



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ D'ORAN 2 MOHAMED BEN AHMED
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
MÉMOIRE DE MASTER
OPTION : RISQUES GÉOLOGIQUES

**ASPECTS DU RISQUE GÉOLOGIQUE À L'ÉCHELLE DU BASSIN
VERSANT DE L'OUED SAÏDA :**
CRUES, ÉROSION HYDRIQUE ET POLLUTION DES EAUX.
WILAYA DE SAÏDA

Présenté Par :

BOUZID Nabil.

Devant les membres du jury :

Président	: M.	MANSOUR Hamidi	Professeur	Université d'Oran 2
Examineur	: Mme.	BELKHIR Khadidja	M.A.A	Université d'Oran 2
Rapporteur	: M.	FOUKRACHE Mohamed	M.A.A	Université d'Oran 2

SOUTENUE LE 06 JUILLET 2021

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

A la mémoire de mon grand-père et ma grand-mère.

A mon père et ma mère qui m'ont donné la vie, qui ont sacrifié pour mon bonheur et ma réussite.

A ma tante Houria qui m'a considéré comme un de ses enfants.

A tonton Houari qui m'a accueilli chez lui.

A mes frères Dadi et Kamel.

A tous les membres de ma famille.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie ALLAH, le tout puissant de m'avoir aidé et donné la foi et le courage pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Monsieur le professeur FOUKRACHE qui a accepté de diriger et d'encadrer ce travail. Il m'a fait bénéficier de son savoir, de son expérience et de la clairvoyance de ses opinions en hydrogéologie.

J'adresse également mes salutations à madame BAKRITI d'avoir accepté de consacrer une bonne partie de son temps pour m'aider dans ce travail.

Je remercie Monsieur le professeur HAMIDI, qui a accepté de présider ce jury, et l'examineur madame BELKHIR

Je tiens beaucoup à remercier tous mes enseignants.

BOUZID NABIL

SOMMAIRE

DÉDICACE

REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURES

RÉSUMÉ	1
ABSTRACT	2
ملخص	3
INTRODUCTION	4
CHAPITRE I. PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE.	6
1. CADRE GÉOGRAPHIQUE	6
2. DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE	7
2.1. Densité de drainage	7
2.2. Rapport de confluence	8
2.3. Rapport des longueurs	8
2.4. Fréquence des cours d'eau	8
2.5. Coefficient de torrentialité	9
2.6. Temps de concentration	9
3. CARACTÉRISTIQUES MORPHO-MÉTRIQUES	10
3.1. La surface	10
3.2. La forme	10
3.3. Les altitudes	11
3.4. La pente	13

3.4.1. Cartes des aspects	13
4. CONCLUSION	14
5. CADRE GÉOLOGIQUE	15
6. ÉTUDE LITHO-STRATIGRAPHIQUE	16
A. PRIMAIRE	16
1. Socle calédonien	16
2. Socle hercynien	16
B. MÉSOZOÏQUE	16
1. Trias (t)	16
2. Jurassique (I-j)	16
2.1. Jurassique inférieur (Lias I)	16
2.2. Jurassique moyen (dogger j1-4)	16
2.2.1. Bajocien (j2)	17
2.2.2. Bathonien (j3)	17
2.2.3. Callovien-oxfordien (j4-j5)	17
2.3. Jurassique supérieur (Malm j5-7)	18
2.3.1. Oxfordien inférieur (j5a)	18
2.3.2. Oxfordien supérieur (j5c)	19
2.3.3. Kimméridgien (j6)	19
2.3.4. Portlandien (j7c-n1a)	19
3. Crétacé (c-n)	20
3.1. Crétacé inférieur (n)	20
3.1.1. Valanginien (n2)	20
3.1.2. Hauterivien (n3)	20
3.1.3. Barrémien (n4)	20
3.1.4. Aptien (n5)	20
3.1.5. Albien (n6)	21
3.2. Crétacé supérieur (c)	21
3.2.1. Cénomanién (c1)	21
C. CÉNOZOÏQUE	21
1. Plio-quadernaire (Pc-Q3)	21

2. Quatenaire supérieur (Q3-Q4)	21
7. TECTONIQUE	24
7.1. Macro-fissuration	24
7.2. Microfissuration	24
7.3. Conclusion	24
CHAPITRE II. MODÉLISATIONS D'ALÉAS	
I. LES CRUES ET LES INONDATIONS	27
A. ÉTUDE CLIMATIQUE	27
1. LES PRÉCIPITATIONS	28
1.1. Précipitations journalières	29
1.1.1. L'utilisation de l'approche fréquentielle probabiliste	31
1.1.2. Modélisation par IDF	32
1.1.3. Construction des courbes IDF	32
a) Intensité	32
b) Période de retour	33
1.1.4. La courbe IDF du bassin versant de Saïda	33
1.1.5. Modélisation par GRADEX	35
1.2. Précipitations mensuelles	36
1.2.1. Indice standardisé de précipitations	37
1.2.2. Procédures et formules pour calculer SPI	37
1.2.3. Classification des valeurs SPI	40
1.2.4. Avantages de la méthode SPI	40
1.2.5. Inconvénients de la méthode SPI	40
1.2.6. Résultats des valeurs SPI mensuelles du bassin versant de Saïda	41
1.3. Précipitations annuelles	41
1.3.1. Indice d'aridité	42
1.3.2. Données et méthodes	42
2. LA TEMPÉRATURE	43
3. HUMIDITÉ RELATIVE	44

4. LE VENT	45
5. ÉVAPORATION	46
II. TRANSPORT SOLIDE	47
1. FACTEURS DE L'ÉROSION HYDRIQUE	47
1.1. Intensité des pluies	47
1.2. Les caractéristiques de la couverture pédologique	48
1.3. Les modes d'utilisations des sols	48
1.4. Le relief	48
2. FORMES D'ÉROSION	49
2.1. Érosion laminaire	49
2.2. Érosion linéaire	49
2.3. Érosion en griffes	50
2.4. Érosion en rigoles	50
2.5. Érosion par ravinement	50
3. MODÉLISATION DU TRANSPORT SOLIDE	50
4. CARTE DE VULNÉRABILITÉ DES SOLS À L'ÉROSION HYDRIQUE	53
III. POLLUTION DES EAUX	54
1. VULNÉRABILITÉ DES NAPPES À LA POLLUTION	54
1.1. Le sol	54
1.2. La zone non saturée	55
1.3. La zone saturée	55
2. LES DIFFÉRENTS TYPES DES POLLUTIONS EXISTANT À SAÏDA	55

2.1. Pollution chimique	55
2.1.1. Décharges existantes	55
2.1.2. Carrières	55
2.1.3. Rejets d'eaux usées	56
2.2. Pollutions industrielles	57
2.3. Pollution bactériologique	58
3. CHIMIE DES EAUX	61
3.1. Le résidu sec et minéralisation de l'eau	61
3.2. Le titre hydrotimétrique	61
3.3. Titre alcalimétrique complet	61
3.4. Les nitrates	61
3.5. Les chlorures	61
3.6. Les sulfates	62
4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION DES ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX	62
4.1. Le résidu sec	62
4.2. Les nitrates	62
4.3. Les chlorures	62
4.4. Les sulfates	63
5. DIFFÉRENTES CATÉGORIES DES EAUX	63
CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS	65
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	70

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du bassin versant de l'Oued Saïda	6
Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin versant de Saïda	10
Figure 3 : Courbe hypsométrique et histogrammes des fréquences altimétriques du bassin	12
Figure 4 : Model numérique du terrain du bassin versant de Saïda	12
Figure 5 : Carte des aspects du bassin versant de l'Oued Saïda	14
Figure 6 : Carte Géologique du bassin versant de Saïda	22
Figure 7 : Coupe géologique	22
Figure 8 : Colonne litho-stratigraphique synthétique	23
Figure 9 : Carte de microfissurations	25
Figure 10 : Carte de macro-fissurations	26
Figure 11 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques	29
Figure 12 : Précipitations journalières du 1/9/1981 au 31/8/2020	30
Figure 13 : Hydrogramme de la crue de 19/10/82	30
Figure 14 : Hydrogramme de la crue de 12/11/84	30
Figure 15 : Hydrogramme de la crue de 19/03/89	30
Figure 16 : Hydrogramme de la crue de 13/03/91	30
Figure 17 : Hydrogramme de la crue de 15/01/04	31
Figure 18 : Hydrogramme de la crue de 13/11/04	31
Figure 19 : Hydrogramme de la crue de 11/11/05	31
Figure 20 : Hydrogramme de la crue de 13/11/12	31
Figure 21 : Hydrogramme de la crue de 25/04/13	31
Figure 22 : Hydrogramme de la crue de 05/04/16	31
Figure 23 : Les courbes IDF du bassin versant de Saïda	34
Figure 24 : Courbes GRADEX	35
Figure 25 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle	36
Figure 26 : Régimes saisonniers de précipitations	37
Figure 27 : Variation interannuelle de précipitations	42
Figure 28 : Variation de la température mensuelle	44
Figure 29 : Histogramme de l'humidité relative	45
Figure 30 : Histogramme de la vitesse du vent	46
Figure 31 : Courbe de l'évaporation moyenne mensuelle	46
Figure 32 : Effet splash	47
Figure 33 : Carte d'occupation du sol de la Wilaya de Saïda	49
Figure 34 : Relation entre les débits solides et les débits liquides instantanés	51
Figure 35 : Variations interannuelles des apports solides et apports liquides	51
Figure 36 : Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique du bassin versant de Saïda	53
Figure 37 : Carte des rejets d'eaux usées dans la wilaya de Saïda	56
Figure 38 : Carte des points d'eau et des prélèvements d'échantillons	60
Figure 39 : Diagramme de Berkaloff	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition hypsométrique du bassin d'Oued Saïda	11
Tableau 2 : Résultats des paramètres hydrographiques et morpho-métriques du bassin	15
Tableau 3 : Station hydrométrique d'Ain El Hdjar	28
Tableau 4 : Estimation des lames d'eaux précipitées	34
Tableau 5 : Estimation des intensités pluviométriques	34
Tableau 6 : Précipitations moyennes mensuelles	36
Tableau 7 : Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI	40
Tableau 8 : Résultats des valeurs d'indice SPI du bassin versant de Saïda	41
Tableau 9 : Classification climatique selon l'indice d'aridité De Martonne	43
Tableau 10 : Températures mensuelles (°C)	43
Tableau 11 : Variation de L'humidité relative mensuelle moyenne en %	44
Tableau 12 : La fréquence moyenne interannuelle des vents par leur direction	45
Tableau 13 : Vitesses moyennes mensuelles du vent	45
Tableau 14 : Évaporation moyenne mensuelle	46
Tableau 15 : Répartition mensuelle et annuelle des apports solides en suspension (en tonnes) et des dégradations spécifiques en (t/km ² /an) dans le bassin versant de Saïda	
Station hydrométrique de Sidi Boubkeur Saïda (1980/1981 à 2009/2010)	52
Tableau 16 : Les différents produits utilisés par les unités industrielles	58
Tableau 17 : Liste des points d'eau inventoriés pour analyses chimiques et bactériologiques	59
Tableau 18 : Variation des éléments chimiques	64

RÉSUMÉ

Le bassin versant de l'Oued Saïda se situe en zone semi-aride. Affecté, depuis plusieurs décennies par plusieurs problèmes causés en grande partie par la récession climatique d'une part et la forte pression anthropique d'autre part provoquant de sérieuses pertes. Parmi ces problèmes on cite les crues et inondations, l'érosion hydrique et la pollution des eaux.

Dans le cadre de ce travail, et dans le but de mieux cerner ces problèmes, notre étude est basée dans une première phase sur les paramètres morpho-métriques et géo-structuraux afin de caractériser les différents facteurs naturels intervenant dans les écoulements des eaux.

Dans une seconde phase, l'évolution des régimes pluviométriques, hydrologiques, hydrogéologiques et leurs conséquences sur les écoulements des eaux superficielles.

L'analyse des données qui nous ont été fournies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques d'Algérie a porté sur une période de 39ans (de 1981 au 2020). Ceci nous a permis d'identifier et d'évaluer les différents paramètres afférant aux phénomènes étudiés qui affectent le bassin versant de Saïda, permettant ainsi de prendre des mesures de prévisions et de préventions pour remédier aux dégâts causés.

Mots clés : bassin versant de l'Oued Saïda, semi-aride, crues et inondations, érosion hydrique, pollution des eaux, facteurs naturels, écoulement des eaux superficielles.

ABSTRACT

The Saïda Valley watershed is located in a semi-arid zone. For decades, it has been affected by several problems caused in large part due to the climatic recession on one hand and the strong anthropogenic pressure on the other, causing serious losses. These problems include floods, hydraulic erosion and water pollution.

As part of this work, and in order to better understand these problems, our study will focus in a first phase on the morphometric, geographic and geological parameters in order to characterize the various natural factors involved in water flows

In the second phase, the evolution of rainfall, hydrological and hydrogeological regimes and their consequences on surface water flows.

The analysis of the data which were carried out over a period of 39 years (from 1981 to 2020) by the services of the National Water Resources Agency of Algeria made it possible to draw and calculate the various parameters of the phenomena studied which affect the Saïda Valey watershed, to allow us to make forecasts and preventions in order to prevent disasters and minimize their damage.

Key words: Saïda Valley watershed, semi-arid, losses, floods, hydraulic erosion, water pollution, natural factors, surface water floxs,

ملخص

يقع حوض الصرف لوادي سعيدة في منطقة شبه قاحلة. على مدى عقود ، تأثر بالعديد من المشاكل التي نتجت في جزء كبير منها عن الركود المناخي من ناحية والضغط البشري القوي من ناحية أخرى ، مما تسبب في خسائر فادحة. وتشمل هذه المشاكل الفيضانات، التعرية المائية وتلوث المياه.

كجزء من هذا العمل ، ومن أجل فهم هذه المشاكل بشكل أفضل ، سنركز في دراستنا في المرحلة الأولى على المعلومات الشكلية والجغرافية والجيولوجية من أجل وصف العوامل الطبيعية المختلفة التي تدخل في تدفقات المياه

في المرحلة الثانية ، تطور نظم هطول الأمطار والأنظمة الهيدرولوجية والهيدرولوجية وعواقبها على تدفقات المياه السطحية.

أتاح تحليل البيانات التي تم إجراؤها على مدى 39 عامًا (من 1981 إلى 2020) من قبل خدمات الوكالة الوطنية للموارد المائية في الجزائر رسم وحساب المعايير المختلفة للظواهر المدروسة التي تؤثر على حوض الصرف لوادي سعيدة للسماح لنا بإجراء تنبؤات وإجراءات الوقاية من أجل منع الكوارث وتقليل أضرارها.

الكلمات المفتاحية :

حوض الصرف لوادي سعيدة، شبه قاحلة، خسائر، الفيضانات، التعرية المائية، تلوث المياه، العوامل الطبيعية، تدفقات المياه السطحية.

INTRODUCTION

De tous temps, l'eau a accompagné la vie des êtres humains, elle est devenue un élément essentiel de l'hygiène et de la santé. L'eau s'inscrit ainsi au cœur même de la civilisation. La rareté de l'eau douce et son inégale répartition géographique provoquent des conflits juridiques et politiques entre de nombreux pays et bien des communautés humaines. Elle est tellement précieuse que l'or a pris la couleur bleue.

L'eau en Algérie n'a jamais autant retenu l'attention des pouvoirs publics secoués par les organismes spécialisés qui prévoient de graves pénuries à des échéances très proches. Il est admis que des mesures sont nécessaires pour améliorer la capacité à s'adapter à la variabilité hydrologique et aux phénomènes extrêmes (inondations et sécheresses) observés aujourd'hui dans des circonstances dynamiques (notamment les pressions actuelles dues à la démographie, à l'économie, à l'utilisation des terres et au développement régional).

La modélisation du comportement hydrologique et hydrogéologique des bassins versants est incontournable dès lors que l'on s'intéresse à des problématiques relatives à l'évaluation et la gestion optimale des ressources en eau. Ceci s'illustre par un aspect quantitatif, dans les pays comme l'Algérie où l'alimentation en eau est un facteur limitant. Les périodes de sécheresse qui ont sévi ces dernières années ont fait diminuer les réserves en eau, et l'introduction de méthodes d'optimisation de ces ressources s'est révélée utile et indispensable.

La conception de tout ouvrage hydraulique nécessite que soit précisé le niveau de performance souhaité. Ce niveau de performance est souvent déterminé en fonction des dommages potentiels et de la sévérité des aléas météorologiques susceptibles d'entraîner un bris, un dysfonctionnement ou un dépassement de capacité de l'ouvrage en question, ainsi dans le cas des infrastructures de gestion des eaux pluviales, la dimension des différentes composantes du système (par ex. conduites, bassins de rétention, etc.) est établie en fonction de l'intensité de pluie et leur période de retour. Cette information est souvent exprimée sous la forme de courbes Intensité – Durée – Fréquence (IDF) obtenues à partir d'une étude statistique des événements extrêmes enregistrés sur un territoire donné (analyse fréquentielle).

A l'échelle mondiale, l'érosion du sol reste le plus grand problème de l'environnement, menaçant non seulement les pays développés, mais encore plus les pays en développement. 56% de ces pertes sont attribuables à l'érosion hydrique et 30% à l'érosion éolienne (FAO, 1994). Malheureusement,

ce phénomène ne cesse de s'accroître, à cause de certaines actions néfastes de l'homme. En Algérie, l'intensité de l'érosion hydrique varie d'une région à l'autre. La partie Ouest du pays est la plus érodée, où l'érosion touche 47% de l'ensemble des terres, suivie du centre 27% et de l'Est 26%.

L'Algérie est de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion (Achite et *al.*, 2006). L'envasement des barrages est posé actuellement comme un problème de grande importance aussi bien pour l'Algérie que pour le reste des pays du Maghreb, où la capacité de stockage est en nette diminution avec une régression moyenne égale à 5% par an (Kassoul et *al.*, 1997). Selon une étude établie par l'agence nationale des barrages (ANB) en 2003 un taux d'envasement de 12,21% a été enregistré pour les barrages de l'Est algérien, 16,47% et 19,08% pour les régions du centre et de l'Ouest. Cette situation aura pour impact une réduction de la capacité utile de la réserve d'eau. Comme conséquences de ces dégradations, la part des sédiments qui se déversent chaque année est estimée à 45 millions de m³ de vase se déposant au fond des barrages, ce qui représente une perte de capacité de stockage égale à 0,7% de la capacité totale (Remini, 2008).

L'Oued Saïda était auparavant un lieu de détente et de loisirs. Il s'écoulait en abondance et sa qualité permettait un développement normal des faunes et flores, dont il était très riche. Les riverains l'utilisaient comme source d'irrigation de leurs terres et pour l'abreuvement du cheptel sans aucun danger sanitaire.

Aujourd'hui, le caractère catastrophique que revêt la pollution de l'Oued et la nappe de Saïda commence à prendre des dimensions dépassant le niveau local, puisque l'Oued Saïda transfère la quasi-totalité des rejets industriels urbaines et agricoles plus en aval au niveau du barrage Wizert

Aussi vu l'hétérogénéité du réservoir Karstique des calcaires et dolomies de la nappe de Saïda, les contaminations sont liées au régime hydrodynamique, aux réactions chimiques pouvant intervenir entre l'eau et le réservoir et à des processus biologiques de plus, l'utilisation croissante de fertilisants et le recours aux produits chimiques augmentent les risques de contaminations des eaux souterraines.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA RÉGION D'ÉTUDE.

1. Cadre géographique

La région de Saïda se trouve dans la zone Nord-occidentale de l'Algérie et dans le Sud du Tel, le bassin versant de l'Oued Saïda fait partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au Nord-Ouest de l'Algérie, il est formé par les monts de Tlemcen, de Daya et de Saïda, Il est situé entre l'extrémité des monts de Daya au Nord et la région des hauts plateaux au Sud. Il est entouré par les monts de Daya à l'Ouest (Sidi Ahmed Zeggai), au Sud par la montagne de Sidi-Abdelkader à l'Est par les monts de Saïda avec entre autre le Djebel Tiffrit qui culmine à 1200m. Le bassin versant occupe la partie Sud-Est de la Macta, (Figure 1)

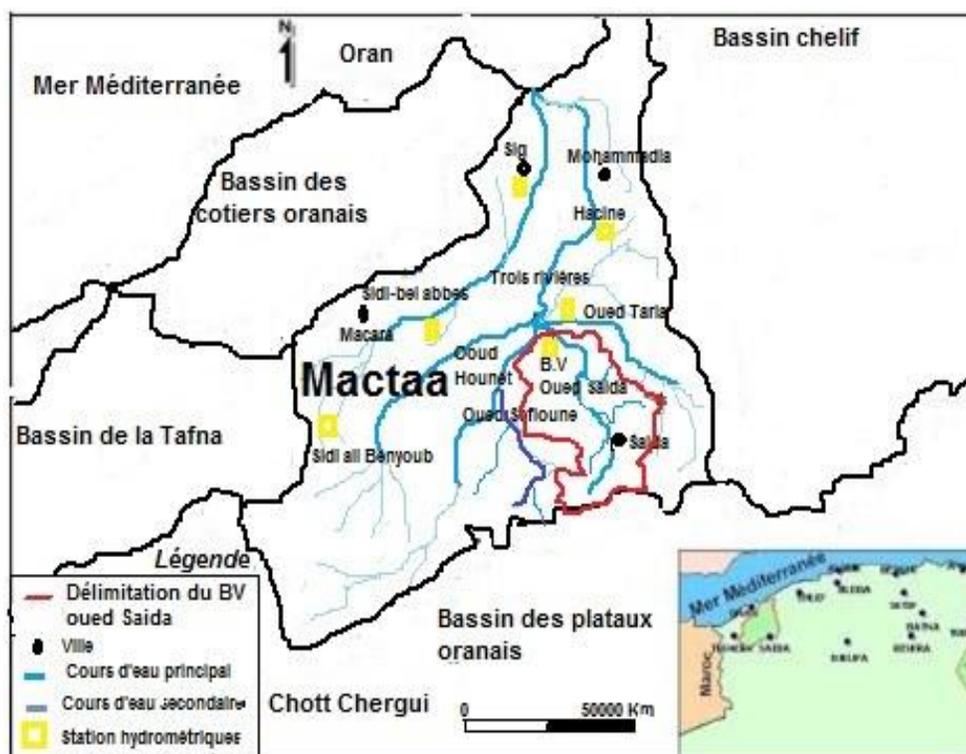


Figure 1 : Situation du bassin versant de l'Oued Saïda (ABH O.C.C 2006).

Le bassin versant de Saïda prend naissance au Sud de Ain El Hdjar où il est alimenté par l'Oued Tebouda (près de Moulay Abdelkrim), il est alimenté surtout après Saïda par plusieurs petits Oueds sur les deux rives, tels que : Oued Tagment, Oued Bou Hemmar, Oued Massil, Oued Nazreg.

2. Développement du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'une des caractéristiques les plus importantes du bassin versant, il se définit par l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Les facteurs principaux qui influencent le réseau hydrographique sont :

- La géologie : la lithologie de substratum qui influence évidemment sur la forme du réseau.
- La pente : les pentes sont de bons indicateurs pour la phase d'érosion ou sédimentation.
- Climat : la densité de réseau hydrographique variée selon le climat, dense dans les régions humides et disparaître dans les régions désertiques.
- Cour d'eau : Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent. Par contre les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

Nous avons représenté le développement du réseau hydrographique du bassin versant de Saïda à l'aide de la Figure 2 ; ce qui nous a permis de procéder à l'estimation des principaux paramètres physiographiques caractérisant le bassin versant considéré.

2.1. Densité de drainage

La densité de drainage (Dd) est le rapport de la somme des longueurs des cours d'eau d'un bassin versant (ΣL) à la superficie du bassin (A), elle est donnée par la formule suivante :

$$Dd = \frac{\Sigma L}{A}$$

Où : Dd : densité de drainage (Km/Km²).

ΣL : la somme des longueurs des cours d'eau (Km).

A : la surface du bassin versant (Km²).

La densité du bassin étudié est environ de 2.29 Km/Km².

2.2. Rapport de confluence

Le rapport de confluence est égal au quotient du nombre de talwegs du même ordre par celui des talwegs d'ordre supérieur, il est défini par la relation suivante :

$$Rc = \frac{Nn}{N(n+1)}$$

Où : Rc : rapport de confluence.

Nn : Nombre de cours d'eau d'ordre n.

Le rapport de confluence dans ce bassin est de 2.19.

2.3. Rapport des longueurs

Rapport des longueurs est calculé par la relation suivante :

$$RL = \frac{L(n+1)}{Ln}$$

Où : RL : rapport de longueurs.

Ln : nombre des cours d'eau d'ordre n.

La valeur de rapport des longueurs du bassin versant est de 1.47.

2.4. Fréquence des cours d'eau

Fréquence des cours d'eau elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface. Elle est obtenue à partir du rapport du nombre de cours d'eau à la surface totale du bassin. Elle est calculée par la relation suivante :

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

Où : Fs : fréquence des cours d'eau.

N : nombre de talweg.

A : surface du bassin (Km²).

La valeur de la fréquence des cours d'eau du bassin versant est de 0,59.

2.5. Coefficient de torrentialité

Coefficient de torrentialité est le produit de la densité de drainage par la fréquence des talwegs élémentaires :

$$Ct = Dd . F1$$

Où : Ct : coefficient de torrentialité.

Dd : densité de drainage.

$$F1 = \frac{N1}{A}$$

N1 : nombre des cours d'eau d'ordre 1.

A : la surface du bassin versant.

Le coefficient de torrentialité de ce bassin est 1.62.

2.6. Temps de concentration

Temps de concentration c'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, il se calcule par la formule suivante :

$$Tc = \frac{4(A + 1.5L)^{\frac{1}{2}}}{0.8(Hmoy - Hmin)^{\frac{1}{2}}}$$

Où : Tc : temps de concentration (heure).

A : superficie du bassin versant (km²).

L : longueur du cours d'eau principal (km).

Hmoy : altitude moyenne du bassin versant.

Hmin : altitude minimale du bassin versant.

Le temps de concentration de ce bassin est de 7h28mn.

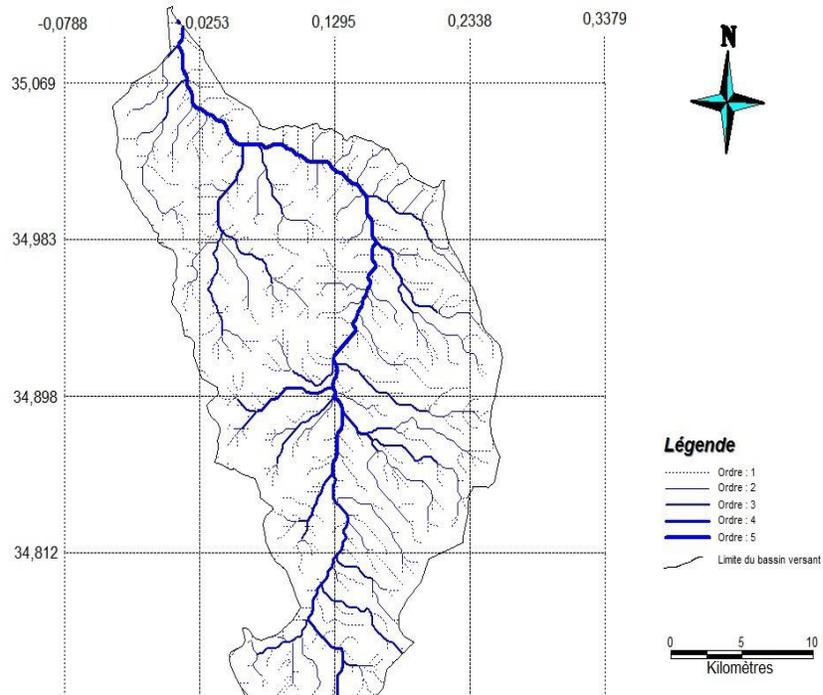


Figure 2 : Réseau hydrographique du bassin versant de Saïda. (ANRH)

3. Caractéristiques morpho-métriques

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement à sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage (Musset, 2005). Parmi ces caractéristiques morphologiques :

3.1. La surface

La surface du bassin versant qui est de 522.8 km² et un périmètre de 151 Km (déterminer par logiciel MapInfo Professional 7.5).

3.2. La forme

La forme du bassin qui est relative à l'indice de compacité de Gravelius qui est donnée par la formule suivante :

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Où : K_G : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant (Km).

A : Surface du bassin versant (Km²).

Dans notre cas, la valeur du coefficient de compacité $KG = 1,61$ indique que le bassin est de forme plutôt allongée.

3.3. Les altitudes

Les altitudes maximale et minimale, elles sont obtenues directement à partir de carte topographique, L'altitude maximale représente le point le plus élevé (1150m dans notre cas) du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas (520m dans notre cas).

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A}$$

Où : H_{moy} : altitude moyenne du bassin (m).

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau (Km^2).

h_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m).

A : superficie totale du bassin versant (Km^2).

L'altitude moyenne du bassin versant de Saïda est environ 850m tandis que les parties voisines baissent jusqu'à environ 650m dans la partie Nord-Est de la région prospectée.

La Figure ci-dessous (Figure 4) englobe le modèle numérique de terrain (M.N.T) du bassin versant de l'Oued Saïda. Elle donne un aperçu quant à la répartition des altitudes dans le bassin et confirme par ailleurs les informations données par la courbe hypsométrique ci-dessous (Figure 3) :

Tranches d'altitudes	A_i (Km^2)	A_i cum (Km^2)	A_i (%)	A_i cum (%)
1150 – 1100	3,60	3,6	0,66	0,66
1100 – 1050	41,70	45,3	7,67	8,33
1050 – 950	118,50	163,8	21,82	30,15
950 – 850	109,17	272,97	20,10	50,25
850 – 750	118,8	391,77	21,87	72,12
750 – 650	95,10	486,87	17,51	89,63
650 – 550	37,37	524,24	6,92	96,55
550 - 520	18,76	543,0	3,45	100

Tableau 1 : Répartition hypsométrique du bassin d'Oued Saïda.

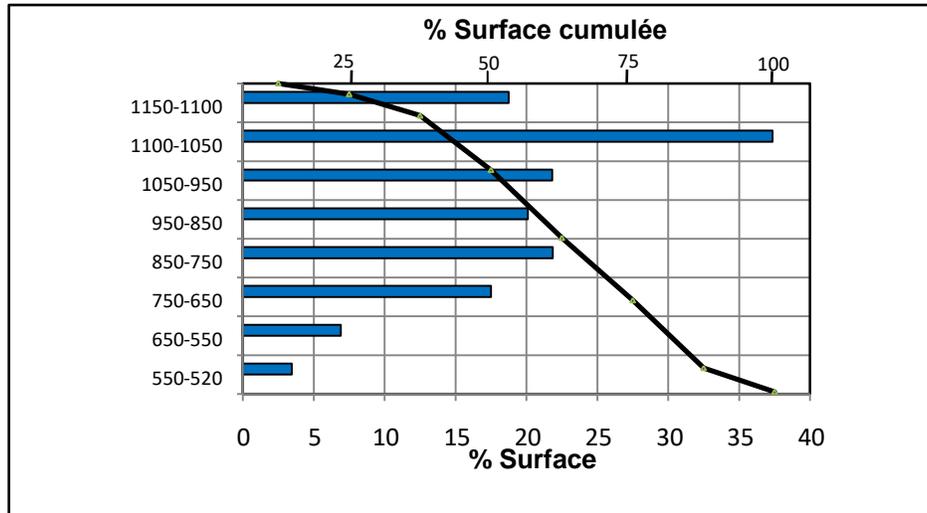


Figure 3 : Courbe hypsométrique et histogrammes des fréquences altimétriques du bassin.

La courbe hypsométrique, montre des pentes faibles vers les hautes altitudes ce qui indiquant la présence de zones abruptes en amont du bassin, favorisant ainsi un écoulement torrentiel. Les pentes de la courbe sont importantes vers les basses altitudes et expriment que l'Oued Saïda termine sa course au niveau d'une zone pénélaine et les risques d'inondation ne sont pas à exclure. L'Oued Saïda, présente bien l'état d'équilibre du bassin, offrant un potentiel érosif moyen à faible.

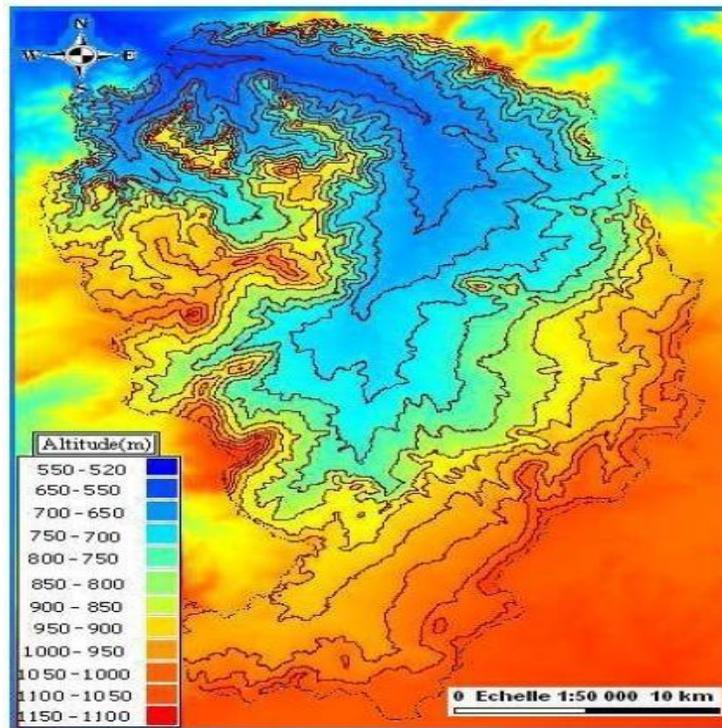


Figure 4 : Model numérique du terrain du bassin versant de Saïda.

3.4. La pente

Indice de pente du bassin versant est établi à partir de la formule suivante :

$$P \% = \frac{Lh \cdot d \cdot 100}{S}$$

Où : Lh : longueur des courbes de niveau.

d : dénivelée.

S : surface du bassin versant.

La pente du bassin en pourcentage est de 9.5% environ, elle permet un faible ruissellement des eaux pluviales donc une infiltration importante dans les terrains perméables, alors un contact direct avec la nappe et dans le cas de présence d'un polluant (rejets industriels, décharges...) il provoque une contamination rapide et directe.

On peut aussi calculer la pente moyenne de l'Oued d'après la formule suivante :

$$I = \frac{H_{source} - H_{emb}}{L_{oued}} \times 1000$$

Où : H_{source} : altitude de la source.

H_{emb} : altitude de l'embouchure.

L_{Oued} : longueur de l'Oued.

La pente de l'Oued étant très faible 1% ; elle permet au cours des périodes des averses le transport de matières polluantes de l'amont à l'aval ainsi que leur infiltration au passage sur les terrains perméables.

La carte des aspects ci-dessous montre l'orientation des pentes par rapport au Nord et leur degré de pente dans le bassin versant considéré.

3.4.1. Carte des aspects

La carte des aspects (Figure 5), donne une orientation du relief (pente) par rapport au Nord et conduit à évaluer l'influence de l'orientation de la pente sur le comportement hydrologique du

bassin. Elle montre les orientations de la pente en degrés par rapport au Nord pour le cas du bassin étudié.

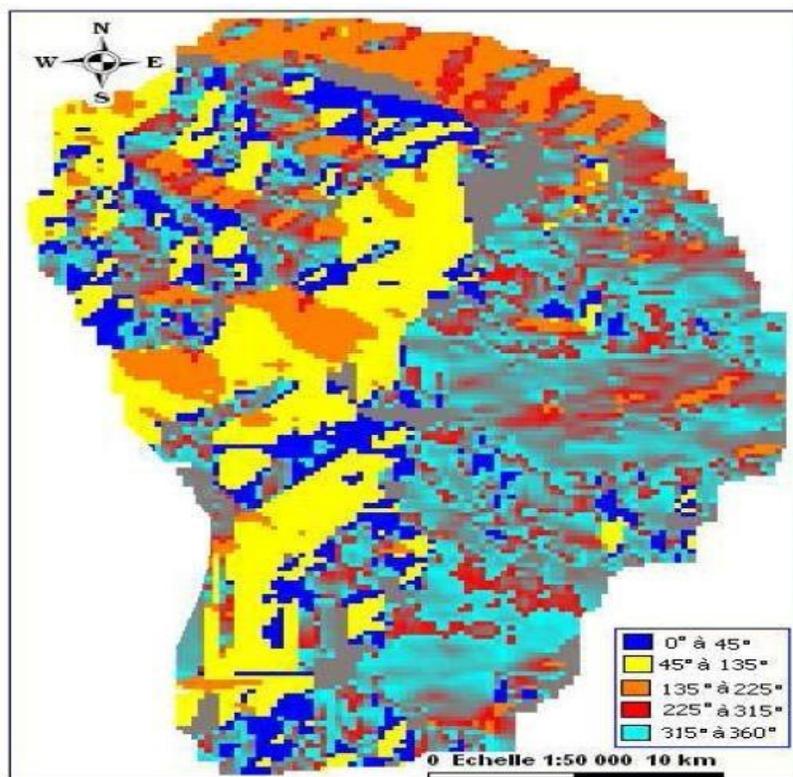


Figure 5 : Carte des aspects du bassin versant de l'Oued Saïda (Yeles, 2014).

4. Conclusion

D'après l'étude des caractères morpho-métriques et le calcul des paramètres hydrographiques du bassin versant de Saïda, nous avons réuni au tableau ci-dessous (tableau 2) l'ensemble des résultats obtenus.

Il s'avère que le bassin versant est bien drainé selon les valeurs de la densité de drainage et la fréquence des cours d'eau, et que le réseau hydrographique est bien organisé d'après le rapport de confluence. La faible valeur du coefficient de torrentialité indique que les précipitations sont faibles et irrégulières où encore une perméabilité importante des formations géologiques centrées à l'échelle du bassin versant.

Enfin, le temps de concentration se constate assez important en raison de la forme et du relief qui caractérisent le bassin.

Caractéristiques	Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
Réseau hydrographique	La densité de drainage.	Dd	Km/km ²	2.29
	Le rapport de confluence.	Rc	-	2.19
	Rapport de longueurs.	R _L	-	1.47
	Fréquence des cours d'eau.	Fs	-	0,59
	Coefficient de torrentialité.	Ct	-	1.62
	Temps de concentration.	Tc	Heure	7h.28min
Morphologie du bassin versant	Surface	A	Km ²	522.8
	Périmètre	P	Km	151
	Coefficient de Gravelius	K _G	-	1.61
Relief	Altitude maximale	H _{Max}	m	1150
	Altitude minimale	H _{Min}	m	520
	Altitude moyenne	H _{Moy}	m	850
	Pente du bassin versant	P	%	9.5
	Pente de Oued	I	%	1

Tableau 2 : Résultats des paramètres hydrographiques et morpho-métriques du bassin étudié.

5. Cadre géologique

La région de Saïda appartient à la zone la plus externe de la chaîne alpine Nord MAGHERÉBINE, C'est une zone monotone peu déformée appartenant à la Meseta Oranaise, elle est constituée de deux grands domaines structuraux :

- 1) Un socle autochtone d'âge Hercynien qui affleure dans la région de Tiffrit.
- 2) Une couverture formée par des formations du Trias jusqu'au Quaternaire actuel, cet ensemble forme les monts de Daïa.

La connaissance de la géologie d'un bassin versant est très importante pour savoir leur influence sur l'écoulement de l'eau souterraine et sur le ruissellement de surface.

6. Étude Litho-stratigraphique

Elle est basée surtout sur les travaux effectués par AUCLAIR D. et BIECHLER J (1965), l'étude est réalisée par des sondages ainsi que les observations et l'étude sur les formations affleurantes.

A. Primaire

1. Socle calédonien

Il est composé par des roches fortement métamorphisées

2. Socle hercynien

Il est constitué par un complexe de roches faiblement métamorphisées représentées par des grès, schistes argileux et de schistes calcareux, ce complexe de roches a été aussi en évidence par les sondages effectués sur la région étudiée.

B. Mésozoïque

1. Trias (t)

Il est composé surtout d'argiles gréseuses à gypse et des produits volcaniques représentés par des pyroclastiques, des basaltes et des tufs basaltiques.

2. Jurassique (I-j)

Les dépôts du Jurassique occupent une grande surface et sont représentés par les roches carbonatées du Jurassique moyen et les roches argilo-carbonatées terrigènes du Jurassique supérieur.

2.1. Jurassique inférieur (Lias I)

Les dépôts du lias sont représentés par des calcaires peu dolomitiques, des brèches calcaires, des dolomies et des marnes, l'affleurement observé dans la région de Khalfaallah.

2.2. Jurassique moyen (dogger j1-4)

Il affleure dans la partie orientale de la région d'étude, où il couvre des superficies considérables, certains affleurements s'observent au sein des blocs tectoniques de Zeboudj.

2.2.1. Bajocien (j2)

La coupe la plus complète de cette assise s'observe sur la rive droite de l'Oued Saïda, les parties moyennes et supérieures de l'assise sont représentées de bas en haut :

- Dolomies compactes grisâtres à rosâtres à grains fins et à nids de calcite (14m).
- Dolomies compactes grisâtres à grains fins et à nids de calcite (22m).
- Dolomies massives grisâtres à grains moyens (10m).
- Dolomies compactes grisâtres à grains fins stratifiées avec un passage de calcaires (30m).
- Dolomies à grains grossiers à moyens et à nid de calcite avec des passages de calcaires et parfois d'argiles (40m).

2.2.2. Bathonien (j3)

Il s'observe seulement le long de la bordure orientale de la partie Sud, la partie basale (seule visible) est représentée par des calcaires blancs avec des passages dolomitiques grisâtres à grains fins, l'épaisseur visible de ces dépôts est de 30m environ.

2.2.3. Callovien-oxfordien (j4-j5)

Les dépôts de cet âge sont largement développés dans la partie orientale de la région étudiée en particulier dans les bassins des Oueds de Saïda et Tabouda et aux environs de la ville de Saïda où ils sont représentés par les roches argilo gréseuses à passages carbonatées. Les coupes réalisées aux environs de Saïda où affleurent les parties sommitales et moyennes de l'ensemble montrent de bas en haut :

- Alternance de grés calcaires gris et fins, de calcaires et de marnes rougeâtres (20 m).
- Argiles-calcareux verdâtres à passages de grés-calcareux grisâtres (17m)
- Grés-calcareux compacts brunâtres à grains fins à moyens ferrugineux et à débris de végétaux (30m).
- Grés quartzeux grisâtres (10m).
- Grés-calcareux compacts verdâtres à grains moyens à passages de grés quartzeux (10m).

- Grés-calcareux fins de couleur brunâtre à passages de marnes et calcaires (13.5m).

La partie basale du Callovo-oxfordien est représentée d'une manière complète sur les affleurements des monts de Mouna et Ferkoute de bas en haut :

- Argiles bleues vertes foncé à passage de grés-calcareux à grains moyens (30m).
- Alternance d'argiles bleues à vertes foncées, grés-calcareux finement lités compacts et marnes (70m).
- Grés-calcareux à quartz grisâtres à grains moyens ferrugineux (10m).

2.3. Jurassique supérieur (Malm j5-7)

Il occupe la plus grande partie du territoire, il est représenté par :

- formation argileuses terrigènes avec une proportion de matières carbonatées du callovien-oxfordien.
- formation carbonatées terrigènes de l'oxfordien supérieur kimméridgien inférieur.
- formation carbonatées du kimméridgien moyen et supérieur et du portlandien.

2.3.1. Oxfordien inférieur (j5a)

Il affleure sur les versants et aux sommets des monts d'El Hadj Abdelkrim, Ahmed Ez Zeggai Aiat, les dépôts de L'Oxfordien inférieur composent ici de nombreux escarpements rocheux, on peut établir la coupe suivante de bas en haut :

- Grés calcaires grisâtres à grains fins avec des passages dans la partie basale d'argilites faiblement calcareuses de 100m d'épaisseur.
- Grés quartzeux grisâtres meubles peu consolidés sur 40m d'épaisseur.
- Dolomies de couleur gris foncé à grains moyens et calcaires grisâtres à grains fins à très fins avec des passages minces et de rares marnes et argiles calcaires sur 70m d'épaisseur.
- Grés quartzeux à grains fins peu consolidés à une épaisseur de 10m.
- Dolomies gréseuses à grains fins et grés à ciment calcaro-dolomitique.

Dans la partie sommitale on observe des passages de calcaires et d'argilites ferrugineuses sur 70m d'épaisseur.

L'épaisseur totale de cette formation est de 290m environ.

2.3.2. Oxfordien supérieur (j5c)

Ces dépôts sont affleurés dans les bassins des Oueds de Berbour, ils sont représentés par une assise terrigène monotone à prédominance de grés qui constituent environ 90% des roches de l'ensemble, quelques coupes de l'Oxfordien supérieur ont été étudiées dans la partie Sud-Ouest du territoire observé où cet étage est représenté essentiellement par des grés quartzeux peu consolidés. L'épaisseur atteint 550 m environ, AUCLAIR D. et BIEHLER J. décrivent la macrofaune qui est constituée de gastéropodes, échinodermes, lamellibranches et polypiers, la microfaune et la microflore se compose d'algues et de foraminifères.

2.3.3. Kimméridgien (j6)

Il est très répandu au Nord-Ouest du territoire, il affleure sous forme d'escarpement rocheux sur les versants des monts de Daïa il est représenté de bas en haut par :

- Dolomies et dolomies gréseuses massives à grains fins à 40m d'épaisseur.
- Dolomies gréseuses verdâtres à grains moyens sur une épaisseur de 10m.
- Dolomies gréseuses massives jaunâtres à grains fins sur 40m d'épaisseur.
- Dolomies gréseuses grisâtres à grains fins sur une épaisseur de 20m.

La coupe est constituée de dolomies contenant une proportion notable des grés dans sa partie supérieure, seulement dans la région des Djebel El Outid et Bel Louza ; on observe parmi les dolomies des passages rares de calcaires et de grés quartzeux mal consolidés. AUCLAIR D. et BIEHLER J. individualisent sur les surfaces voisines une assise analogue qu'ils décrivent comme formation de Dolomies de Tlemcen contenant la faune de kimméridgienne.

2.3.4. Portlandien (j7c-n1a)

C'est un monotone de roches essentiellement carbonatées, représenté par des calcaires grisâtres verdâtres, rarement des marnes grisâtres avec des passages de calcaires argileux et de calcaires oolithiques l'épaisseur est de 90m.

3. Crétacé (c-n)

Les dépôts du Crétacé sont peu développés sur la région étudiée, ils sont étirés sous forme d'une bande étroite le long de la limite occidentale.

3.1. Crétacé inférieur (n)

3.1.1. Valanginien (n2)

Il représente des affleurements restreints sur la rive gauche de l'Oued Berbour au Nord-Ouest de la région étudiée, il est composé de marnes verdâtres ou jaunâtres avec des passages de calcaires biogènes, parfois graveleux ou oolithiques. L'épaisseur de la formation est de 25m.

3.1.2. Hauterivien (n3)

Il affleure le long de la bordure occidentale de la partie Nord de la région étudiée, la partie inférieure est représentée par les marnes verdâtres, des grés quartzeux peu consolidés, des dolomies et des calcaires gréseux. La partie supérieure est constituée par des dolomies gréseuses grisâtres à grains fins avec des passages de grés et rarement de marnes. L'épaisseur de cette formation varie entre 10 à 100m (du Nord au Sud).

Le macrofaune est représenté par des Lamellibranches et des Bryozoaires.

3.1.3. Barrémien (n4)

Il affleure le long de la bordure occidentale de la partie Nord et dans la partie Sud-Ouest, il est caractérisé par des grés roses ou blancs à grains fins à moyens, des grés quartzeux mal consolidés typiques pour la partie inférieure de Barrémien.

La partie supérieure est représentée par des grés quartzeux de couleur grisâtre souvent rouge-brunâtre à grains fins à moyens mal consolidés, avec un passage de dolomies gréseuses, de calcaires grisâtres et d'argiles verdâtres. L'épaisseur de cette formation est de 450m environ

3.1.4. Aptien (n5)

La coupe la plus complète se trouve à Djebel Oum Graf, elle est constituée par un ensemble des dolomies grisâtres sur 18m d'épaisseur, un ensemble des marnes dolomitiques jaunâtres à grisâtres finement litées avec un passage des marnes et des calcaires dolomitiques, l'épaisseur de cette

formation est de 85m environ. Et un autre ensemble de calcaires massifs grisâtres de 30 m d'épaisseur.

Pour la faune, AUCLAIR D. et BIEHLER J. ont déterminé des microfaunes, des foraminifères et des ostracodes. Les macrofaunes sont caractérisés par des Huitres, des gastéropodes, des crinoïdes et des échinodermes.

3.1.5. Albien (n6)

Il est observé dans la partie Sud-Ouest, il est représenté par des grés de couleur rose mal consolidés et rarement des argiles-gréseuses verdâtres à rougeâtres sur une épaisseur de 24m environ. Cette formation est attribuée à l'Albien à cause de l'absence de la faune.

3.2. Crétacé supérieur (c)

3.2.1. Cénomanién (c1)

Cet affleurement montre que la partie inférieure de la formation près de Djebel Aoun, il est caractérisé par des marnes de couleur jaunâtre ou verdâtre avec des passages dolomitiques grisâtres sur une épaisseur de 15m.

C. Cénozoïque

Il comporte des dépôts continentaux du Plio-quaternaire supérieur et du Quaternaire supérieur actuel

1. Plio-quaternaire (Pc-Q3)

Ils sont représentés essentiellement par des conglomérats ferrugineux grossièrement détritiques, le ciment calcaire ou dolomitique soude les débris arrondis de taille variable, on observe des grés carbonates, des tufs calcaires et des passages minces de calcaire grisâtre. L'épaisseur maximale de ces dépôts est de 20m

2. Quaternaire supérieur (Q3-Q4)

Il est répandu sur les vallées des Oueds de Saïda et de Berbour, sur les rives on observe des terrasses alluviales et des petits affleurements de conglomérats, calcaires et grés carbonates.

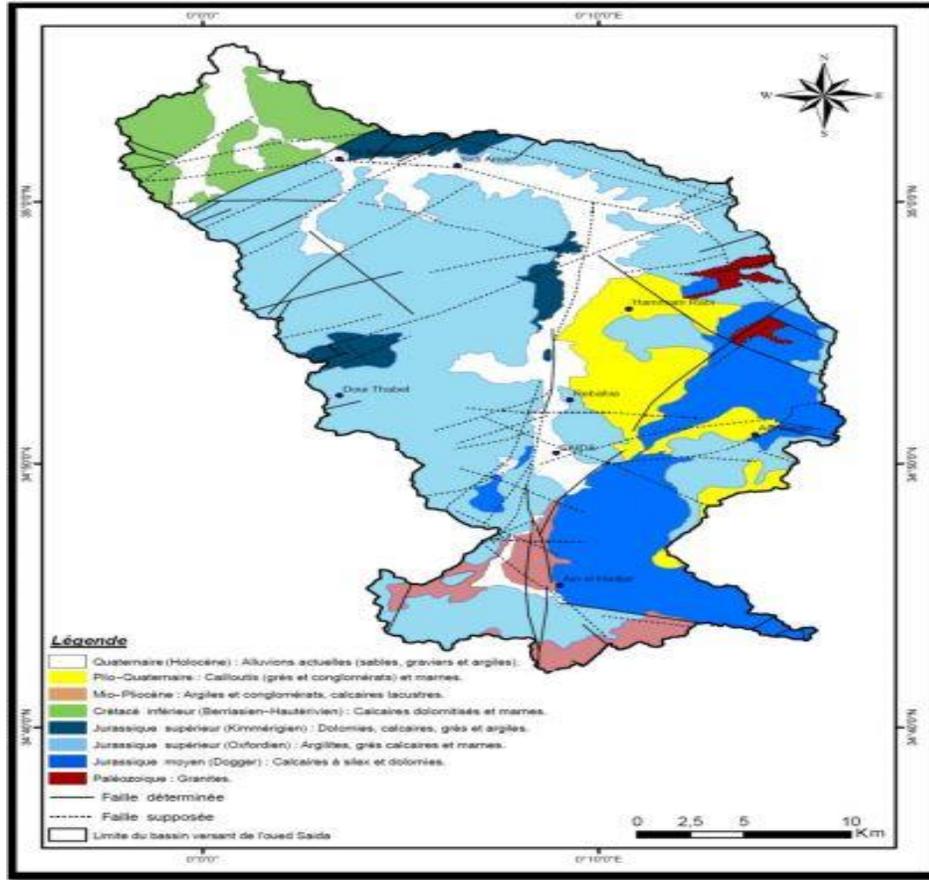


Figure 6 : Carte Géologique du bassin versant de Saïda.
(D'après la carte géologique de l'Algérie au 1/200 000 établie par l'ANRH, 2008).

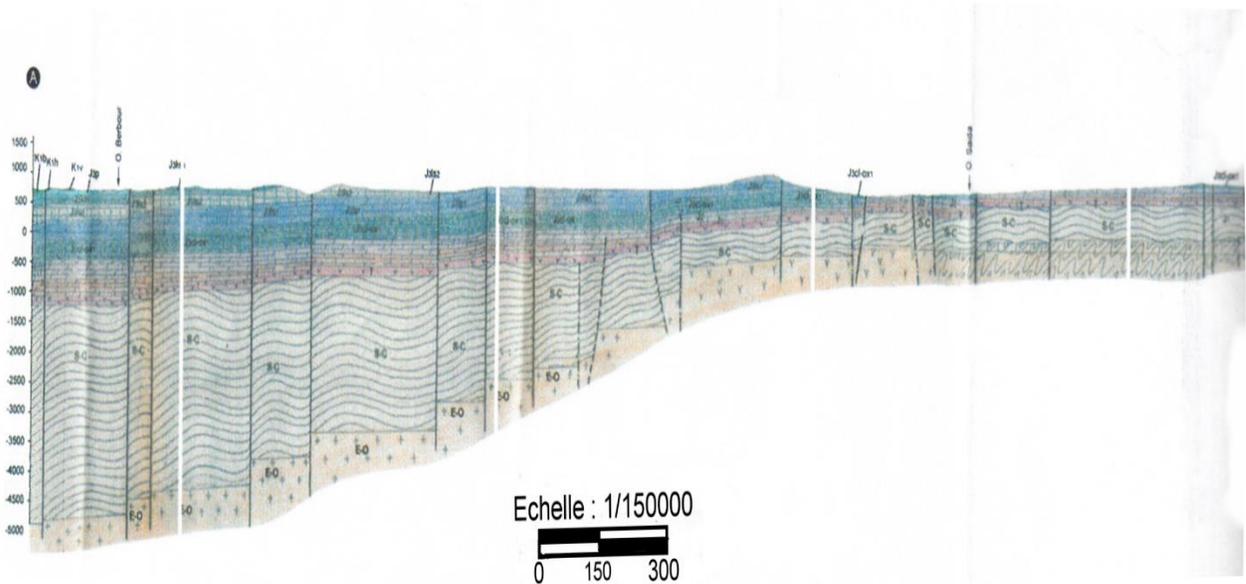


Figure 7 : Coupe géologique.

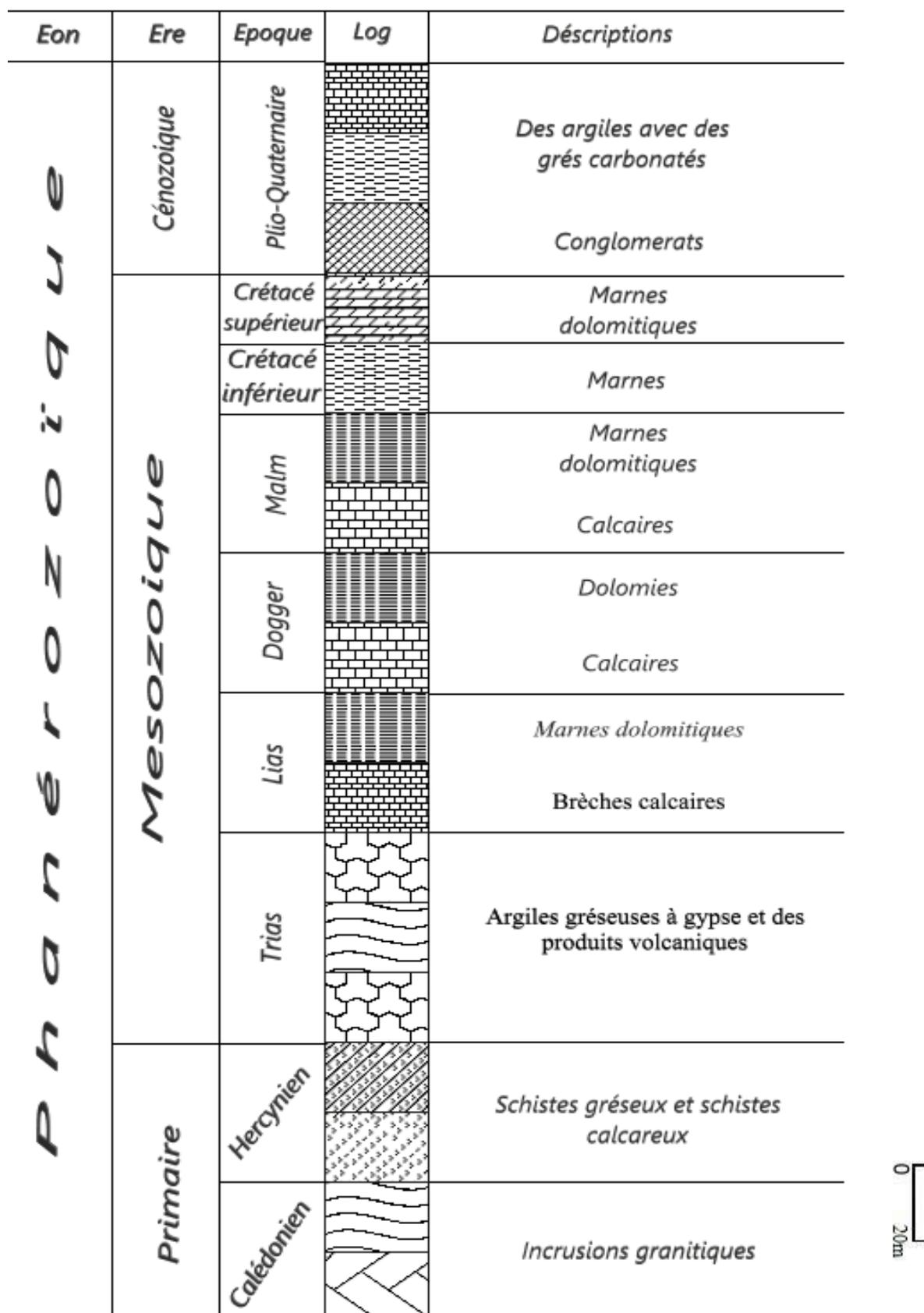


Figure 8 : Colonne litho-stratigraphique synthétique.

7. Tectonique

La ville de Saïda se trouve entourée d'un ensemble de reliefs élevés dont l'altitude dépasse 1000m. Les monts de Saïda forment un grand anticlinal de direction SW-NE reliant les monts de Daïa aux monts de Frenda, Ce grand anticlinal est caractérisé par des formations dures telles que les Dolomies et calcaires du Bajo-Bathonien ce qui favorise une tectonique cassante due généralement à des mouvements compressifs, avec une faille sub-verticale bien visible au niveau de l'Oued Saïda, le pendage des formations est globalement faible vers l'Ouest.

Cette tectonique assez développée accentue le taux d'infiltration des eaux souterraines qui vont suivre ce réseau de cassures. Par ailleurs, le système de fracturation très développé est en grande partie à l'origine du développement du karst caractérisant la zone de Saïda. (A. BENCHERKI, 2008). Les deux cartes ci-dessous (Figure 9 et 10) sont réalisées par la S.ET.HY.OR. (1982) (Société des Études Hydrauliques d'Oran) représentent les microfissures (failles) et les microfissures (fissurations).

7.1. Macro-fissuration

Cette carte a été obtenue en reportant systématiquement toutes les failles et diaclases observées dans plusieurs secteurs dans le bassin, on peut distinguer 3 grandes familles de failles orientées à (N50 – N70), (N130 – N150) et N130. On constate aussi que les directions d'écoulement sont subparallèles aux directions de fracturations, donc il y a une relation entre la tectonique et le sens d'écoulements.

7.2. Microfissuration

Les mesures ont été effectuées sur des bancs d'essai des affleurements Karstiques dans le bassin étudié, les directions majeures sont orientées (N50 – N70) ET (N130 – N150), l'écoulement suit les directions de la microfissuration ainsi que l'infiltration importante à partir de ces fissures.

7.3. Conclusion

Selon les cartes, l'ensemble des fractures (macro et microfissures) sont subparallèles sauf dans le Sud du bassin où elles sont perpendiculaires.

Le réseau de microfissures et macro-fissures suit l'organisation générale du chevelu hydrographique du bassin de Saïda ce qui confirme son adaptation au contexte géo-structural.

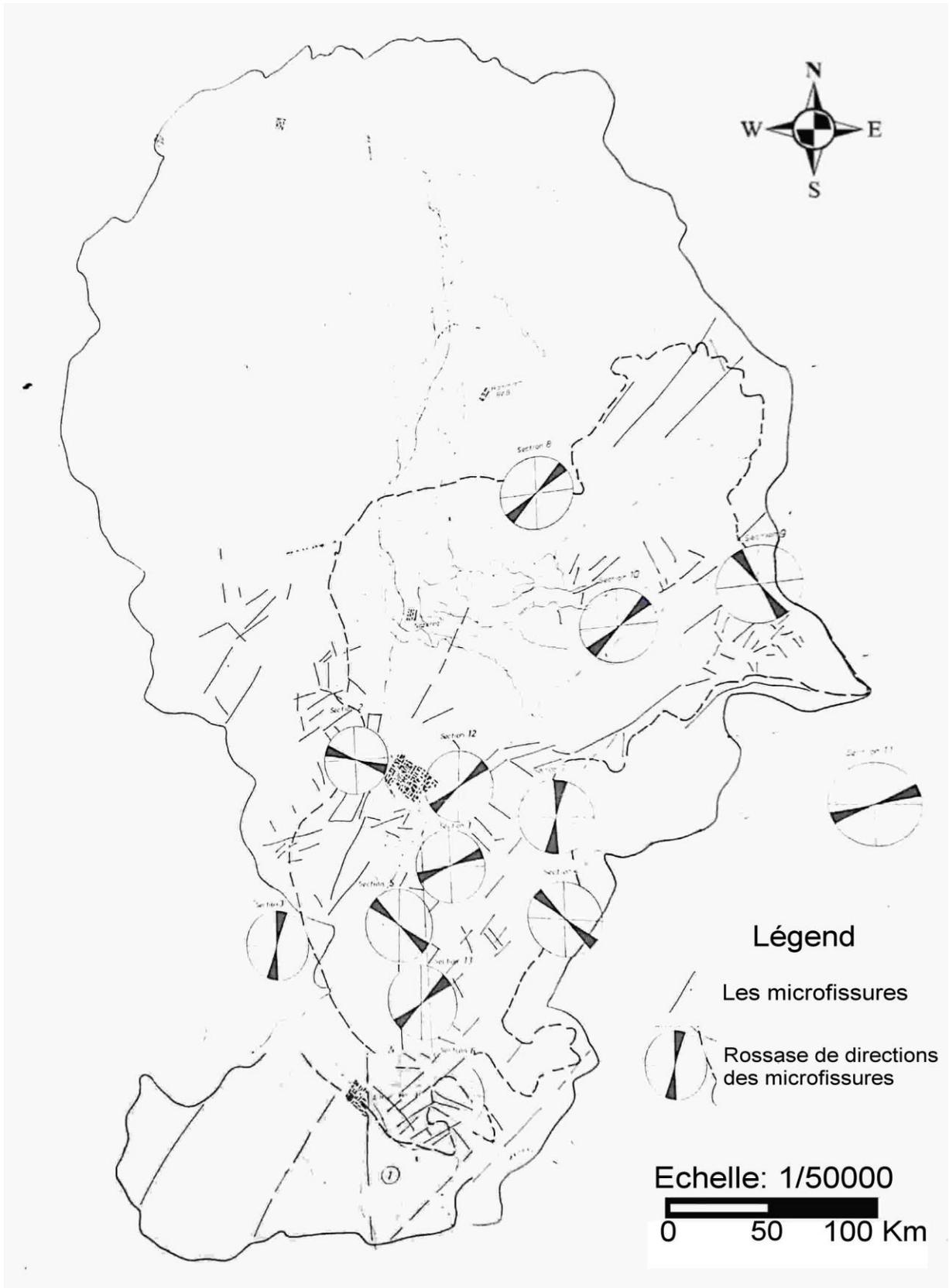


Figure 9 : Carte de microfissurations (Direction de l'hydraulique Saïda).

Les macrofissures

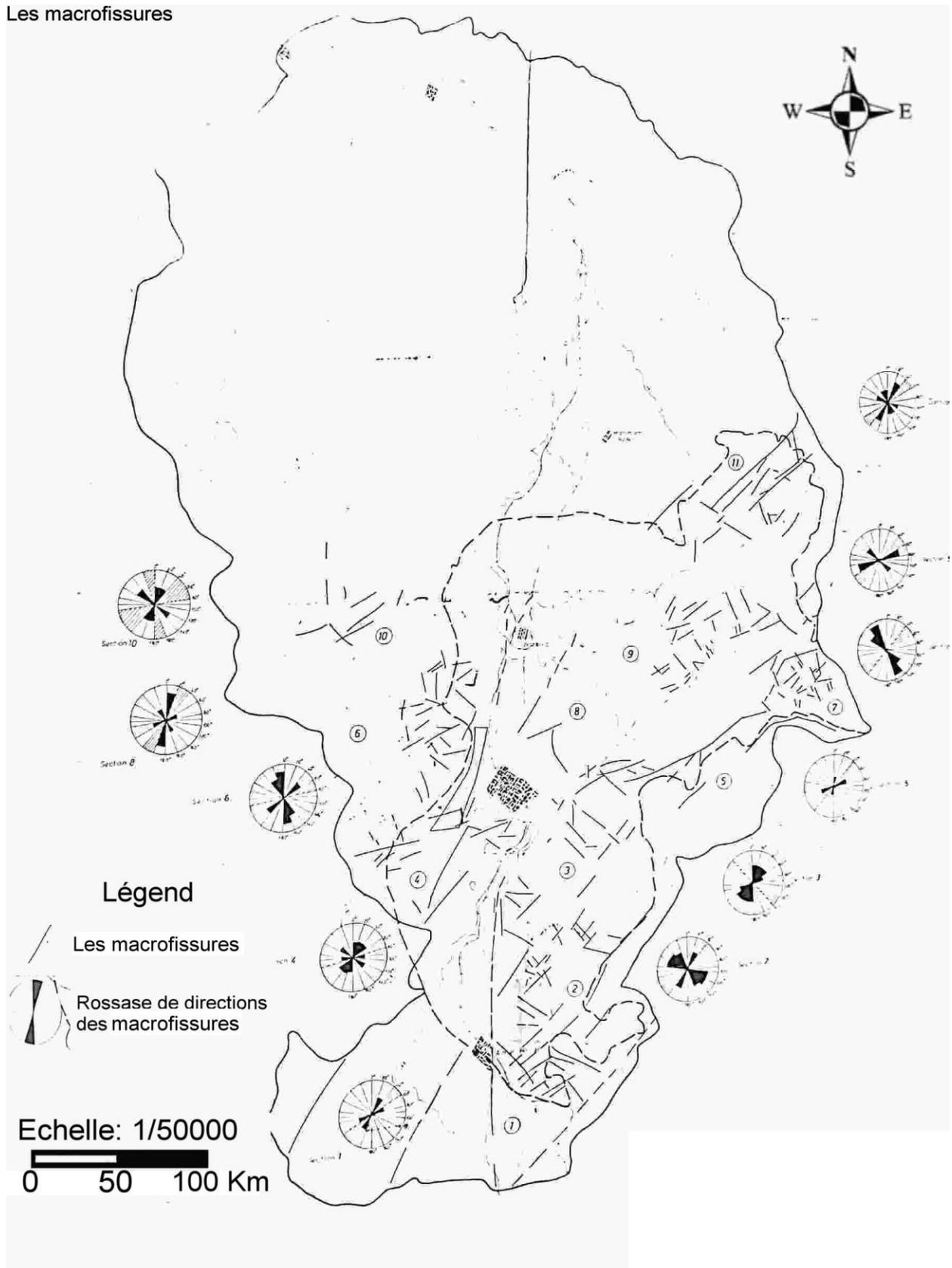


Figure 10 : Carte de macro-fissurations (Direction de l'hydraulique Saïda).

CHAPITRE II

MODÉLISATIONS D'ALÉAS

Les risques hydrologiques font partie des risques dits naturels, on désigne par danger ou risque hydrologique les risques induits par l'eau lorsqu'elle tombe sous forme de précipitations liquides ou solides. Cette classe de dangers/risques est donc relative à des phénomènes variés tels que les débordements de cours d'eau (crue, inondation) et certains écoulements souterrains (remontée de nappe), les crues torrentielles et les avalanches de neige. Les dommages liés aux risques hydrologiques représentent environ 45 % des dommages.

I. LES CRUES ET LES INONDATIONS

Inondation c'est une irruption d'eau sur un terrain normalement sec comme une submersion par l'eau débordant du lit normal d'un cours d'eau, ou comme une accumulation d'eau provenant de drainages, sur des zones qui ne sont pas normalement submergées, Il s'agit d'une situation temporaire dommageable (destruction d'habitations, par exemple).

Les crues torrentielles sont des écoulements d'eau avec un fort transport solide du sédiment grossier par roulement, glissement, saltation le long du lit, qui se produisent dans les torrents et les rivières de montagne ou de piémont

On peut relier les crues et inondations à des scénarios météorologiques.

A. Étude climatique

Les éléments climatiques sont les paramètres de base indispensables à connaître pour conduire une réflexion sur le bilan hydraulique. Les différents éléments caractérisant le climat sont principalement : les précipitations, l'humidité relative de l'air, la température, le vent..., il est important donc de connaître chacune de ces composantes.

A cet effet, nous aborderons dans cette étude les paramètres intervenant dans le climat. Les données climatiques sont basées sur celles des observations effectuées sur les principales stations hydro-pluviométriques de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et l'Office National de la Météorologie dans la région d'Ain El Hdjar durant la période 1981- 2020.

1. Les précipitations

Les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle important dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963). Les relevés pluviométriques constituent l'une des données indispensables dans l'étude du climat d'une région. Les précipitations, représentent essentiellement le facteur influençant le régime d'écoulement et le volume d'eau infiltré. Le bassin versant de l'Oued Saïda est soumis à l'influence de deux régimes saisonniers opposés en matière de formation de précipitations. Le premier est méditerranéen dominant, qui agit par des entrées marines, provoquant de fortes précipitations en saison d'hiver. Le second est continental, caractérisé par les effets orageux des saisons estivales (YELES, 2014). La pluviométrie consiste toujours à mesurer une hauteur de précipitations pendant un intervalle de temps. On a l'habitude d'exprimer les précipitations en millimètre par jour. Dans notre cas la pluviométrie est exprimée en mm/mois, mm/an ou mm/j. Elle représente une hauteur d'eau tombée sur le bassin versant considéré et intégrant la distribution spatio-temporelle.

La région de Saïda fait partie des régions de l'Algérie où la moyenne de précipitations annuelles (varie de 200mm à 400mm) est au-dessus de la moyenne de précipitations au niveau national ; un déficit en précipitations semble donc bien marquer la région notamment durant la période post 1981.

Nous avons utilisé les données de précipitations de la station hydrométrique d'Ain El Hdjar (Tableau 3) à cause de sa situation dans l'amont du bassin versant de Saïda et à proximité du périmètre du bassin.

Nom de la station	Code	Coordonnées			Années d'observations
		X	Y	Z	
Ain El Hdjar	11 11 03	266.5	165.2	1025	1981 - 2020

Tableau 3 : Station hydrométrique d'Ain El Hdjar.

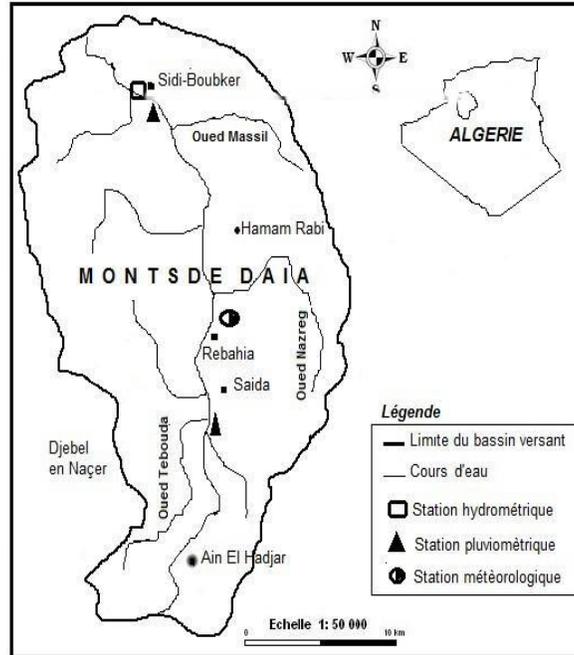


Figure 11 : Localisation des stations pluviométriques et hydrométriques (O.N.I.D, 2010)
(OFFICE NATIONAL DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE).

1.1. Précipitations journalières

Les données de précipitations journalières nous ont permis d'estimer les précipitations intenses et les averses à l'origine du déclenchement des écoulements. Les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans les cours d'eaux, engendrant des crues torrentielles brutales et violentes. 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. L'imperméabilisation du sol par les aménagements limite l'infiltration de précipitations et favorise le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. On estime que ce désordre est la conséquence de la sous-estimation du dimensionnement du réseau d'assainissement en milieu urbain.

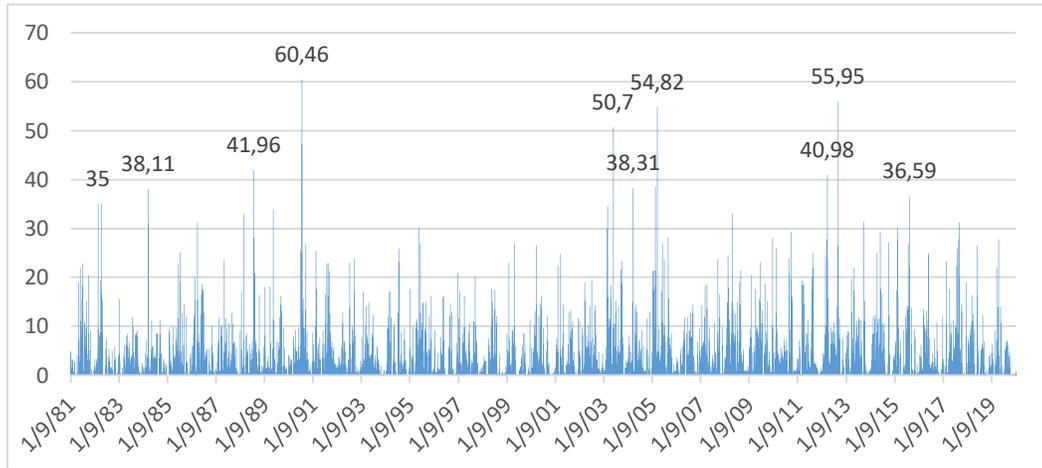


Figure 12 : Précipitations journalières du 1/9/1981 au 31/8/2020.

L’histogramme ci-dessus (Figure 12) représente les précipitations journalières mesurées à l’échelle de la commune de Ain El Hdjar. Nous avons ciblé les précipitations les plus intenses pour pouvoir étudier leur régime à partir des hydrogrammes unitaires qui sont représentés ci-après (Figure 13 – Figure 22).

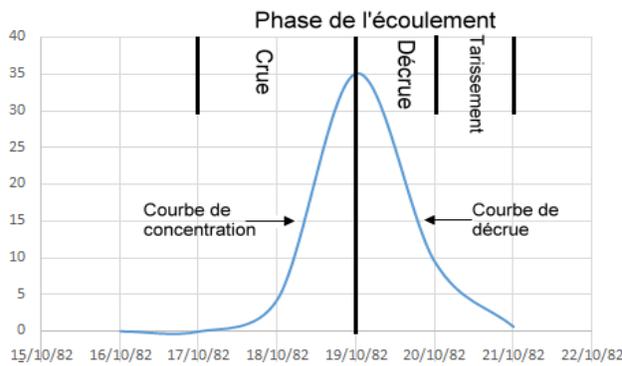


Figure 13:Hydrogramme de la crue de 19/10/82.

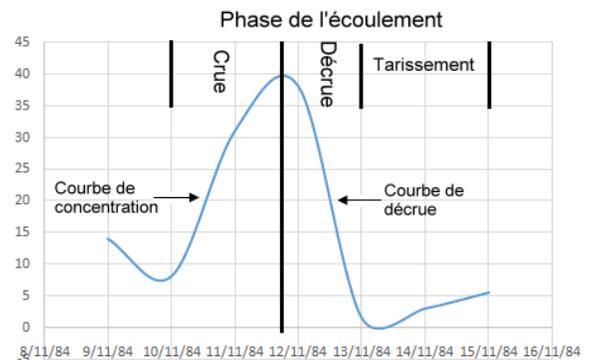


Figure 14:Hydrogramme de la crue de 12/11/84

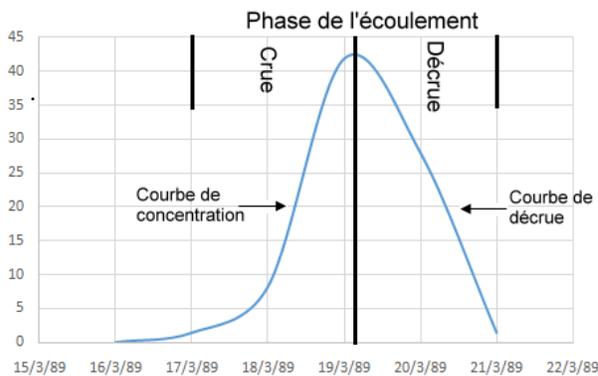


Figure 15:Hydrogramme de la crue de 19/03/89.

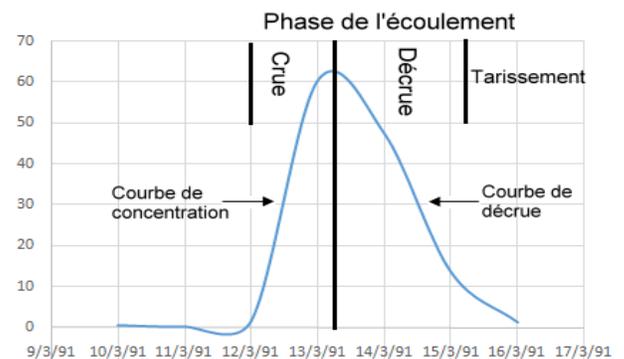


Figure 16:Hydrogramme de la crue de 13/03/91.

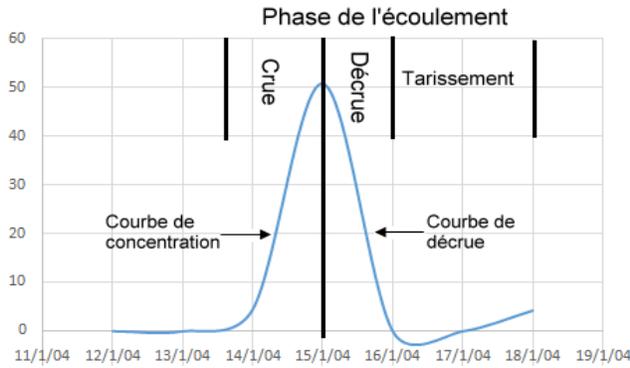


Figure 17:Hydrogramme de la crue de 15/01/04.

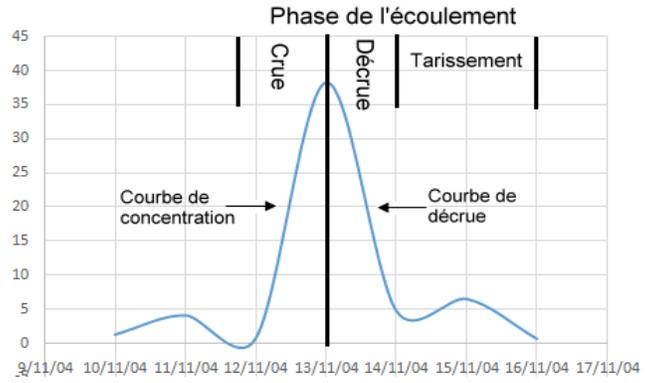


Figure 18:Hydrogramme de la crue de 13/11/04.

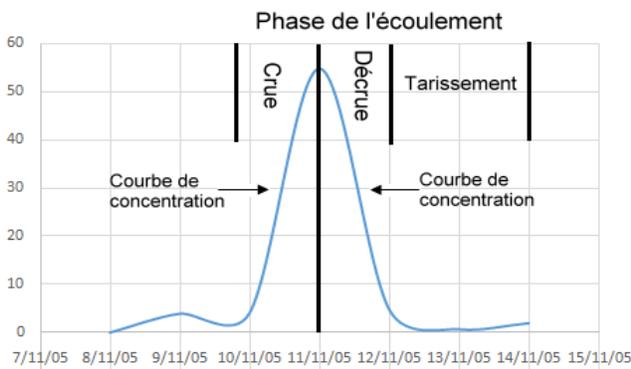


Figure 19:Hydrogramme de la crue de 11/11/05.

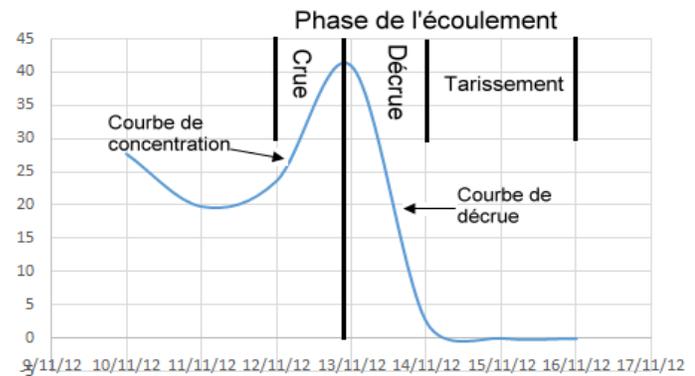


Figure 20:Hydrogramme de la crue de 13/11/12.

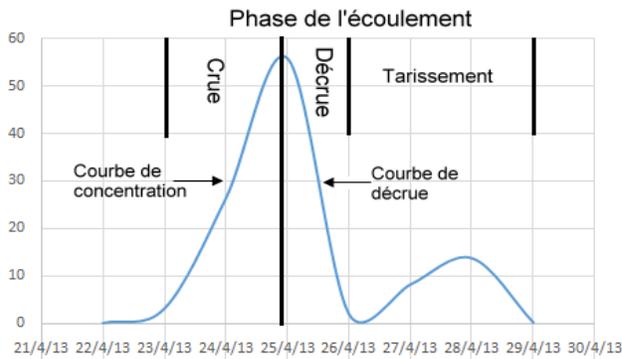


Figure 21:Hydrogramme de la crue de 25/04/13.

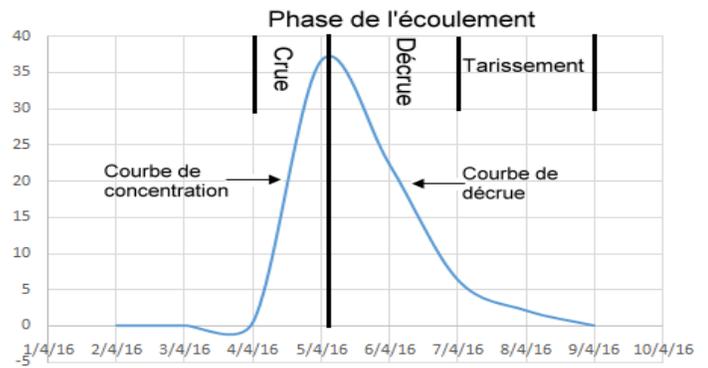


Figure 22:Hydrogramme de la crue de 05/04/16.

1.1.1. L'utilisation de l'approche fréquentielle probabiliste

Un grand nombre d'événements extrêmes en risques géologiques surtout les risques hydriques ne peuvent être prévus de manière suffisamment juste assez longtemps d'avance pour que soient prises, en fonction d'une information déterministe, les décisions pertinentes liées à leur manifestation.

Dans tels cas, une approche probabiliste doit être retenue pour permettre d'intégrer les effets de ces phénomènes lors de la prise de décisions. L'approche fréquentielle probabiliste peut être utilisée pour décrire la probabilité que se produise un événement, ou une combinaison d'événements. Les phénomènes hydrologiques couramment étudiés au moyen de l'approche fréquentielle sont les précipitations et les crues.

1.1.2. Modélisation par IDF

Les courbes IDF représentent l'évolution de l'intensité de la pluie en fonction du temps (durée) et de la fréquence de la pluie exprimée en période de retour ; elles sont calculées par la méthode probabiliste double exponentielle de Gumbel.

Les courbes IDF sont à la base de tout modèle pluie-débit entrant dans les études d'inondations, donc leur élaboration présente un outil de première importance dans la planification, la gestion et la prévention du risque pluvial. Ces événements extrêmes ne peuvent être connus, qu'à travers la connaissance des paramètres qui les régissent.

1.1.3. Construction des courbes IDF

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 obtenues peuvent donc être construites de manière analytique ou statistique.

Pour la réalisation de ces courbes il faut traiter les précipitations journalières, le cumul maximal d'une journée, deux jours consécutives, trois jours consécutives jusqu'à cinq jours, dans une période de dix ans. Les résultats de cette approche sont représentés graphiquement et mathématiquement. Dans la représentation graphique nous avons des courbes dans lesquelles on trouve l'intensité en fonction du temps (durée) avec les périodes de retours. Les résultats mathématiques sont résumés sur deux tableaux qui visualisent les lames d'eaux précipitées et les intensités.

a) Intensité

L'intensité d'une crue est généralement caractérisée à travers un, deux, ou trois paramètres qui permettent de quantifier la capacité de dommage :

- Pour les crues, les paramètres importants sont : la hauteur de submersion et la vitesse/débit de l'eau.
- Pour les inondations, la hauteur de submersion et la durée de submersion peuvent être un critère important à considérer.
- En zonage d'avalanche ou de lave torrentielle, ce sont surtout la distance d'arrêt (ou plus généralement l'extension) et la poussée/pression d'impact qui servent à spécifier l'intensité de l'écoulement et ses conséquences potentielles.

b) Période de retour

On définit la période de retour T comme étant l'intervalle de temps moyen entre deux événements, dont l'intensité atteint ou dépasse un certain seuil S . Cela veut dire que sur un intervalle de temps T , il y a eu moins d'événement d'intensité supérieure ou égale à S . T est compté dans une unité de temps arbitraire ; en hydrologie c'est le plus souvent l'année (DEFRANCE, 2009).

D'une façon générale, on postule qu'il existe une relation entre intensité I et période de retour T d'un phénomène hydrologique : plus le phénomène est rare, plus son intensité est potentiellement grande (Christophe Ancey, 2008)

1.1.4. La courbe IDF du bassin versant de Saïda

D'après les courbes IDF (Figure 23), les tableaux de la lame d'eau précipitée et l'intensité (Tableau 4 et 5), on distingue que :

L'intensité et la lame d'eau précipitée dans les premières 24h de chaque période de retour sont faibles ; après 48h elles diminuent dans les périodes de retour de 2,5 et 10ans jusqu'à 96h et enfin, elles augmentent dans les dernières 24h où elles atteignent les valeurs maximales.

Concernant les périodes de retour de 20 et 60ans, les courbes ont une tendance d'augmentation dès le premier jour au dernier jour, dans les premières 24h l'intensité et la lame d'eau précipitée sont faibles, au fil des temps, après les 48h elles deviennent importantes jusqu'à le dernier jour où elles atteignent la valeur maximale.

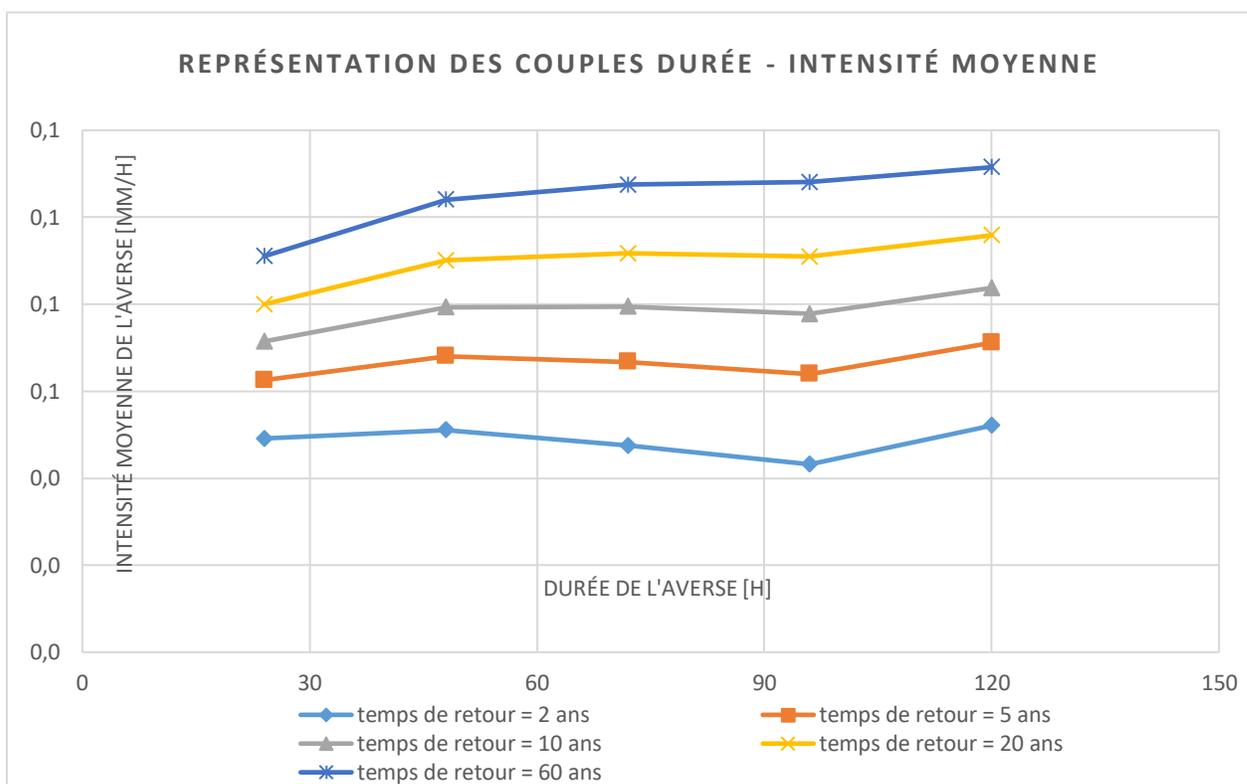


Figure 23 : Les courbes IDF du bassin versant de Saïda.

Durée de la pluie [h]	Lame précipitée [mm/10]				
24	12	15	17	19	22
48	25	33	38	43	50
72	34	48	57	66	77
96	41	61	75	87	104
120	63	85	101	115	134

Tableau 4 : Estimation des lames d'eaux précipitées.

Durée de la pluie [h]	intensité moyenne [mm/h]				
24	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
48	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
72	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
96	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
120	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tableau 5 : Estimation des intensités pluviométriques.

1.1.5. Modélisation par GRADEX

C'est une approche hydro-pluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes dans les bassins versants où le phénomène prépondérant dans la genèse de la crue est les transformations de la pluie en ruissellement de surface.

Pour l'étude des crues extrêmes par la méthode de GRADEX dans le bassin versant de Saïda, on dispose de précipitations journalières de la station hydrométrique d'Ain El Hdjar de 1981 à 2020. On prend les précipitations journalières maximales annuelles observées dans la série considérée, puis on les traite de la valeur minimale à la valeur maximale ; après on obtient les courbes GRADEX. On constate deux distributions visiblement parallèles (Figure 24).

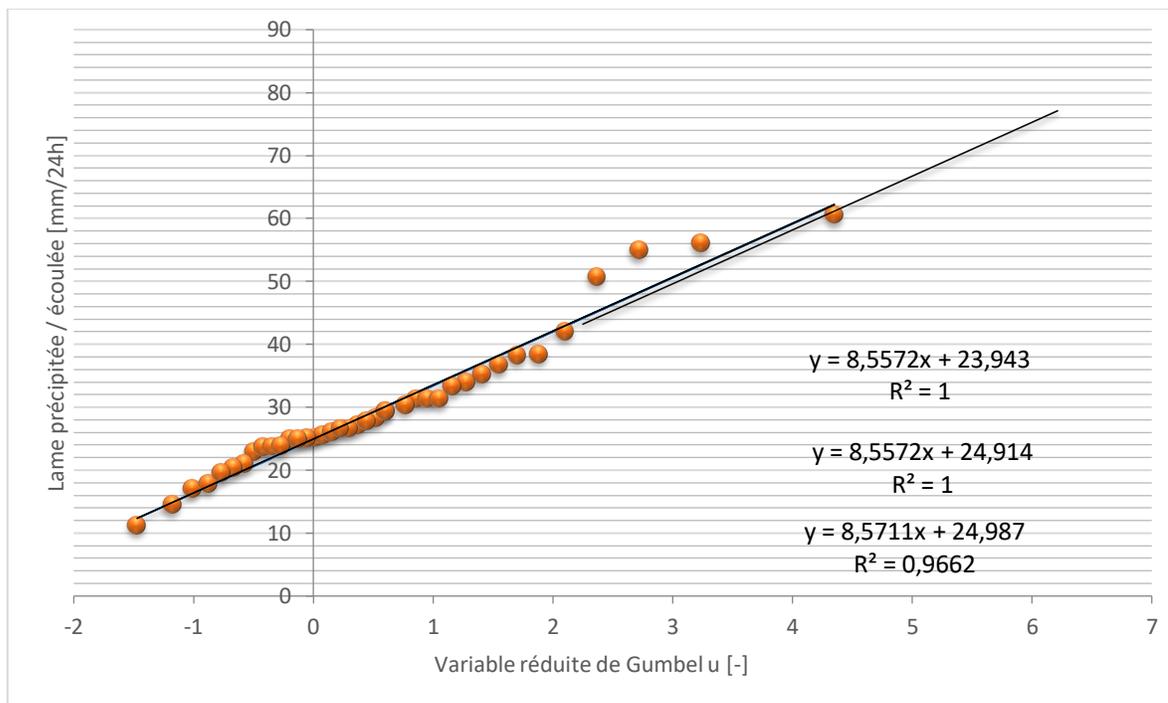


Figure 24 : Courbes GRADEX.

L'application de la méthode GRADEX nous a mené en premier lieu, à identifier puis à extraire tout événement extrême pluvieux ; on procède à extraire le maximum des pluies journalières annuelles. La Figure ci-dessus, illustre un ensemble de maximal de pluie répartie sur les 39ans de la série ainsi considérée. Dans un premier temps, la Figure montre un grand contraste dans la répartition de précipitations notamment dans la redondance des pluies maximales qui ne semblent pas être rattachées à la saison.

1.2. Précipitations mensuelles

Les valeurs moyennes mensuelles calculées de la période 1981 au 2020 sont bien représentatives. Les variations mensuelles de la distribution de précipitations représentées au tableau ci-dessous (Tableau 6) montrent deux périodes distinctes :

- La période sèche correspondant à la saison d'été.
- La période pluvieuse couvre le reste de l'année.

Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
34,26	45,61	54,43	44,25	52,21	44,13	51,37	50,08	41,93	16,23	7,55	16,79

Tableau 6 : Précipitations moyennes mensuelles.

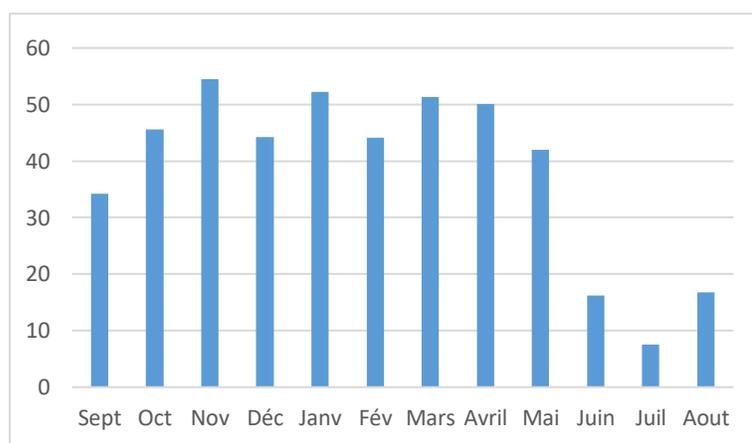


Figure 25 : Histogramme de la variation moyenne mensuelle.

Les précipitations moyennes mensuelles de la période d'observation 1981 – 2020 à la station d'Ain El Hdjar montrent que les valeurs maximales sont marquées dans les saisons d'hiver, l'automne et le printemps qui sont très proches. La répartition de l'indice saisonnier est de type PHAE ; cette distribution se révèle par une diminution des pertes en eau due à l'évaporation et une augmentation des apports contribuant au soutien des écoulements de surface et à la recharge des nappes d'eau souterraines.

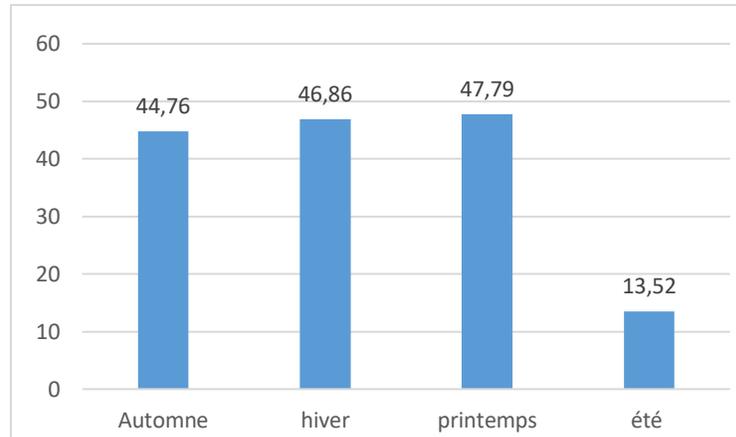


Figure 26 : Régimes saisonniers de précipitations.

1.2.1. Indice standardisé de précipitations

L'indice standardisé « SPI » (Standardized precipitation index) a été développé en vue de caractériser les déficits de précipitations pour une période donnée (McKee et *al.*, 1993). Il prend en considération l'importance du temps dans l'analyse de la disponibilité des ressources en eau. En effet, la période de temps sur laquelle le déficit de précipitations est accumulé devient extrêmement importante pour séparer entre les différents types de sécheresse (McKee et *al.*, 1995). Il peut être calculé à différentes échelles de temps (1, 3, 6, 12, 24, 48 mois) afin de refléter l'impact de la sécheresse sur les différentes ressources en eau.

1.2.2. Procédures et formules pour calculer SPI

- La transformation de la valeur de précipitations en indice de précipitations normalisées a pour but :
 - a- Transformation de la moyenne de la valeur de précipitations ajustée à 0.
 - b- L'écart type de précipitations est ajusté à 1.
 - c- L'asymétrie des données existantes doit être ajustée à 0.

Lorsqu'on atteint ces objectifs, l'indice de précipitations standardisé peut être interprété comme une moyenne de 0 et un écart-type de 1.

- La moyenne de précipitations (\bar{X}) peut être calculée comme suit :

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$$

Où : N : est le nombre d'observations de précipitations dans EXCEL.

La moyenne est calculée comme Moyenne = MOYENNE (premier : dernier)

- L'écart type de précipitations est calculé comme suit :

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N}}$$

- Les précipitations sont converties en valeurs colonne-normales et les statistiques U, forme et les paramètres d'échelle de la distribution gamma sont calculés :

$$\text{Log moyenne} = \bar{X}_{ln} = \ln(\bar{X})$$

$$U = \bar{X}_{ln} - \frac{\sum \ln(X)}{N}$$

Paramètre de forme :

$$\beta = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4U}{3}}}{4U}$$

Paramètre d'échelle :

$$\alpha = \frac{\bar{X}}{\beta}$$

Les équations sont calculées à l'aide des fonctions intégrées fournies par le logiciel EXCEL. Les paramètres résultants sont ensuite utilisés pour trouver la probabilité cumulée d'un événement de précipitations. La probabilité cumulée est donnée par :

$$G(x) = \frac{\int_0^x X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$$

Puisque la fonction gamma n'est pas définie pour $x = 0$ et qu'une distribution de précipitations peut contenir zéros, la probabilité cumulée devient :

$$H(x) = q + (1 - q) G(x)$$

Où q est la probabilité de zéro.

La probabilité cumulative $H(x)$ est ensuite transformée en la variable aléatoire normale standard Z avec une moyenne de zéro et une variance de 1, qui est la valeur du SPI suivant Edwards et McKee (1997) ; nous utilisons la conversion approximative fournie par Abramowitz et Stegun (1965) comme alternative

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) 0.5 < H(x) \leq 1$$

Où :

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{H(x)^2} \right)} 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1.0 - H(x)^2)} \right)} 0.5 < H(x) \leq 1$$

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802583$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

Les valeurs de C_0 C_1 C_2 d_1 d_2 d_3 données sont des constantes largement utilisées pour le calcul SPI (Abramowitz et Stegun, 1965).

1.2.3. Classification des valeurs SPI : (McKee et al. 1993)

Le système de classification présenté dans le tableau (Tableau 7) des valeurs de l'indice SPI définit l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice.

Valeur SPI	Séquence de sécheresse
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2.0 et moins	Extrêmement sec

Tableau 7 : Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI.

1.2.4. Avantages de la méthode SPI

- L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation : il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.
- Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse
- L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents.
- Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision.

1.2.5. Inconvénients de la méthode SPI

- L'indice SPI ne repose que sur les relevés de précipitations.
- Le bilan hydrique du sol n'étant pas pris en compte, l'indice ne permet pas le calcul du rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP).

1.2.6. Résultats des valeurs SPI mensuelles du bassin versant de Saïda

Après l'application de l'indice SPI dans le bassin versant étudié, nous avons obtenu les résultats consignés au tableau ci-dessous (Tableau 8) :

Valeur SPI	>2	1,5 à 1,99	1 à 1,49	0,99 ; -0,99	-1 à -1,49	-1,5 à -1,99	< -2
Séquence de sécheresse	Extrêmement Humide	Très Humide	Modérément humide	Proche de normale	Modérément sec	Très sec	Extrêmement sec
Septembre	0	0	0	36	0	0	0
Octobre	0	0	6	33	0	0	0
Novembre	0	0	3	36	0	0	0
Décembre	0	0	3	35	0	0	4
Janvier	0	0	2	36	0	1	0
Février	0	0	6	33	0	0	0
Mars	0	1	3	35	0	0	0
Avril	0	0	5	34	0	0	0
Mai	0	0	4	35	0	0	0
Juin	0	0	6	33	0	0	0
Juillet	0	2	5	32	0	0	0
Aout	0	0	5	34	0	0	0

Tableau 8 : Résultats des valeurs d'indice SPI du bassin versant de Saïda.

D'après les valeurs SPI obtenues sur la base des données afférant à la station d'Ain El Hdjar, On remarque que les fréquences les plus abondantes se trouvent dans la séquence proche de la normale, aussi la présence des faibles valeurs qui caractérisent une classe modérément humide.

1.3. Précipitations annuelles

Au niveau de la station de Ain El Hdjar les précipitations moyennes annuelles enregistrées sont de l'ordre de 459mm au cours de la période allant de 1981 à 2020 (Figure 27). Cependant, l'évolution de précipitations est caractérisée par une irrégularité bien marquée à l'échelle interannuelle.

Dans cette station, un minimum de 285.27mm a été enregistré en 1983 - 1984, et le maximum de 709.67mm en 2008 – 2009.

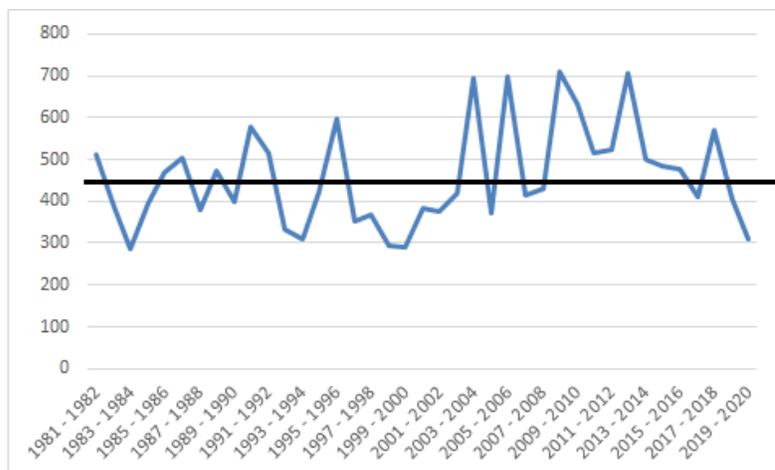


Figure 27 : Variation interannuelle de précipitations.

Dans la période de 1981 au 2003 les précipitations sont inférieures à la moyenne interannuelle, au-delà toutes les valeurs sont supérieures à la moyenne avec des petites chutes temporaires.

1.3.1. Indice d'aridité

Étant donné la très grande variabilité du climat, manifestée par la hausse relative de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes, l'étude du dessèchement et de la sécheresse peut constituer un très bon outil de mise en place de mesures adéquates pour réduire et combattre leurs effets négatifs sur la population et les activités humaines. Parmi ces effets, la tendance à l'aridité du climat est l'un des phénomènes climatiques actuels les plus suivis et étudiés, aux niveaux global et régional, surtout à cause des influences insidieuses à long terme sur les communautés humaines et sur l'économie.

1.3.2. Données et méthodes

L'indice d'aridité de Martonne est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité, il est calculé par la formule suivante :

$$I_a = \frac{P}{T + 10}$$

Où : I_a : Indice d'aridité

P : Précipitations annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Valeur de I_a	Type	Signification
< 5	Aridité absolue	Désert sans culture
5 a 10	Désert (aride)	Désert et steppe, aucune culture sans irrigation
10 a 20	Semi-aride	Formation herbacées steppe ou savanes, irrigation nécessaire pour les cultures exigent de l'humidité
20 a 30	Semi humide	Prairie naturelle, irrigation généralement non nécessaire
30 a 40	Humide	Les arbres jouent un rôle plus en plus grande dans le paysage
> 40	Humide	Des forêts partout, les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages

Tableau 9 : Classification climatique selon l'indice d'aridité De Martonne.

La valeur de l'indice d'aridité du bassin versant de Saïda est de 15.42 dans l'an 2020, ce qui confirme que la région de Saïda se situe dans une zone semi-aride.

2. La température

La température est un facteur du climat très important, car elle conditionne l'évapotranspiration. Les données des températures dans la zone d'étude sont groupées au tableau ci-dessous (Tableau 10) :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANN
T min °C	18,88	13,95	10,08	10,55	4,09	10,1	10,03	10,82	13,79	18,21	24,24	24,63	14,11
T max °C	24,78	20,1	9,96	9,92	8,52	9,83	9,73	16,81	21,49	26,35	29,62	29,47	18,04
T moy °C	22,1	16,92	10,96	7,5	6,28	7,64	10,67	16,6	17,83	23,05	27,07	26,78	16,11

Tableau 10 : Températures mensuelles (°C).

Où : T_{Min} : températures moyennes de tous les minimas observés pour chaque mois.

T_{Max} : températures moyennes de tous les maximas observés pour chaque mois.

T_{Moy} : températures mensuelles moyennes.

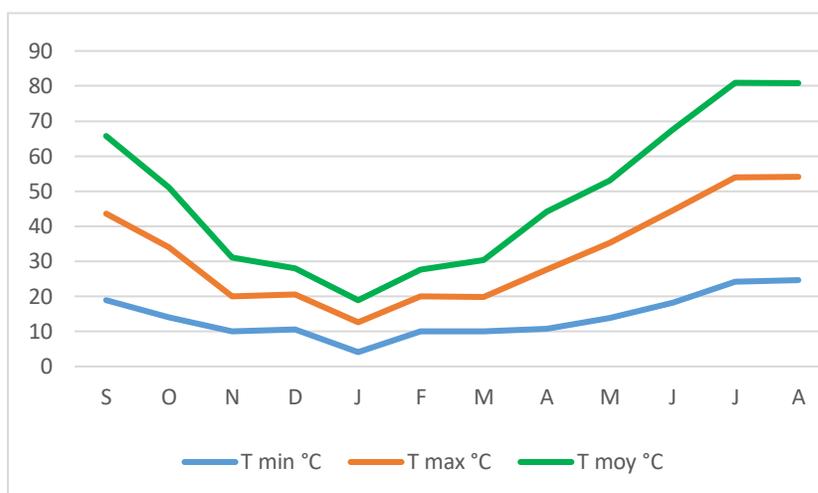


Figure 28 : Variation de la température mensuelle.

L'analyse de ces données met en évidence que les minimas correspondent à la période hivernal (Décembre, janvier et février), tandis que les maximas coïncident avec le début de la saison sèche (estivale) qui commence pratiquement au mois de Mai jusqu'à ce qu'ils atteignent leur maximum au mois de Juillet et Aout qui est le plus chaud. La moyenne mensuelle la plus élevée correspond au mois d'Juillet 27,07 °C, tandis que la plus basse correspond au moins de Janvier 6,28 °C. La température moyenne interannuelle est de 16.11 °C.

3. Humidité relative

C'est un élément important du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à celle que l'air pourrait contenir s'il était saturé à la même température.

L'humidité relative mensuelle moyenne pour la station de la région est présentée au tableau suivant (Tableau 11):

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	ANN
Humidité moy %	47	55,62	66,17	72,14	70,57	66,24	60,1	55,82	51,33	42,34	34,16	35,98	54,72

Tableau 11 : Variation de L'humidité relative mensuelle moyenne en %.

D'après ces résultats, les maximums d'humidité relative moyenne sont observés en Octobre jusqu'à Mai, tandis que le minimum se produit en Juillet – Aout avec une humidité moyenne annuelle de 54.72%

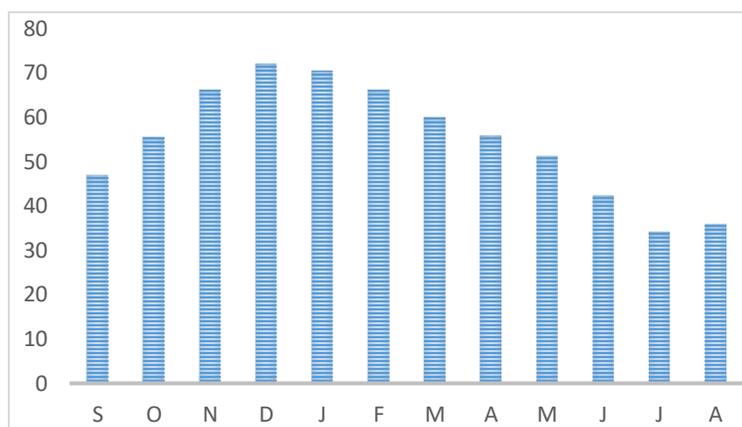


Figure 29 : Histogramme de l'humidité relative.

4. Le vent

Le vent est un élément caractéristique du climat, car il favorise l'évapotranspiration ; leur étude nous permet de voir leur influence sur l'évapotranspiration potentielle.

Le sirocco est un vent chaud et sec qui souffle du Sahara vers le littoral.

Les vents dominants sont particulièrement du Nord – Ouest.

La fréquence moyenne interannuelle des vents par leur direction à la station de Rebahia le tableau suivant (Tableau 12)

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Fréquence	17%	5%	4%	3%	6%	7%	35%	23%

Tableau 12 : La fréquence moyenne interannuelle des vents par leur direction.

Les moyennes mensuelles des vitesses des vents déterminés aux différentes stations sont résumées au tableau suivant (Tableau 13) :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	Moy
Vitesse (m/s)	2.4	2.3	2.5	2.7	2.9	2.8	2.8	3	2.9	2.8	2.7	2.7	2.71

Tableau 13 : Vitesses moyennes mensuelles du vent.

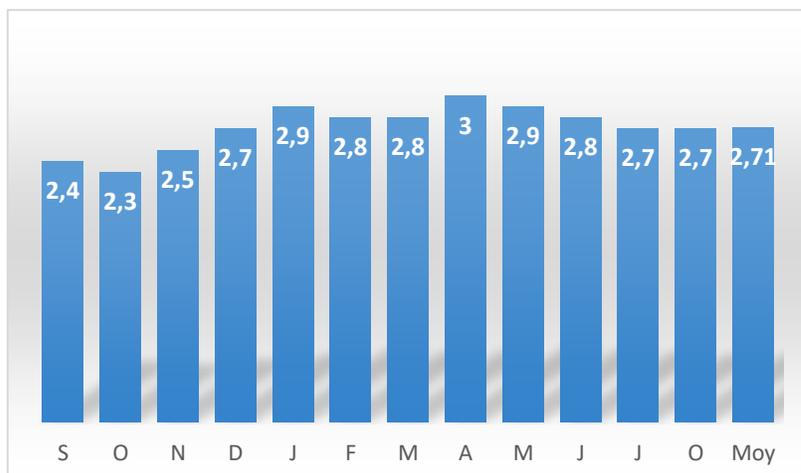


Figure 30 : Histogramme de la vitesse du vent.

5. Évaporation

L'évaporation est un paramètre important du bilan hydrologique.

Les valeurs de l'évaporation du plan d'eau libre sont adoptées d'après les données observées, elles sont données par le tableau ci-dessous (Tableau 14) :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Évaporation (mm)	270	203	135	108	118	117	156	175	226	315	416	392	2631

Tableau 14 : Évaporation moyenne mensuelle

D'après le tableau nous constatons que l'évaporation totale annuelle est élevée.

On remarque aussi que l'évaporation est importante aux mois de juin, juillet et aout, tandis qu'elle est faible aux mois de novembre, décembre, janvier et février.

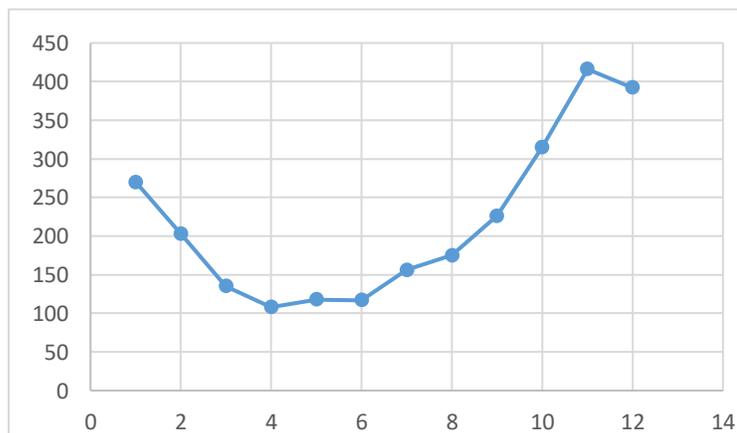


Figure 31 : Courbe de l'évaporation moyenne mensuelle.

II. TRANSPORT SOLIDE

L'érosion est un processus qui tend à réduire à la surface des continents l'épaisseur des sols et des roches, en arrachant physiquement les particules solides qui sont exportées en suspension par le ruissellement superficiel vers les Oueds où elles peuvent être transportées jusqu'aux mers et aux océans (Probst, 1992). L'érosion des sols est caractérisée par trois étapes, correspondant d'abord au détachement des particules de sol puis au transport par différents agents (vent, eau, glace, gravité), de leur emplacement d'origine à un endroit de dépôt en aval ; ces mouvements de sols sont des processus complexes et discontinus à fortes variations spatiotemporelles.

1. Facteurs de l'érosion hydrique

1.1. Intensité des pluies

Les précipitations constituent l'agent essentiel de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie dépend surtout de l'intensité de la pluie ou son énergie cinétique. Le premier effet morphologique de la pluie est celui de la goutte d'eau qui frappe le sol « effet splash » (Figure 32). Le choc de la goutte est particulièrement important sur les terres car il disloque les agrégats et les mottes de sol dont les particules sont projetées à distance. Ainsi l'effet de tassement rend compacte et imperméable la surface ce qui diminue la capacité d'infiltration du sol et favorise le déclenchement du ruissellement.



Figure 32 : Effet splash.

1.2. Les caractéristiques de la couverture pédologique

La couverture pédologique joue un rôle essentiel sur les processus de ruissellement et d'érosion au travers de sa capacité d'infiltration et son érodibilité. La capacité d'infiltration d'un sol est le flux d'eau maximal qu'il peut infiltrer dans des conditions hydriques initiales du sol et de ses caractéristiques intrinsèques, comme la succession et les propriétés hydrodynamiques de ses horizons. L'horizon de surface joue le rôle d'obstacle principal à l'infiltration lorsque sa structure est dégradée par les conditions mécaniques et hydriques. L'érodibilité du sol dépend surtout de sa stabilité structurale qui est un indicateur de la cohésion (la texture et la teneur en matière organique), des agrégats et de leur résistance à la dégradation sous l'effet de la pluie.

1.3. Les modes d'utilisations des sols

L'influence de l'homme intervient à plusieurs niveaux temporels.

A long terme il s'agit du mode d'occupations des sols, en augmentant la dimension des parcelles agricoles et en supprimant les obstacles au ruissellement.

A moyen terme il s'agit du choix de système de culture qui implique un raisonnement de l'assolement sur plusieurs années. A court terme il s'agit du choix des types d'outils ou des dates d'interventions qui permettent de modifier l'état de surface du sol à un moment donné. L'agriculture joue ainsi un rôle majeur dans le contrôle du ruissellement et de l'érosion.

1.4. Le relief

Le relief du terrain intervient sur l'érosion à travers deux aspects :

- La topographie notamment la pente et la longueur de pente définie par les limites du bassin versant qui détermine le régime d'écoulement des eaux sur les versants et donc le transport et l'arrachement des particules du sol.
- La nature des matériaux sous-jacents du sol, qui pourront créer une interface modulant l'érodibilité du milieu.

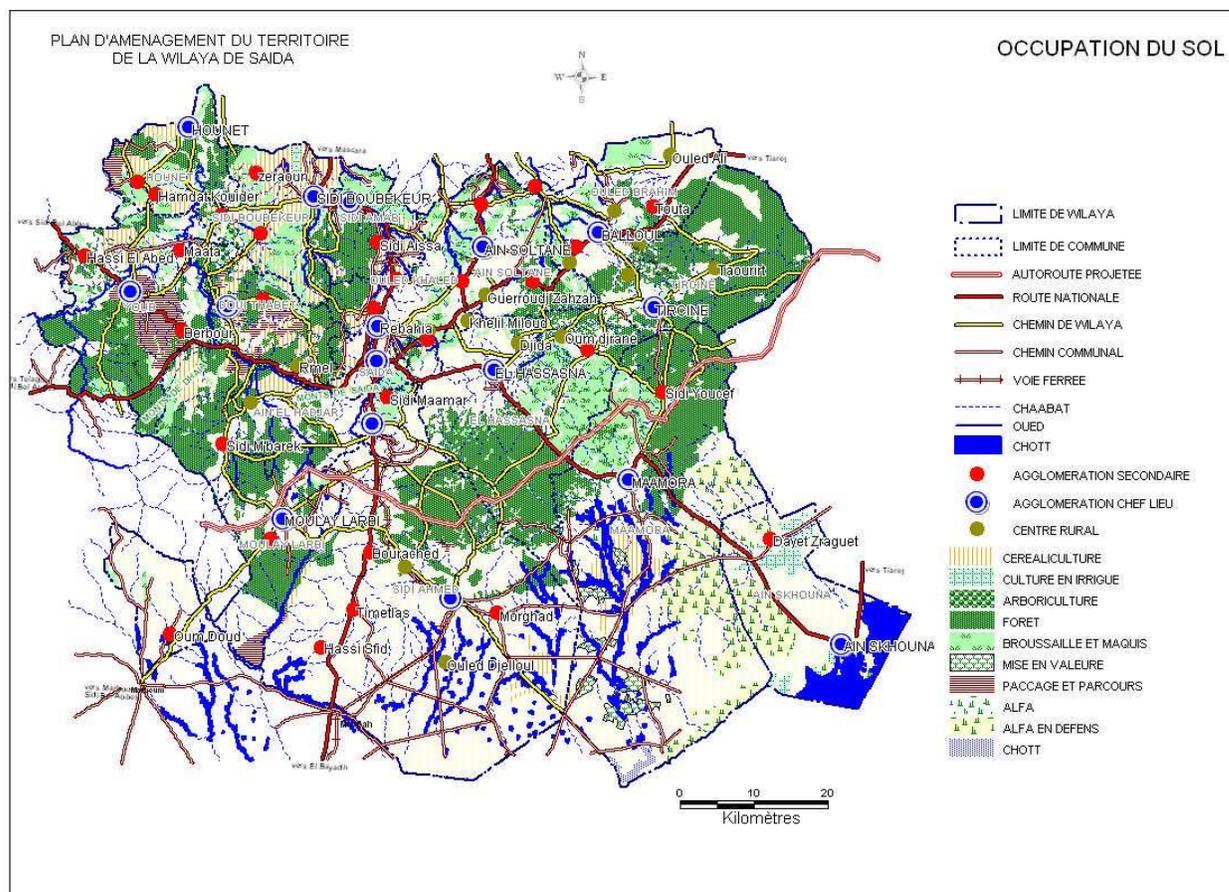


Figure 33 : Carte d'occupation du sol de la Wilaya de Saïda.

2. Formes d'érosion

2.1. Érosion laminaire

C'est le stade initial de la dégradation du sol par érosion, du fait de l'impact des gouttes de pluie sur le sol et le transport des éléments détachés par le ruissellement en nappe (Roose, 1994). Cette forme d'érosion, sous l'influence du travail du sol par les outils, engendre la remontée des particules à la surface du sol. En Algérie, la valeur des pertes par ce type d'érosion est évaluée de 0,10 jusqu'à 20 t/ha/an.

2.2. Érosion linéaire

Elle se manifeste lorsque la concentration des eaux conduit à la formation des chenaux de dimensions croissantes.

2.3. Érosion en griffes

L'érosion en griffes décape et transporte généralement toutes les particules rencontrées : elle n'est donc pas sélective mais les dépôts sont souvent triés. Elle manifeste souvent un degré de dégradation bien plus élevé du milieu (Roose, 1985).

2.4. Érosion en rigoles

On parle d'érosion en rigoles lorsque les petits canaux présentent des profondeurs supérieures à 10cm (Roose, 1984 et Al-Kaisi *et al*, 2009).

2.5. Érosion par ravinement

Les ravines suivent la ligne de plus grande pente des versants. Lorsque le sol est peu perméable, saturé et peu couvert, le ruissellement est abondant. Ce dernier creuse des ravines et augmente les pointes de crue des Oueds, ce qui favorise le sapement des berges et les glissements de terrain.

3. Modélisation du transport solide

En Algérie, l'ordre de grandeur des concentrations moyennes des sédiments transportés par l'eau des Oueds varie de 50 à 150 g/l avec des valeurs maximales qui peuvent atteindre parfois les 600 g/l (Medjber, 2011). L'approche utilisée pour estimer le transport solide dans le bassin versant de l'Oued Saïda est du type déterministe et utilise des modèles régressifs simples dont l'objectif est de trouver une ou plusieurs relations entre la concentration en matières en suspension et le débit liquide. L'analyse porte sur les valeurs des débits liquides (exprimés en m³/s) et des débits solides (en kg/s), mesurés au niveau de la station hydrométrique de Sidi Boubkeur ; celle-ci étant la dernière station avant l'exutoire du bassin versant d'Oued Saïda. Les données de la série ainsi considérée couvrent la période de 1980 à 2010.

La relation de la série complète utilisée d'après la droite (Figure 34) d'ajustement est de la forme suivante :

$$Q_s = 2.36 \cdot Q_l^{1.63}$$

Où : Q_s : Débit solide en suspension (kg/s).

Q_l : Débit moyen mensuel

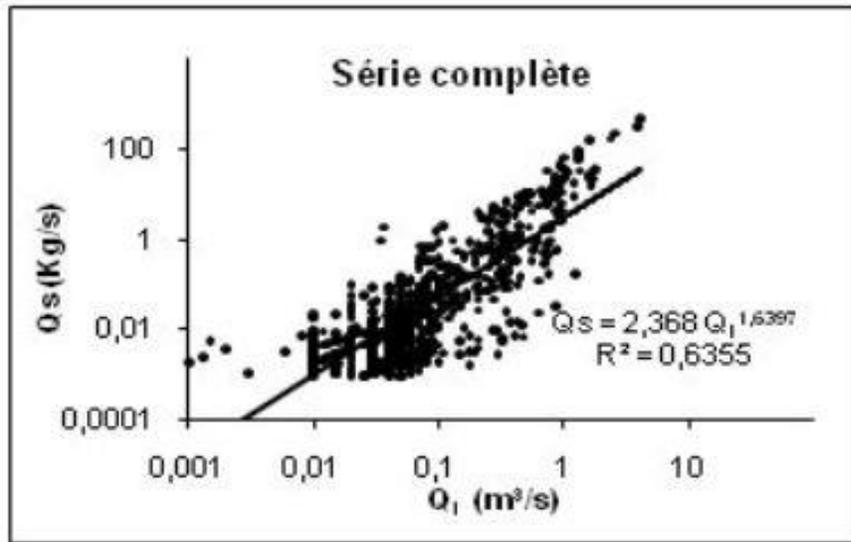


Figure 34 : Relation entre les débits solides et les débits liquides instantanés (Oued Saïda -Station hydrométrique Sidi-Boubkeur de 1980/1981 à 2009/2010).

On remarque d’après la (Figure 35), que pour des faibles débits liquides environ $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ peuvent être associés de forts débits solides (près de $0,010 \text{ Kg/s}$) déclenchés probablement à la suite d’orages violents ou de remobilisation de sédiments issus d’une crue précédente et fraîchement déposés dans le lit de l’Oued. De même, de fortes valeurs des débits liquides n’ont engendré qu’un faible transport solide dû probablement à la vidange des nappes survenue à la suite d’une crue importante (YELES,2014).

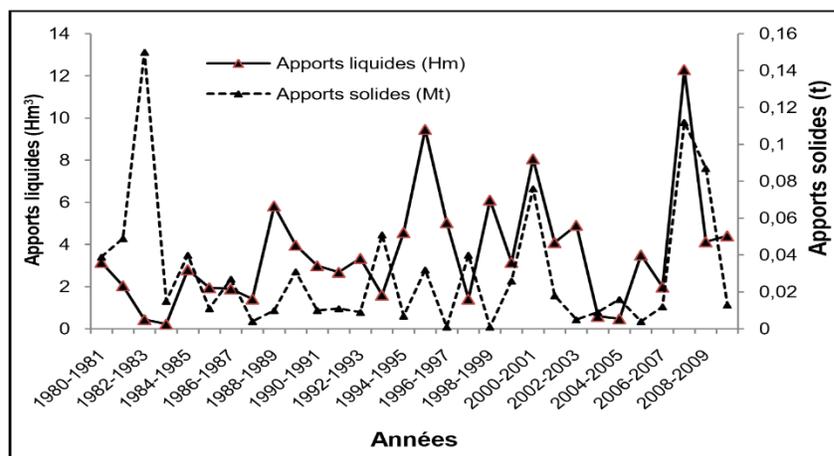


Figure 35 : Variations interannuelles des appports solides et appports liquides.

	P(mm)	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Ao.	As(t)	As(t/km ² /an)
80/81	332	4963	14040	8755	1015	2125	1132	5124	1230	100	485	23	8	39000	72
81/82	328	11369	9264	12155	4211	3001	3741	4532	795	385	17	20	10	49000	91
82/83	326	30062	36143	44176	4324	7032	8347	8404	2215	9207	11	4	75	150000	276
83/84	392	1612	3987	4324	1541	618	536	2216	479	64	0	5	18	150000	29
84/85	456	9511	9032	5236	994	2668	1257	3605	0	5	8157	21	14	40000	75
85/86	354	1849	3941	3221	102	101	67	1124	840	27	0	0	28	1000	20
86/87	250	6287	5800	3132	540	2304	51	977	5012	71	9	3297	1	27000	50
87/88	229	913	1400	1542	124	59	9	11	0	48	15	7	2	4000	8
88/89	207	3677	1497	3020	658	67	42	761	470	5	26	53	24	10000	19
89/90	235	4225	10140	9820	350	1700	1015	3225	376	128	45	13	3	31000	58
90/91	263	1718	3715	3621	166	882	0	9	511	12	1	33	42	10000	19
91/92	236	956	1825	1783	5436	838	0	521	3	28	0	0	10	11000	21
92/93	161	3418	2911	1542	465	98	41	1084	0	9	0	10	2	9000	18
93/94	234	9276	12216	14327	2100	3282	1084	4716	3621	632	26	20	0	51000	94
94/95	308	1283	2100	1998	62	28	0	1802	8	11	18	34	56	7000	14
95/96	242	4390	8004	8262	1100	1244	2450	3479	2700	53	0	2	810	32000	60
96/97	177	490	197	442	100	19	46	0	0	4	3	70	29	1000	3
97/98	160	1507	1432	828	65	70	4	3	55	2	0	8	25	40000	7
98/99	144	183	123	153	30	148	2	7	1	3	0	262	18	1000	2
99/00	209	4078	7250	7551	806	1664	316	4	4632	75	0	21	3	26000	48
00/01	275	15130	18382	12447	960	4105	3120	5325	4013	8424	4200	0	0	76000	140
01/02	292	3787	6329	6207	980	41	4	35	368	236	0	13	0	18000	33
02/03	310	1978	1135	2076	19	29	1	18	3	10	30	1	0	5000	10
03/04	296	3040	2742	3856	127	7	0	29	2	97	0	0	0	9000	18
04/05	283	1519	3502	3853	1500	652	0	22	5120	24	0	0	8	16000	30
05/06	266	1668	1438	1066	1	4	6	95	0	7	0	215	0	4000	8
06/07	247	3215	1901	3410	641	29	10	2675	2	87	0	30	0	12000	22
07/08	288	21286	29871	24536	7096	7211	6204	7215	2890	45	22	5611	13	112000	206
08/09	530	25942	23225	15688	2858	5287	2304	8347	2624	1015	310	0	0	87000	161
09/10	330	3050	4042	3013	299	17	11	785	1800	6	575	101	1	13000	24
Moy	282	6165	7388	7180	1289	1518	1060	2205	1338	691	465	328	40	29600	55

Tableau 15 : Répartition mensuelle et annuelle des apports solides en suspension (en tonnes) et des dégradations spécifiques en (t/km²/an) dans le bassin versant de Saïda.

Station hydrométrique de Sidi Boubkeur Saïda (1980/1981 à 2009/2010) ; YELES, 2014.

Les résultats obtenus montrent que les années qui se caractérisent par des crues exceptionnelles en volume et en durée génèrent des apports solides très importants ; on peut citer quelques exemples : la crue de novembre 1983 (44176 tonnes), la crue d'octobre 2001 (18382 tonnes), la crue d'avril 2005 (5120 tonnes), la crue d'octobre 2008 (29871 tonnes) et la crue de septembre 2009 (25942 tonnes). Le transport solide dans le bassin versant de Saïda est important dans les saisons d'hiver

et de printemps à cause de la forte turbulence due aux débits des crues durant ces saisons qui sont caractérisées par une concentration importante des matières en suspensions.

4. Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique

La réalisation de la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique utilise la superposition des cartes thématiques et une hiérarchisation des paramètres intervenant dans l'érosion hydrique. Il s'agit des cartes : d'occupation des terres, de pente et de la lithologie. L'ensemble de ces données est intégré dans un SIG (système d'informations géographique) pour une meilleure gestion de l'information. La combinaison de ces cartes a permis de produire une carte thématique appelée carte de vulnérabilité d'érosion hydrique (Figure 36).

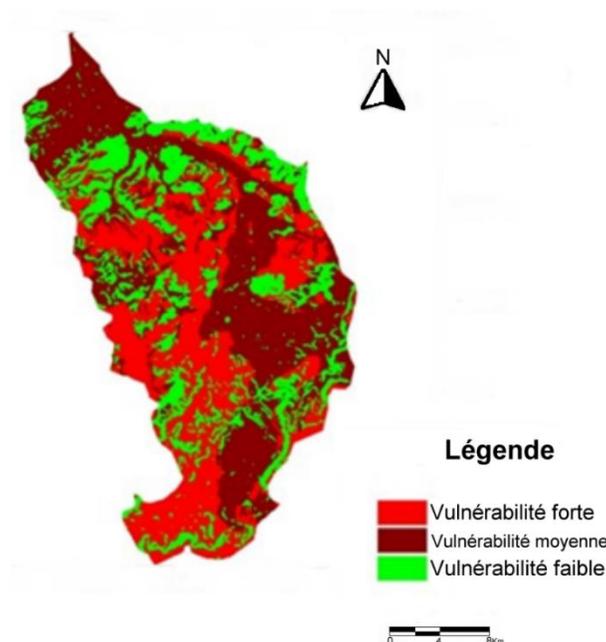


Figure 36 : Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique du bassin versant de Saïda.

La carte montre trois classes des zones :

- Zone à forte vulnérabilité à l'érosion représentant 35 % de la superficie totale.
- Zone à vulnérabilité moyenne à l'érosion représentant 25% de la superficie totale.
- Zone à faible vulnérabilité à l'érosion représentant 40% de la superficie totale.

A partir de la carte, on distingue que le Sud du bassin versant est très favorable au phénomène d'érosion hydrique, à cause de la forte pente et l'absence de la couverture végétale ; cette bande constitue ainsi les zones émettrices des apports solides. Par contre les parties à vulnérabilité faible à moyenne montrent une pente plus ou moins faible (pente $<10^\circ$).

III. POLLUTION DES EAUX

Selon l'ANRH des tronçons importants d'Oueds sont déjà pollués. Une carte thématique sur la qualité des eaux superficielles, établie en 1997 indique des concentrations importantes de phosphore et d'azote. Ceci explique les phénomènes d'eutrophisation, à savoir l'enrichissement d'une eau en sels minéraux entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique ou l'appauvrissement en oxygène. Ce processus concerne les lacs, certaines rivières, le niveau des plans d'eau (barrages, retenues) et des principales zones de débouchés maritimes.

Les études menées montrent également que plusieurs barrages en Algérie sont actuellement pollués. Parmi ces barrages celui de Wizert (Wilaya de Mascara) pollué par les déchets de la ville de Saïda.

1. Vulnérabilité des nappes à la pollution

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à rincer les particules de la zone non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées.

Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage.

La percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. Ce phénomène d'autoépuration n'existe pas dans les milieux fissurés où la circulation est bien plus rapide.

Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles : sol, zone non saturée et zone saturée.

1.1. Le sol

L'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...). De nombreux corps sont modifiés chimiquement, les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés. Néanmoins, cette biodégradation peut aboutir à des métabolites au moins aussi toxiques que les

polluants d'origine. Les complexes argilo-humiques peuvent fixer de nombreux corps minéraux et organiques par adsorption.

1.2. La zone non saturée

Comme le sol, elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace quand la granulométrie est plus fine.

1.3. La zone saturée

La filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe et le polluant est dilué dans la masse d'eau.

2. Les différents types de pollutions existant à Saïda

2.1. Pollution chimique

2.1.1. Décharges existantes

Le risque de pollution de la nappe du Bajocien provenant des déchets liquides solides ménagers et industriels est un problème qui a amené les divers responsables à fixer leur choix sur site à l'extérieur de la zone à haut risque.

Cependant, il nous a été donné de constater plusieurs zones névralgiques (Bajocien affleurant) polluées par des décharges domestiques.

L'inexistence d'une zone imperméable sur ces lieux de décharge favorise la pollution directe par lessivage de la nappe suite à la perméabilité relativement élevée du karst.

Ces points de décharge sont :

Au niveau de la commune d'Ain El Hadjar : les ordures ménagères industrielles etc.... sont rejetées directement à la surface des affleurements des dolomies parsemées de Figures de dissolutions du modelé karstique.

En ce qui concerne la commune de Saïda, l'Oued Saïda est utilisé aussi comme lieu de décharges ménagères au niveau de la ville ainsi que sur ses deux berges.

2.1.2. Carrières

L'implantation de carrière de pierre et de graviers proches des terrains karstiques contribue à accélérer la poussée de pollutions par une augmentation de la dilution. Aussi, cette pratique doit être rigoureusement interdite sur l'ensemble du secteur.

2.1.3. Rejets d'eaux usées

Le non-fonctionnement de la station d'épuration de Saïda oblige le consommateur à rejeter des eaux usées directement dans l'Oued Saïda or les relations des nappes profondes - Oued n'ont pas pu être mis en évidence technique. N'en reste pas moins que le risque exister surtout au niveau de Saïda ville où les formations des calcaires du Bathonien affleurent.

La station d'épuration se situe plus en aval et il serait souhaitable de prévoir les installations adéquates au niveau du secteur suscité.

On estime le débit journalier des eaux usées transitant dans l'Oued   environ 80 l/s.

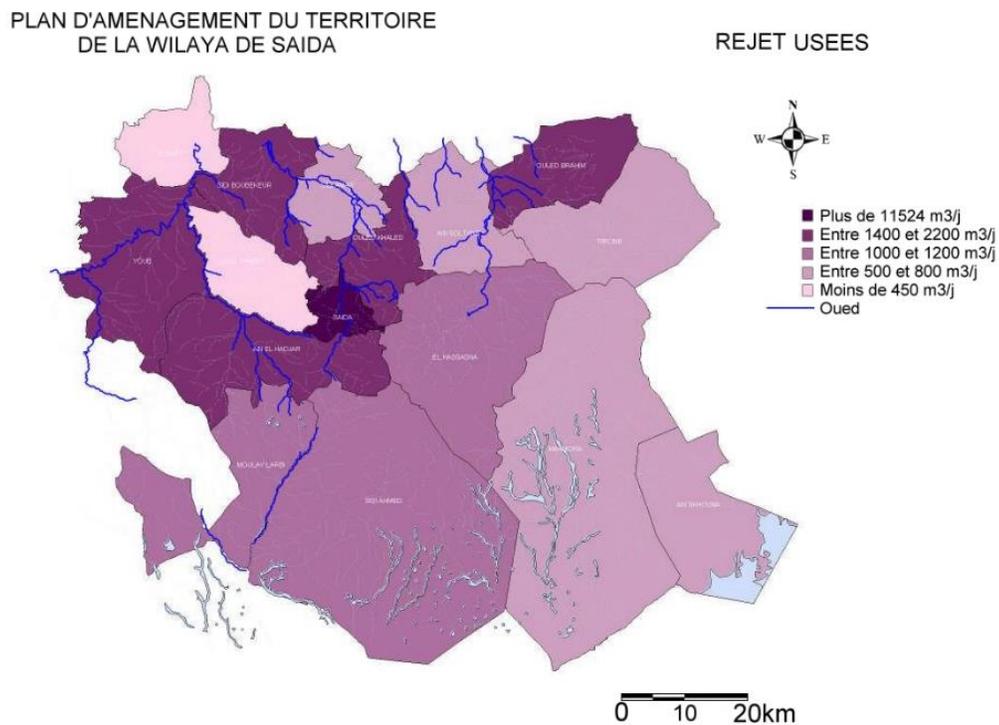


Figure 37 : Carte des rejets d'eaux usées dans la wilaya de Saïda (ANRH 2017).

2.2. Pollutions industrielles

La pollution de type industriel est caractérisée par l'existence de rejets au niveau des unités réparties entre Saïda et Rebahia. A ce niveau, l'Oued Saïda est utilisé dans sa quasi-totalité pour le rejet des déchets industriels.

Les seules conséquences probables de pollution pour la nappe sont évidemment les forages captant la formation du Bathonien et où le risque de contamination peut se manifester par les infiltrations.

Les stations d'épuration sont rares (sauf pour la SONIC). Certaines unités préfèrent utiliser des procédés de neutralisation, mais la qualité de l'eau rejetée dans l'Oued reste suspecte.

Différents types d'effluents rejetés dans l'Oued Saïda ont pour origine, la zone industrielle. Celle-ci se présente comme la principale zone d'activité de Saïda datant du plan spécial de 1972 ; elle se situe à l'entrée de la ville de Saïda (secteur Nord-Ouest) et s'étend sur plus de 86 ha.

Vu la vulnérabilité de la zone menacée par le risque des rejets, une enquête de l'impact de la pollution des différentes unités s'impose afin d'avoir une idée exacte sur les différents types de rejets de chacune d'elles.

Les différents types d'effluents liquides issus de la zone industrielle installée sur le bassin selon le type d'activité, que se soient de nature biodégradable (urbaines) ou non biodégradable (industrielles), sont déversés directement dans l'Oued, ce qui entraîne la pollution des eaux superficielles véhiculées par l'Oued.

Le tableau ci-dessous (Tableau 16) représente les différentes unités et leurs produits utilisés dans la production. Les décharges des usines sont à proximité de l'Oued Saïda. Cette situation entraîne une pollution mixte qui touche aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines.

Unité	Production	Produit utilisé
ENAVA	Matières abrasives	Grain abrasif : 10A → corindons ordinaire 95%-97% de Al_2O_3 52A → corindons intermédiaires 89% de Al_2O_3 89A → corindons supérieurs rose 99% de Al_2O_3 88A → corindon supérieur blanc 99,9% de Al_2O_3 - Céramique (liant Céramique) - Feld spath de sodium - Feld spath de potassium - Feld spath d'argiles - Argile westwelder, Fritte 1227, 2245, 90263 - Kaolin, Oxyde de fer - Bakélite (Liant bakélite), Réisme liquide - Réisme en poudre, Oxyde de fer - Pyrox jaune, Pyrox rouge
ENAD	Javel Grésyl Nadhaf Esprit de sel	- $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{Bichromate}$ - 50l de grésyl concentré - 100kg marlophin + 350l HCl - 750l $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$
SONIC	Papier (cummilure et couverture)	- Almidon - Sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) - CMC: carboxyle methylcellulose. - Pexlin
EMIS	Eau minérale	- Eau minérale - Soude caustique - Acide nitrique pour le lavage des bouteilles

Tableau 16 : Les différents produits utilisés par les unités industrielles.

2.3. Pollution bactériologique

La pollution bactérienne est liée à la décomposition des matières organiques.

Les points prélevés se sont surtout attachés au débit important des points d'eau à leur utilisation et surtout leur relation avec le Karst. Vingt-sept échantillons sont prélevés (1986), certains points d'eau sont utilisés pour la consommation en eau potable de la population et d'autres sont utilisés par la collectivité locale. L'échantillonnage a été effectué par prélèvement dans des flacons stérilisés in-situ par les soins de ANRH. La pollution de la nappe karstique si elle n'est pas freinée

par une réglementation stricte, elle risque de se généraliser et condamner à jamais l'alimentation à partir de cette nappe.

Nom du point d'eau	Cordonnées		Résultats
	X	Y	
Forage F27 (SONIC)	266.850	179.350	Eau polluée bactériologique
Forage F4 (SONIC)	267.650	180.050	Très bonne qualité bactériologique
Forage F62 (A.E.P)	267.000	179.650	Très bonne qualité bactériologique
Piezo 16 (Na3) Puits	269.000	178.000	Mauvaise qualité bactériologique
Source du poirier	272.100	178.000	Mauvaise qualité bactériologique
Forage NA5	268.800	178.200	Eau suspecte à traiter
Forage Douithabet	265.950	173.600	Très bonne qualité bactériologique
Ain Terga	274.000	176.300	Eau impropre à la consommation
Forage champs de manœuvre	266.700	172.800	Très bonne qualité bactériologique
Forage F48	266.750	178.400	Très bonne qualité bactériologique
Puits Tameshoum	273.650	180.350	Eau polluée bactériologique
Ain Soltane	268.200	173.300	Eau polluée bactériologique
Ain Boukhors	266.150	175.950	Très mauvaise qualité bactériologique
Ain Touta	267.800	172.250	Très bonne qualité bactériologique
Ain Nezereg	268.550	177.700	Eau polluée bactériologique
Ain El Hallouf	270.350	174.350	Très mauvaise qualité bactériologique
Source Ronde	266.450	166.800	Eau polluée bactériologique
Ain Messaoud	266.050	197.950	Eau suspecte à traiter
Si-Abdelkrim	263.000	172.000	Eau polluée bactériologique
Ain Si Djelloul	272.400	171.200	Très mauvaise qualité bactériologique
Ain ELHazem	272.300	168.600	Eau polluée
Ain Beida	265.850	168.250	Eau impropre à la consommation
Source Ramos-Pedro	270.700	167.400	Très mauvaise qualité bactériologique
Piscine de Ain El Hdjar	266.650	165.100	Très mauvaise qualité bactériologique
Ain Taga	265.350	169.100	Très mauvaise qualité bactériologique
Ferme Blanche puits	265.200	167.800	Très mauvaise qualité bactériologique
Ferme du syndicat puits	263.700	165.300	Très mauvaise qualité bactériologique

Tableau 17 : Liste des points d'eau inventoriés pour analyses chimiques et bactériologiques, (Hydraulique de Saïda).

Sur les 27 points d'eau qui sont pollués bactériologiquement, nous avons conclu que 95% des sources et points d'eau à Saïda ne présentent aucune mesure de protection.

De plus, dans le cas du forage F27 (SONIC) il est à moins de 10m de l'Oued Saïda particulièrement pollué dans cette partie de son cours et à moins de 5m d'une décharge publique non contrôlée, et de plus les fuites occasionnées sur la vanne principale contribuent à favoriser la pollution bactériologique par l'existence d'une mare constante autour du puits.

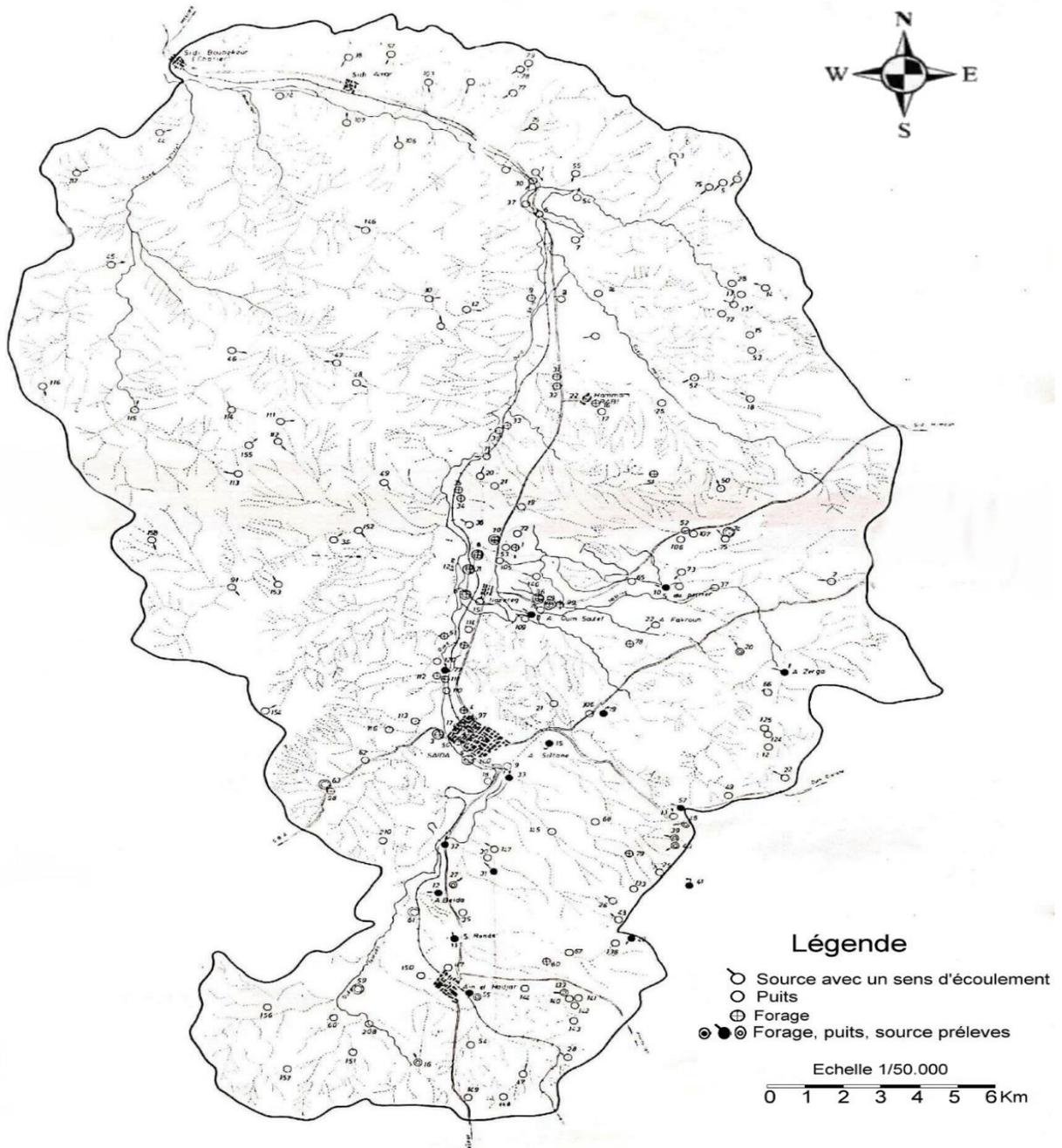


Figure 38 : Carte des points d'eau et des prélèvements d'échantillons (ANRH).

3. Chimie des eaux

L'analyse chimique des eaux est réalisée sur les prélèvements qui ont été effectués précédemment au niveau des :

- Dolomies du Bajo-Bathonien.
- Argiles de Saïda Callovo-Oxfordiennes.
- Mio-Plio-Quaternaire.

Le choix des critères chimiques s'est porté sur les paramètres suivants :

3.1. Le résidu sec et minéralisation de l'eau

La concentration moyenne de 450mg/l est considérée comme étant celle de la nappe des dolomies, ces taux élevés sont donc dus à la pollution par précipitations des carbonates dus aux mêmes à un processus organo-chimiques.

3.2. Le titre hydrotimétrique (T-H.)

Il représente la dureté de l'eau en degrés français, si la valeur obtenue est supérieure à 30°, cette eau n'est plus potable, cela est due à la présence de sels de Ca et de Mg.

3.3. Titre alcalimétrique complet (T.A.C.)

Il est en fonction de la teneur en bicarbonates et carbonates contenues dans l'eau. Lorsque les eaux ont un PH inférieur à 8.3 le T.A.C est représenté seulement par les bicarbonates, il donne des indications sur l'agressivité de l'eau.

3.4. Les nitrates

Ils sont de manière générale tant en zone urbaine qu'agricole dues à une pollution domestique (cimetières, égouts, épandage de fumier ou d'engrais azotés)

3.5. Les chlorures

En général la concentration normalement admise ne doit pas dépasser 250mg/l, ils sont eux aussi dus à la présence de déchets d'origine urbaine.

3.6. Les sulfates

La limite admise doit se situer en dessous de la teneur de 250mg/l, leur présence est due à la dissolution de sels de sulfates par les eaux de précipitations.

4. Résultats et interprétation des analyses chimiques des eaux

4.1. Le résidu sec

La teneur moyenne varie autour de 450mg/l et elle est due en grande partie aux bicarbonates dans le cas de la nappe de Saïda. Cependant à Ain Boukhors la liaison avec le Lias est évidente vu que la teneur s'élève jusqu'à 1320mg/l. Les zones de concentrations élevées se situent sur les points d'eau à proximité de l'Oued Saïda.

4.2. Les nitrates

La teneur moyenne varie de 6mg/l à un maximum de 60mg/l. la concentration en nitrates fait apparaître une augmentation progressive au Sud-Est de Saïda particulièrement dans la zone karstique au Nord de Ain El Hdjar. Néanmoins, on constate une nette diminution vers les points d'eau autour de Rebahia et de l'Oued Saïda. L'absence d'une couverture naturelle d'alluvions Plio-Quaternaire constituant un écran protecteur, entraîne un taux élevé des nitrates (supérieur à la teneur normale de 44mg/l). Ces nitrates sont en grande partie issus de l'utilisation d'engrais azotés par l'agriculture, de l'absence d'une couverture végétale et des caractéristiques intrinsèques du sol.

4.3. Les chlorures

Ils sont associés à la présence d'une pollution urbaine essentiellement ; on observe aussi les teneurs

- Ain Boukhors : 121mg/l.
- Ferme du syndicat : 272mg/l.
- Puits Si-Abdelkrim : 1114mg/l

La forte teneur du puits de Si-Abdelkrim est due à la présence de la décharge publique et du cimetière de Saïda à quelques centaines de mètres seulement. Les valeurs obtenues à la ferme de syndicat sont aussi dues aux décharges non contrôlées.

Les teneurs en chlorures dans les points d'eau situés de part et d'autre de l'Oued Saïda dus à des rejets de sels dans l'Oued mais les valeurs ne sont pas supérieures à la limite de 250mg/l sauf dans le puits de Si-Abdelkrim.

4.4. Les sulfates

La teneur moyenne dans le secteur étudié varie de 24mg/l à 100mg/l environ, sauf dans le puits de Si-Abdelkrim où la teneur excessive en sulfates est de 2136mg/l ; la moyenne admissible étant de 250mg/l.

5. Différentes catégories des eaux

Le diagramme de Berkaloff (Figure 39) fait apparaître nettement l'unité de faciès hydrochimique à savoir :

- Les eaux du karst bicarbonatées magnésiennes.
- Les eaux des sources d'émergence de la nappe karstique.
- Les eaux de l'Oued où les teneurs en sont dictées par les rejets urbains et industriels.

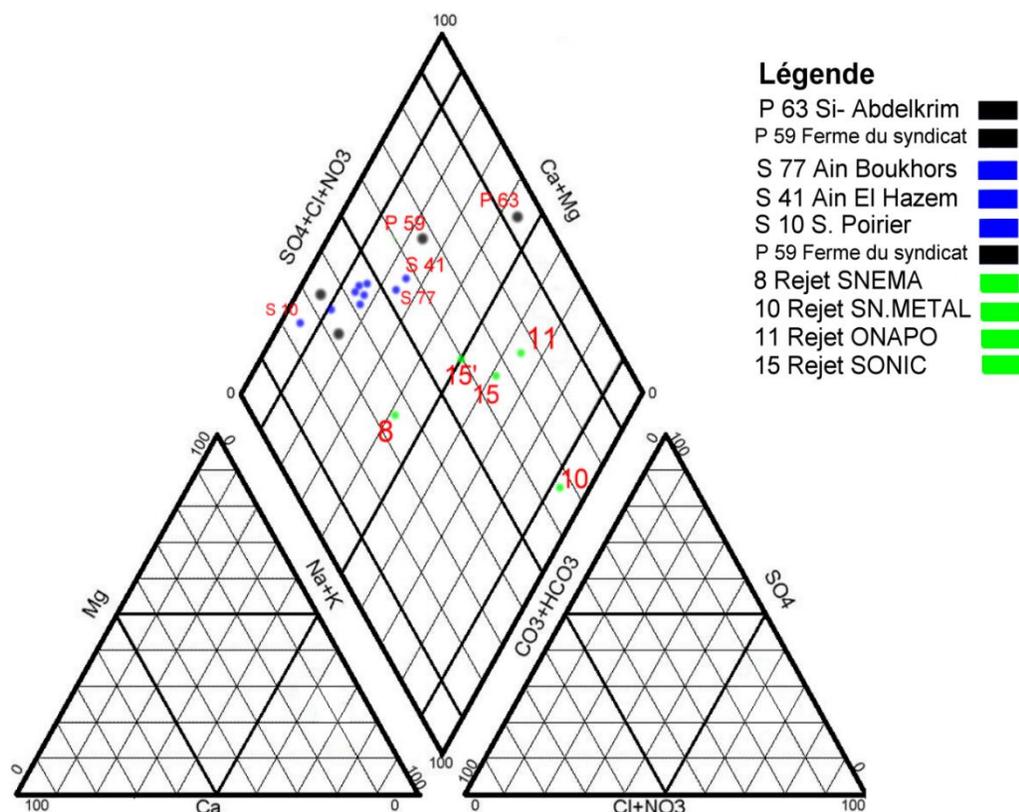


Figure 39 : Diagramme de Berkaloff.

En résumé on peut conclure que les faciès chimiques de la nappe de Saïda sont du type Bicarbonate calcique ce qui est en parfaite conformité avec la formation aquifère carbonatée. Le tableau ci-dessous (Tableau 18) représente la gamme des valeurs relevées.

Eléments	Variation
Hco ₃	215 à 418 mg/l
Cl	27 à 1275 mg/l
So ₄	6 à 56 mg/l
Ca ⁺⁺	58 à 138 mg/l
Mg ⁺⁺	14 à 100 mg/l
Na ⁺⁺ + K ⁺	11 à 133 mg/l
PH	7.1 à 8.5 mg/l
TH	1.1 à 10.16 mg/l

Tableau 18 : Variation des éléments chimiques.

D'après les résultats des analyses chimiques effectuées, il apparait que :

- Une pollution par les nitrates d'origine mixte, urbaine et agricole qui a été mise en évidence dans les zones karstiques particulièrement vulnérables.
- Des taux anormalement élevés en chlorures et sulfates qui sont dus à une concentration des sites de pollutions existants dans un rayon très proche

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'eau qui est devenu une denrée rare et précieuse, constitue un élément indispensable pour la vie et l'équilibre de l'individu. Elle présente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays. Du fait de sa précarité et de sa fragilité, voire de son irrégularité, cette ressource nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion.

Au terme de ce travail, mené sur le bassin versant de l'Oued Saïda nous avons essayé de dégager les grands traits du fonctionnement des phénomènes variés en se basant sur l'analyse de données géologiques, hydrogéologiques hydrologiques et climatiques observées.

- **Crues et inondations**

A travers cette étude, nous avons établi les courbes intensité-durée-fréquence pour la station d'Ain El Hdjar. L'établissement des courbes IDF pour la station hydrométrique située sur le bassin versant de Saïda est pour étudier les périodes de retour des crues et inondations et leurs intensités. Dans cette perspective, nous avons utilisé l'approche probabiliste double exponentielle de Gumbel.

A travers les résultats obtenus nous constatons que plus l'étendue (la durée) considérée (d'IDF) augmente, plus l'intensité s'accroît. Néanmoins, les pluies des derniers jours sont souvent les plus violentes ; au contraire les pluies de durées courtes (moins de 4 jours), sont généralement de faibles intensités par rapport aux intensités des derniers jours.

Enfin, il faut dire que la réalisation des courbes IDF pour les autres stations hydrométriques est indispensable pour comprendre la variation des intensités pluviales dans le contexte du changement climatique, dans un but décisionnel de prévention et de prévision contre les inondations et les crues à l'échelle de l'ensemble du bassin.

Recommandations

Notre étude sur l'évaluation des crues et inondations, leurs intensités et leurs périodes de retour a pour objectif des mesures de prévention et de protection qui se résument essentiellement comme suite :

- Mise en place d'une ceinture de protection de l'eau pluviale constituée par des canaux à ciel ouvert pour évacuer les eaux pluviales.

- Mise en place de canaux collecteurs qui permettront de dériver une partie des eaux pluviales en dehors de la ville.
- Le réaménagement des réseaux d'assainissement dont le dimensionnement est pour la plupart des cas sous-estimé.
- Construction de murs de protection en maçonnerie sur une hauteur d'environ 1.5m.
- Terrassement et mise en place d'un béton à 250kg/m³ pour l'assise de l'Oued.
- Aménagement de l'Oued y compris déblai bien compact.
- Mise en place en garde-fou.
- Construction de seuil de rétention en maçonnerie de gabionnage par paliers.
- Construction de canal de déviation en béton armé jusqu'au rejet de section aux normes :1.50x0.80x1.2 m.
- Réalisation d'un collecteur de déversement en Ø 1600.
- Travaux de curage et transport réfection du canal existant.

- **Érosion hydrique**

L'étude morpho-métrique du bassin versant de l'Oued Saïda, a permis de montrer que la topographie est marquée par une dénivelée assez importante, tout en ayant une altitude minimale relativement élevée par rapport aux zones limitrophes du bassin. Les différents paramètres calculés, relatifs au réseau hydrographique, témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé moyennement dense, mais assez ramifié.

Les caractéristiques biogéographiques montrent un faible taux d'occupation du sol par la végétation ce qui favorise l'érosion hydrique.

L'aperçu géologique montre que le bassin versant est constitué d'un vaste plateau dont la lithologie est composée de calcaires dolomitiques et d'argiles gréseuses qui affleurent de l'Est à l'Ouest de l'Oued Saïda. D'épaisses couches calcaire-dolomitiques forment les plus importants aquifères de

la région. Ils sont très karstifiés, la présence de failles et fissures facilite l'infiltration massive des eaux ce qui favorise la recharge directe et rapide des nappes, mais augmente leur vulnérabilité.

L'analyse des données pluviométriques journalières sur les 39 années considérées, montre clairement un déficit pluviométrique très marqué. La station retenue dans cette étude affiche de précipitations inférieures par rapport à la moyenne annuelle ; dans ces conditions on estime qu'il s'agit bien de périodes de sécheresse.

Les transports solides en suspension dans le bassin versant de l'Oued Saïda se font essentiellement durant trois périodes, la première intense en automne, les deux autres à plus faible ampleur en hiver et au printemps. Les débits solides en suspension varient en fonction des débits liquides selon une loi en puissance de la forme $Q_S = 2.36 \cdot Q_1^{1.63}$. Sur la base de cette relation, nous avons calculé le débit solide en suspension. Les résultats obtenus ont permis de calculer le tonnage annuel des sédiments transportés par l'Oued Saïda. Ces quantités de sédiments varient de 1000 tonnes pour l'année 1998/1999, soit une dégradation spécifique de 2 t/km²/an à 150000 tonnes pour l'année 2007/2008, donnant une dégradation spécifique de 276 t/km²/an. L'apport moyen annuel en sédiments enregistré à l'exutoire du bassin versant de l'Oued Saïda est évalué à 29667 tonnes, ce qui correspond à une dégradation spécifique de 55 t/km²/an.

Recommandations

Les unités fonctionnelles de l'érosion correspondent aux niveaux de temps et d'espaces auxquelles les stratégies de lutte contre l'érosion peuvent être mises en œuvre.

Plusieurs mesures antiérosives peuvent être envisagées au niveau de l'exploitation agricole en tentant :

- De diminuer la genèse du ruissellement par une modification des pratiques culturales (enherbement hivernal, outils et mode de travail du sol, mode de désherbage...). C'est le cas du bassin étudié qui dispose d'un faible couvert végétal.
- De canaliser le ruissellement par des réseaux de fossés et prévoir l'évacuation du surplus en eaux par la dérivation d'une partie des eaux superficielles en particulier à l'amont des zones urbanisées.
- De réduire son effet sur l'arrachement du sol par l'enherbement des talwegs (aménagement des cours d'eaux).

- Pollutions

Le but de cette étude, est la protection préventive de la nappe et de voir l'influence des rejets industriels ou urbains sur la qualité des eaux de la nappe de Saïda

La nappe de Saïda constitue la principale ressource en eau utilisée aussi bien pour l'alimentation en eau potable et l'agriculture, le problème de la détérioration des qualités physico-chimiques des eaux de la nappe de Saïda résulte de plusieurs facteurs liés d'une part à l'extension croissante des activités industrielles et agricoles et aux décharges d'ordures ménagères implantées directement sur le Karst d'autre part, de plus la surexploitations de la nappe due à l'intensifications des pompages a conduit à modifier les qualités physico-chimiques des eaux de la nappe de Saïda.

Recommandations

Il s'agit de préserver les qualités physico-chimiques de la nappe des eaux tout en s'efforçant de ne pas apporter de contraintes aux différentes activités ; dans notre cas le type de protection envisagée est la création d'un périmètre de protection préventive.

La zone d'alimentation de la nappe doit faire partie de cette réglementation, donc la création de périmètre de protection préventive de la nappe des eaux qui couvre toute sa superficie.

Dans les zones les plus sensibles il sera interdit :

- Les constructions industrielles et les constructions groupées ou collectives.
- Rejet des eaux usées urbaines ou industrielles.
- L'exploitation de carrières et de matériaux alluvionnaires.
- L'implantation de cimetières.
- L'épandage d'engrais organiques ou chimiques.
- Toutes les décharges publiques existantes devront faire l'objet d'une étude d'impact sur l'environnement et les ressources en eaux superficielles et souterraines.

La conservation de l'Oued Saïda dans un état de propreté et de pureté demeure une priorité absolue qui justifie les actions suivantes :

- Fonctionnement correct de la station d'épuration.

- L'assainissement de l'Oued et mise en place d'un dispositif approprié pour la collecte des déchets urbains.
- Raccordement le réseau d'assainissement pour tous les quartiers restant en collecteurs principaux.
- Curage des tronçons obstrué des collecteurs principaux.
- Faire fonctionner les stations de prétraitement des unités industrielles.
- Analyse périodique des eaux de l'Oued Saïda et des corps polluants ainsi les unités défailantes.
- Des contrôles inopinés sous forme des visites des unités de leur installation de dépollution et des prélèvements d'échantillon pour analyser

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHITE M., MEDDI M. (2004)** : Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Haddad (Nord-Ouest Algérien). *Revue sécheresse*, vol., 15, pp : 367-373
- ACHITE M., MEDDI M. (2005)** : Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin de l'Oued Mina (Nord-Ouest Algérien). *Revue Sci., eau*, 18, pp 37-56
- ACHITE M., OUILLOIN S. (2007)** : Suspended sediment transport in a semi-arid water shed Wadi Abd Algérie (1973-1995). *J. Hydrol.*, 343, pp 187-202
- A.N.R.H (2008)** : synthèse hydrogéologique de la région de Saïda
- A.N.R.H. (2010)** : Agence Nationale des Ressources Hydriques. Direction régional de Saïda (Algérie). Station Hydrométrique de Sidi Boubkeur code 11.11.02
- A.N.R.H, (2021)** : Agence Nationale des Ressources Hydriques. Direction nationale (Algérie).
- ANTEUR D. et al (2014)** : CONTRIBUTION À L'ÉVALUATION ET À LA CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITÉ À L'ÉROSION HYDRIQUE DES SOLS DU SOUS BASSIN VERSANT DE L'OUED DE SAÏDA (OUEST DE L'ALGÉRIE). *Europ., Sci., J.*, pp 142-153
- BELAHOUEL A. (1986)** : Notice explicative de la carte de vulnérabilité à la pollution Saïda 1/50000 *Mém., Ingén., Etat, Univ., Oran.*
- BENHAMOU Y. et al (2015)** : PATHOLOGIE DES SOLS DANS LA REGION DE SAÏDA, 3ème colloque international sur les sols non saturés (UNSAT Batna 2015)
- BENKACI A. (2001)** : Contribution à la modélisation de la relation pluie-débit au pas de temps mensuel et journalier par les modèles conceptuels et les réseaux de neurones. *Thèse, Magister, Inst., Nat., Agro., Alger*
- BENKHALED A., REMINI B. (2003)** : Analyse de la relation de puissance débit solide-débit liquide à l'échelle du Bassin versant de l'Oued Wahran (Algérie). *Revue, Sci., eau*, pp 333-356.
- BENKHALED A., REMINI B. (2003a)** : Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Wahrane (Algérie). *Hydrol., Sci., J., Sci., Hydr.*, vol., 48, pp 243-255

BENTABET A. (2008) : Apport des méthodes hydrochimiques dans la caractérisation du fonctionnement hydrodynamique des aquifères des Monts de Saïda *mém., magister univ., Mascara*

BEVEN K., KIRKBY M. (1979) : A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol., Sci., Bull., vol., 24, pp 43-69*

BOUAKAZ Z. (2018) : CONTRIBUTION AU DIAGNOSTIC DES FORMULES EMPIRIQUES DE CALCUL DE DEBITS MAXIMUMS DANS DES BASSINS-VERSANTS NON JAUGES. CAS DE DEUX BASSINS-VERSANTS DE NORD DE L'ALGERIE. *mém., master, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah*

BOUANANI A. (2004) : Hydrologie, transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW. Algérie). *Thèse., doct., état, Univ., Tlemcen.*

BOUDJEMAA M. (2012) : CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE L'IMPACT DE LA POLLUTION DE L'OUED DE SAÏDA SUR LA QUALITÉ DES EAUX MINÉRALES. *mém., magister, univ., Mascara*

BOUKHELIFA M. et al (2011) : Prévention du risque pluvial par l'élaboration des courbes intensité–durée–fréquence (IDF): application à la ville de Tipasa dans le Nord-Ouest Algérien, *Risk in Water Resources Management (Proceedings of Symposium H03 held during IUGG2011 in Melbourne, Australia, July 2011) (IAHS Publ. 347, 2011).*

CHERIFA. et al (2009) : Modélisation statistique du transport solide du bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie) en zone semi-aride méditerranéenne. *Hydrol., Sci., J., vol., 54, pp 338-348*

D.N.E.M.T (1996) : Représentations graphiques des résultats d'analyses eau minérale

DAHMANI M. N. (2016) : ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED SAÏDA. *mém., magister, univ., Oran 2*

DHW Saïda (2010) : étude de réaménagement de l'Oued de Saïda

ELMI S, BENEST M. (1978) : Les “ Argiles de Saïda ” faciès flyshoïde du Callovo-Oxfordien du sillon tlemcenien (Ouest algérien). Stratonomie, environnements, interprétation et évolution paléogéographique. *Jubilair J. Flandrin, Lyon. PP, 203-242*

FAO (1990) : Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. *Bull., pédol., 182 p.*

- FOUCHIER C. (2010)** : Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues. *Thèse, Doct., Univ., Montpellier II, Sci., Techniques du Languedoc. Aix en provence,*
- FOUKRACHE M.** : étude morpho-métrique d'un bassin versant, *cours master 01 risque géologique*
- FOUKRACHE M. (2021)** : L'érosion hydrique, *cours master 01 risque géologique*
- FOURNIER F. (1960)** : Climat et érosion. *Presses univ., France, Paris*
- GAUMME E. (2000)** : Hydrologie : cycle de l'eau et modélisation pluie-débit. *Cours ENPC*
- HACHEMAOUI D. (2016)** : Hydrologie et Modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'Oued El-MallehWilya de Ain Temouchent. *mém., master, univ., Saïda*
- HADJADJ D. (1997)** : La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bull., ORSTOM, vol., 17, pp 168 – 175*
- IONAC N et al (2015)** : ÉVALUATION DES PHÉNOMÈNES DE DESSÈCHEMENT ET DE SÉCHERESSE DANS LA ZONE CONTINENTALE DU PLATEAU DE LA DOBROUDJA DU SUD *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège Fac., geo., univ., Bucarest, pp 269 274*
- KABOUYA M. (1990)** : Modélisation pluie-débit aux pas de temps mensuel et annuel en Algérie septentrionale. *Thèse de Doct., Univ., Paris Sud Orsay,*
- KEFIFA A. (2014)** : Contribution à l'étude et à la cartographie de l'impact des pressions anthropozoogènes et climatiques sur les ressources naturelles des monts de Saïda (Algérie). *thèse, doct., univ., Tlemcen*
- KHALDI A. (2005)** : Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saïda". *thèse, doct., univ., Oran*
- LATRECHE B (2014)** : Contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique du MONT DE SAÏDA. *mém., master, univ., Tlemcen*
- MEGNOUNIF A. et al (2000)** : Etude du transport solide dans l'Oued Mouillah (Nord- Ouest Algérien). *Colloque méditerranéen Alger, pp 128-132*

MEGNOUNIF A. (2007) : Etude du transport des sédiments en suspension dans les écoulements de surface. *Thèse, doct., Univ., Tlemcen*

O.N.I.D (2010) : ETUDE DE SYSTEMES D'IRRIGATION A PARTIR DES EAUX EPUREES DES AGGLOMERATIONS DE LA VALLEE DE L'OUED SAÏDA

O.N.M : Office National de Météorologie

PITAUD G. (1973) : Etude hydrogéologique pour la mise en valeur de la vallée de l'Oued Saïda (rapport de synthèse), division ressource hydrique.

RAMBERT B. (1971) : Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain, Rapport préliminaire.

RIBSTEIN P., LEBEL T. (1990) : THE UNIT HYDROGRAPH TECHNIQUE APPLIED TO THE SAHELIAN FLOOD MODELING, COMPARISON OF THREE IDENTIFICATION METHODS. *Lab., hydrol., pp 267-279*

ROUABHI A : BIOCLIMAT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE *Fac., Sci., Nat., Univ., Setif1*

S.E.F.M.V.T (1981) : Rapport de mission effectué à Saïda *Secrétariat d'état aux forêts et la mise en valeur des terres Alger*

SEMARI K. (2016) : Forme des lits pour les cours d'eau du bassin versant de la Macta, *THESE, doct., univ., Mascara*

YLES F. (2014) : Hydrologie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Saïda : modélisation pluie- débit et débit liquide – transport solide. *Thèse, doct., Univ., Tlemcen*

YLES F., BOUANANI A. (2017) : Production de sédiments en suspension et typologie des crues dans les zones steppiques algériennes : cas du bassin versant de l'Oued Saïda. *Geo-Eco-Trop., 2017, pp 135-150*