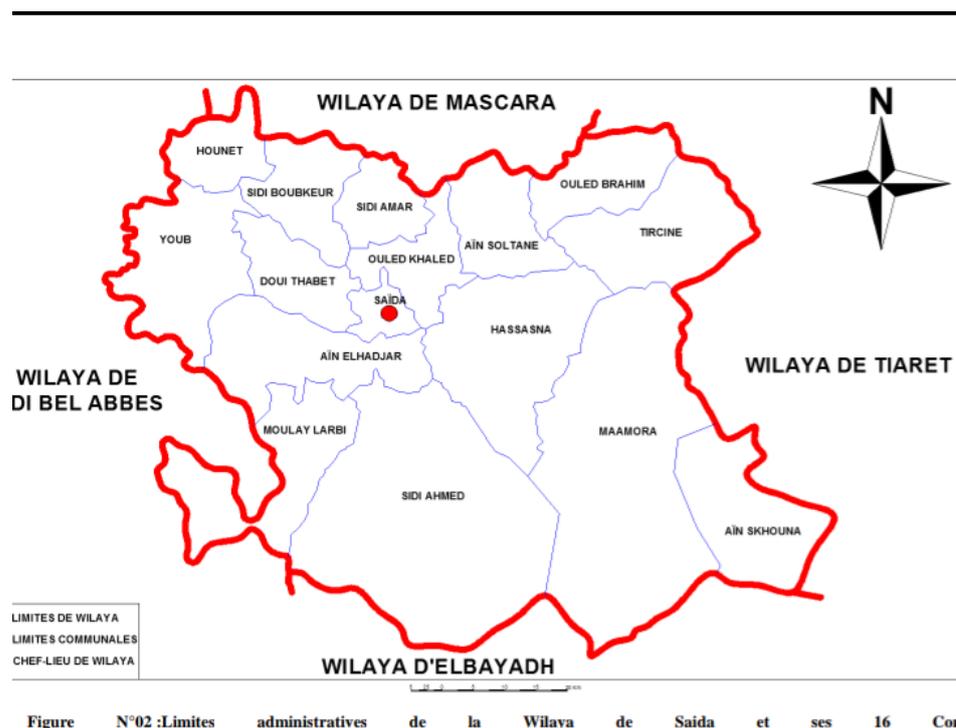


Fig. N° 01 Localisation de la Wilaya de Saida.

II. La présentation de la zone d'étude :

▪ Définition bassin versant :

En tout point d'un cours d'eau, nous serons amenés à définir son bassin versant et à caractériser son comportement Hydrologique.

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section.

Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section Considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions.

▪ Bassin versant topographique :

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de
L'eau ne sera déterminée que par la topographie. Le bassin
Versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes
De plus grande pente.

▪ Bassin versant hydrogéologique :

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à
l'intérieur du bassin
Topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux
entrent souterrainement dans le bassin).

▪ Présentation du Bassin versant de l'Oued Saïda :

Le bassin versant de l'oued Saida fait partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au nord-ouest de l'Algérie, dans les derniers contreforts tabulaires du versant sud de l'Atlas Tellien qui formé par les monts de Tlemcen, de Daya et de Saida, au seuil des hautes plaines steppiques.

Il est situé entre l'extrémité des monts de Daya au nord et la région des hauts plateaux au sud. L'altitude des crêtes du bassin varie entre 1150m et 520m, culminant à plus de 1238m au Djebel d'El-Hassa au Sud-ouest de Saida. Il est limité à l'est par les sous-bassins de l'Oued Hounet et Berbour, au Nord par le sous-bassin de Fergoug est à l'ouest par le sous-bassin de l'Oued Taria.

Le bassin versant occupe la partie sud-est de la Macta, sa structure est celle d'une vallée entaillée du Sud au Nord (Figure 02).

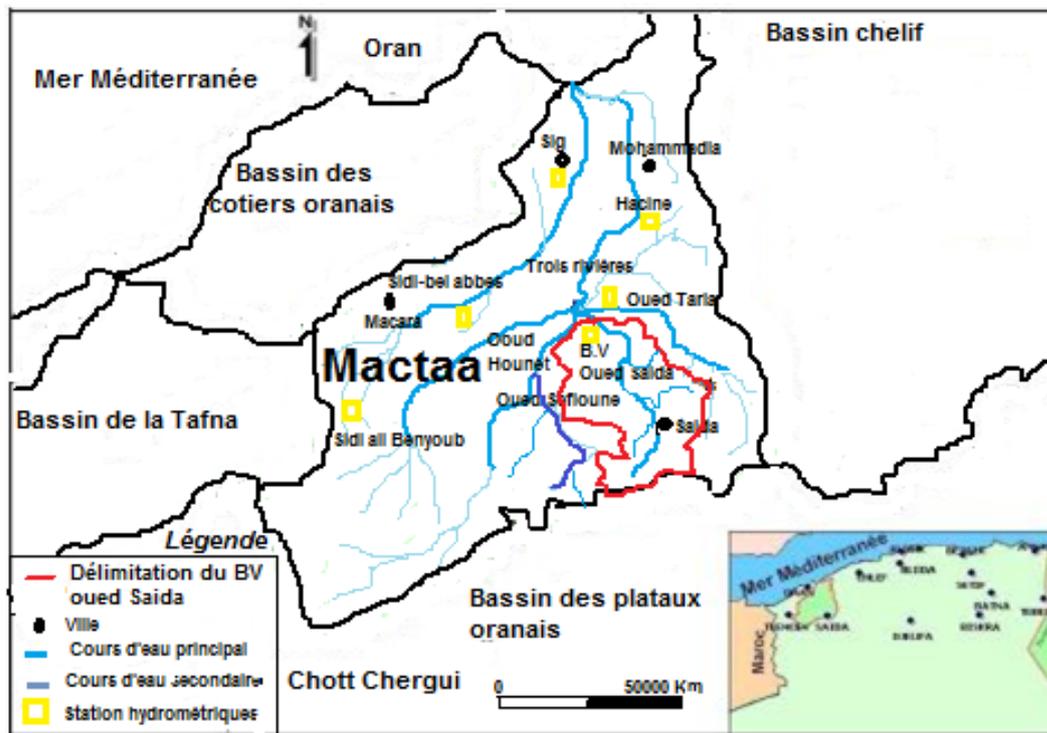


Fig. N° 02: localisation de bassin versant Oued Saïda.

▪ La topographie du bassin Oued Saïda :

La topographie est marquée par une dénivelée assez importante présentant un relief accidenté dominé par des pentes allant jusqu'à 25% sur la partie amont du bassin, tandis que les pentes inférieures à 3 % correspondent aux plaines situées à l'aval du bassin.

Le réseau hydrographique présente un chevelu bien hiérarchisé, de faible densité mais assez ramifié. Le bassin est caractérisé par différents types de sols décrits et répertoriés par l'étude de pédologie effectuée par la (DSA, 2010).

Le bassin versant est essentiellement rural avec un mélange de terre arable et pastorale, où l'agriculture est pratiquée dans les basses terres région de Sidi Khaled et les pâturages des moutons dans les hautes terres région d'Ain el Hadjar.

Les potentialités forestières sont importantes, cependant la majorité de ces formations sont à l'état de maquis, donc dégradées, qu'il conviendrait de densifier et d'aménager afin de renforcer la stabilité physique du bassin.

Les végétations steppiques très dégradées en association avec des groupements d'Alfa sont des parcours dégradés à très dégradés où l'homme a sérieusement endommagé la nature en faisant disparaître toute végétation naturelle de type arborescent, arbustif et même buissonneux

▪ **Cadre géologique :**

Le plateau de Saida qui fait partie des Monts de Daïa et de Saida, est constitué essentiellement de terrains jurassiques.

Quelques terrains primaires ainsi que des terrains éruptifs apparaissent dans la région de Tifrit– Balloul, limitant ainsi le bassin versant de l'oued Saïda dans la partie est.

Dans les dépressions ainsi que la vallée et le lit de l'oued, on trouve des terrains d'origine continentale (fluviale et éolienne) d'âge tertiaire souvent Indifférencié : (Mio-Pliocène) et Quaternaire.

Le faciès continental est également caractérisé par la présence de Tufs et travertins calcaires plus ou moins récents et correspondants à d'anciens griffons de sources.

Le bassin est formé d'un plateau pourvu de deux axes principaux tectoniques riches en failles formant un plexus au centre, dont la lithologie est composée de calcaires dolomitiques et d'argiles gréseuses qui affleurent de l'est à l'ouest de Saida.

Ces terrains présentent une très grande sensibilité à l'érosion hydrique et participent pour beaucoup à la production des sédiments à l'aval et couvrent pratiquement 60% de la surface du bassin.

▪ **Le climat du bassin versant de l'oued Saida :**

Le climat est de type semi-aride et caractérisé durant l'année par deux grandes saisons, qui partagent le cycle climatique en deux grandes périodes.

Un semestre très froid s'étend de novembre à avril, dont la température minimale avoisine les 2 °C et un semestre sec et chaud avec une Température maximale estimée à 37°C. Durant la période hivernale, les températures saisonnières s'abaissent.

III. Caractéristiques morphométrique du bassin versant :

Le bassin versant topographique de l'Oued Saïda présente une superficie de 517,8 km² pour un périmètre de 104 Km, la structure est celle d'une vallée entaillée du Sud au Nord.

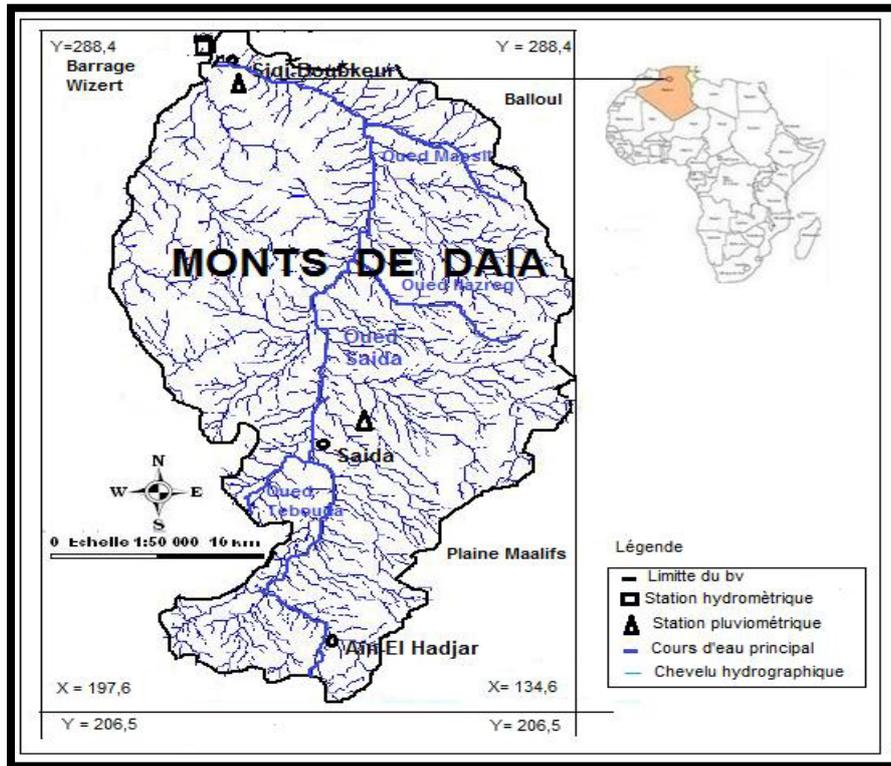


Fig.N° 03 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Saïda.

L'Oued Saïda prend naissance au niveau des massifs calcaires des monts de daïa à une altitude de 1150m, le long de son parcours reçoit plusieurs influents dont les plus importants nous avons subdivisé le bassin en quatre sous- bassin qui sont du Sud au Nord :

- sous-bassin de Tebouda .
- sous-bassin d' Aïn Nazreg .
- sous-bassin de Massil .
- sous-bassin de Saida .

Chaque sou-bassin est drainé par l'Oued lui correspondant :

- L'identification des caractéristiques morphométrique est nécessaire pour déterminer et analyser le comportement hydrologique d'un bassin versant (lame d'eau précipitée, débit).

- Leurs variations ont une influence sur le comportement hydrologique de bassin versant et leurs analyses permettent une meilleure compréhension des causes des variations des régimes hydrologiques.

1. Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Saïda :

■ La surface et le périmètre :

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. La surface A d'un bassin s'exprime généralement en km². A : surface du bassin versant = **517,8 km²** .Périmètre du bassin versant = **104 km**.

2. Caractéristiques de formes :

■ Coefficient de compacité de Gravelius :

La nature de la forme d'un bassin versant, influence sur l'écoulement et détermine l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée, cette caractéristique est donnée par l'indice de Gravelius (1914) appelé aussi le coefficient de compacité, il est défini par le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface :

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}} = 0,28\frac{P}{\sqrt{A}} = \mathbf{1.28}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant = 104 km.

A : surface du bassin versant = 517,8 km²

On obtient : **KG** = (KG > 1)

D'après cette valeur de KG, on peut dire que notre bassin est de forme allongée.

3. Rectangle équivalent :

C'est un modèle établi par ROCHE, il est défini comme un rectangle de longueur L et de largeur l qui a la même surface et le même périmètre que le bassin

$$\mathbf{L = KC \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KG} \right)^2} \right]} \dots\dots\dots \mathbf{(2-a)}$$

L'application de la relation (2-a) donne : L = 32,10 km Du moment où la surface de ce rectangle est obtenue par l'application de la formule (2-b) :

$$A = L * l \dots\dots\dots (2-b)$$

Avec :

L : longueur du rectangle (km),

l : largeur du rectangle (km),

KG : coefficient de Gravelius,

A : aire du bassin versant (km²)

D'après la relation (2-b), la largeur est calculé par la relation ((2-c)

$$l = \frac{A}{L} \dots\dots\dots (2-c)$$

Où : L = 32,10 Km

A = 517,8 km²

l = 16,10 Km

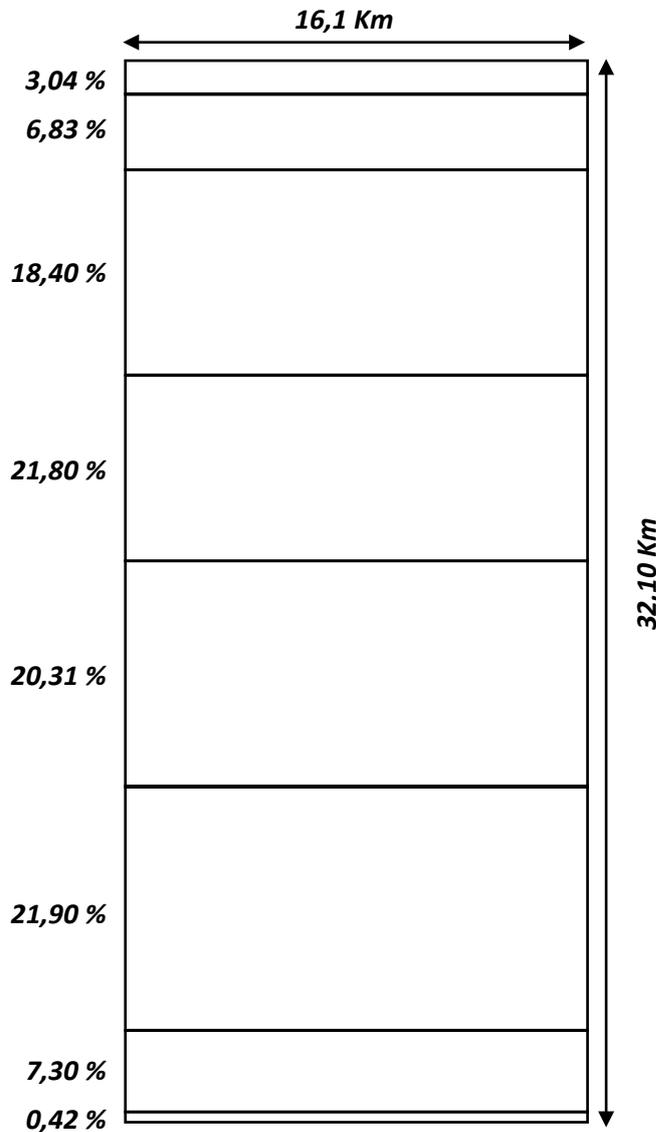


Fig.N 04 : Représentation schématique du rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued Saida .

4. Caractéristiques du relief :

▪ Répartition des surfaces en fonction des altitudes :

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation.

Le but recherché ici, est la détermination de la classe de relief, la hauteur moyenne et le pourcentage des aires partielles entre les différentes courbes de niveau.

Le tableau N° .01, montre graphiquement, les tranches appartenant à la surface du bassin versant. Fig.05.

i. La courbe hypsométrique :

Est l'un des paramètres les plus essentiels dans l'étude de relief fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Tranches d'altitudes (m)	Surface Km2	Pourcentage de la surface du bassin %	Pourcentage cumulé de la surface du bassin %
520-550	15,75	3,04	,04
550-650	35,37	6,83	9,87
650-750	95,10	18,40	28,27
750-850	112,8	21,80	50,07
850-950	105,17	20,31	70,38
950-1050	113,50	21,90	92,28
1050-1150	37,70	7,30	99,58
1150	2,20	0,42	100

Tableau.N°01 : Répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

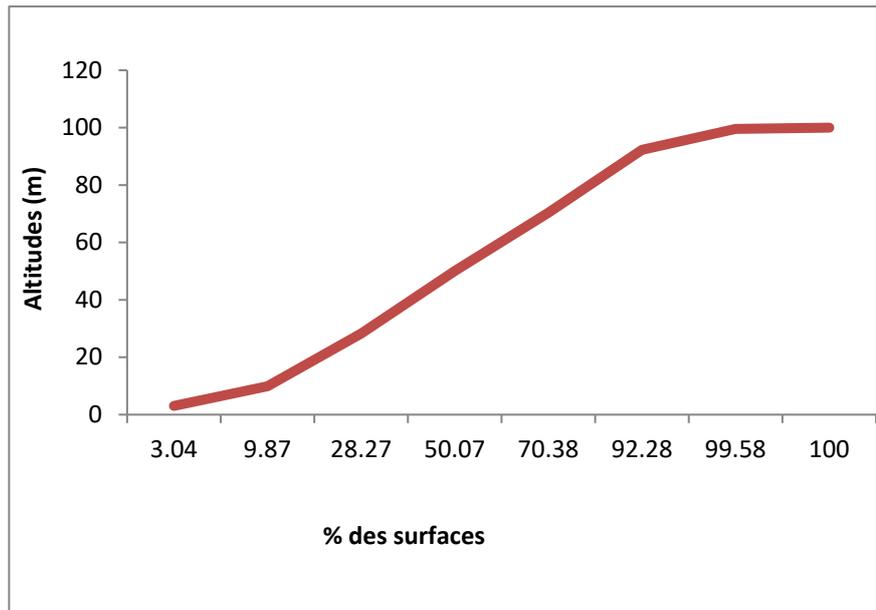


Fig. N° 05 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Saïda.

- Cette courbe hypsométrique, qui représente le pourcentage des surfaces cumulées en fonction des altitudes, présente une concavité vers le bas, cela témoigne d'une faible érosion dans le bassin versant.
- De plus, la courbe montre de pentes faibles sur toute la longueur du bassin versant.

ii. Altitudes caractéristiques :

L'étude statistique permet de tracer la "courbe hypsométrique". Cette courbe donne la surface (en km² ou en % de la surface totale) où les altitudes sont Supérieures à une cote h donnée Cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau Correspondante.

A partir de la courbe hypsométrique, on peut déterminer les altitudes caractéristiques du bassin versant :

- **Altitude maximale** : correspond le point le plus élevé du bassin versant ***Hmax* : 1150 m.**
- **Altitude minimale** : égale au point le plus bas du bassin versant ***Hmin* : 520 m.**
- **Altitude moyenne** : se déduit directement de la courbe hypsométrique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = x = \frac{\sum H_i \times S_i}{A} = 847,07m$$

Avec :

H moy : altitude moyenne du bassin [m],

Si : aire comprise entre deux courbes de niveau [km²],

Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m],

A: superficie totale du bassin versant [km²].

H (m)	535	600	700	800	900	1000	1100	1150
A (km²)	15,75	35,375	95,10	112,80	105,17	113,50	37,70	2,20

Tableau.N°:02 Répartition des altitudes.

5. Indices de pente :

Le but de ces indices est de caractériser les pentes du bassin et de permettre des comparaisons et des classifications. Ils se déterminent à partir de la répartition hypsométrique du bassin.

i. Indice de pente globale I_g :

Pour comprendre et mettre en évidence l'influence du relief sur le ruissèlement à l'intérieur d'un bassin versant, un Indice de pente globale (I_g) a été introduit.

D : dénivelée entre les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin versant

Tirées à partir de la courbe hypsométrique (m),

L : longueur du rectangle équivalent (m) ,

$$I_g = \frac{H_5 - H_{95}}{L} .$$

où :

$H_{5\%}$: l'abscisse à 5% dans la courbe hypsométrique ($H_{5\%} = 1100$) ;

$H_{95\%}$: l'abscisse à 95% dans la courbe hypsométrique ($H_{95\%} = 580$);

I_g : indice de pente global ;

L : longueur du rectangle équivalent.

Après application numérique, on obtient : $I_g = 1,34\%$

Relief très faible	$I_g < 0,002$
Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
Relief très fort	$0,1 < I_g$

✚ Le relief du bassin versant est très fort.

▪ Pente de Roche:

Cet indice sert à déterminer la pente moyenne avec les données du bassin versant. Cet indice tient compte du facteur de ruissellement. Il rend compte de l'influence du facteur pente sur le régime hydrologique du bassin. Il est calculé par la relation

$$I_P = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{B_i (a_i - a_{i-1})}$$

Où :

L : Longueur du rectangle équivalent (m)

B_i : Portion de niveau côtés du bassin compris entre les courbes de niveau côtés a_{i-1} (%) ;

$(a_i - a_{i-1})$: Dénivelée entre deux courbes de niveau voisines (m).

Après application numérique, on obtient : **$I_P = 0,35$**

▪ Pente moyenne :

C'est le rapport entre la dénivelée totale et la longueur du rectangle équivalent

$$I_{\text{moy}} = \frac{D}{L} \quad \mathbf{I_{\text{moy}} = 0,16 \%}$$

Avec

D : Dénivelée totale du rectangle équivalent (Hmax - Hmin) ;

L : Longueur du rectangle équivalent

IV. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux naturels ou artificiels qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. L'étude du chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux, il suffit, dans la plupart des cas, de se fixer une définition du thalweg élémentaire et de l'appliquer pour l'étude de tous les bassins.

Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

Plusieurs Oueds drainent le bassin de l'Oued Saida. Parmi les plus importants nous distinguons du Sud au Nord (*K. Habib, 1991*).

- L'Oued Tebouda qui prend sa source à Ain Tebouda à environ 3 Km d'Ain El Hadjar.
- L'Oued Saida qui représente le prolongement de l'Oued Tebouda.
- L'Oued Nazereg qui prend sa source à Ain Zarga à l'Est du grand bassin de l'Oued Saida.
- L'Oued Massil qui prend sa source à Ain Mettouia au pied du Djebel Zaiet au Nord-Est du grand bassin.

Le bassin versant que nous étudions peut être subdivisé en quatre sous-bassins correspondant aux Oueds sus-cités. Leurs caractéristiques sont dressés dans le tableau (4)

Sous bassins	L (Km)	Aire (km ²)
Oued Tebouda	240,90	91,16
Oued Saida	622,95	176,35
Oued Nezreg	173,85	63,31
Oued Massil	151,75	35,85

Tableau.N°:04 Les caractéristiques de les quatres sous-bassins .

Le réseau hydrographique de ces quatre sous-bassins a été réalisé d'après la méthode de S. A Schum, qui suppose une classification minimale des talwegs élémentaires de 200 m.. (A.Kefifa et A.Saidi, 1999)

Le tableau N° :05 présente le nombre de Talwegs, par ordre, correspondant à chaque Oued du grand bassin.

Oued Tebouda	Ordre	1	2	3	4	5		
	Nombre de thalweg	149	67	49	26	01		
Oued Saida	Ordre	1	2	3	4	5	6	7
	Nombre de thalweg	385	220	182	142	75	37	01
Oued Nerzeg	Ordre	1	2	3	4	5	6	
	Nombre de thalweg	257	72	16	02	01		
Oued Massil	Ordre	1	2	3	4	5	6	

	Nombre de Thalweg	108	68	45	17	11	01	
--	-------------------	-----	----	----	----	----	----	--

Tableau.N° :05 : Représentation du nombre de Talwegs (K. Habib, 1991).

1. Hiérarchisation du réseau :

La classification topologique du réseau hydrographique est basée sur une méthode proposée par HORTON en 1945 puis modifiée par STRAHLER en 1947.

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau comme se suit :

- tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- au confluent de deux cours d'eau de même ordre n , le cours d'eau résultant est d'ordre $n + 1$,
- un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par :
 $n + n = n + 1$ et $n + m = \max (n,m)$

2. Densité de drainage D_d :

C'est le paramètre le plus important qui caractérise le chevelu hydrographique, il correspond au rapport entre la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin.

$$D_d = \sum \frac{L_x}{A} .$$

Où :

D_d : Densité de drainage en Km/Km^2 ;

L_x : Longueur du thalweg en Km ;

A : Aire du bassin en Km^2 .

- Les résultats obtenus après application de la relation (II-10) sont dressés dans le tableau (6) :

Sous bassins	L (Km)	Aire (km ²)	Densité (km/km ²)
Oued Tebouda	240,90	91,16	2,64
Oued Saida	622,95	176,35	3,53
Oued Nezreg	173,85	63,31	2,75
Oued Massil	151,75	35,85	4,23

Tableau.N° 06 : Les résultats de la densité drainage de les quatres sous-bassin.

- La moyenne de la densité du bassin étudié est de **3.29 Km/Km²**.

3. Fréquence des cours d'eau (F) :

Elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface, elle est calculée par la relation suivante :

$$F_s = \frac{N}{A}$$

Où :

F_s : Fréquence des cours d'eau ;

N : Nombre de thalweg ;

A : Surface du bassin km².

4. Temps de concentration :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant se définit comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du

bassin et l'exutoire de ce dernier. Les méthodes et les formules utilisées reflètent un caractère régional, traduit par des paramètres propres à la région dans laquelle sont développées ces formules. Normalement on donne la priorité à celle qui nous semble applicable, élaborées dans les conditions physico analogues à celles de la partie Nord de l'Algérie. L'estimation du temps de concentration est obtenue grâce à des formules empiriques suivantes :

C'est le temps que met la particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour arriver à l'exutoire, il se calcule par la formule de GIONDOTTI.

- **Formule de Giandotti :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_{moy_Hmin}}} = 6,93 \text{ h}$$

- ✚ **Les résultats obtenus :**

Sous bassin	Nombre de thalweg	Aire de sous bassin (km ²)	Fréquence des cours d'eau	Temps de cocentration
Oued Tebouda	292	94,16	3,1	4,33
Oued Saïda	104	176,35	0,59	5,04
Oued Nazreg	348	67,34	5,17	4,03
Oued Massil	250	35,84	6.96	7,11

Tableau.N° 07 : Fréquence des cours d'eau.

- ✚ **La moyenne de temps concentration : 5,13**

Les 3 Km de longueur de thalweg par le Km (densité de drainage) sont repartis sur une moyenne de 3.96 cours d'eau par le Km (Fréquence des cours d'eau). Ce qui montre que le chevelu est moins dense mais assez ramifié

Conclusion :

L'étude morphométrique du bassin versant de l'oued Saida nous a permis de voir certaines caractéristiques de la région, qui avec une superficie totale de 517,8 Km² et un périmètre du bassin de 104 km. Aussi, avec un coefficient de compacité $KG= 1,28$. le bassin versant de l'oued Saida est de type modérément allongé.

Cette valeur a une influence sur le temps de concentration. Selon l'indice de pente globale, le bassin versant se caractérise par un relief assez fort.

La topographie est marquée par une altitude maximale de 1150 m et une altitude minimale de 520 m ce qui génère un ruissellement important.

On peut conclure que Les principaux paramètres qui caractérisent l'oued Saida sont résumés dans le tableau :

Paramètres	Résultats	Unité
La surface S	517,8	Km ²
Le périmètre P	104	km
Le coefficient de compacité K_c	1,28	-
La longueur L	32,10	Km
La largeur l	16, 10	Km
L'altitude moyenne H_{moy}	847,07	m
La pente globale I_g	1,34	%
La pente de Roche I_p	0,35	%
Dénivelée totaux D	630	m
La pente moyenne I_{moy}	0,16	%
La densité D_d	3,13	Km/ Km ²
La fréquence F_s	3,96	1/ Km
Le temps de concentration	5,13	

Tableau N° 08 : Les principaux paramètres.

CHAPITRE II

ETUDE CLIMATOLOGIQUE ET ANALYSE STATISTIQUE DES PLUIES

I. Etude climatologique

1. Introduction :

L'étude climatique a pour but d'étudier les paramètres climatiques qui déterminent les changements climatiques.

Pour les besoins de notre étude, nous avons utilisé les données de la station Suivant :

Station	Altitude	Latitude	Longitude
SAIDA	750	34°52' N	00°09' E

Tableau.N°09: les données de la station .

Les précipitations sont des données climatiques très variables dans l'espace et dans le temps. Cependant, ces variations observées dépendent du type de climat. Ce qui caractérise le climat méditerranéen est la grande irrégularité interannuelle des précipitations, appelée parfois infidélité du climat méditerranéen.

Les précipitations sur la région sont très irrégulières, d'après les données pluviométriques mensuelles sur 32 ans d'observation de la période (1977-2013) sont comprises entre 170 et 420 mm. Ces précipitations tombent généralement sous forme de forte averse avec une durée courte.

2. Etude des précipitations :

L'analyse des pluies basée sur les séries pluviométriques au niveau des Stations permettra de déterminer la précipitation moyenne annuelle représentative de la totalité du bassin versant.

Les précipitations et les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans les variations du régime hydrologique.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	mai	Jun	Jul	Aout	ann
Pmoy													
Mm	19,54	38,01	32,86	30,77	34,85	31,43	36,53	32,49	24,3	6,27	2,65	8,95	308,48

Tableau N° 10: précipitation moyenne mensuelles.

Dans le tableau on représente une série pluviométriques durant 32 ans durant cette période la précipitation moyenne maximale a atteint en Octobre 38,01, et le minimale en juillet 2,65 mm.

- On traduit le tableau (les différentes précipitations moyennes mensuelles) dans le graphe suivant :

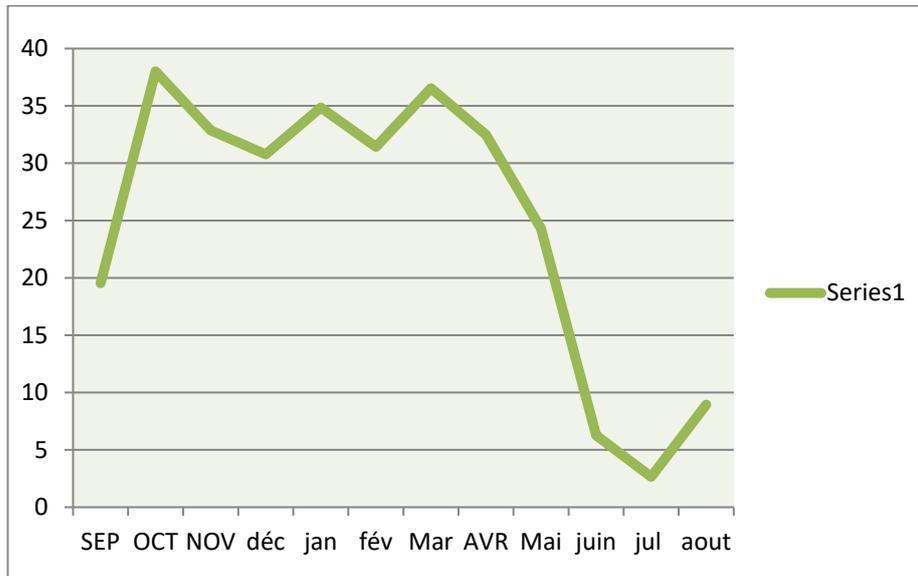


Fig. N° 06: Représentation graphiques des précipitations moyennes mensuelles.

D’après le tableau N° et la figure N°13, la distribution des pluies mensuelles montre en général que les précipitations maximales sont atteintes au mois d’Octobre (de 38 mm) alors que les minimales sont observées au mois de juillet (2mm).

3. Vents

Comme toutes les régions de l’Ouest de l’Algérie en Général et les hauts plateaux en particulier, SAIDA est une région ventée surtout pendant la saison hivernale, durant laquelle les vents dominants sont ceux qui soufflent du Nord et Nord-Ouest

Direction	Nord	Nord Est	Est	Sud Est	Sud	Sud Ouest	Ouest	Nord ouest
Fréquence%	14,7	2,2	1,4	2,9	10,6	3,2	7,2	8,9

Tableau .N° 11: fréquence de vent.

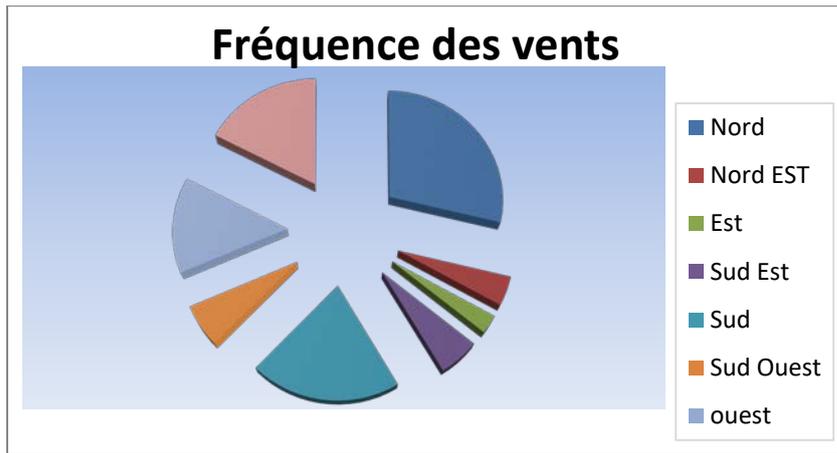


Fig.N° 07 : Fréquences des vents.

La période printanière et d’été, ces types de vents ne sont pas défavorables, contrairement au Siroco qui souffle du Sud, chargé de poussières et qui provoque des dégâts considérables sur les rendements des cultures

4. L’humidité :

Dans la région étudiée, le mois le plus humide est généralement élevée en début d’hiver et au printemps, elle oscille entre 39 % et 71 % (tableau et fig.).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
Humidité Moyenne	53	60	67	71	69	67	64	61	58	47	39	41

Tableau.N°12 : Humidité moyenne.

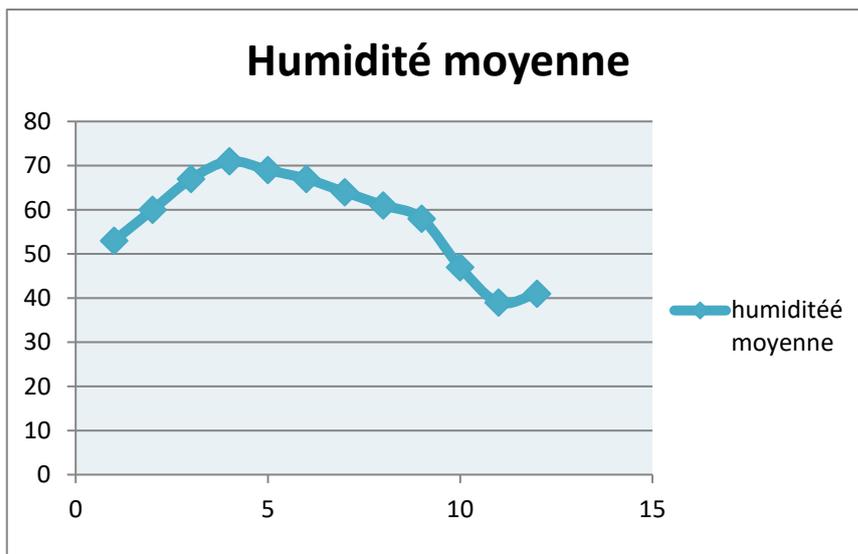


Fig.N°08 : Représentation graphique d’Humidité moyenne.

5. Températures :

La région de Saida se caractérise principalement par deux périodes bien Distinctes (tableau 13- Fig.09) :

- Une période froide et humide durant laquelle la température moyenne est de 8,5°C et une humidité relative moyenne de 69 % (tableau).
- Une seconde période chaude et sèche avec une température moyenne De 27,5°C et une humidité relative moyenne de 41 %.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	An
T min	15	12	7	4	3	3	5	7	10	15	18	19	9
T max	30	25	18	15	14	15	18	21	26	32	36	36	23,83
T moy	22,5	18,5	12,5	9,5	8,5	9	11,5	14	18	23,5	27	27,5	16,83

Tableau.N° 13:les températures min, max et moyenne.

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier.

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elles qui nous permettent d'évaluer les déficits d'écoulement des bassins versants.

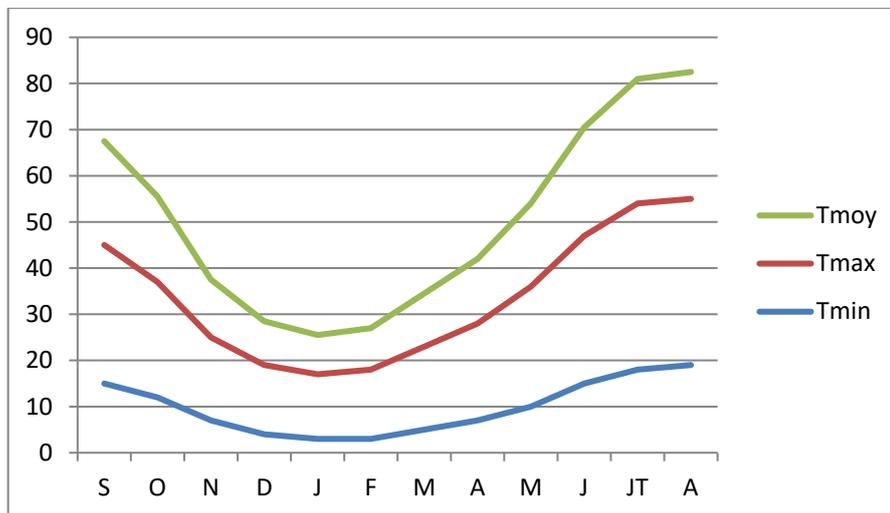


Fig. N° 09 : Représentation graphiques des températures min, max et moyenne.

D’après la figure N° 09 et le tableau N° 13, l’un des points essentiels qu’il faut retenir c’est la division de l’année en deux saisons thermiques :

- La saison chaude de mai à octobre, mais pendant les quels les températures moyenne sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 16,83°C avec un maximum en juillet ou aout, qui atteint la valeur de 36°C.
- La saison froide correspond à novembre à avril avec un minimum en janvier de 8,5°C.

6. Évaporation :

C’est un phénomène physique qui se caractérise par la transpiration de l’eau en vapeur. L’évaporation annuelle E_v de la région est égale à : $E_v = 2631 \text{ mm/an}$.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne annuel
Evaporation moyen	118	117	156	175	226	315	416	392	270	203	135	108	2631

Tableau.N° 14: Valeurs d’évaporation moyenne.

7. Classification et paramètres climatiques :

i. Méthode pluviométrique :

D’abord, déterminer le type de climat de notre région, on a utilisé différentes méthodes qui sont les pour suivantes :

Selon GAUSSEN et BAGNOULS, un mois est dit sec, si le total des précipitations moyennes est inférieur ou égale double au double de la température moyenne ($P \leq 2T$)

Cette relation permet d’établir des diagrammes pluviométriques sur lesquels la température est portée sur une échelle de celle des précipitations.

- Pour un mois sec, la courbe des températures passe au dessus de la courbe des précipitations.
- Pour un mois humide, la courbe des précipitations passe au dessous de celle de températures.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
P moy	19,54	38,01	32,86	30,77	34,85	31,43	36,53	32,49	24,3	6,27	2,65	8,95
T moy	22,5	18,5	12,5	9,5	8,5	9	11,5	14	18	23,5	27	27,5

Tableau.N° 15: Températures et précipitations moyennes mensuelles.

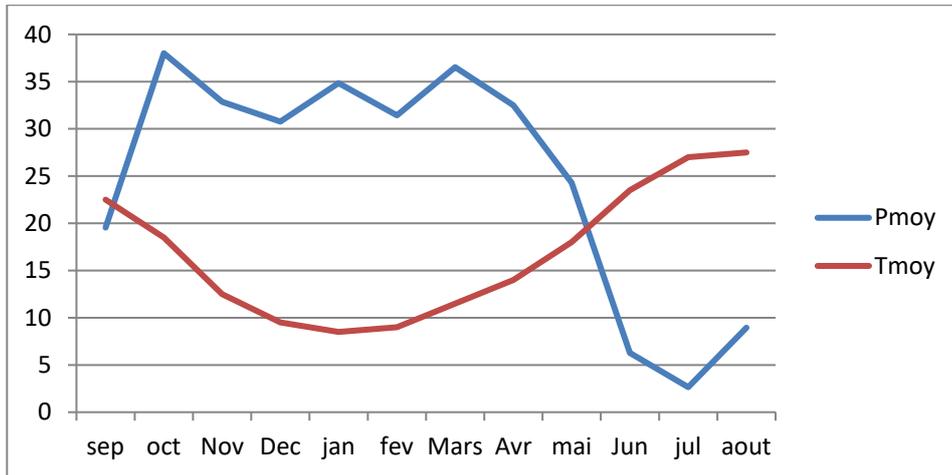


Fig.N° 10 : Le diagramme pluviométrique .

ii. Indices de De Martonne :

L'indice d'aridité de De Martonne (**I=12,84**) témoigne d'un climat semi-aride avec une variabilité mensuelle telle que rapportée dans le tableau 09.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
i	7,31	17,73	23,57	20,43	27,24	22,04	20,43	19,15	13,46	3,15	1,14	3,10

Tableau.N°16 : Indice d'aridité mensuel à la station de Saida.

indices	Climat
$I < 5$	climat hyper-arides
$5 < I < 10$	climat désertique
$10 < I < 20$	climat semi-aride,
$20 < I < 30$	climat tempéré

- Alors saida a une climat semi-aride.

iii. Déficit d'écoulement:

Facteur fondamental du bilan hydrique, il est représenté essentiellement par L'évapotranspiration définie comme étant la quantité d'eau évaporée (du sol et de la Surface d'eau libre) et transpirée par les plantes.

Le calcul de l'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement peut être Effectué par diverses méthodes :

a. Méthode de TURC :

L'évapotranspiration réelle est calculée à partir de la formule suivante :

Avec :

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

P = Précipitations moyennes annuelles (mm).

T = Température moyenne annuelle (°C).

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

Nous obtenons les résultats suivants :

	P mm	T (C°)	E .T.R mm	E .T.R Précipitation
Station de Saïda	<344,5	16,83	339,40	98,52

Tableau.N°18: Evapotranspiration réelle d'après TURC.

b. Méthode de COUTAGNE :

Le déficit d'écoulement est calculé à partir de la relation :

$$D = P - \lambda P^2$$

P : précipitations moyennes annuelles (m/an).

T : température moyenne annuelle (°C).

Le paramètre λ a pour expression :

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

Cette formule n'est applicable que pour :

$$1/8 \lambda \leq P \leq 1/2 \lambda$$

On a:

$$\lambda = 0,317$$

$$1/8\lambda = 0,394$$

$$1/2\lambda = 1577 :$$

Pour la station de Saida la méthode n'est pas applicable car $P < 1/8\lambda$ donc le déficit D'écoulement est égal aux précipitations.

c. Méthode de P. VERDEIL :

Le report des précipitations annuelles sur l'abaque représentatif du phénomène En Algérie donne les valeurs suivantes : **D = 320 mm** soit 93 % des Précipitations et un écoulement de **24,5 mm** (ruissellement + infiltration).

d. Méthode de WUNDT :

WUNDT a établi un abaque permettant d'obtenir une valeur du déficit D'écoulement en fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations. Son application nous a donné un déficit de **330 mm/an** soit 96 % des Précipitations.

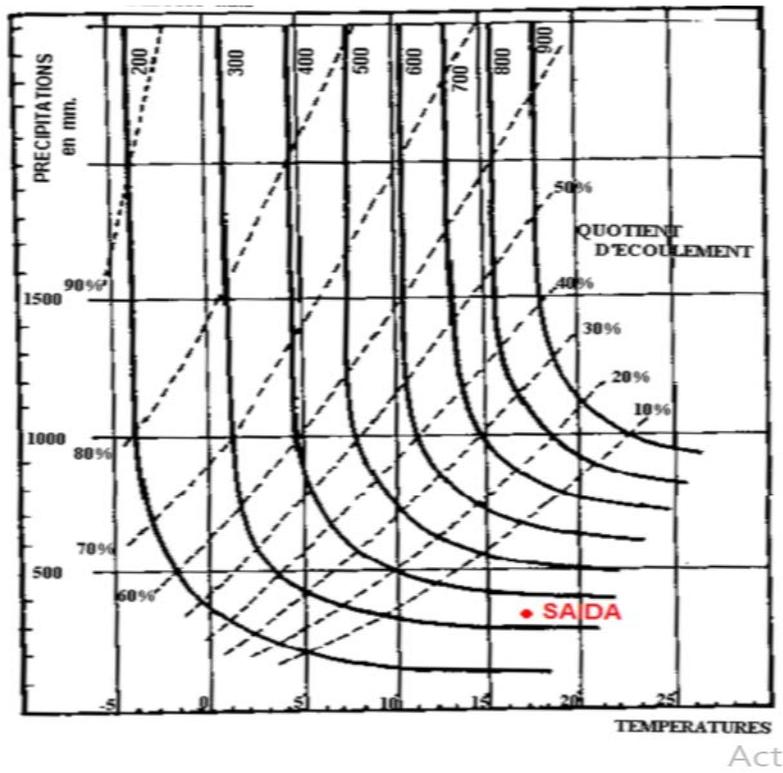


Fig. N°11: Abaque de WUNDT .

e. Méthode de THORNTHWAITE :

• Evapotranspiration potentielle :

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) relatives aux 12 mois de l'année sont consignées au tableau suivant :

	T °C	I	E .T.P non corrigées cm	Coefficient de correction	E .T .P. corrigées cm
Septembre	22,5	9 ,75	10,02	1,03	10,32
Octobre	18 ,5	7,25	7 ,08	0,97	6,87
Novembre	12,5	4 ,00	3,53	0,87	3,07
Décembre	9,5	2,64	2 ,17	0 ,86	1,87
Janvier	8 ,5	2 ,23	1,78	0,88	1,57
Février	9	2,43	1,97	0 ,85	1,68
Mars	11,5	3,53	3,05	1,03	3,14
Avril	14	4 ,75	4,32	1 ,9	4,71
Mai	18	6 ,95	6,74	1 ,2	8,09
Juin	23,5	10 ,41	10,82	1 ,2	12 ,99
Juillet	27	12,85	13,85	1,22	16,89
Aout	27,5	13,21	14 ,31	1,16	16 ,59
Annuel	16,83	80 ,02			87,79

Tableau.N° 18: Valeurs de l'ETP à la station de Saida (1983/2012).

L'évapotranspiration potentielle ainsi calculée et corrigée par la formule de Thornthwaite donne une valeur de **877,9 mm**, Elle montre un maximum en Juillet et Un minimum en Janvier.

• **Evapotranspiration réelle (E.T.R.) :**

Le bilan de THORNTHWAITE fait intervenir d'une part l'E.T.R. et d'autre part les précipitations.

Pour le calcul de l'E.T.R., deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'E.T.P, l'E.T.R. est égale à l'E.T.P.
- Si les précipitations mensuelles sont inférieures à l'E.T.P, l'E.T.R. sera égale à l'E.T.P. aussi longtemps que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance. Au-delà, il y a déficit.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Annue l
P mm	19,8	42,1	44, 2	33,2	42	34,9	36, 6	38,3	31, 4	8,8	3,5	9,7	344,5
ETP mm	103, 2	68,7	30, 7	18 ,7	15,7	16,8	31, 4	47,1	80 , 9	129, 9	168 ,9	165, 9	877,9
RFU mm	0	0	13, 5	28	54 , 3	72,4	77, 6	68,8	19, 3	0	0	0	
ETR Mm	19,8	42,1	30, 7	18 ,7	15,7	16,8	31, 4	47,1	80, 9	28,1	3,5	9,7	344,5
Déficit agricole mm	83,4	26,6	0	0	0	0	0	0	0	101, 8	165,4	156, 2	533 ,4
Excédent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau.N° 19 : Le bilan de THORNTHWAITE.

RFU = 100 mm

Pour la station de Saida, l'E.T.R. annuelle est de **344,5mm**. Le déficit agricole est de **533,4 mm** allant de Juin à Octobre avec un maximum en Juillet. La réserve utile se constitue de Novembre à Mai. De ce fait aucun excédent n'est dégagé

8. Discussion des résultats :

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle et réelle obtenues par les différentes méthodes sont résumées dans le tableau.

Paramètre	Méthode	Valeur mm	% Précipitation
E .T.P	Thornthwait	877,9	/
E.T .R	Turc	339,40	98,52
	Coutagne	344,5	100
	Wundt	330	96
	Verdeil	320	93
	Thornthwait	344,5	100

Tableau.N° 20 : Résultats de l'E.T.R. d'après les différentes méthodes.

- Les valeurs de l'évapotranspiration réelle sont très proches,

II. Ajustement des pluies maximales journalières:

L'estimation des pluies journalières est souvent génératrice de crues exceptionnelles. Pour cela, il est important d'effectuer un ajustement statistique d'une loi théorique à la série d'observations afin de déterminer les précipitations maximales journalières fréquentielles.

1. Présentation du logiciel utilisé dans cette étude:

Hydrognomon est un logiciel pour l'analyse et le traitement des données hydrologiques, sous la forme des séries chronologiques. Son programme prend également en charge les applications hydrologiques spécifiques.

Ce logiciel Hydrognomon permet d'ajuster un nombre important de distributions statistiques à une série de données qui vérifient les hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité.

2. Ajustement échantillon de lois à un de pluie :

L'estimation des périodes de retour des valeurs extrêmes de pluie est l'un des problèmes majeurs posés aux concepteurs d'aménagements.

Pour cela, on procède à l'analyse statistique des chroniques d'observation des pluies maximales journalières.

Notre étude porte sur l'ajustement des précipitations maximales journalières du bassin versant de l'Oued Saida, et sur une période d'observation de 32 ans (1977 - 2009).

Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : loi de Gumbel, loi de GALTON.log normal et loi exponentielle.

i. Choix de la loi d'ajustement :

Les lois d'ajustement sont nombreuses et le choix d'une se fait d'abord par un ajustement graphique à l'aide du logiciel Hydrognomon ensuite par un test de dispersion.

➤ Loi de Gumbel :

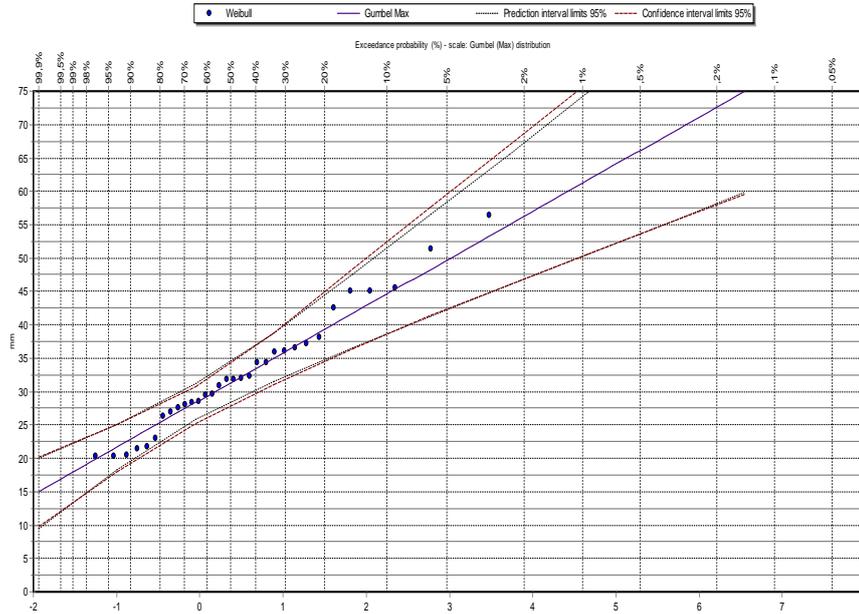


Fig.N°12 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi de Gumbel .

➤ Loi de GALTON:

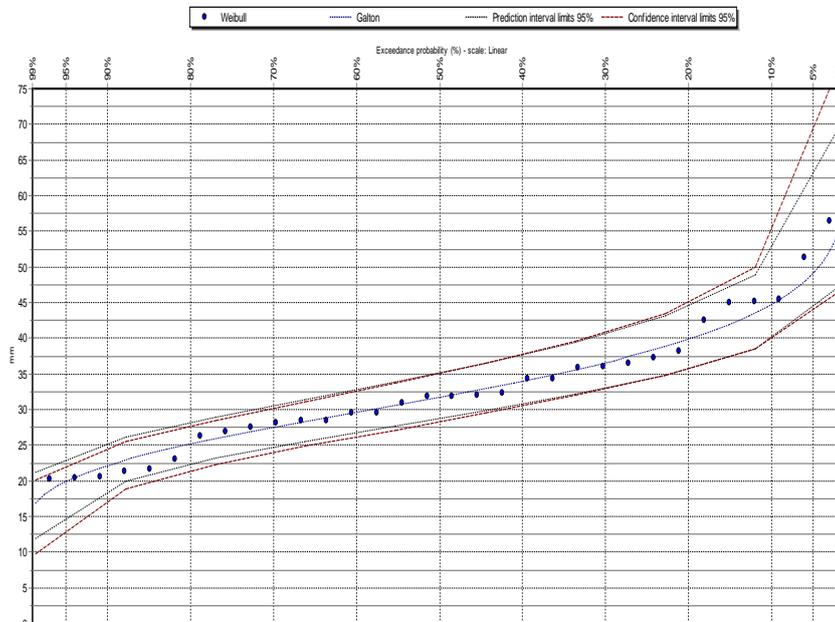


Fig.N° 13 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi de GALTON .

- La droite d'ajustement approche les lacunes observées, ce qui signifie, qu'il y a une bonne corrélation donc l'ajustement est accepté .

➤ Lois exponentiel :

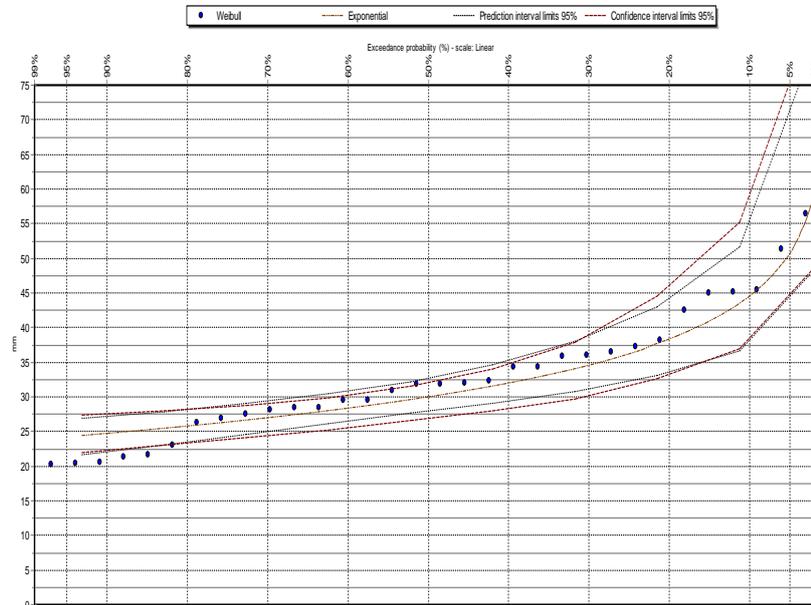


Fig.N° 14: Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi exponentiel .

➤ Loi Log normal :

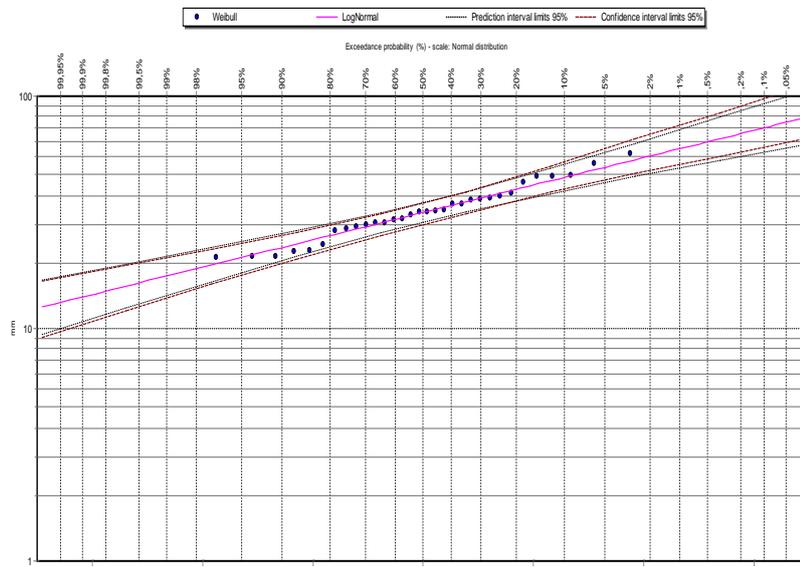


Fig.N°15 : Ajustement graphique des précipitations maximales journalières selon la loi Log normal .

- La droite d'ajustement approche les lacunes observées, ce qui signifie, qu'il y a une bonne corrélation donc l'ajustement est accepté

➤ loi GEV MAX :

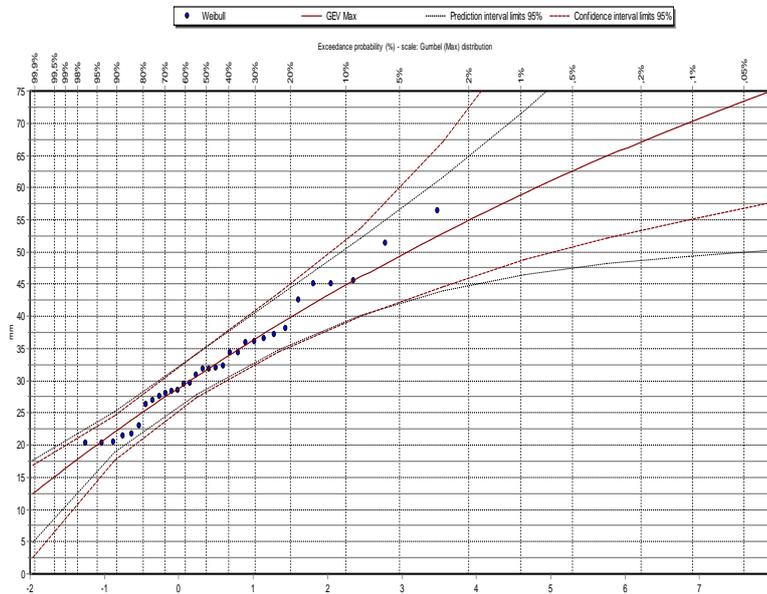


Fig.N° 16: Ajustement graphique des précipitations maximales journalières loi GEV MAX.

- La droite d'ajustement approche les lacunes observées, ce qui signifie, qu'il y a une bonne corrélation donc l'ajustement est accepté

3. Analyse des graphes (méthode visuelle) :

- Les figures (18-22) montre des graphiques qui présentent les probabilités empiriques et théoriques des distributions des lois de Gumbel, exponentielle; log normal ,GEV max et Galton sur papier de probabilité normal.
- Visuellement on remarque que les lois Gambel et Galton; GEVmax présentent les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalière.

4. Analyse des critères statistiques (méthode numérique) :

Le test d'ajustement des répartitions empiriques et théoriques est fait par le test d'adéquation de Kolmogorov-Smirnov .

DMax	Attained a	a=10%	a=5%	a=1%	Kolmogorov-Smirnov test for:All data
0,08419	95,56%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	EV1-Max (Gumbel)
0,06553	99,64%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	GEV-Max
0,09749	88,04%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	Normal
0,10913	78,68%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	Exponential
0,06878	99,36%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	LogNormal
0,0637	99,75%	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	Galton

Tableau.N° 21 :Les valeurs observés (résultats numérique) .

- Le tableau illustre la valeur observée des critères d’information D’après les résultats numériques obtenus, les lois Galton et GEVmax représentent les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalière.

4. Ajustement des pluies maximales journalières à la loi de GUMBEL :

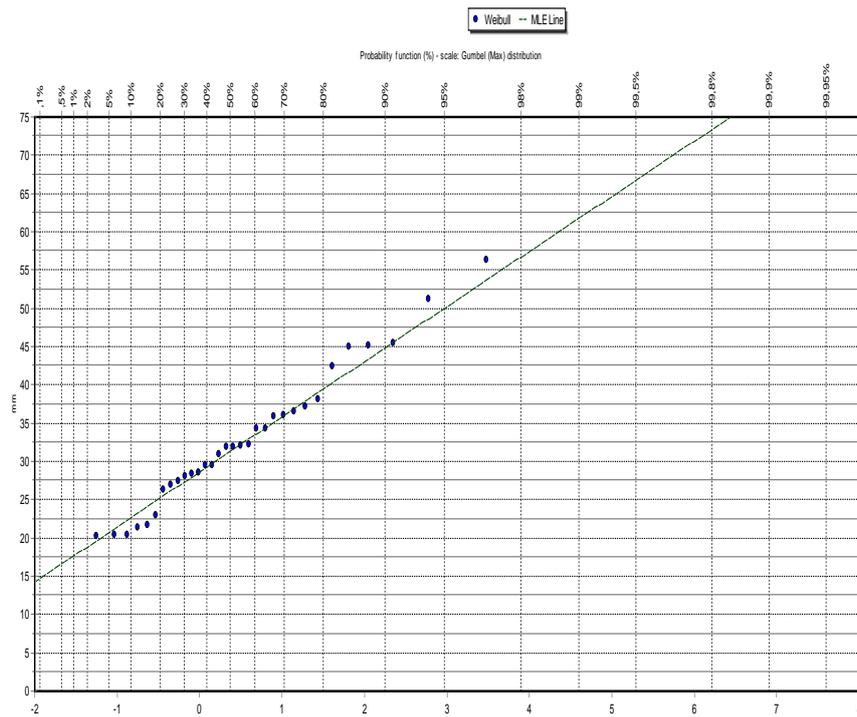
L’étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales Journalières du **tableau N° 21**

- A partir l’ajustement par l’Hydrognomon, l’équation **d’ajustement** :

$$p_{jmax} = 7,16 u + 28,73$$

precipitation

max



variable u

Fig.N° 17 : Ajustement à une loi de Gumbel des pluies journalières maximales (1977-2012).

- La droite d’ajustement approche les valeurs observées, ce qui signifie, qu’il y a une bonne corrélation donc l’ajustement est accepté.

a. Calcul de la pluie maximale journalière fréquentielle

A partir de l’équation d’ajustement, on peut estimer les pluies journalières Maximales pour les périodes de retour T= 100, 50, 10, 5 et deux ans

$$P_{jmax\%} = \left[\frac{P_{jmax}}{\sqrt{Cv+1}} \right] e^{\mu \sqrt{\ln(Cv^2+1)}}$$

Période de retours ans	Fréquence de non dépassement	Variable reduite de Gumbel U	Pluie maximales
2	0,5	0,37	31,30488
5	0,8	1,5	39,3148
10	0,9	2,25	44,6181
50	0,98	3,9	56,2899
100	0,99	4,6	61 ,2242

Tableau.N° 22: Pluie maximales fréquentielles.

b. Calcul de la quantité de pluie maximale durant le temps de concentration (Tc) :

$$P_{tc} = P_{max} (T_c / 24)^b$$

Avec :

P_{tc} : Pluie de courte durée de fréquence égale à celle de *P_{jmax}* en m

P_{jmax} : Pluie journalière maximale de fréquence voulue en mm

T_c = temps de concentration. (5,13h heures).

b = coefficient climatique (pour notre région *b*=0,38).

$$P_{tc} = P_{jmax}(0,5564)$$

T (an)	2	5	10	50	100
<i>P_{jmax}</i> (mm)	31,3048	39,3148	44,6181	56,2899	61,2242
<i>P_{tc}</i>	17 ,42	21,87	24 ,82	31,32	34,06

Tableau.N°23 : pluie maximale pendant le temps de concentration.

c. Les courbes IDF :

Ce sont des courbes statistiques établissant les relations entre les intensités, les durées et la fréquence d'apparition des pluies.

Elles fournissent la probabilité qu'une intensité de pluie moyennée sur une durée donné, elle s'exprime généralement par la notion de temps de retour.

Les courbes IDF sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période.

Les courbes IDF servent à calculer l'intensité des pluies pour différentes périodes de retour, cette intensité sera introduite dans la relation de la méthode rationnelle.

d. Pluies de courte durée et intensité :

Période De retour	100		50		10		5		2	
	Pct (mm)	It (mm /h)	Pct (mm)	I t	Pct (mm)	It (mm /h)	Pct (mm)	It (mm /h)	Pc t(mm)	It (mm /h)
0,25	10,8059	43,22351	9,934989	39,73996	7,874953	31,49981	6,93893	27,75575	5,525198	22,10085
0,5	14,0621	28,12428	12,92881	25,85764	10,24800	20,49601	9,02993	18,05986	7,190171	14,38038
1	18,2997	18,29965	16,82481	16,82481	13,33616	13,33616	11,7510	11,75103	9,356871	9,356895
2	23,8141	11,90705	21,89483	10,94742	17,35490	8,677452	15,2921	7,646051	12,17648	6,08826
3	27,7811	9,260356	25,54208	8,514027	20,24589	6,74863	17,8394	5,946489	14,20485	4,734963
4	30,9902	7,747573	28,49266	7,123165	22,58466	5,646166	19,9002	4,975063	15,84577	3,961454
5	33,7327	6,746545	31,01407	6,202815	24,58325	4,916651	21,6612	4,332259	17,24802	3,449613
6	36,1526	6,025444	33,23897	5,53983	26,34682	4,391137	23,2152	3,869208	18,48536	3,080903
7	38,3336	5,476235	35,24418	5,034883	27,93624	3,990892	24,6157	3,516536	19,60053	2,800084
8	40,3289	5,04112	37,07869	4,634836	29,39036	3,673796	25,8970	3,237129	20,62076	2,577603
9	42,175	4,68611	38,77594	4,308438	30,73568	3,415077	27,0824	3,009161	21,56466	2,396081
10	43,8978	4,389781	40,35991	4,035991	31,99121	3,199122	28,1887	2,818875	22,44557	2,244563
11	45,5168	4,137894	41,84845	3,804405	33,17111	3,015556	29,2283	2,657127	23,27340	2,115769
12	47,0469	3,920581	43,25527	3,604606	34,28622	2,857185	30,2109	2,517581	24,05578	2,004654
13	48,5	3,730766	44,59115	3,430089	35,34510	2,718854	31,1439	2,395692	24,79871	1,907598
14	49,8851	3,563227	45,86473	3,276052	36,35460	2,596758	32,0335	2,288107	25,50699	1,821933
15	51,2103	3,414022	47,08308	3,138872	37,32033	2,488022	32,8844	2,192296	26,18456	1,745642
16	52,4817	3,28011	48,25205	3,015753	38,24691	2,390432	33,7008	2,106306	26,83466	1,677171
17	53,7048	3,159108	49,37655	2,904503	39,13824	2,30225	34,4862	2,028605	27,46004	1,615301
18	54,8840	3,049116	50,46075	2,803375	39,99763	2,222091	35,2435	1,957974	28,06300	1,55906
19	56,0234	2,948598	51,50822	2,710959	40,82791	2,148837	35,9751	1,893427	28,64554	1,507664
20	57,1260	2,856303	52,52204	2,626102	41,63151	2,081576	36,6831	1,83416	29,20936	1,460472
21	58,1951	2,771194	53,50489	2,547852	42,41057	2,019551	37,3696	1,779508	5,525198	1,416954

22	59,2329	2,692407	54,45914	2,475416	43,16695	1,962134	38,0361	1,728915	7,190171	1,37667
23	60,242	2,619218	55,38686	2,408125	43,90231	1,908796	38,6840	1,681917	9,356871	1,339246
24	61,2242	2,551008	56,2899	2,345413	44,6181	1,859088	39,3148	1,638117	12,17648	1,30437

Tableau.N° 24: Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour.

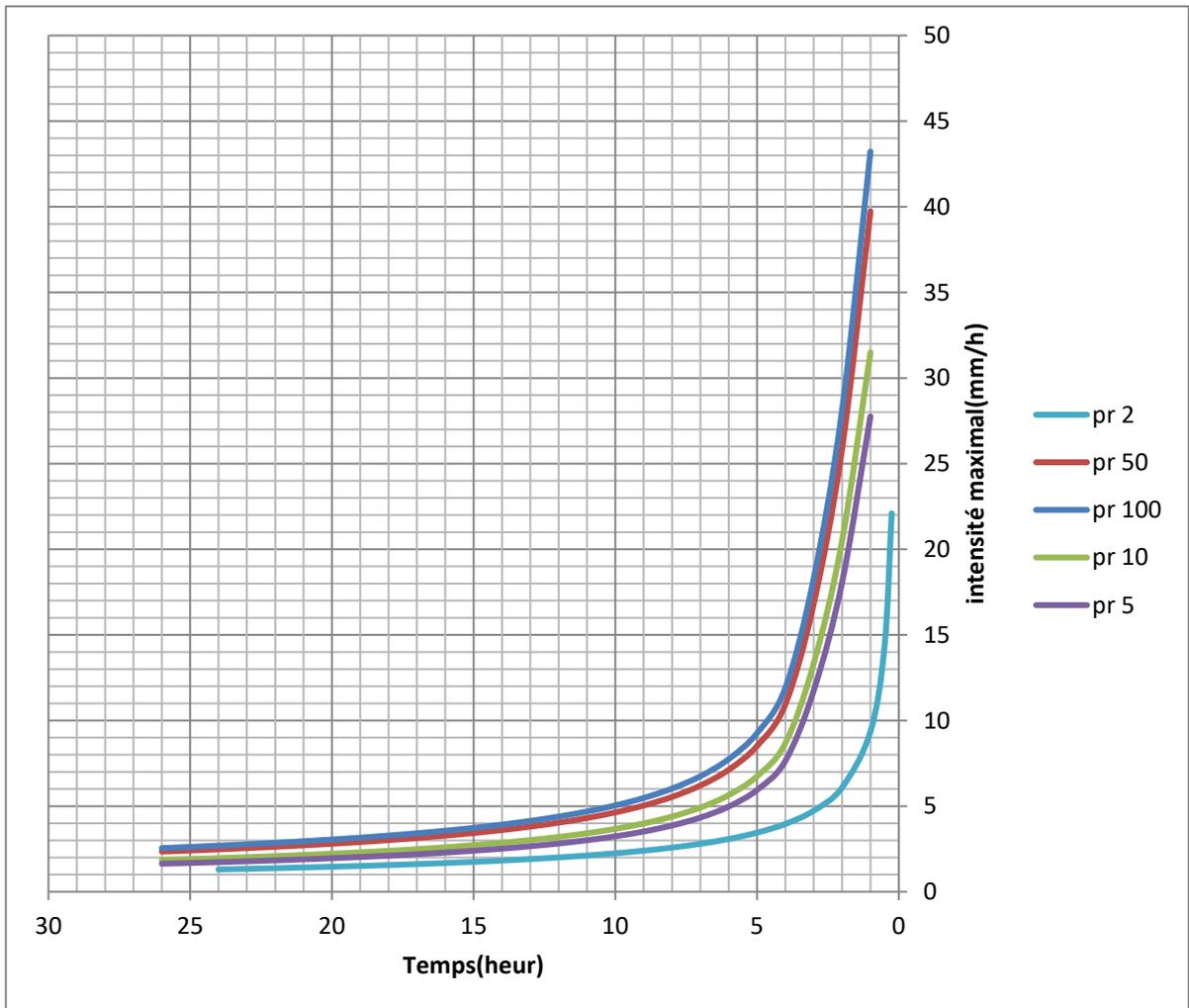


Fig.N° 18 : courbes d'intensités déférentes périodes.

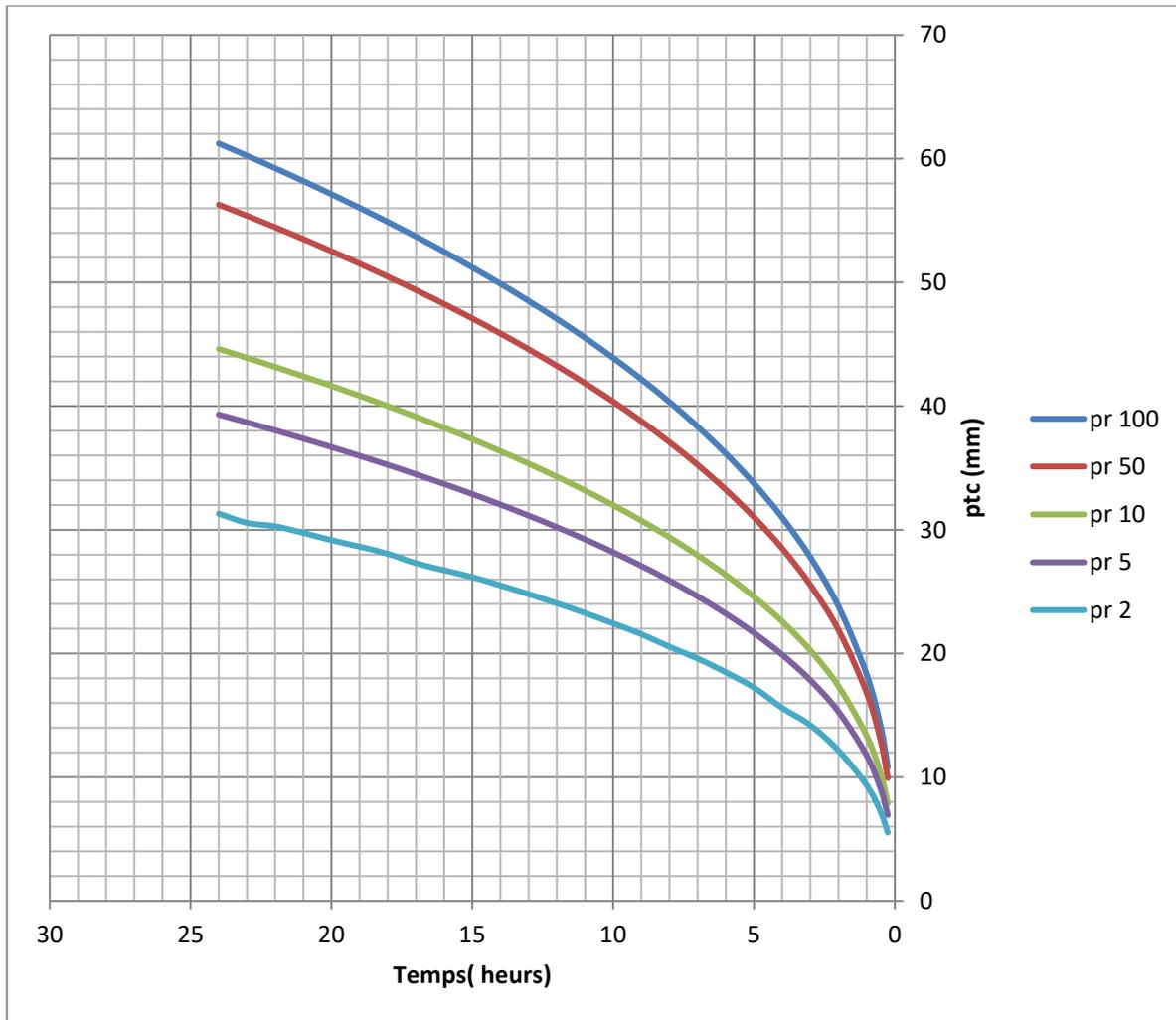


Fig.N° 19 : courbes PTC déférentes périodes.

- Les courbes de Ptc ont une allure croissante sur tout l'intervalle des périodes de retour, elles sont a son minimum et augmente jusqu'à atteindre son maximum.
- Les courbes des intensités ont une allure strictement décroissante sur tout l'intervalle des périodes de retour, elle est a son maximum et décroît jusqu'à atteindre son minimum.

Conclusion :

- D'après les résultats climatiques, on peut dire que le bassin versant de l'oued Saïda est caractérisé par un climat semi-aride qui se traduit par un hiver relativement froid et pluvieux et un été très chaud et sec, la saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à Avril et la saison sèche s'étend sur le restant de l'année Les températures moyennes mensuelles présentent une valeur minimale en janvier ($8,5^{\circ}\text{C}$) et une valeur maximale en Août ($27,5^{\circ}\text{C}$) et ce pour la période 1983-2012

- Nous avons présenté l'étude statique des pluies, le choix de la loi se fait d'abord par un ajustement graphique à l'aide logiciel Hydrognomon ensuite on a calculé la pluie de courte durée et réalisé les graphes IDF.

CHAPITRE III :

LES PRÉDERMINATIONS DES CRUES

I. Généralités au des crues :

1. INTRODUCTION :

L'étude des crues revêt une place importante dans une étude hydrologique et doit être menée avec prudence pour ne pas tomber dans des erreurs de sous-estimation ou de surestimations compromettant respectivement la sécurité de l'ouvrage et son environnement.

La prédétermination des crues a pour but de relever les crues fréquentielles les plus importantes afin de garantir un maximum de sécurité pour les ouvrages.

Ces crues peuvent être déterminées par la loi de Gumbel qui s'adapte le mieux aux écoulements et apports extrêmes.

De tout temps, l'estimation des crues a été un souci majeur, préoccupant tout ingénieur responsable de dimensionnement d'un ouvrage hydrotechnique.

L'estimation des débits de crue et des volumes correspondants est l'étape initiale indispensable pour le dimensionnement rationnel des aménagements liés à la protection contre les crues et à la construction des barrages.

Avant toute étude de crue, il est important de définir ce qu'est une « crue » et quelles sont les principales variables à déterminer.

2. Définitions crue:

Les crues sont un phénomène naturel. Toutefois, les catastrophes entraînées par les inondations sont le résultat d'une interaction entre ce phénomène naturel et des processus écologiques, économiques et sociaux.

Les crues encore appelés des hautes eaux représentent une quantité d'eau extraordinaire qui est transporté par système hydraulique lacs rivière ou cours d'eau.

Selon le glossaire international d'Hydrologie (WMO 1974) une crue définie comme la montée, du niveau d'un cours d'eau jusqu'à un maximum.

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la Rivière et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière.

De nombreux géographes et hydrologues ont adopté le critère qu'une rivière est en crue lorsque son débit est trois à cinq fois supérieur à son débit moyen. De façon plus pratique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module ; on parle alors de crue critique ;

La crue s'identifie et se détermine lorsque le débit ou la hauteur d'eau au droit d'une ou plusieurs sections spécifique de la rivière dépasse un seuil donnée.

La montée des eaux étant très brutale. Cependant, certains Hydrologues désignent par "la crue" l'épisode complet de crue et décrue jusqu'au retour à un régime non influencé.

La crue est simple, si elle présente une seule pointe. Elle est dite complexe si elle présente plusieurs pointes.

Une **crue** se caractérise par son **hydrogramme** graphique qui représente les variations de débit en fonction du temps. Plus précisément, c'est la partie montante de Cette **hydrogramme** qui est appelé « **crue** », la partie descendante étant « **la décrue** ».

3. D'origines des crues :

La crue est la conjugaison brutale de plusieurs facteurs :

a. Evènement hydro météorologique :

1. **Pluviométrie** : l'intensité et la durée de la pluie sur un même bassin versant génère par ruissellement donc une augmentation du débit d'un cours d'eau . L'ampleur du phénomène dépend aussi beaucoup de la perméabilité et de la saturation en eau de sols du bassin versant.
2. **Fontes de neiges** : au printemps la transformations de la neige en eau liquide étant un phénomène relativement lent .les quantités d'eau stockée sous forme de neige ou de glace pouvant être considérable et en cas de radoucissement intense rapide et

accompagné de pluies . La fonte de neige peut provoquer des inondations parfois catastrophiques.

3. **Embâcle ou débâcle de glace :** sont provoquées par le dégel printanier dans les régions ou les cours d'eau gèlent durant l'hiver . Cette situation est caractéristique des régions froides comme la Sibérie ou le Canada. Le dégel entraîne la mise en mouvement de blocs de glace qui peuvent s'accumuler au droit d'un obstacle. La retenue ainsi formée peut entraîner d'un côté une élévation du niveau de l'eau à l'amont et des inondations par débordement et possible impliquant une crue brutale.

Autres causes :

Rupture de barrage naturels ou artificiel déversement au niveau du couronnement d'un barrage du à une sous capacité du déversoir de crue ou à un remplissage brusque de la retenue par matériaux par du bois flottant ou des roches provoquant souvent à l'aval des crues qualifiées (d'onde déferlantes).

Souvent le phénomène de crue s'associe à d'autres phénomènes tout aussi importants mais qui font l'objet d'études et analyses spécifiques . Il s'agit principalement :

- De laves torrentielles (transport de matériaux solides par l'eau).
- De glissement de terrains (aux abords du cours d'eau ou sur son parcours lors de débordement).
- D'érosion torrentielle (à l'intérieur du lit de la rivière et dans sa proximité) à l'origine de ces événements extrêmes, une dépression associée à un front froid s'est tout d'abord déplacée depuis l'Angleterre pour donner une pluie extrêmement intense.

4. Le processus de formation des crues :

Les crues sont le fait de plusieurs processus simultanés dont l'importance relative varie en fonction des différentes conditions rencontrées sur le terrain.

Ce processus revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau.

En simplifiant, on distingue:

- l'eau mobilisable, constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- Le ruissellement, qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol, dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- Le temps de concentration, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.

- La propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la Vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ inondation, La figure présente une schématisation de ces divers processus ;

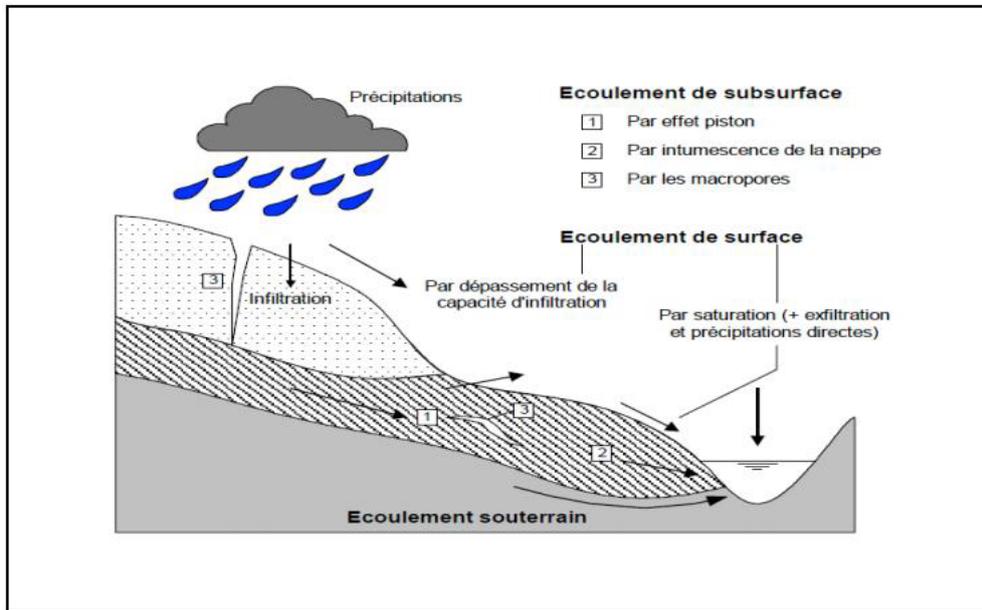


Fig.N° 20 : Schématisation de processus de genèse des crues.

5. Types des crues :

Selon le CNFSH (2000), en général, on distingue deux types de crues : Les crues fluviales et les crues torrentielles même si le passage de l'une à l'autre se fait de façon Continue.

a. Les crues fluviales :

Elles se caractérisent par des montées relativement lentes des eaux et peuvent être prévues plusieurs heures, voire plusieurs jours à l'avance, souvent saisonnières, affectent les cours d'eau importants .C'est le cas des inondations de grands bassins versants ; elles résultent le plus souvent des précipitations importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leurs quantité et leurs durée qui peut atteindre 10 à 15 jours.

En Algérie, ce type d'inondation survient généralement en saison hivernale entre les mois de Décembre et Mai.

b. Les crues torrentielles ou rapides :

Lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant, les eaux ruissellent et se Concentrent rapidement dans le cours d'eau, engendrant des crues torrentielles subites brutales violente et soudaine. Le cours d'eau transporte de grandes quantités de sédiments, ce qui se traduit par

une forte érosion du lit et un dépôt des matières transportées. Ces dernières peuvent former des barrages, appelés embâcles, qui s'ils viennent à céder, libèrent une énergie pouvant aggraver les dégâts.

6. Caractéristiques des crues :

a. La hauteur de crue :

La hauteur de crue est la hauteur maximale atteinte par l'eau au cours de la crue. Théoriquement c'est la caractéristique la plus importante, puisque c'est d'elle que dépend le débordement.

Hydrologiquement, ce n'est pas la plus indiquée pour une évaluation de la crue, puisqu'elle varie d'un point à un autre et caractérise donc une Section transversale donnée, mais non l'onde de crue se déplaçant le long du cours.

De Plus, la hauteur n'est pas toujours le meilleur indicateur de la gravité de la crue. Par exemple, une crue provoquée par un orage d'été peut être très haute, mais souvent de courte durée et de volume relativement réduit. En conséquence, l'inondation ne cause pas nécessairement beaucoup de dégâts, car elle met en cause une petite quantité d'eau et les terrains ne restent que peu de temps sous l'eau.

b. Le débit de pointe de la crue :

Le débit de pointe de la crue est la valeur maximale instantanée du débit pendant la crue. C'est une caractéristique hydrologique très commode; car elle se rapporte à l'onde de crue et non pas à une section transversale particulière. Bien qu'elle ne demeure pas constante à mesure que la crue descend le cours d'eau.

Le débit de crue ne dépend pas non plus des variations locales du lit (érosion, sédimentation) comme la hauteur de crue: donc c'est une caractéristique plus représentative non seulement pour la crue elle-même, mais aussi pour toute section transversale donnée.

Autre avantage: le débit de pointe d'une crue coïncide étroitement avec le moment où l'eau atteint son niveau maximal, ce qui donne donc une bonne indication de la hauteur. En réalité, ce débit de pointe est atteint avant le niveau maximal mais, dans la plupart des cas, la différence entre ce niveau maximal et celui qui correspond au débit de pointe est négligeable (Pierre Javelle, 2001).

c. Volume de la crue :

Le volume de la crue équivalant au volume d'eau transité par le système durant toute la durée de la crue, constitue une caractéristique indispensable chaque fois que les dégâts dépendent de la quantité d'eau qui inonde et dans les cas d'intervention visant à réduire le débit de pointe.

d. Durées relatives à un seul événement de crue :

La notion de durée est indispensable dans la description du régime des crues. C'est pourquoi de nombreuses durées ont été définies par les hydrologues. Les temps caractéristiques définis ci-dessous sont tous relatifs à un événement de crue. Ce sont des ordres de grandeurs, plutôt que des valeurs calculables avec précision. En effet, leur définition fait référence à une représentation très simplifiée de la transformation pluie-débit (en particulier les écoulements sont supposés être majoritairement des Ruissellements).

Les définitions suivantes sont issues de Roche (1963) :

Temps de réponse : Le temps de réponse est l'intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie efficace de la pointe de l'hydrogramme.

Temps de montée : Il s'agit de la durée écoulée entre le début de l'arrivée à l'exutoire du «ruissellement » et le maximum de l'hydrogramme.

Temps de base : Le temps de base est la longueur sur l'abscisse de la base de l'hydrogramme de ruissellement.

Temps de concentration : Le temps de concentration est la durée que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin hydrauliquement la plus éloignée de l'exutoire. On peut l'estimer en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la fin du ruissellement

e. La fréquence d'apparition d'une crue et la notion de temps de retour :

Lorsque l'on étudie des grandeurs comme les débits de crues d'un point de vue statistique, on cherche en règle générale à déterminer la probabilité pour qu'un débit donné ne soit pas dépassé.

On nomme cette probabilité fréquence de non-dépassement ou probabilité de non-dépassement. Son complément à l'unité est appelé probabilité de dépassement, fréquence de dépassement ou encore fréquence d'apparition. On définit alors le temps de retour T d'un événement comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement.

Convenable pour une fin donnée, on recherche la fréquence des crues dont le volume dépasse un débit donné, ou de celles d'une certaine durée à certains niveaux de débit.

f. Période de retour de crues :

On associe souvent à la notion de crue, la notion de période de retour (crue Décennale, centennale, millennale, etc.):

Plus cette période n'est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

On distingue par ordre croissant :

- Les crues fréquentes, dont la période de retour est comprise entre un et deux ans ;
- Les crues moyennes, dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans ;
- Les crues exceptionnelles, dont la période de retour est de l'ordre de cent ans ;
- La crue maximale vraisemblable, qui occupe l'intégralité du lit majeur

7. Eléments descriptifs d'une crue :

Une crue est décrite par quatre éléments (Figure), qui sont :

- Temps de concentration : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- Pointe de crue : puissance de la crue et durée de la période critique.
- Courbe de tarissement : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.
- Fréquence de retour : une crue centennale a, chaque une chance sur cent (1/100) de se produire.

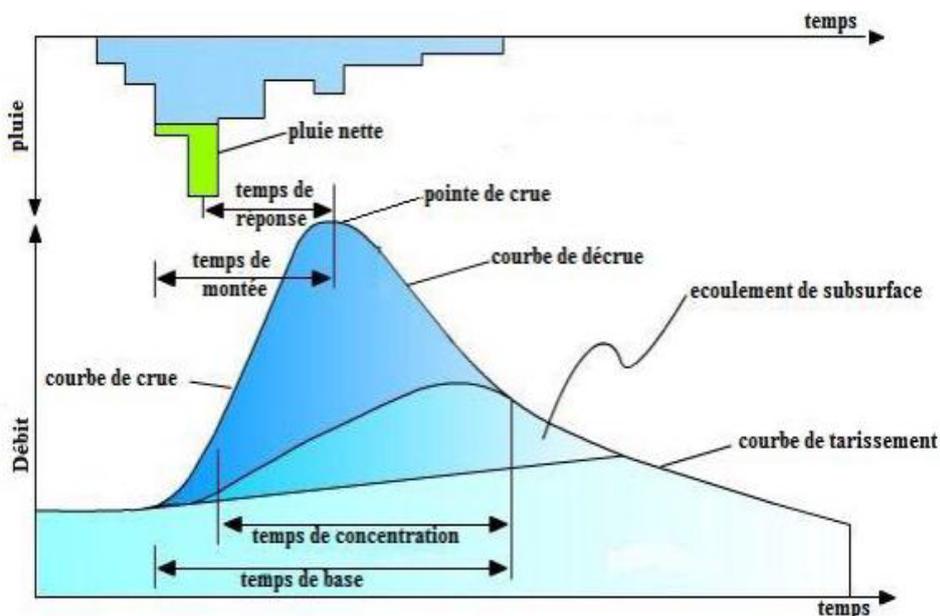


Fig.N° 21: éléments de l'hydrogramme de crue.

8. Estimation du débit maximum d'une crue :

Le choix du débit maximum d'une crue peut résulter soit d'une étude de Conséquences soit il est fixé et ne doit pas dépasser, cela dépend de L'utilisateur. Plusieurs méthodes sont utilisées, le choix est très grand et très difficile où certains pays ont même normalisés la méthode d'estimation. Ces méthodes peuvent être classées en trois groupes :

a. Méthodes basées sur l'historique des crues :

Cette méthode très ancienne repose sur l'idée qu'on ne verra jamais pire que ce qu'on a déjà vu dans un passé suffisamment répandu. Elle est toujours utilisée lorsqu'on ne dispose pas d'observations sur le débit maximum enregistré lors d'une crue exceptionnelle et où actuellement, on a la tendance à l'oublier.

L'information déduite des crues historiques est précieuse et constitue une banque de données très importante. Elle peut être définie comme l'étude des crues anciennes antérieures à leur mesure directe par des techniques modernes, dont le but est de définir des crues des périodes Historiques en vue de compléter les données existantes, De les comparer avec d'autres méthodes et d'améliorer le degré de précision des valeurs résultant de l'applications des méthodes d'extrapolation statistiques.

b. Les méthodes probabilistes :

Que l'on peut ranger en :

- Méthodes à échantillonnage fixé comme la méthode maximum annuelle qui est simple et très répandue dans le monde et qui reste très insuffisante pour des Échantillons de taille inférieure à 30.
- Méthodes hydrométéorologiques comme les méthodes de Gradex mes valable pour des bassins versants limités($S < 20\,000\text{ km}^2$) et homogènes.
- Méthodes stochastiques très utilisées pour simuler des variables complexes par la modélisation statistique du processus à l'échelle journalière et mensuelle. Cependant, elles contrôlent très mal les incertitudes (Masson, 1991)
- Méthodes du type renouvellement dont le principe est de probabilisé d'une part les débits de toutes les crues qui dépassent un certain seuil critique et d'autre part

II. Les méthodes empiriques utilisées :

Formule de Turraza :

Cette formule est un peu plus élaborée que les autres formules utilisant les précipitations car elle fait appel également au temps de concentration (t_c) du bassin, i.e. le temps requis pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus en amont du bassin arrive jusqu'à l'exutoire. Elle peut s'exprimer ainsi (EMI, 1999) .

Formule de Giandotti :

Dans leur étude sur les problèmes de l'eau en Algérie ils ont établi une formule exprimant le débit maximum en crue en La méthode de Giandotti s'inspire des lois de ruissellement basées sur les caractéristiques morphométriques du bassin versant Cette formule donnée de résultats satisfaisants, particulièrement pour les bassins typiquement montagneux

$$Q_{max} = \frac{C \cdot S \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1,5L} * P_{tc}$$

Formule de Sokolovsky (1958-1968) :

Selon cet auteur, la crue est considérée comme un débit max généré par une averse (une pluie) de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps demontée de la crue est donc pris égal au temps de concentration. (Bennis, 2004)

$$Q_{max} = \frac{0,28 \times P_{tc} (P\%) \times S \times C}{T_m} \times f$$

a. Débits maximums fréquentiels :

- La formule **TURAZZA** :

L'une des formules les plus utilisées est celle de **TURAZZA**, qui s'écrit de la manière suivante :

$$Q_{p\%} = (C \times I_{p\%} \times S) / 3,6$$

Avec : $Q_p\%$ = Débit maximum de fréquence (P%) en mm

$I_p\%$ = Intensité de la pluie de fréquence (P%) pour une durée égale au temps de concentration

T_c . Intensité de pluies pour une durée égale à T_c pour les différentes périodes de retour.

T (an)	2	5	10	50	100
Ptc	17,42	21,87	24,82	31,32	34,06
$I_p\%$	3,40	4,26	4,84	6,10	6,64

Tableau .N° 25: Intensité de pluies pour une durée égale à T_c .

S= superficie du bassin versants=517.8.

C= Coefficient de ruissellement lié à la probabilité d'occurrence.

- Dans notre cas, nous avons opté pour les valeurs suivantes pour le coefficient de ruissellement en suivant les intervalles de données par Casenave .

Période de retour	2	5	10	50	100
C	0,12	0,18	0,22	0,30	0,32

Tableau .N°26 : les valeurs de coefficient de ruissellement.

▪ **Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Turazza) :**

T (an)	2	5	10	50	100
$Q_p\%$	58,68	110,29	153,15	263,21	305,61

Tableau .N°27 : Débits maximums pour différentes périodes de retour Méthode de Turazza.

• **Formule de Giandotti :**

$$Q_{max} = \frac{C \cdot S \cdot \sqrt{H_{moy} \cdot H_{min}}}{4\sqrt{S} + 1,5L} * P_{tc}$$

S: surface en km^2 ;

H_{moy} : altitude moyenne en m;

H_{min} : altitude minimale en m

L : longueur du cours d'eau principale en km;

C : Coefficient topographique variant entre 0.066 et 0.166

P_{tc} : pluie durant le temps de concentration T_c (mm).

▪ **Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Giandotti) :**

T (an)	2	5	10	50	100
P_{tc}	17,42	21,87	24 ,82	31,32	34,06
Q_{max}	77,17	96,88	109,95	138,74	150,88

Tableau .N°28: Débits maximums pour différentes périodes de retour Méthode de Giandotti

▪ **La méthode de SOKOLOVSKY (les plus utilisé en Algérie) :**

$$Q_{max} = \frac{0,28 \times P_{tc} (P\%) \times S \times C}{T_c} \times f$$

f = coefficient de forme de crue, $f = \frac{12}{4+3\gamma}$ (), on prend $\gamma = 4$ pour les petits bassins d'où $f = 0,75$

▪ **Débits maximums pour différentes périodes de retour (Méthode de Sokolovsky) :**

T (an)	2	5	10	50	100
P_{tc}	17,42	21,87	24 ,82	31,32	34,06
Q_{max}	61,32	77	87,36	110,24	119,90

Tableau.N° 29 : Débits maximums pour différentes périodes de retour Méthode de Sokolovsky

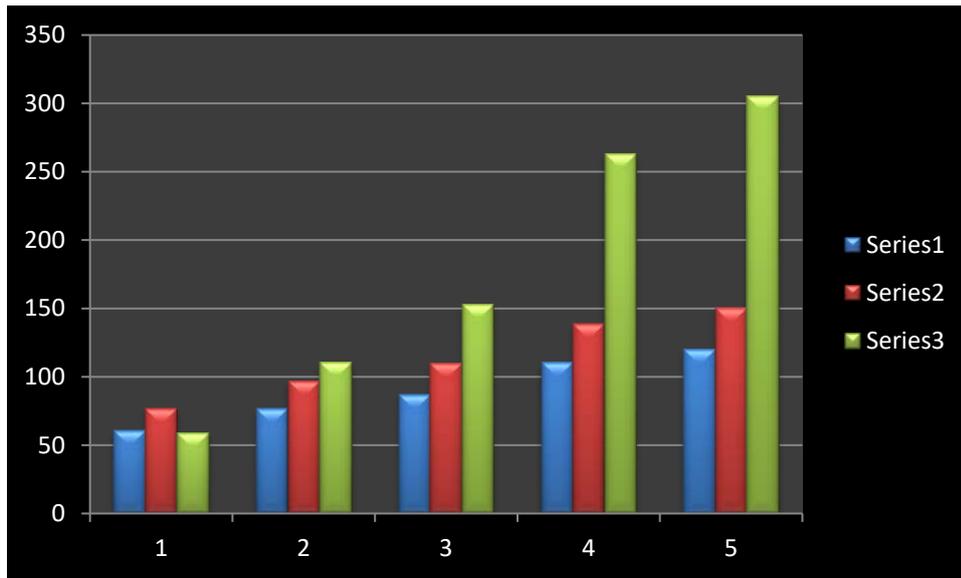


Fig.N 22 : Barres des débits maximum pour les trois méthodes.

Période de retour	2	5	10	50	100
Série1 Sokolovsky	61,32	77	87,36	110,24	119,90
Série2 Giandotti	77,17	96,88	109,95	138,74	150,88
Série 3 Turazza	58,68	110,29	153,15	263,21	305,61

Tableau.N° 30: Dbits maximums pour les trois formules.

✚ D’après La figure et le tableau :

Pour les trois méthodes utilisées les valeurs des débits des crues allant de 61,32 à 305,61 m³/s pour des périodes de retour allant de deux à 100 ans.

- Parmi Les trois methodes on a les debits calcule par les méthodes **Giandotti** et **Sokolovsky** sont Presque identiques et débits calculé par la méthode du **Turazza** sont déffirents .
- La formule de Sokolovsky présente un avantage par aux autres formules qu’elle tient en compte de tous les paramètres morphologiques du bassin ainsi que le temps de concentration donc on considéré comme la formule la plus optimale.

III. L'hydrogramme de crue :

Il est évident que la connaissance seule du débit maximal d'une crue est insuffisante lorsque l'on procède au dimensionnement d'un ouvrage d'art, une crue pointue (de faible durée) exigera des ouvrages moins importants qu'une crue de même débit maximal qui s'étend sur plusieurs jours et qui comporte plusieurs pointes secondaires.

L'hydrogramme de crue est une courbe représentant la variation des débits en fonction du temps durant une crue.

L'hydrogramme nous permet d'estimer la forme, le volume, le temps de montée et le temps de décrue et cela par des méthodes plus ou moins empiriques tel que la méthode «SOKOLOVSKY» qui nous donne tous les renseignements nécessaires de la crue.

a. La méthode assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques :

- L'une caractérisant la montée de la crue et qui s'écrit :

$$Q_m(T) = Q_{\max} \left(\frac{T}{T_m} \right)^2 \quad \text{Avec : } 0 < T < T_m$$

- L'autre caractérisant la décrue et s'écrit :

$$Q_d(T) = Q_{\max} \left(\frac{T_b - T}{T_d} \right)^3 \quad \text{Avec : } T_m < T < T_d$$

Avec:

$Q_m(T)$: Débit instantané au moment(T) de la montée en m^3/s ;

Q_{\max} : Débit maximum en m^3/s ;

$Q_d(T)$: Débit instantané au moment (T) de la décente (décrue) en m^3/s ;

T_b : Temps de base en heures et qui est calculé par la relation suivante :

$$T_b = T_m + T_d$$

T_m : Temps de montée en heures, qui est égale au temps de concentration :

$$T_m = T_c = 5,13$$

T_d : Temps de décente en heures : $T_d = \beta \cdot T_m$

Alors : $T_m = 5,13$ h et $T_d = 15,40$ h et $T_b = 20,50$ h

On obtient par conséquent le système d'équation suivant (pour la crue centaine) :

$$Q_m(T) = 119,9 \left(\frac{T}{5,13} \right)^2 \text{ Avec : } 0 < T < 5,13 \text{ h.....}$$

$$Q_d(T) = 119,9 \left(\frac{20,50 - T}{15,40} \right)^3 \text{ Avec : } 15,40 < T < 20,50 \text{ h.....(5-23)D}$$

b. Débits des crues :

T(heurs)	Qmax2	Qmax 5	Qmax10	Qmax50	Qmax100
0	0	0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,58251542	0,73146913	0,82988498	1,04723581	1,13900193
1	2,33006167	2,92587653	3,31953992	4,18894323	4,55600774
1,5	5,24263876	6,58322219	7,46896481	9,42512226	10,2510174
2	9,32024669	11,7035061	13,2781597	16,7557729	18,2240309
2,5	14,5628854	18,2867283	20,7471245	26,1808952	28,4750484
3	20,970555	26,3328888	29,8758592	37,700489	41,0040696
3,5	28,5432555	35,8419875	40,664364	51,3145545	55,8110948
4	37,2809867	46,8140244	53,1126386	67,0230916	72,8961238
4,5	47,1837488	59,2489997	67,2206833	84,8261003	92,2591567
5	58,2515418	73,1469132	82,9884979	104,723581	113,900193
5,13	61,32	77	87,36	110,24	119,9

Tableau .N°31 : résultats débits des crues pour différentes période de retour

c. Débits des décrues :

T	Qd 2	Qd 5	Qd 10	Qd 50	Qd 100
5,13	60,962334	76,5508761	86,8504485	109,596994	119,20065
6,5	46,0706236	57,8512397	65,634861	82,8249437	90,0826446
8	32,7921599	41,1773697	46,7175976	58,9531589	64,1190471
9,5	22,3469388	28,0612245	31,8367347	40,1749271	43,6953353
11	14,3949712	18,075877	20,5079041	25,8790219	28,1467228
12,5	8,59626796	10,7944004	12,2467379	15,4542169	16,8084235
14	4,61084002	5,7898676	6,56886797	8,28928577	9,01565098
15,5	2,09869823	2,63535166	2,98992625	3,77300217	4,10361902
17	0,71985349	0,90392562	1,0255447	1,29413974	1,40754132
18,5	0,13431669	0,16866251	0,19135528	0,24147214	0,26263162
20	0,0020987	0,00263535	0,00298993	0,003773	0,00410362
20,5	0	0	0	0	0

Tableau .N° 32: résultats débits des décrues pour différentes période de retour

On a réalisé L'Hydrogramme :

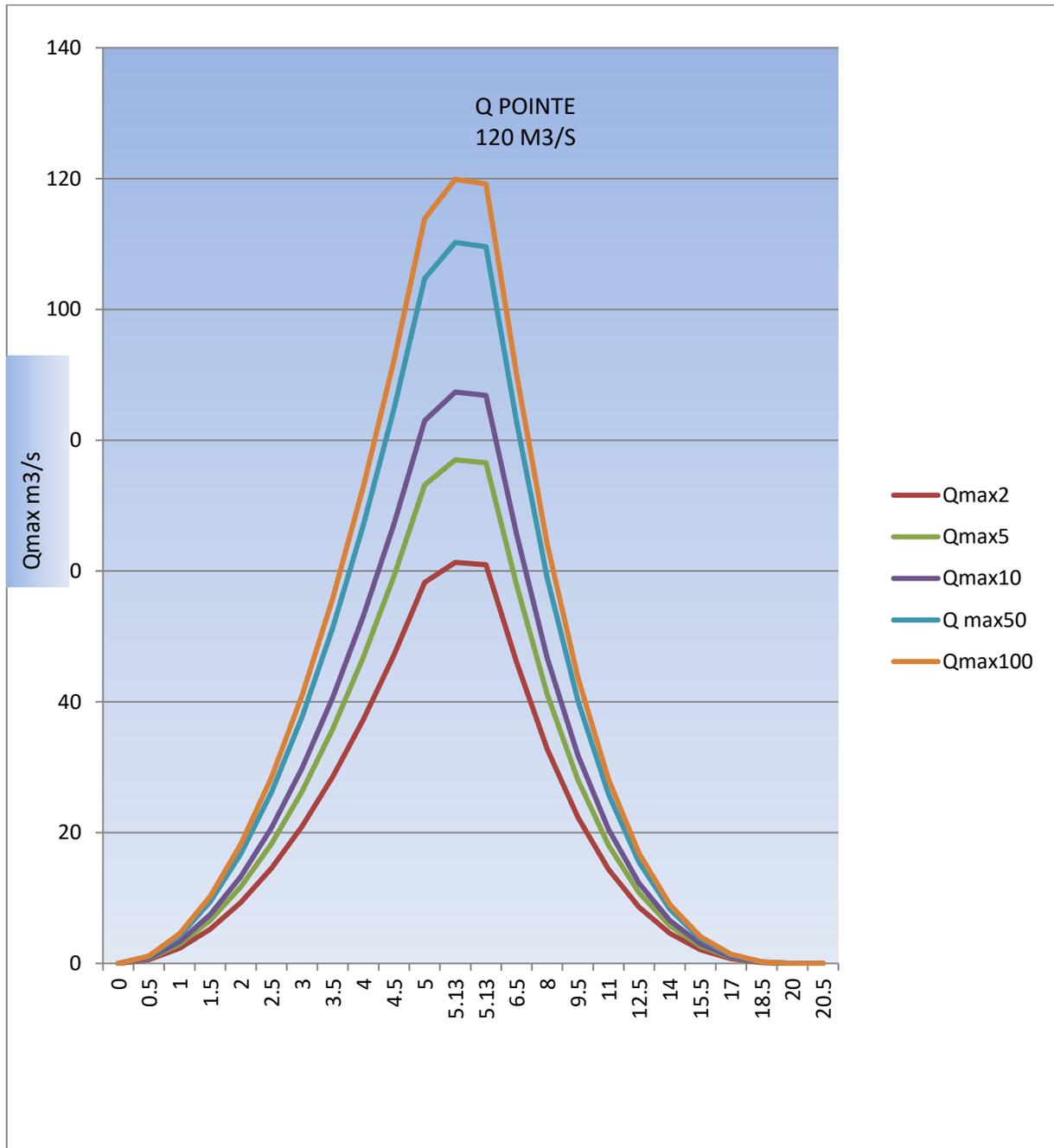


Fig.23 :hydrogramme de crue.

d. Calcul de volume de la crue:

$$W1 = Q_{max} \frac{tm}{m+1}; wt = w1 + w2$$

$$w2 = Q_{max} \frac{td}{n+1}$$

Avec:

W1 : apport pendant la crue (Hm).

W2: apport pendant la décrue.

Wt: apport total (Hm).

Q max (m3/s)	61,32	77	87,36	110,24	119,90
Période de retour T (ans)	5	10	20	50	100
W1 $= Q_{max} \frac{14}{2+1}$	286.16	359.33	407.68	514.45	559.53
w2 $= Q_{max} \frac{28}{3+1}$	429,24	539	611.52	771.68	839,3

Wt=W1+W2 (hm³)	715.4	898.33	1019.2	1286,13	1398.83
----------------------------------	-------	--------	--------	---------	---------

Tableau .N° 33: Calcul de volume de crue pour différentes périodes.

Conclusion :

L'estimation des crues révèle une grande importance Pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, différentes formules empiriques ont été sélectionnées pour le calcul, par manque d'observation.

D 'après les résultats obtenues nous avons conclu que la méthode du Sokolovsky est la plus optimal pour la détermination des débits maximum pour bassin Oued SAIDA

Suite au calcul du débit maximum par cette méthode, on retient un débit de projet Q(100) de 119.90 m³/s au niveau de l'exutoire ; et un volume de crue de 1398.83 Hm³

CONCLUSION GENERALE

En Algérie, la majorité des crues et sont dues à des précipitations
Torrentielles qui engendrent des dégâts humains et matériels considérables.
La description du régime des crues d'un bassin versant nécessite une banque de
Données pluviométriques et hydrométriques, et à l'aide d'une analyse statistique.

L'objectif de notre mémoire est l'estimation de ce débit maximum de bassin situe oued Saida
Dans la première partie nous avons dressé un état de l'art du contexte géographique,
géologique et climatique de bassins étudiés Le bassin versant de l'Oued Saida qui appartient
au grand bassin versant de la Macta, présente une superficie de 517,8 km² pour un périmètre
de 104 km.

L'étude morphométrique a montré que le bassin versant de l'oued Saida est de
Type modérément allongé.

Cette valeur a une influence sur le temps de concentration. Selon l'indice de pente globale, le
bassin versant se caractérise par un relief assez fort.

La topographie est marquée par une altitude maximale de 1150 m et une altitude
Minimale de 520 m ce qui génère un ruissellement important.

De part sa forme allongée du Nord au Sud et sa position géographique dans les
Hauts Plateaux, le bassin versant de l'Oued Saïda jouit d'un climat semi-aride.

La pluviométrie est irrégulière, caractérisée par des périodes hivernales pluvieuses et des
périodes estivales sèches.

La deuxième partie , on peut dire que le bassin versant de l'oued Saïda est caractérisé par un
climat semi-aride qui se traduit par un hiver relativement froid et pluvieux et un été très chaud
et sec, la saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à Avril et la saison sèche
s'étend sur le restant de l'année Les températures moyennes mensuelles présentent une valeur
minimale en janvier (8,5°C) et une valeur maximale en Août (27,5°C) et ce pour la période

1983-2012

Nous avons présenté l'étude statique des pluies, Les lois d'ajustement sont nombreuses et le choix d'une se fait d'abord par un ajustement graphique à l'aide logiciel Hydrognomon ensuite par un test de dispersion .

Les lois statistiques appliquées dans cette étude sont : loi de Gumbel, loi de GALTON log normal et loi exponentielle.

Visuellement on remarque que les lois Gumbel et Galton; GEVmax présentent les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalière.

D'après les résultats numériques obtenus, les lois Galton et GEVmax représentent les meilleurs ajustements de la variable précipitation maximale journalière.

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série des données des précipitations maximales Journalières A partir l'ajustement par l'Hydrognomon, l'équation

$$\text{d'ajustement } \mathbf{pjmax = 7,16 u + 28,73.}$$

On a Calcul la pluie maximale journalière fréquentielle, Pluies de courte durée et intensité et réalisé les courbes IDF.

Enfin, la prédétermination des crues Nous avons tout d'abord définir, caractériser les principaux, les facteurs les causes et les types des crues.

Avant de calculer le débit maximum On discute sur les formules empiriques utilisée et la méthode, nous avons abordé le calcul en appliquant les formules empiriques.

Convient particulièrement très bien lorsqu'il s'agit d'évaluer les crues extrêmes pendant des périodes de retour (2 à 100 ans),

On a calculé le temps de base, temps de montée, le temps de décrue et débits de crues et décrues pour différentes période de retour et réalisé l'hydrogramme .

Enfin, nous espérons que cette étude fera l'objet d'autre travail où ces formules seront testées sur tout le nord de l'Algérie pour qu'on puisse ressortir la formule adéquat dans le contexte Algérien.

Référence Bibliographique :

André musy (1998) ,Hydrologie Appliqué.

Chetioui Saida (2019) Estimation des débits de crues de différents temps de retour à l'aide de plusieurs méthodes D'un bassin versant MEDJEZ ELBGAR –Guelma.

Karrach Gaouti (Anat. 2008) Caractéristiques écologiques de Saida

Benhamou Youcef (UNSAT Batna 2015), PATHOLOGIE DES OLS DANS LA REGION DE SAIDA.

SAHBI Hanane (2018), ANALYSES DE FREQUENCE DES CRUES DANS LE NOR D ALGERIEN PAR DEUX APPROCHES STATISTIQUES.

YLES FOUAD (2014) Thèse de Doctorat Hydrologie de transport solide dans le bassin versant de l'Oued Saida : modélisation pluie-Débit et débit liquide – Transport solide.

Djidi Kaddour (2015) Thèse de doctorat Contribution à l'Etude de l'aquifère karstique .

ASNOUNI FATIHA (2015) Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD.

DAHMANI Meriem Nadia (2016) Etude Hydrologique et Hydrogéologiques du bassin versant de L'Oued SAIDA.

BRIZINI ZAKARIA BEDDANE YACINE (2018) Etude des ressources hydriques dans la région de Saïda.

Geo-Eco-Trop(2017) Production de sédiments en suspension et typologie des crues dans les Zones steppiques algériennes : cas du bassin versant de l'oued Saida.

A.N.R.H. 2010 - Agence Nationale des Ressources Hydriques. Direction régional de Saida (Algérie)

Ali HACHEMI (2017) , Contribution à l'étude des crues de oued Abiod (Biskra).

François Renard (Octobre 2002), Master Professionnel –DESS
Cours d'hydrogéologie.

<http://WWW.hydrognomon.org/>