



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie & d'Aménagement du Territoire
Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade Master en Géologie
Option : Risques Géologiques et Gestion

Thème :

**Étude du risque hydrique et la cartographie des terrains susceptibles
aux inondations de la plaine de Sidi bel-Abbès (Nord-Ouest Algérien)**

Présenté par :

Mlle. COSSA Valódia Raimundo

Soutenu devant le jury composé de :

| | | |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|
| Mr. Mansour Hamidi (Professeur) | Université d'Oran | Président |
| Mr. Nadji Abdelmansour (Professeur) | Université d'Oran | Encadreur |
| Mr. Roukh Zine El Abidine (Doctorant) | Université d'Oran | Co-Encadreur |
| Mr. Foukrache Mohamed (M.C.A) | Université d'Oran | Examineur |

Univ-Oran 2 (2020).

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents Raimundo Cossa et Flora Ndzeco

Mes chers frères et sœurs Milena, Elton, Edilton, Lélío, Cândido.

Ma chérie amie Lizí

Ma chère famille

Mes chers amies, collègues de promo

*En fin, à tous ce qu'on contribuer à la réussite de mon parcours
académique.*

Remerciements

*Je rends grâce à **Dieu** de m'avoir donnée la santé, l'inspiration ainsi que la connaissance pour pouvoir accomplir ce travail.*

*J'exprime ma plus vive gratitude à Monsieur **Nadji Abdelmansour** et à Monsieur **Roukh Zine E-A**, mes encadreurs pour leurs disponibilité, patiente, contributions à la réalisation de ce mémoire et le soutien sans réserve.*

*Je tiens à remercier à Monsieur **Mansour Hamidi** d'avoir bien accepter de présider le jury et également à Monsieur **Foukrache Mohamed** pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Mes gratitudes vont aussi à tous mes enseignants pour leur disponibilité et le leur savoir qu'ils m'ont fidèlement transmis toute au long du mon parcours d'étude à l'Université d'Oran-2 'Mohamed Ben Ahmed.

Résumé

La plaine de Sidi Bel-Abbès est affectée par de nombreuses inondations cycliques ; générées lors du débordement périodique d'Oued 'El-Mekerra'. Comme notre objectif est focalisé sur l'étude du risque hydrique accablant la région par d'importants dommages matériels et pertes de vies humaines, l'exploitation des données d'inventaire d'inondations s'est avérée nécessaire pour modéliser l'aléa hydrique et d'évaluer par le biais de la cartographie algébrique le taux de susceptibilité des terrains inondables sur l'ensemble des terrains de la plaine alluviale. Après la collecte d'information multi-sources : géographique, géologique hydrologique et notamment les conséquences de changements climatiques ; tributaires à l'étude de l'aléa d'inondations de la plaine alluviale de Sidi Bel-Abbes on a exercé plusieurs modalités en traitement d'information pour déterminer la périodicité des inondations et pour estimer le zonage de la variante de susceptibilité des terrains inondables.

Dans un premier temps, on a procédé via l'approche statistique à modéliser la fréquence d'émergence des inondations et leur dynamique événementielle par l'établissement de la courbe exponentielle d'aléa. En second lieu, traitant la composante de vulnérabilité de la plaine alluviale, on a vu utile de présenter une cartographie synthétique de la susceptibilité de la plaine envisagée. Notant que cette dernière a fait l'objet d'un projet de publication, réalisée par mes encadreurs, englobant sous l'environnement 'SIG' les différentes thématiques selon une configuration utile aux zones de la susceptibilité des terrains inondables.

Les résultats obtenus sont importants sur le plan de prévention ainsi que sur le plan de la prévision où notre estimation a permis de déterminer une périodicité d'ordre décennale associée à une importante variabilité en qualité de dommages. Sur la carte de la susceptibilité aux inondations on souligne l'existence de cinq classes ; allant des zones à moindre susceptible aux zones les plus susceptibles tels que les sites : Sidi Bel-Abbès, Bou-khanefis, Sidi-Khaled, Ras-El-Maa, Moulay-Slissen, Sidi-Lahcen et Ain El-Berd sont assignés comme des secteurs les plus vulnérables aux inondations. Compte tenu de ces résultats, le présent travail peut être utile à la conception de Plan de Prévention Régional contre les Inondation potentielles de la Wilaya de Sidi Bel-Abbès ; (P.P.R.I).

Mots- clés : Plaine de Sidi Bel Abbès, SIG, MNT, aléa d'inondation, modélisation fréquentielle, carte de susceptibilité aux inondations, PPRI.

Abstract

The Sidi Bel Abbès plain is affected by a numerous cyclic flood that are generated during the periodic overflow of Oued El-Mekerra stream river. As our objective is focused on the study of the water risk overwhelming the region through significant material damage and loss of human life, the use of flood inventory data has proved necessary to modeling the water hazard and using algebraic mapping to assess the susceptibility rate of flood plains on all plains in the alluvial plain. After collecting multi-sources of informations like: geographic, geological, hydrological and in particular the consequences of climatic changes; dependent on the study of the flood hazard of the alluvial plain of Sidi Bel-Abbes region, several information processing methods were used to determine the periodicity of the floods and to estimate the zoning of the susceptibility variant of flood plains areas. Firstly, we proceeded via the statistical approach to modeling the frequency of the emergence of floods and their related events dynamics by establishing the exponential hazard curve. Secondly, dealing with the vulnerability component of the alluvial plain, it is useful to present a synthetic mapping of the susceptibility of this studied plain. Noting that the latter mapping was the subject of a publication paper, carried out by my supervisors' teachers, encompassing under the "GIS" environment in various themes according to a configuration useful to the area of the susceptibility of flood plains. The main results obtained are more important in terms of prevention as well as in terms of forecasting, where our estimate made it possible to determine a 'ten-years' periodicity associated with significant variability in the quality of damage. On the flood susceptibility map we highlight the existence of five classes ; ranging from less susceptible areas to more susceptible areas such as sites sectors like : Sidi Bel-Abbès, Bou-Khanefis, Sidi-Khaled, Ras El-Maa, Moulay-Slissen, Sidi-Lahcen and Ain El-Berd are the most susceptible areas seems to flooding. The results of this modest work can contribute to the establishment of a Regional Flood Prevention Plan for the Wilaya of Sidi Bel-Abbes region; (P.P.R.I).

Key-words: Sidi Bel-Abbès plain, MNT, SIG, flood hazard, susceptibility Index mapper, periodicity of events, 'P.P.R.I'.

SOMMAIRE

| | |
|---------------------------|----------|
| Introduction | 1 |
|---------------------------|----------|

Chapitre I : Cadres ‘Géographique’ et ‘Géomorphologique’

| | |
|---|----------|
| I.1- Les limites géographiques et administratives de la Wilaya | 2 |
| I.2- Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès | 2 |
| I.3- Contexte morphologique | 3 |
| I.4- Pédologie du couvert-végétal | 4 |
| I. 5 - Contexte hydrographique | 6 |
| I.5.1 - Présentation du bassin versant d’Oued El-Mekerra | 7 |
| I.6 - Contexte Géologique régional..... | 9 |
| I.6.1- La série stratigraphique | 11 |
| I.6.1.1- Cénozoïque..... | 11 |
| A) Le Quaternaire..... | 11 |
| B) Le Plio-quaternaire..... | 11 |
| C) Le Néogène | 11 |
| D) Le Paléogène..... | 12 |
| I.6.1.2- Le Mésozoïque | 12 |
| A) La série Crétacé..... | 12 |
| B) La série Jurassique | 13 |
| I.6.2- La tectonique régionale..... | 14 |

Chapitre II : L’hydrogéologie de la plaine alluviale de Sidi Bel-Abbès

| | |
|--|-----------|
| II.1- Contexte climatique de la région | 17 |
| II.2- Caractéristiques des reliefs..... | 17 |
| II. 3 - Contexte hydrogéologique | 19 |
| II.3.1 - Description des formations | 19 |
| II.3.1.1- La Nappe du Plio-quaternaire..... | 19 |
| II.3.1.2 - Nappe des calcaires et dolomies du Jurassique-Crétacé de Sidi Ali Benyoub | 20 |
| II.3.1.3- Nappe des calcaires de l’Éocène de Sidi Ali Boussidi | 20 |
| II.3.1.4 - Nappe des calcaires de l’Aptien de Zigyne | 20 |

| | |
|--|-----------|
| II.3.1.5 - Nappe des grès du Pliocène de la forêt de Ténira..... | 20 |
| II.4- Le réseau hydrographique | 22 |

Chapitre III : Étude des composantes du risque hydrique

| | |
|--|-----------|
| III. 1- Évaluation de l'aléa d'inondation de la plaine..... | 25 |
| III.1.1- Échantillonnage des périodes d'inondations | 26 |
| III. 1. 2 - Représentation de la dynamique des inondations | 26 |
| III.1.3- Histogramme des fréquences | 27 |
| III. 1. 4 - Calcul de l'aléa d'inondation par l'approche fréquentielle..... | 28 |
| III.2- Étude de l'indice de susceptibilité de terrains inondables | 31 |
| III.2.1- La méthodologie d'étude..... | 31 |
| III. 2. 2 - Les différentes thématiques de la susceptibilité aux inondations | 32 |
| III.2.2.1- La carte de distance de proximité aux oueds | 32 |
| III.2.2.2- La carte de pente..... | 32 |
| III.2.2.3- La carte de la densité de drainage..... | 33 |
| III.2.2.4- La carte d'altitude (Côtes altimétriques) | 33 |
| III.2.2.5- Carte d'accumulation de flux..... | 34 |
| III.2.2.6- Carte des précipitations..... | 35 |
| III.2.2.7- Carte d'occupation du sol | 35 |
| III. 2. 3- Le modèle du processus de hiérarchie analytique (AHP) | 38 |
| III.2.3.1- Le résultat de l'étude | 40 |
| CONCLUSION | 42 |
| RECOMMANDATIONS..... | 43 |
| Références Bibliographiques | |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1. Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès | 3 |
| Figure 2. Carte géomorphologique simplifié du secteur d'étude | 4 |
| Figure 3. Réseau hydrographique de la plaine de Sidi Bel Abbès | 6 |
| Figure 4. Système alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès | 8 |
| Figure 5. Cartes des formations géologiques de la plaine de Sidi Bel Abbès | 10 |
| Figure 6. Aspect structural du secteur d'étude | 15 |
| Figure 7. Log synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Sourisseau, 1972 ; modifié) | 16 |
| Figure 8. Carte des pentes du bassin versant de l'oued Mekerra | 18 |
| Figure 9. Carte géologique des aquifères du complexe hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Carte hydrogéologique de la plaine Sidi Bel Abbès ANRH 1973 in Otmane A., 2015)..... | 21 |
| Figure 10. Carte piézométrique interprétée ; de la nappe Plio-quaternaire (Bellaredj, 2019) | 22 |
| Figure 11. La superposition de cartes piézométriques : simulée selon un régime permanent (1971) et l'ancien régime observée par l'hydrogéologue : Sourisseau, en janvier-(1971) et édité dans la thèse de Bellaredj. A (2019)..... | 23 |
| Figure 12. Carte du secteur de zones inondables..... | 25 |
| Figure 13. Série chronique de la période d'observation (T=1889 - 2018) | 26 |
| Figure 14. Diagramme d'évolution des fréquences relatives d'événements hydriques | 27 |
| Figure 15. Courbe d'aléa hydrique d'inondations de la plaine S.Bel-Abbès | 28 |
| Figure 16. Carte de distance de proximité aux oueds..... | 32 |
| Figure 17. Carte des pentes (gradients) | 33 |
| Figure 18. Carte de la densité de drainage..... | 34 |
| Figure 19. Carte d'altitude (Côtes altimétriques) | 34 |
| Figure 20. Carte d'accumulation de flux | 35 |
| Figure 21. Carte des précipitations | 36 |
| Figure 22. Type du sol..... | 36 |
| Figure 23. Carte géologique | 37 |
| Figure 24. Occupation du sol..... | 37 |
| Figure 25. Carte thématique de la susceptibilité des zones inondables..... | 40 |
| Figure 26. Exemples des dommages occasionnés lors d'importantes inondations à Sidi bel-Abbès | 41 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Couverture végétale du bassin versant Mekerra..... | 5 |
| Tableau 2. Classification de la pente sur la surface du bassin versant Mekerra..... | 18 |
| Tableau 3. Matrice de segmentation de la série chronique de dommages dans chaque période | 26 |
| Tableau 4. Répartition des fréquences évènementielles dans la plaine de Sidi Bel Abbès. | 27 |
| Tableau 5. Inventaire hydrique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Algérie) | 30 |
| Tableau 6. Échelle de comparaison entre deux paramètres dans l’AHP (Saaty., 1977) | 37 |

Introduction

Le risque d'inondations des plaines alluviales et des zones déprimées représente une énigme naturelle qui menace la stabilité et le développement des sociétés sises en zones rurales à l'échelle d'une région donnée. Des nombreux évènements d'inondations se sont enregistrées à l'échelle nationale pour ne citer que les inondations les plus importantes telles que celles de Mohammedia 1881, de Mostaganem 1927, d'oued R'hiou 1993 et Bab El-Oued 2001.

La plaine de Sidi Bel-Abbés occupe une superficie de : 1.150 Km², constituant le bassin versant dit la moyenne Mekerra, la plaine est une grande cuvette remplie des formations d'âge Plio-quadernaire. La susceptibilité est directement liée à la probabilité d'une zone à être exposée au risque d'inondation.

Ce travail comporte trois parties complémentaires : une première partie est consacrée à la présentation de la zone d'étude nommée 'plaine de Sidi Bel-Abbès', leurs aspects géologiques, morphologiques, hydrographiques sont étudiés au sein du grand bassin versant d'Oued El-Mekerra. La localisation en aval du bassin versant favorise davantage l'émergence d'inondation des sites. En deuxième partie, qui comporte notamment le contexte hydrologie de la plaine alluviale où la nappe aquifère du Pli-quadernaire, ayant une superficie de 730 Km² est caractérisée par un important réservoir souterrain de la plaine de Sidi Bel-Abbés qui est essentiellement détritique avec des formations limoneuses, argileuses et sablonneuses. Ces dernières forment le siège d'écoulement souterrain à nappe libre drainée par l'Oued El-Mekerra. La dernière partie, intéresse l'approche d'une analyse statistique fréquentielle. La modélisation de l'aléa hydrique, a nécessité l'introduction d'un traitement des données d'inventaire de la série chronique relatives aux dommages occasionnés lors des inondations et les changements climatiques. L'étude du risque hydrique a nécessité l'introduction de la variante de vulnérabilité des via plusieurs facteurs de fort impact sur le risque envisagé. Les terrains riverains au lit majeur de l'Oued sont à priori les plus humides vu leur proximité de l'axe d'écoulement surfacique d'une part et vu l'importance du gradient piézométrique d'écoulement sous-terrain d'autre part. Par-ailleurs la densité du chevelu hydrographique, la graduation des côtes altimétriques, la nature du faciès géologique et les précipitations saisonnières se réunissent pour engendrer une pondération cohérente permettant d'estimer l'indice global de susceptibilité. La cartographie des terrains susceptibles aux inondations présente son importance dans l'aménagement des zones inondables et pour mieux initier l'aspect préventif des inondations périodiques.

Chapitre I :

Cadres ‘Géographique’ et ‘Géomorphologique’

I.1- Les limites géographiques et administratives de la Wilaya

La Wilaya de Sidi Bel-abbés est située au Nord-Ouest de L'Algérie, à environ 80 kilomètres au Sud d'Oran, elle est délimitée respectivement par plusieurs Wilaya(s) :

- au Nord par la Wilaya d'Oran ;
- au Nord-Ouest par la Wilaya d'Ain-Temouchent ;
- au Nord-Est par la Wilaya de Mascara ; à l'Ouest par la Wilaya de Tlemcen ;
- à l'Est par la Wilaya de Saïda
- et au Sud par les Wilayas de Naâma et d'El-Bayadh.

La Wilaya de Sidi Bel-Abbés occupe une position centrale et stratégique et s'étend sur environ : 15% du territoire occidental du pays avec une superficie de : 9150,63 km², qui comprend plusieurs dizaines de communes (52) ; regroupés en 15 Daïras. Les potentialités de cette Wilaya sont diverses entre, agricoles et industrielles et culturelles. Leur population est cependant dense et se trouve confrontée perpétuellement aux inondations des plaines alluviales et par les crues de Oued El-Mekerra.

I.2- Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès

La zone septentrionale est surtout occupée par de vastes plaines qui s'étendent sur une superficie de 3.239, 44 km² ; qui représente 35,40 % d'espace constitué notamment par la plaine de Sidi Bel-Abbés 'Chef-lieu' ayant un environnement déprimé en cuvette marécageuse dont l'altitude varie entre 400 et 800 m, ainsi que les hautes-plaines de 'Telagh' dont l'altitude varie de 400 à 1000 m.

En effet, cette plaine occupe une grande superficie d'environ 1150 km² constituant ainsi le grand bassin versant occidental de la 'Moyenne-Mekerra' qui s'étend constamment sur un long segment qui s'oriente vers le Nord-Est. Il est à noter que la limite Nord de cette plaine est consolée par la chaîne sub-tellienne plissée des 'Tessala' et au Sud par le massif tabulaire de Tlemcen-Saïda. A l'Est et à l'Ouest, elle se raccorde avec les plaines de Mascara et des Abdellys. (Fig.1).

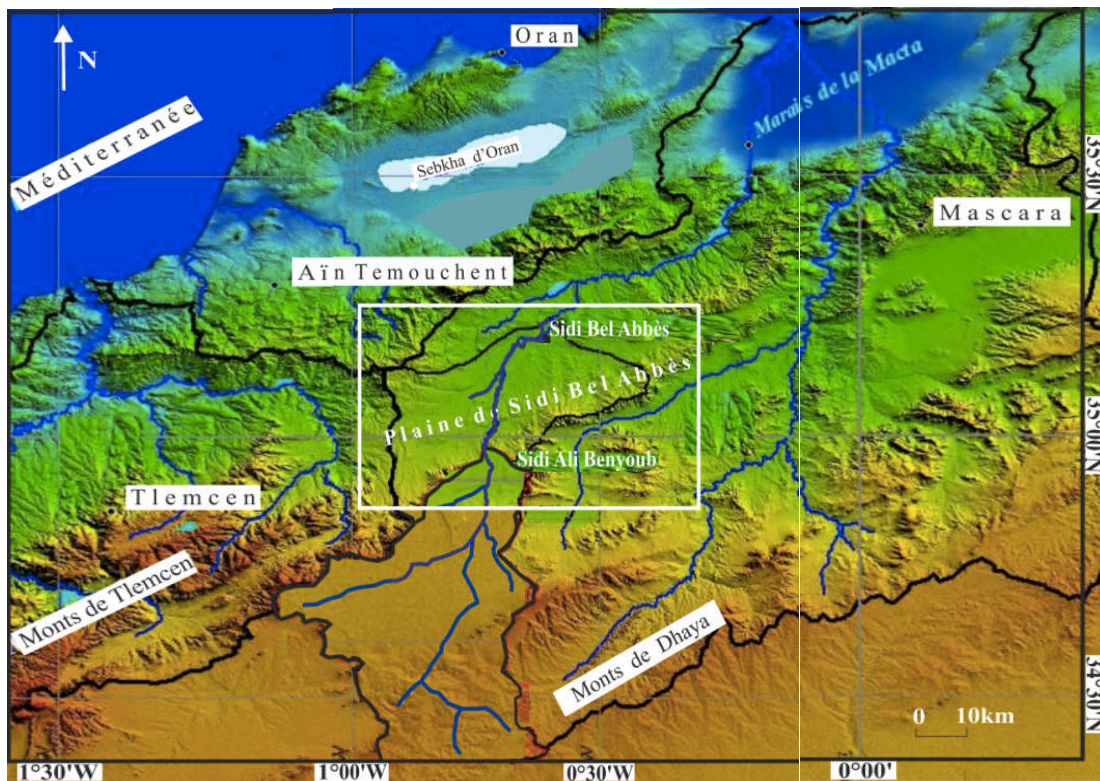


Fig.1 : Situation géographique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Bellaredj A. 2019).

I.3- Contexte morphologique

La plaine est dominée par deux massifs montagneux de direction WSW-ENE, connus par les Monts de 'Tessala' au Nord et les Monts de 'Dhaya' au Sud.

- Les Monts 'Tessala' se conservent à une altitude moyenne de 800 mètres et s'étend sur une cinquantaine de kilomètres.
- Au Sud de la plaine, les Monts 'Dhaya' sont formés par des terrains tertiaires reposant sur les puissantes assises calcaires du Jurassique atteignant une altitude de 1378 mètres ; au sommet du Djebel 'Tzenga'.

La plaine représente une légère inclinaison à relief faiblement ondulé où quelques basses collines persistent au centre ; avec une altitude comprise entre 450 et 800 mètres.

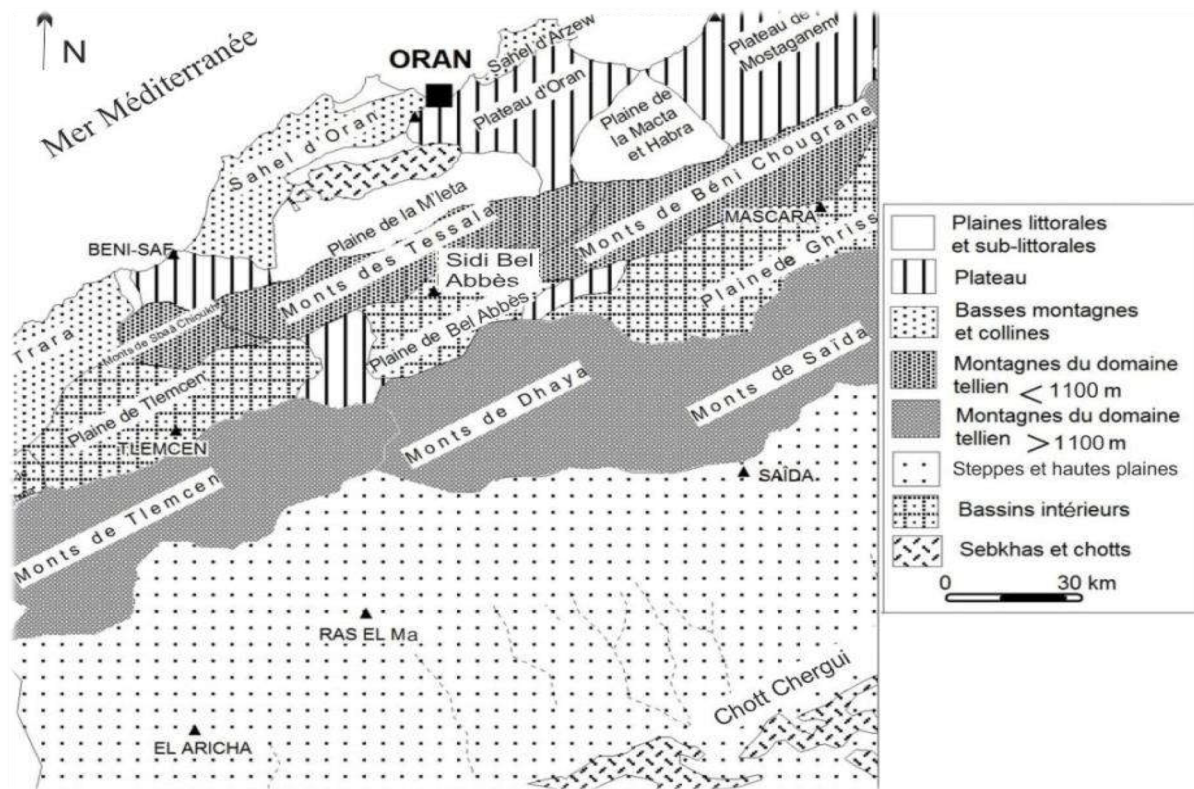


Fig. (2) : Carte géomorphologique simplifiée de la zone d'étude (Bellaredj A., 2019).

I.4- Pédologie du couvert-végétal

Le couvert végétal du bassin versant de Mekerra est développé d'une manière irrégulière, elle dévoile une couverture végétale dominée par plusieurs espèces de cultures et d'agronomies suivantes :

- L'alpha qui est faiblement présenté et la broussaille au Sud,
- Des céréales, des vignes et des agrumes occupent la zone de Sidi Ali Benyoub,
- Les forêts couvrent plus de 20% de la superficie du bassin.

L'étude de l'influence de la végétation sur la configuration et l'aspect des cours d'eau a été décrite par Filliol (1954). Selon les taux de fixation intégrale des berges, il en résulte des processus d'érosion latérale ou d'érosion en profondeur.

Le couvert végétal peut réduire l'énergie cinétique des précipitations jusqu'à 50% et la puissance de ruissellement à environ 75% ; in Korichi et Hazzab (2012).

Tableau 1 : Couverture terrestre du bassin Mekerra (Korichi et Hazzab, 2012)

| Couverture terrestre | Surface % |
|----------------------------------|-----------|
| Forêt | 27.61 |
| Cultures annuelles | 35.82 |
| Alfa | 10.71 |
| Agglomérations | 1.17 |
| Travaux de conservation des sols | 0.42 |
| Terre improductive | 2.8 |
| Route | 5.73 |

La présence d'une couche de calcaire filtrante ; à faible profondeur combinée au climat semi-aride fait de la région un des points le plus aride de l'Oranais. La plaine de Sidi Bel- Abbès renferme de nombreux centres agricoles dont les plus importants sont : Sidi Bel-Abbès, Sidi-Brahim, Sidi-Lahssen, Sidi-Khaled, Bou-Khanefis, Tabia, Aïn El-Hadjar, Lamtar et Aïn-Tellout.

Les études pédologiques effectuées par la société 'SOGREAH-1969' montrent que les terrains de la plaine de Sidi Bel-Abbès se caractérisent par des sols calcaires humifères prédominants. Cette croûte calcaire est perméable ce qui lui permet de jouer un rôle important lors de la remontée des crues.

Trois principaux ensembles de sols dominaient le bassin versant d'El-Mekerra :

- Sols peu évolués : sols rencontrés sur les terrasses d'oued et sont caractérisés par un profil peu différencié et peu structuré, ce qui explique que ces terrains sont bons pour de nombreuses agricultures.
- Sols calci-magnésiques formés de 'rendzines', de sols-bruns à prédominance soit de calcaires ou des calcaires-noircis.
- Sols à 'sesquioxyde-fer' : soles-rouges, bruns ou à horizons-calcaireux.

I. 5 - Contexte hydrographique

La plaine de Sidi Bel-Abbès correspond le bassin versant de la moyenne Mekkera. Ce dernier fait partie du grand bassin versant de La-Mactaa ; limité respectivement :

- Au Nord par les monts de Tessela sont représentés par des terrains charriés et plissés peu perméables.
- Au Sud par la ride anticlinale, des hauts-plateaux de Ras El-Maa, les terrains sont perméables, fracturés et rigides.
- À l'Est par les Monts des 'Béni-Chougrane' et de 'Bou-Hnifia', jouent le rôle d'une limite étanche du côté oriental.
- Et à l'Ouest par le bassin de l'Oued-Isser ; avec des collines à affleurements d'âge 'Serravallien' formant une limite occidentale imperméable.

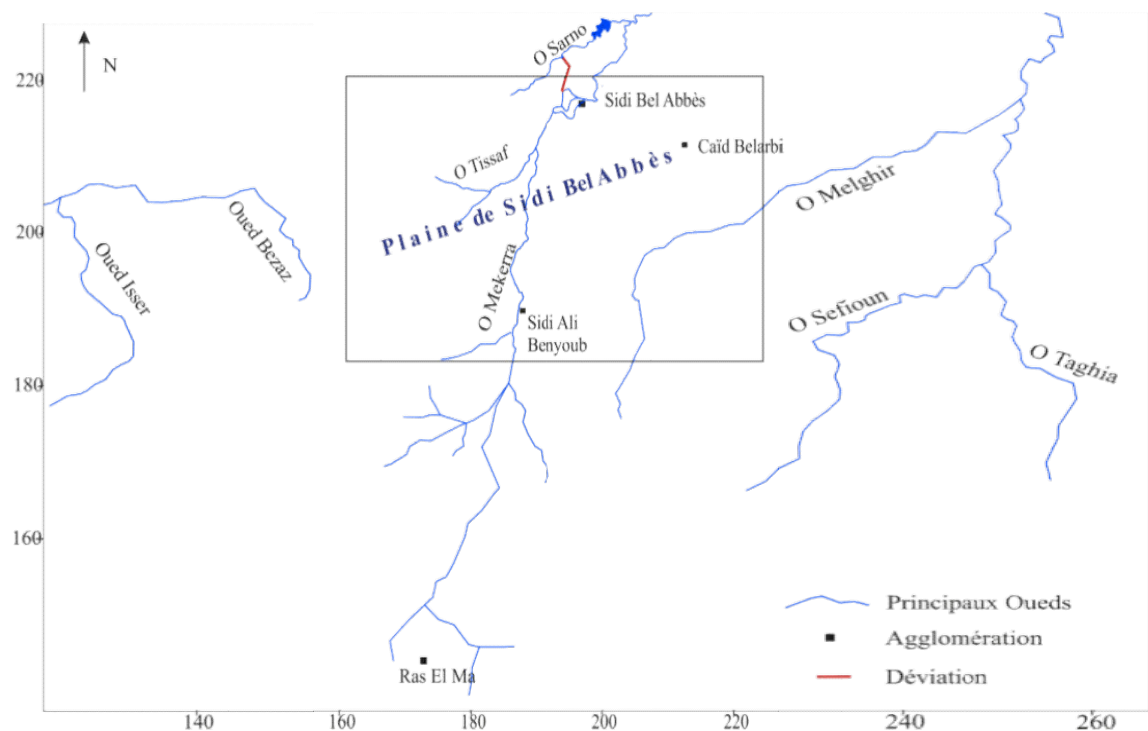


Fig. (3) : Réseau hydrographique de la plaine de Sidi Bel-Abbès (Bellaredj, 2019).

I.5.1 - Présentation du bassin versant d'Oued El-Mekerra

Le bassin versant d'Oued El-Mekerra occupe une importante superficie estimée à 3000 km². Il est limité au Nord par les marais de La-Mactaa, au Sud par Chott-Chergui, à l'Est par le sous bassin d'Oued El-Hamman et La-Mactaa à l'Ouest qui regagne le bassin côtier Oranais.

Il prend son origine dans les hautes vallées de la steppe au Sud de Ras El-Maa. Le bassin versant est d'une forme allongée du Sud au Nord.

Du point de vue géomorphologique, le bassin versant de l'Oued-Mekerra peut être subdivisé en trois parties :

- La Haute Mekerra : qui s'étend depuis la source des cours d'eaux au Sud de Ras El-Maa jusqu'à Sidi Ali Benyoub.
- La moyenne Mekerra : qui occupe la zone comprise entre Sidi Ali Benyoub et Sidi Bel-Abbés,
- La basse Mekerra : comprend toute la partie du bassin versant ; situé à l'aval de la ville de Sidi Bel-Abbés.

Selon l'auteur Schumm (1977) dans son système fluvial, le bassin versant de l'Oued Mekerra peut être subdivisé en trois zones (Fig. 4).

- **Zone de réception ou de production des crues** ; comprise entre la source de l'oued et 'Mouley-Slissen'. Elle correspond la partie supérieure montagneuse où les crues sont généralement formées.
- **Zone de transfert** ; de 'Mouley-Slissen' à 'Bou-Khanefis', elle assure le transfert des débits liquides et solides vers l'aval du bassin versant. La diminution de la pente dans cette zone permet le dépôt des différentes charges solides, ces dépôts qui peuvent être repris pendant les crues. L'incision verticale est limitée par la présence des formations résistantes qu'affleurent dans le lit mineur.
- **Zone d'expansion des crues** que s'étendant de Bou-Khanefis à Sidi Bel-Abbés. Elle est la zone la plus vulnérable aux effets d'inondations périodiques, situé à l'aval de Boukhanefis où la forme de la vallée change brutalement. C'est à partir de la localité de Bou-Khanefis que commence la vraie plaine alluviale de la Mekerra, qui constitue un grand champ d'épandage des crues.

Le dynamisme des écoulements est lié aux faibles pentes transversales qui se séparent à partir du lit mineur. La plaine alluviale n'est pas uniformément inondée sur toute sa largeur lors des crues, les eaux débordant du lit-mineur s'écoulant dans le lit-majeur dans les chenaux plus ou moins repérés.

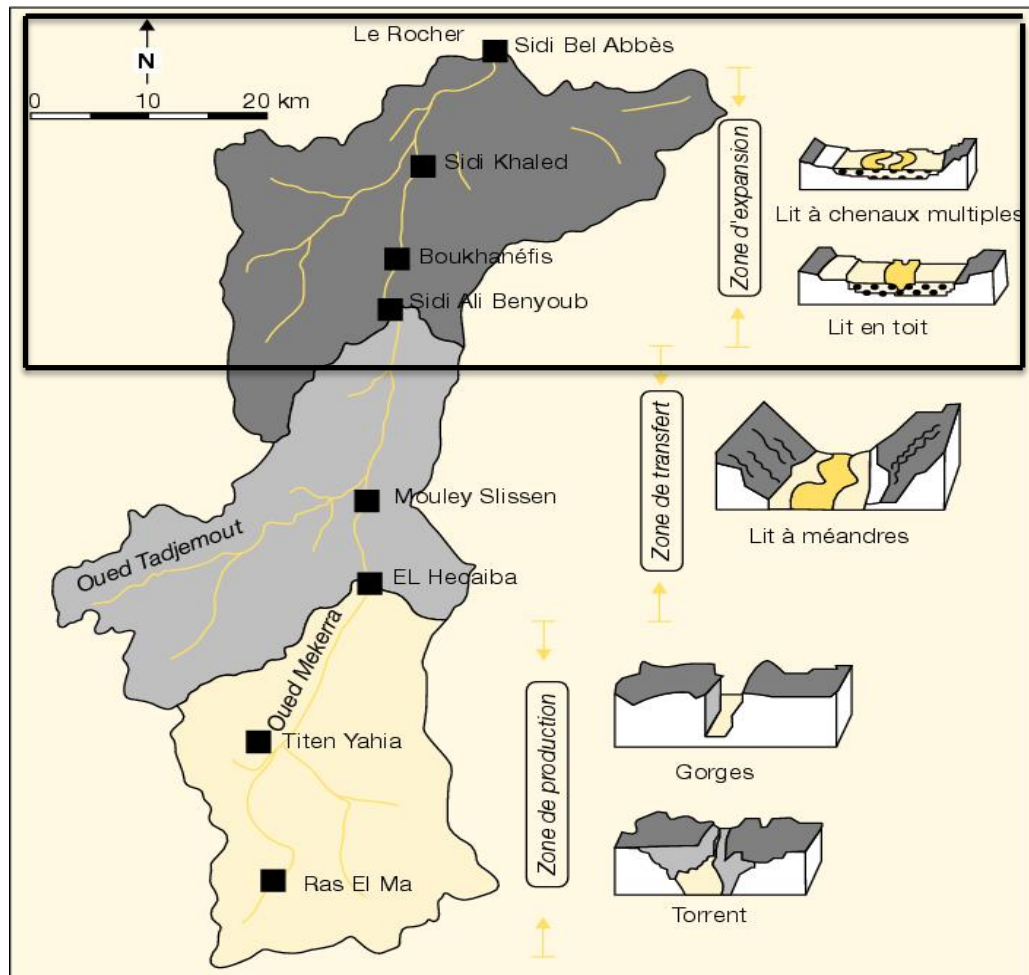


Fig. (4) : Système alluvial de la plaine de Sidi Bel Abbès dans l'Oued Mekerra.

I.6 - Contexte Géologique régional

La plaine de Sidi Bel-Abbés est une vaste cuvette à substratum argilo-marneux d'âge Miocène à Pliocène-inferieur qui est sédimenté à la faveur des dépôts quaternaires et Plio-quaternaires. Les reliefs ont de bordures très diversifiées à savoir :

- **Bordure Nord**

Les monts de 'Tessala' constituent la bordure septentrionale de la plaine, ils sont allongés en direction Sud-Ouest Nord-Est, très plissés à ossature crétacée et à recouvrement tertiaire très épais, qui aurait été transporté par charriage en deux ensembles principaux ; in Guardia (1975) qui sont respectivement :

- a) Crétacé-supérieur**

- Elle est constituée par des formations argilo-marneuses du trias salifère et gypseux recouvrant en contact anormal les terrains du Miocène ante-nappe.

- b) Mio-pliocène**

- Le Miocène est formé par des argiles bleues et des calcaires organogénèses, ces formations reposent directement en contact anormal sur le Crétacé supérieur. Vers l'Est le domaine des nappes disparaît et laisse la place à une série continentale du Pliocène.

- **Bordure Sud**

- Constituée par les monts Tlemcen-Saïda, la bordure Sud est limitée par les terrains secondaires du Jurassique moyen et supérieur et du Crétacé inférieur. Ces reliefs sont compris entre deux môles granitiques de 'Ghar-Roubane' à l'Ouest et Môle de 'Tiffrit' à l'Est. Les reliefs sont affectés par une tectonique cassante.

- **Bordure Ouest**

- La bordure Ouest constitue la limite topographique entre les bassins d'Oued-Isser ; à l'Ouest et de Mekerra à l'Est. Elle présente des collines des marnes du Plio-Quaternaire subhorizontaux.

- **La bordure Est**

Cette bordure correspond à une topographie élevée des terrains Plio-quaternaires et Miocènes. La plaine de Sidi Bel-Abbès est reliée par la série des marnes de Bou- Henifia au prolongement des Beni-Chougrane.

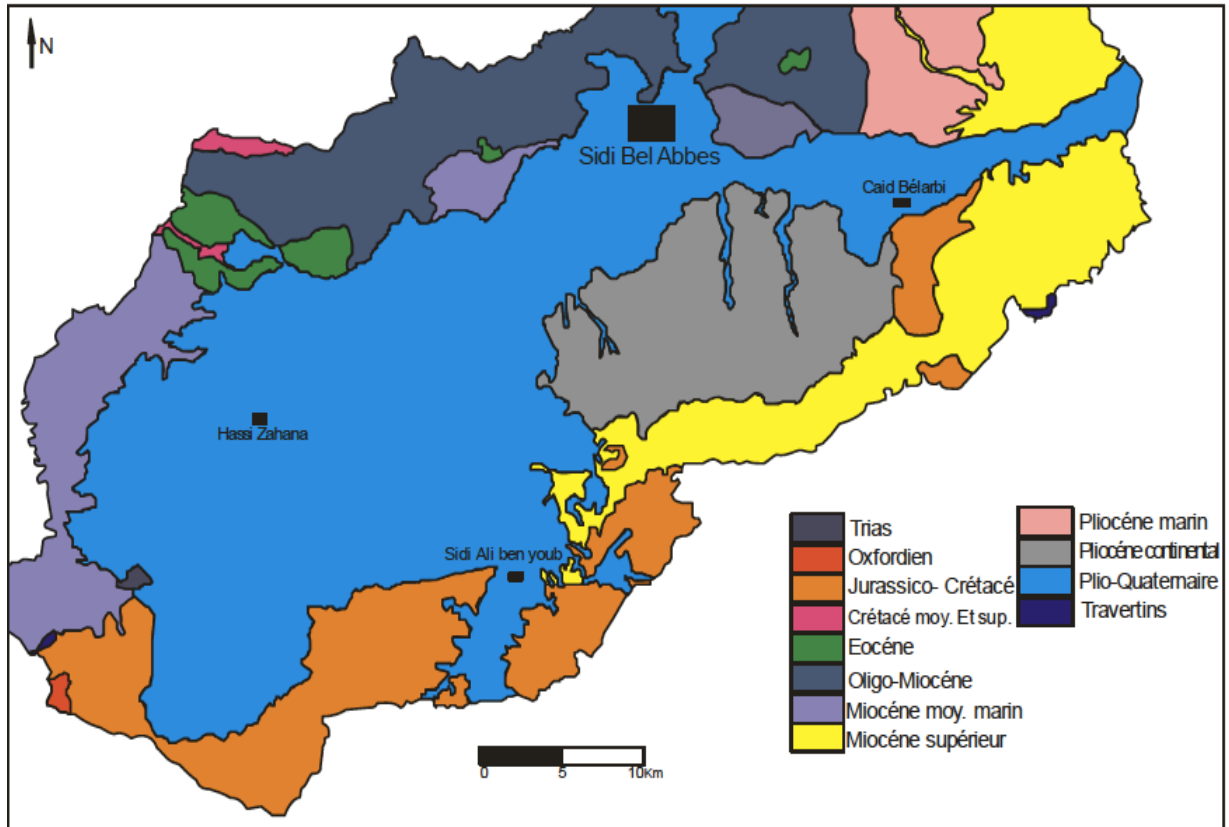


Fig. (5) : Carte de formations géologiques de la plaine de Sidi Bel Abbès
(Société 'DMRH',1974 in Bensadjad. A., 2011).

I.6.1- La série stratigraphique

La succession stratigraphique se présente en affleurement et en sondages dans la plaine de Sidi Bel Abbès est établi comme suit :

I.6.1.1- Cénozoïque**A) Le Quaternaire**

Représentant le réservoir principal d'eau souterraine, il est constitué par des dépôts suivantes :

- Les alluvions plus ou moins cimentés ;
- Limons, argiles sableuses, argiles en faible épaisseur (jusqu'à 10 m) ;
- Alluvions et conglomérats des Terrace des oueds ;
- Croute calcaire en bordure des massifs calcaires ;
- Des alluvions très fines et boueuses, reposant sur des formations graveleuses et encroutées aux niveaux de Mellinet, Boukhanefis et Sidi Khaled.

B) Le Plio-quaternaire

Il affleure sur la partie sud-ouest de la plaine de Sidi Bel Abbès. Le plio-quaternaire est représenté par des dépôts alluvionnaires des plateaux formé par :

- Les limons rubéfiés à horizons foncés et claires,
- Les limons argileux noirs se déposant en bandes, le long des vallées,
- Les limons rouges, parfois à dalles calcaires, aux niveaux des collines sud de la plaine.

C) Le Néogène

Les dépôts continentaux sont présents au niveau du Djebel 'Ténira' et les montagnes du Sud de 'Caïd-Belarbi'. Ces dépôts présentent une épaisseur de 300 mètres de marnes grises à bancs de grès et à lentilles de galets plus ou moins cimentés.

Au Nord-Est de la plaine, dans la forêt de 'Louza', les dépôts marins affleurent principalement le long de l'Oued-Isser assurant l'étanchéité des aquifères de la plaine. Ils sont représentés par des argiles-marneuses grises et bleuâtres très fines ; comprenant des bancs de grès d'une épaisseur qui varie entre 20 et 500 mètres.

À l'Est de la plaine, le Pliocène marin est représenté par des marnes bleues, des grès et des mollasses. Caractérisé par d'épaisses couches continentales au Sud-Est de la plaine, le Pliocène

continental est constitué par des conglomérats à la base, des sédiments fins (sableux et gréseux) en alternance avec les limons rouges et de petites lentilles de conglomérats.

D) Le Paléogène à deux étages principaux :

- **L'Oligocène**

L'Oligocène constitue l'essentiel des nappes des Monts de 'Tessala' formant les reliefs Nord du bassin versant. Cet étage est représenté par des formations de marnes à la base, parfois gypseuses grises avec quelques bancs de grès ; à grain fins et de minces couches de grès au sommet.

- **L'Éocène**

L'Éocène supérieur et moyen est très érodé et appartient aux nappes de charriage qui repose en discordance (contact anormal) sur le Miocène anté-nappe. Il affleure près du site de 'Zérouela', à l'Ouest de Sidi Ali Boussidi et au Djebel 'Tignemar'. Il est constitué de dépôts calcaires massifs, durs bien lités, kartifiés et très fossilisés.

I.6.1.2- Le Mésozoïque

Les dépôts du Mésozoïque affleurent au Nord du bassin au niveau des monts Tessala et au Sud dans la zone des hauts plateaux. Il est représenté par des formations carbonatées, gréseuses et argileuses.

A) La série Crétacé

- **Le Crétacé moyen supérieur**

Cet ensemble constitue le substratum de la nappe des calcaires éocènes, formé essentiellement de marnes gypseuses contenant parfois de bancs de calcaires sombres et des calcaires gréseux peu épais. Il est perçu au Nord-Est du bassin versant de la plaine, au niveau des monts de Tessala.

- **L'Aptien**

Il est représenté par des calcaires en bancs peu-tectonisés d'une épaisseur moyenne de 150 mètres, mise en évidence au Sud du site de Belarbi à la faveur d'un horst décrit par Sourisseau (1973).

- **Le Barrémien**

Cet étage d'une épaisseur de 700 mètres affleure à l'Est de la plaine, elle est formée par des grès roux, des argiles gréseuses et des calcaires graveleux.

- **L'Hauterivien**

Il affleure au Sud-est du bassin versant, constitué par des calcaires de Remaïlia, marnes à bancs de calcaires gréseux, calcaires graveleux oolithiques et des grès en alternance avec des calcaires.

- **Le système 'Berriasien et Valanginien'**

Ce système affleure au Sud-Est et au Sud-Ouest de la plaine avec une épaisseur qui varie entre 120 et 140 mètres. Ils sont formés de marnes vertes et jaunes et de calcaires graveleux et zoogènes, avec des lumachelles à macrofaune.

A) La série Jurassique

- **Le Portlandien :**

Cet étage est d'une ample épaisseur ; atteignant les 200 mètres, qui affleure largement entre Sidi Ali Benyoub et Aine 'Tellout'. Il est constitué de bas en haut par des grès blancs, des marnes verdâtres et des calcaires graveleux.

- **Le Kimméridgien**

Le Kimméridgien formé par des calcaires cristallins ; coiffés de dolomies et de calcaires marneux. Les dolomies atteignent les 500 mètres d'épaisseur ; au Sud-Ouest de la plaine de Sidi Bel-Abbés.

I.6.2- La tectonique régionale

La plaine de Sidi Bel-Abbés comprend deux types de tectoniques bien distinctes :

Au Nord, est caractérisée par les phénomènes de nappes de charriage recouvrant les terrains autochtones d'âge Crétacé moyen et/ou supérieur, ce dernier était attribué à l'Oligo-miocène avec son front de lambeaux de calcaires éocènes, le tout repose sur le Miocène moyen marin affinité 'ante-nappe'.

Au Sud, les terrains karstiques peu plastiques, légèrement ondulés, adhèrent à une tectonique cassante très prononcée, représentée sous forme d'accidents verticaux et sub-verticaux, reflétant la déformation du socle qui découpe le massif selon deux directions décrites par Auclair et Biehler (1967).

A la direction Est-Nord-est_ Ouest-Sud-ouest le substratum Jurassico-Crétacé est effondré en grabens à l'proximité d'Aïne Tellout et au niveau du quartier jonchant de la gare de Sidi Bel-Abbés in Sourisseau (1973).

A la direction Est-Sud-est_ Ouest-Nord-ouest de nombreux accidents obliques, délimitent des panneaux de la structure régionale en 'Horst-Grabben'.

A l'Ouest, une cassure distinctive séparant les formations du Plio-quaternaire de la plaine alluviale des formations mésozoïques des assises des hauts plateaux, in Thomas (1985).

Une activité tectonique récente s'ajoute essentiellement par la déformation du Miocène qui se prononce par des petits rejets ; observés au sein des conglomérats quaternaires des terrasses de l'Oued 'Tissaf'.

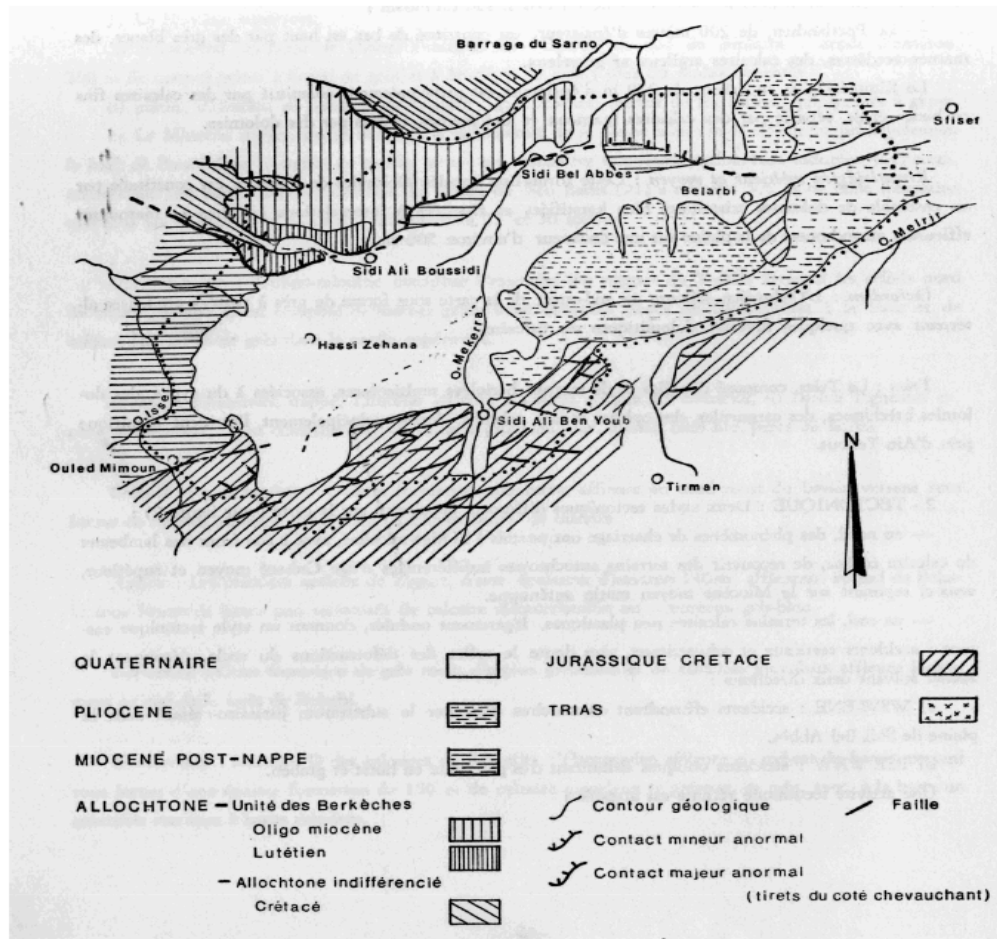
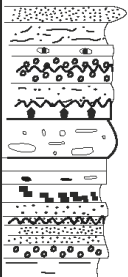
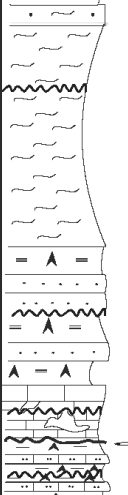
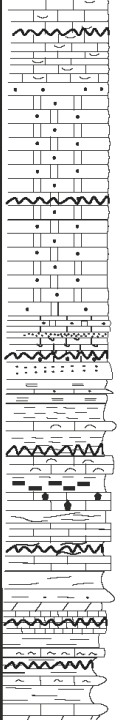


Fig. (6) : Aspect structural du secteur d'étude (ANHR, 1974 in Bellaredj, 2019).

| AGE | FACIES | LITHOLOGIE |
|-------------|---|---|
| QUATERNAIRE |  | <p>Sables Limon et argiles sableuses Croûte, galets Alluvions, conglomérats Encroûtement graveleux Conglomérats à ciment argilo-carbonaté Limon rouge, dalles calcaires</p> <p>Alternance de sables, grès sableuses compact, marnes bleues</p> |
| TERTIAIRE |  | <p>Grès argileux, argiles marneuses</p> <p>Marnes gypseuses bleues, grès fins à ciment calcaire</p> <p>Calcaire massifs, durs, karstifiés très fossilifères</p> <p>Marnes gypseuses à intercalation calcaire gréseuses</p> |
| SECONDAIRE |  | <p>Calcaires microcristallins à lamellibranches</p> <p>Calcaires gréseux</p> <p>Calcaires, grès à zoogones, calcaires graveleux oolithiques, grès massifs, marnes à calcaire gréseux</p> <p>Marnes vertes et jaunes, calcaires graveleux à lumachelles</p> <p>Calcaires argileux, graveleux; marnes vertes, calcaires, grès marneux</p> <p>Dolomie, calcaires cristallins</p> <p>Ensemble marneux, marno-calcaire</p> <p>Calcaires fins, dolomies gréseuses</p> |

∞ Contact anormal (TRIAS: Marnes, argiles gypseuses, roches vertes)

Fig. (7) : Log géologique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbas (Sourisseau, 1972 ; modifiée).

Chapitre II

L'hydrogéologie de la plaine alluviale de Sidi Bel-Abbès

II.1- Contexte climatique de la région :

Le bassin versant d'oued Mekerra est situé dans une région climatique de type 'semi-aride' caractérisé par un été chaud et sec qui s'étend du mois d'avril au mois d'aout et d'un hiver humide compris entre octobre et le mois de mars. Le climat constitue un facteur important pour le conditionnement hydrographique. La température moyenne annuelle est égale à: 15°C.

Les précipitations sont considérées comme un facteur principal de l'alimentation des cours d'eau, ont une influence capitale sur la variabilité des écoulements à toutes les échelles de temps ; Ce qui leurs confèrent une importance fondamentale sur les manifestations des crues et sur les inondations émergentes dans cette région ; in Meddi et al. (2013).

Ces manifestations sont irrégulières, caractérisées par des pluies souvent intenses ; provoquant ainsi d'importantes inondations, durant les périodes humides avec des volumes de pluie qui dépassent les 800 (mm). En périodes sèches, il diminue jusqu'à : 110 (mm). Les courants éoliens dominent la plaine de Sidi Bel-Abbès ; venant du Nord-ouest et de l'Ouest avec une vitesse notable modérée à moyennes.

II.2- Caractéristiques des reliefs :

Le relief possède une influence directe sur les facteurs climatiques et une influence indirecte sur la formation des écoulements de surface ce qui constitue un critère déterminant pour la dynamique des crues d'oueds. Il incite en grande partie l'aptitude du ruissellement des cours d'eau surfaciques et à l'infiltration et à l'évaporation ; in Tachi (2018). Le relief joue cependant un rôle essentiel sur le régime d'écoulement. Ces caractéristiques sont marquées par l'allure des courbes de niveau et par le tracé de la courbe hypsométrique (Fig. 8).

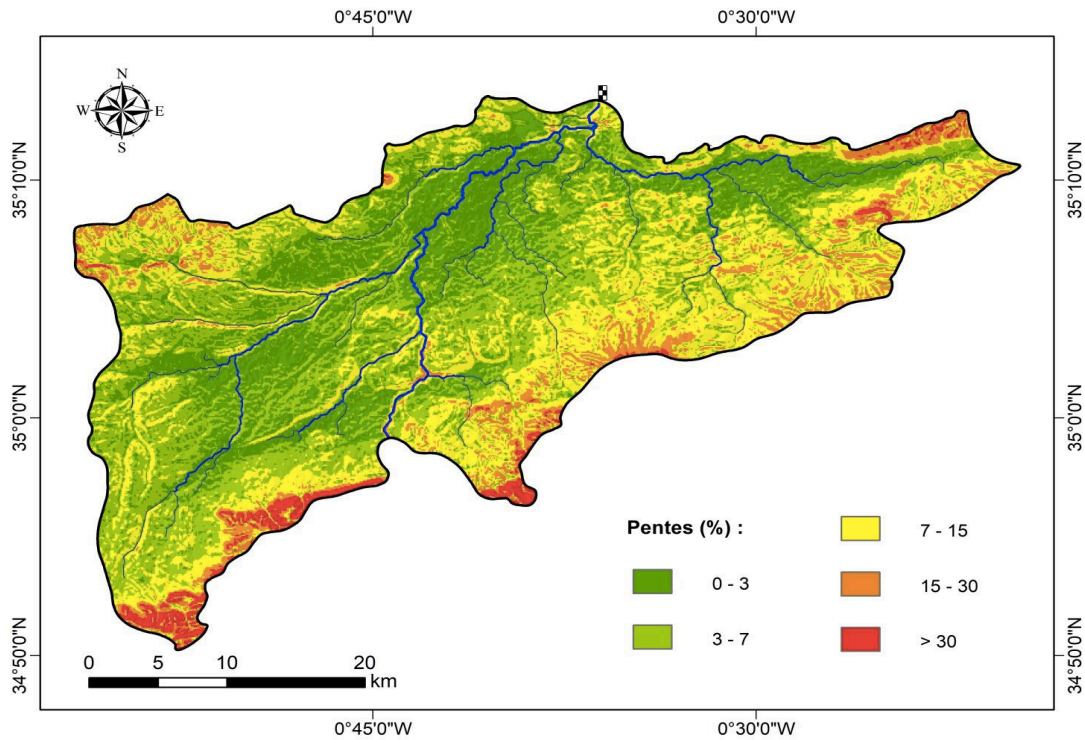


Fig. (8) : Carte de pentes de bassin versant de l'oued Mekerra.

De façon générale, le bassin versant d'Oued El-Mekerra est caractérisé par des pentes plus ou moins abruptes ; Selon le tableau (4), occupant environ 24 % (272 km) de la zone du bassin qui est constitué de pentes inférieures à 7%, plus de 70% de la superficie (235 Km) est constituée d'autres pentes comprises entre 03% et 30%. Alors que les terrains ayant des pentes supérieures à 30% représentent environ 29.55 Km ; exprimant les 02.70% de la superficie totale du bassin versant étudié.

Tableau 2 : La répartition des surfaces en fonction de classement des pentes.

| Classe | Pente (%) | Surface (Km) | Surface (%) |
|--------|-----------|--------------|-------------|
| 1 | 0 - 3 | 272,66 | 24,92 |
| 2 | 3 - 7 | 359,90 | 32,89 |
| 3 | 7 - 15 | 325,55 | 29,75 |
| 4 | 15 - 30 | 106,61 | 9,74 |
| 5 | >30 | 29,55 | 2,70 |

II. 3 - Contexte hydrogéologique.

La plaine de Sidi Bel Abbès est caractérisée par la présence de cinq aquifères à savoir :

- Les calcaires de Zigyne (Aptien) de la forêt domaniale de Belarbi ;
- Les calcaires et dolomies Jurassico-Crétacés des monts de Sidi Ali Benyoub ;
- Les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi ;
- Les grès pliocènes de la forêt de Ténira ;
- La nappe alluviale du Plio-Quaternaire de Sidi Bel-Abbès.

II.3.1- Description des formations**II.3.1.1- La Nappe du Plio-quaternaire :**

La nappe alluviale du Plio-quaternaire s'étant sur une superficie de 730 km², elle constitue un réservoir souterrain le plus important du secteur d'étude. L'aquifère repose sur des formations marines tertiaires (marnes bleues, des grès et des molasses). Cet aquifère est constitué par des formations détritiques quaternaires de nature très variées, allant des alluvions plus ou moins cimentés d'épaisseur environ 45 m à la base et jusqu'aux formations limoneuses à argiles sableuses au sommet. Ces dernières sont un siège d'un écoulement souterrain et remplissent la grande vallée de Sidi Bel-Abbes portant une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi-Khaled et Sidi Bel-Abbès dans lequel elle devient semi captive. Cependant trois processus font partie de l'alimentation de la nappe alluviale :

- alimentions directe par les précipitations de pluie ;
- alimentation par les aquifères adjacents,
- soit par l'infiltration latérale directe dans les formations alluvionnaires et des chenaux ;
- soit par l'intermédiaire de sources, dont les eaux s'infiltrant au sein ses alluvions et des conglomérats ;

L'alimentation s'effectue par les oueds et principalement en période de crue sauf pour l'Oued Mouzen dit 'Tissaf' qui alimente constamment la nappe car la majeure partie des débits de cet Oued qui se ré infiltre dans la nappe au niveau du chenal conglomératique près de Sidi-Khaled. L'exutoire principal de l'aquifère se situe au Nord de la ville de Sidi Bel Abbès dans le quartier « Rocher », où l'Oued Mekerra draine la plus grande partie des eaux de l'aquifère.

II.3.1.2 - Nappe des calcaires et dolomies du Jurassique-Crétacé de Sidi Ali Benyoub

L'aquifère se compose en deux grands ensembles perméables (dolomies de Tlemcen et calcaires de Remailia) mal connu. Ils forment un seul horizon aquifère, vu les nombreuses failles susceptibles de les mettre en interconnexion. Grace à sa position (haute), favorable à une bonne alimentation pluviométrique, cette nappe devient importante. Les eaux infiltrées semblent ne pas acquérir les panneaux d'effondrement de la plaine de Sidi Bel-Abbes mais des communications hydrauliques latérales peuvent s'établir par l'intermédiaire des cônes de déjection de conglomérats ou des dépôts argilo-gréseux de piémont de faible perméabilité. Vers la plaine, la capacité d'écoulement des eaux, provenant des calcaires est réglée par la perméabilité des cônes conglomératiques. Les eaux qui ne peuvent s'écouler vers la plaine sont restituées par d'importantes sources pérennes, Aine Skhouna, Ain Mekhareg et Ain Tatifamane selon la société DEMRH-1974 ; in Bensadjad. A (2011).

II.3.1.3- Nappe des calcaires de l'Éocène de Sidi Ali Boussidi

Cet aquifère est limité vers le bas par un mur formé de marnes du Crétacé moyen supérieur et du Miocène moyen marin. Nonobstant leurs bonnes propriétés hydrodynamiques, les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi n'ont qu'une importance moindre, en raison de la petitesse de leur impluvium in Auclair et Biehler (1967) et la thèse de Bellaredj (2019). Elle est alimentée par son impluvium et entièrement drainée par des sources dont les plus importantes sont Ain El-Hadjar, Ain-faress et la source d'Ain-Meddah.

II.3.1.4- Nappe des calcaires de l'Aptien de Zigyne

Cette nappe est formée principalement par des calcaires de l'Aptien, elle n'est connue qu'à l'Est de la plaine, au niveau de la forêt de Caïd Belardi ; in Belleradj (2019).

II.3.1.5- Nappe des grès du Pliocène de la forêt de Ténira

Cet ensemble argilo-gréseux de faible perméabilité contient une nappe discontinue qui alimente la nappe alluviale par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent le rôle de drain grâce à leur remplissage alluvionnaire.

Les faciès de ces formations détritiques sont constitués par des conglomérats pliocènes d'un environnement continental à la base, surmontée par des grès sableux qui ne représentent aucun intérêt notable en hydrogéologie.

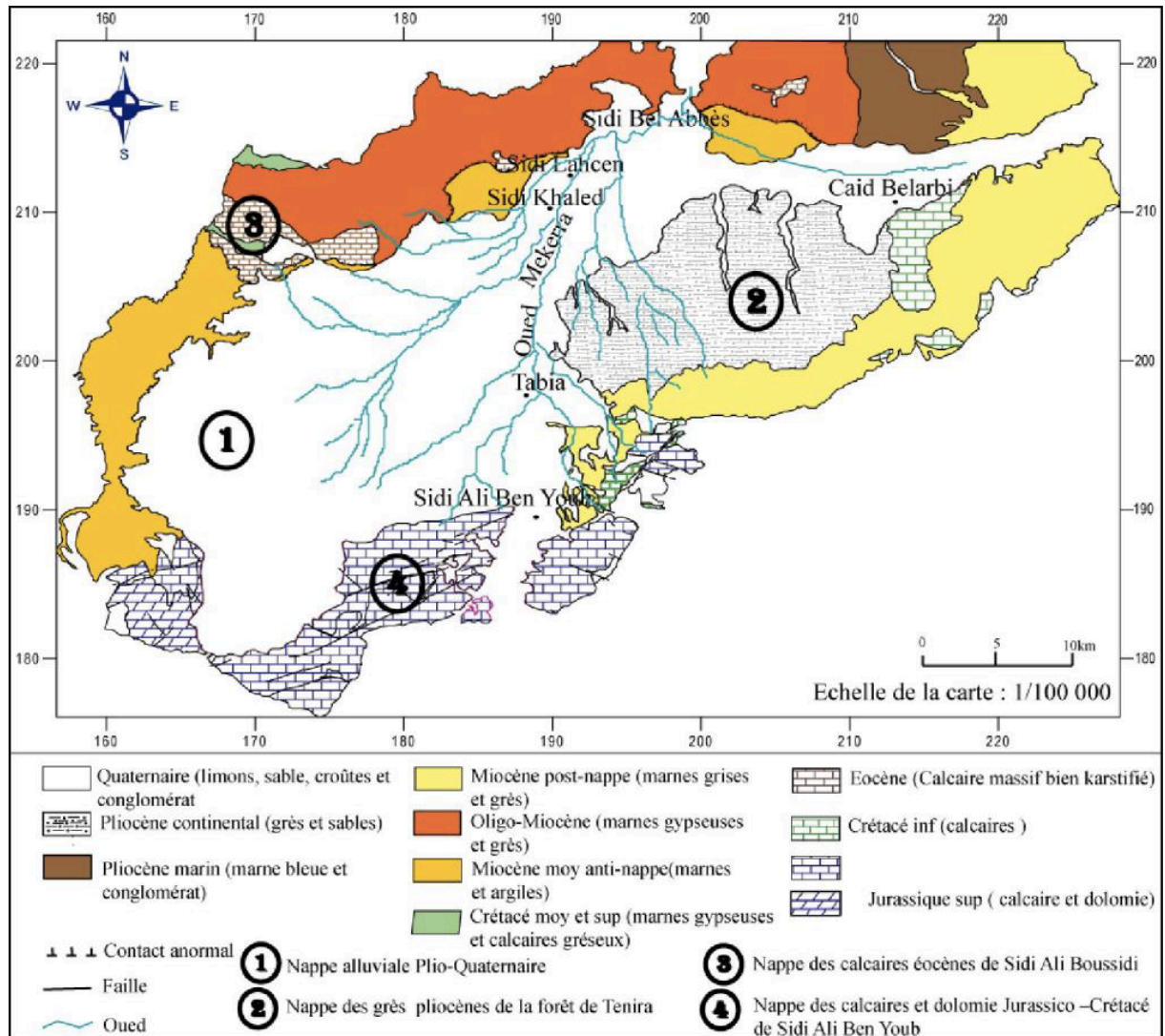


Fig. (9) : Carte géologique des aquifères du complexe hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbès (Carte hydrogéologique de la plaine ; ref-ANRH-1973 ; in Otmane. A (2015).

II.4- Le réseau hydrographique

Le bassin-versant de l'oued Mekerra fait partie du bassin de la Macta, le chevelu hydrographique de l'oued est peu développé, son tracé est influencé par le relief en place.

Il est représenté par des cours d'eau temporaires, les oueds sont alimentés par des précipitations et par des sources dont la plus importante est localisé à Sidi Benyoub. Deux oueds majeurs sont présentés : la Mekerra qui est saisonnier, constituent le plus importante traversant en Aval la ville de Sidi Bel Abbès et le Tissaf.

D'autres oueds longent la plaine de part et d'autre ; au Nord l'oued Sarno, à l'Est l'oued Melghir et à l'Ouest l'oued Isser. (Fg)

Le bras majeur de Mekerra a été modélisé comme étant l'Oued, la dérivation vers le barrage samo comme drain, dans le modèle le canal évacuateur de crue n'a pas été inclus.

Pour l'Oued Tissaf, les affluents Anefress et Lamtar n'ont pas été inclus dans le modèle.

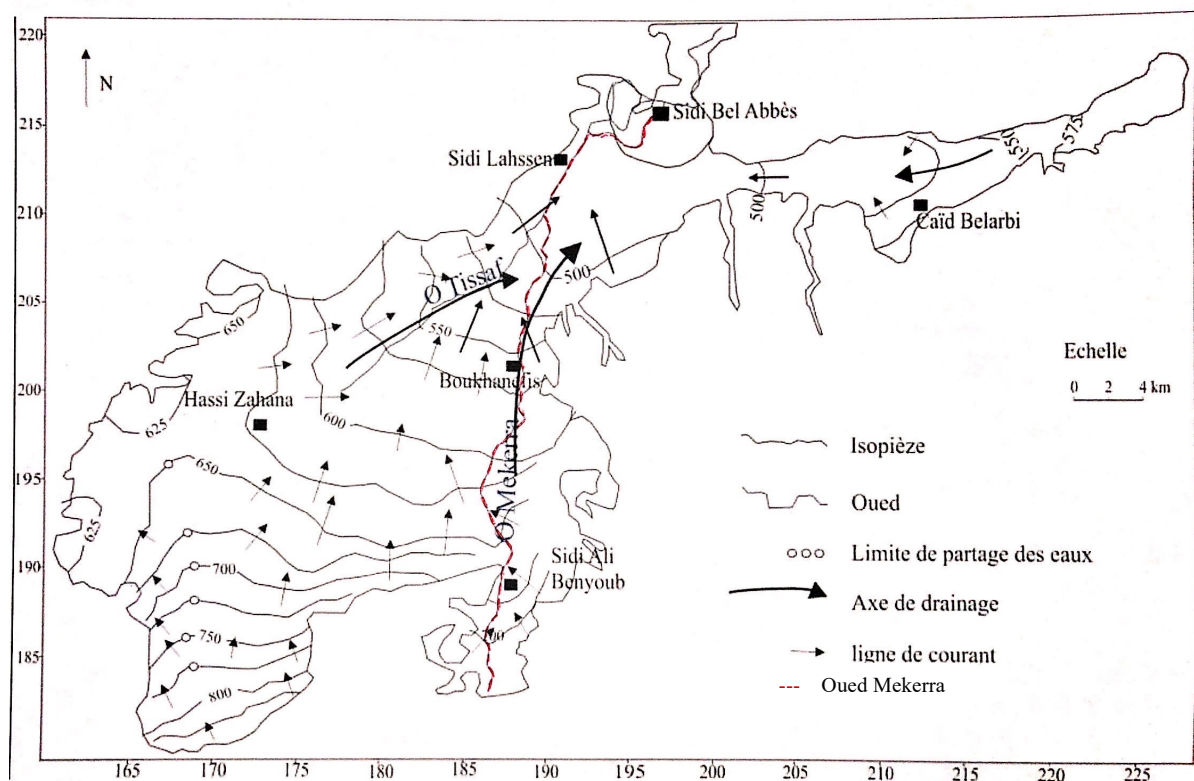


Fig. (10) : Carte piézométrique interprétée de la nappe Plio-quaternaire (Bellaredj, 2019 ; modifié).

D'après la carte piézométrique (Fig. 10), les axes de drainage montrent la convergence des eaux vers l'exutoire du Rocher à l'aval de la plaine de Sidi Bel-Abbès. Les écoulements souterrains suivent généralement les tracés respectifs des Oueds Mekerra et Tissaf, montrant ainsi que de grandes quantités d'eaux de la nappe sont drainées par les deux rivières sus-citées.

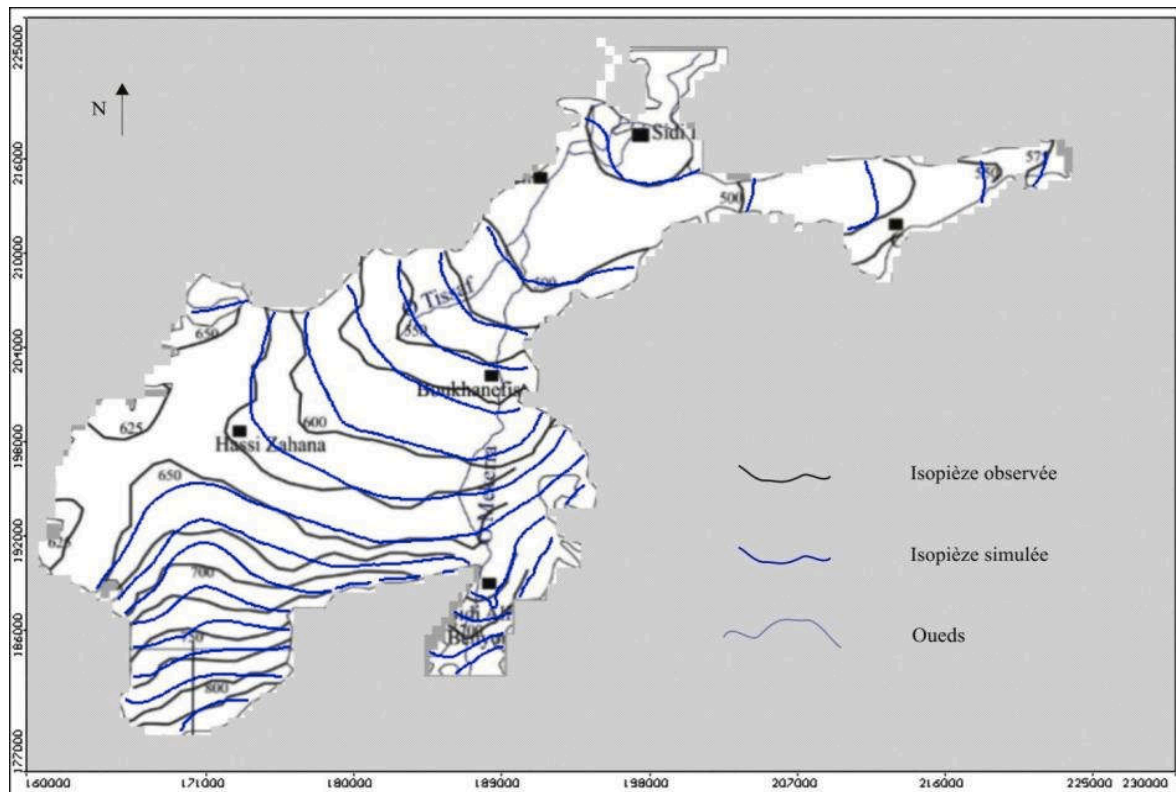


Fig. (11) : La superposition de cartes piézométriques : simulée selon un régime permanent (1971) et l'ancien régime observée par l'hydrogéologue : Sourisseau, en janvier-(1971) et édité dans la thèse de Bellaredj. A (2019).

L'étude de la carte piézométrique simulée à la faveur de deux campagnes piézométriques, montre que les iso pièzes simulées se calquent assez bien par rapport à l'ancienne carte établie par Sourisseau des années '1971'. En effet, l'allure générale des courbes est retracée selon les mêmes directions d'écoulement (surtout pour les axes d'écoulement majeurs) et en respectant les mêmes valeurs du gradient hydraulique. En additionnant, la tendance piézométrique simulée sur le long des Oueds : El-Mekerra et celui de Tissaf qui sont assez proches, de celles observées et dénotent d'une bonne reproduction de la relation hydrogéologique entre les oueds et l'aquifère Plio-quaternaire. Les résultats obtenus après la phase de calage en régime permanent (1971) ; sont assez proches de ceux des bilans réalisés par Sourisseau sur la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès entre 1970 et 1972.

Ces résultats montrent que les précipitations sont la source majeure des entrées dans le système aquifère Plio-quaternaire avec plus de 70 Million de m³/année.

Quant aux apports latéraux provenant des aquifères adjacents sont également importants et avoisinent les 23 Million de m³/année. L'infiltration par le lit des Oueds étant assez faible comparée aux entrées, citées ci-dessus, atteint presque 5 Million de m³/ année.

Notant que la vidange de l'aquifère Plio-quaternaire se fait essentiellement par les Oueds avec des volumes drainés hors de l'aquifère et qui équivaut à un volume de 65 Million de m³/année.

Chapitre III

Étude des composantes du risque hydrique

III. 1- Évaluation de l'aléa d'inondation de la plaine

Le catalogue d'événements liés aux dommages hydriques initié par mes encadreurs travaillant sur les risques naturels et leur gestion ; in Roukh et Nadji (2020) publication en cours, comprenant une base de données événementielles liée aux dommages occasionnés par les principales inondations affectantes la Wilaya de Sidi Bel-Abbés ; lors de la période de : 1889-2018 (tableau 5). Ces données inventoriées constituent le support statistique fondamental pour cette recherche d'évaluation de l'aléa hydrique à la faveur d'approche fréquentielle des dommages engendrés par les inondations de la plaine alluviale et par les nombreuses des crues d'Oueds parcourant le bassin versant de la Mekerra sise à la région étudiée.

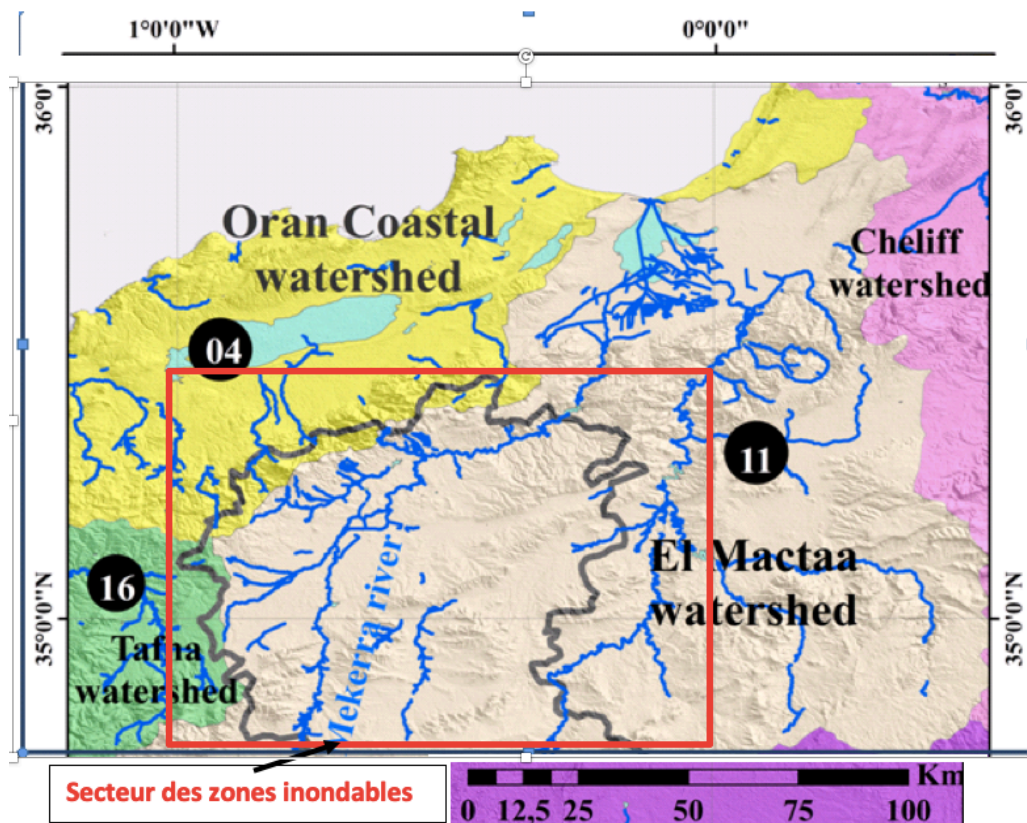


Fig. (12) : Carte du secteur de zones inondables.

III.1.1- Échantillonnage des périodes d’inondations

L’échantillonnage des données présentées dans le catalogue (tableau 4), inventaire de différentes sources intéressant les dommages résultants des intempéries climatiques sur la wilaya de Sidi Bel-Abbés et notamment à la plaine alluviale de Sidi Bel-Abbés ‘Chef-lieu’. Au total, un effectif de 40 évènements a été utilisé pour évaluer l’aléa d’inondations. La démarche appropriée pour cette évaluation est basée sur le dépouillement des évènements notables par classes chroniques de notre série statistique. A noter qu’un nombre excessif de redondance en qualité des dommages a été écarté pour ne sélection que les faits réels obtenus lors d’un prétraitement de données avant d’envisager l’analyse statistique et la modélisation d’aléa hydrique.

III. 1. 2 - Représentation de la dynamique des inondations

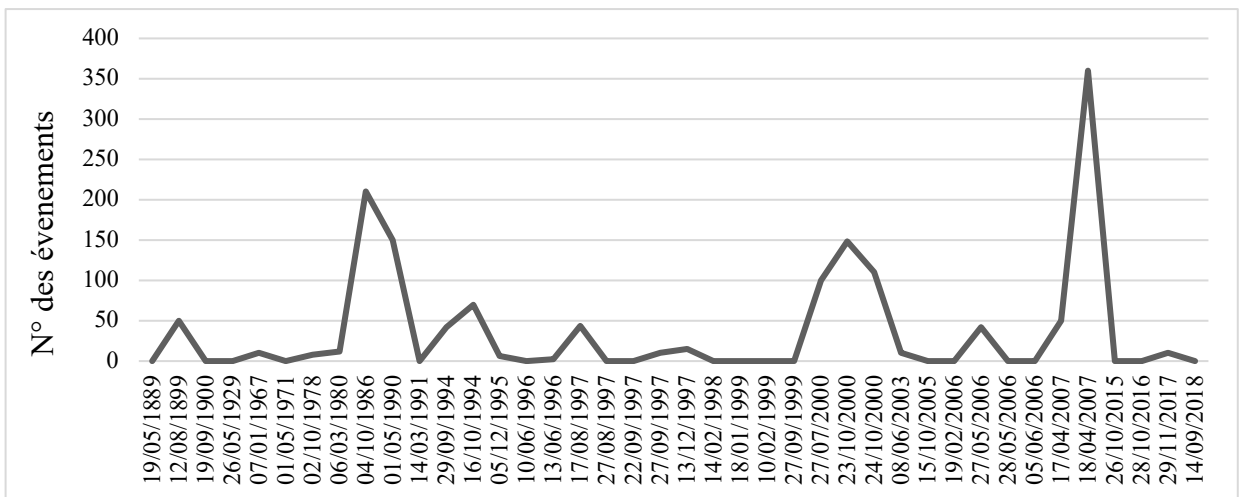


Fig. (13) : Série chronique de la période d’observation (T=1889 - 2018).

Ce diagramme représente la série chronique des différentes émergences des inondations au sien de la plaine étudiée sur une période centennale. Cette période historique montre que la dynamique du risque hydrique change au fil du temps pour nous informer qu’il existe des périodes à haute activité (amplitudes élevés) et d’autres en activé moins dynamiques.

En seconde lieu, nous avons essayé de segmenter la série chronique en plusieurs périodes (classés-inondations). Le résultat des comptages nous a permis d’arrêter les paramètres statistiques nécessaires pour configurer la dynamique des inondations (histogramme) et en suite d’établir la courbe d’aléa relative aux fréquences cumulées en fonction des périodes d’activité hydrique (tableau-2).

Tableau 3 : Matrice de segmentation de la série chronique de dommages pour chaque période.

| Périodes Dommages | 1980 | 1996 | 2000 | 2007 | 2017 |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| >=30 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| >=50 | 1 | 2 | / | 1 | 1 |
| >=100 | / | 1 | / | 1 | 1 |
| >=150 | / | 1 | / | 1 | 1 |
| >=200 | / | 1 | / | / | 1 |
| >=250 | / | / | / | / | 1 |
| >=300 | / | / | / | / | 1 |
| >=350 | / | / | / | / | 1 |

III.1.3- Histogramme des fréquences

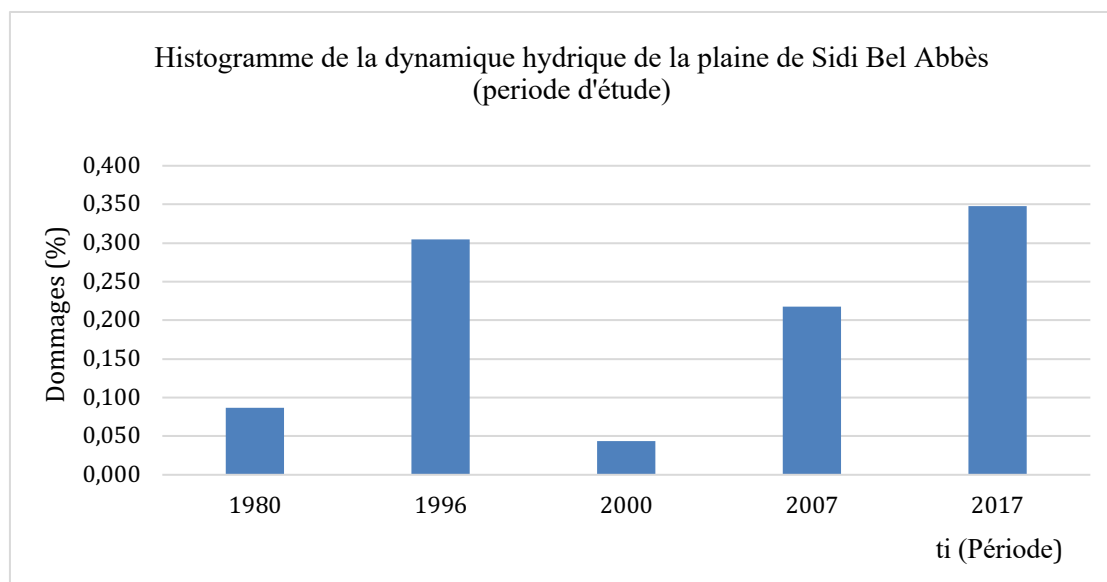


Fig. (14) : Diagramme d'évolution des fréquences relatives d'événements hydriques.

Ce diagramme représente en effet la dynamique des émergences des différentes inondations qu'a connue la plaine de Sidi Bel-Abbès. L'allure générale des variations fréquentielles (relatives), exprime bien une variation sinusoïdale (cyclique).

Connaissant cette allure il serait important d'envisagé l'évaluation de l'aléa hydrique par la modélisation fréquentielle des données statistiques.

III. 1. 4 - Calcul de l'aléa d'inondation par l'approche fréquentielle

L'évaluation de cet aléa consiste à choisir un modèle mathématique qui permet de résoudre les paramètres intrinsèques des occurrences d'inondations envisagées. Les données exploitées pour cette thématique sont les classes et les fréquences cumulées permettant l'esquisse de la courbe d'occurrence événementielle :

Le tracé de cette courbe est régi par le rapport des fréquences cumulées en ordonnées et les classes relatives aux périodes sélectionnés ; en abscisses (Fig.15).

Tableau 4 : Répartition des fréquences événementielles dans la plaine de Sidi Bel-Abbès.

| Périodes échantillonnés | Effectif d'évènements | Fréquence relative | Fréquence cumulée |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| 1980 | 2 | 0,087 | 0,913 |
| 1996 | 7 | 0,304 | 0,609 |
| 2000 | 1 | 0,043 | 0,565 |
| 2007 | 5 | 0,217 | 0,348 |
| 2017 | 8 | 0,348 | 0 |
| Total | 23 | 1 | = |

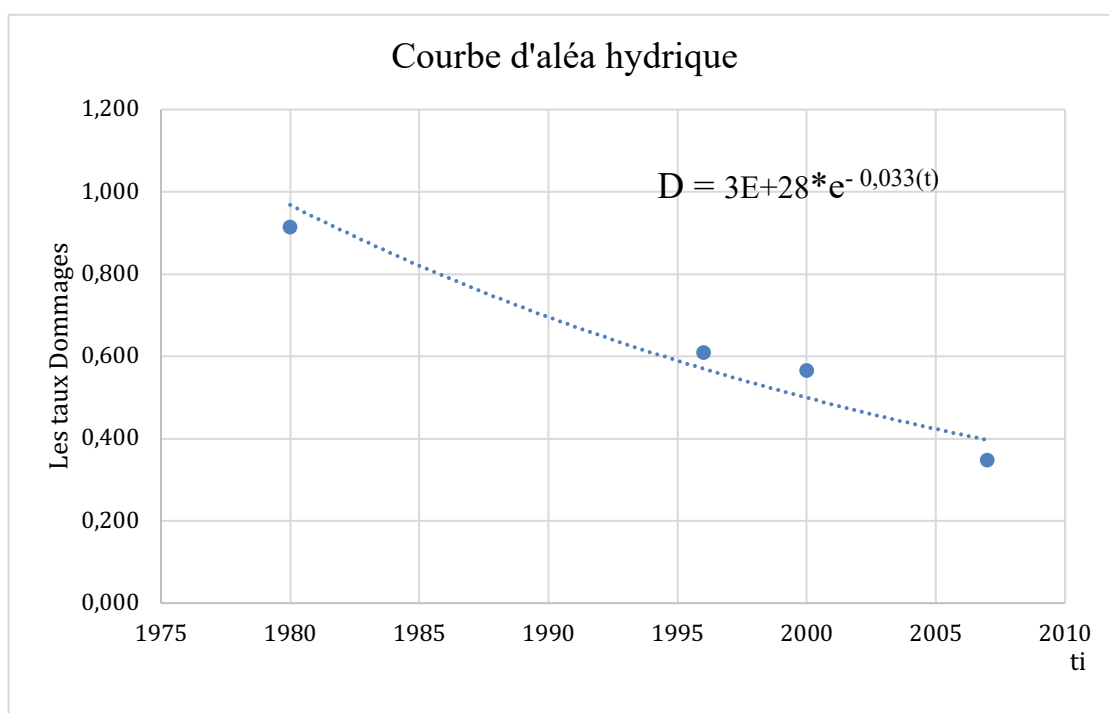


Fig. (15) : Courbe d'aléa hydrique d'inondations de la plaine S.Bel-Abbès.

Le report systématique des doublets 'plots - points' en coordonnées-événementielles montre une tendance exponentielle de type ' $Y = e^{-x}$ '. Notant que la modélisation de cette courbe est résolue grâce à l'outil informatique et par l'algorithme de résolution mathématique (d'Excel-MS).

Le résultat de cette approche est matérialisé par l'équation algébrique exprimée sous sa forme originale par l'expression :

$$Y = 3E+28. e^{-0,033(x)}$$

Pour notre cas 'Y' exprime le taux des dommages occasionnés lors des inondations périodiques. Quant à 'X', elle exprime la variante périodique ; temporelle (t).

Ainsi, le paramètre de la périodicité des événements hydriques est en relation directe avec la fréquence d'occurrence moyenne des événements ; exprimant effectivement la période de retour $Tr = 1/f$, la valeur acquise est donnée par l'exposant de l'exponentielle qui est $f = 0,033$; et la période correspondante est callée toutefois toutes les 30 années.

Ce résultat nous semble concluant quant aux phénomènes hydriques d'émergence décennale pour une échelle régionale ; cas de la Wilaya de Sidi Bel-Abbès.

Tableau 5 : Inventaire des dommages hydriques de la plaine de Sidi Bel-Abbès (Algérie).

| Date | Dommages | Causes |
|------------|----------|----------------------------|
| 19/05/1889 | 0 | Orages |
| 12/08/1899 | 50 | Crue de la rivière Mekerra |
| 19/09/1900 | 0 | Crue urbain |
| 26/05/1929 | 0 | Crue de la rivière Mekerra |
| 07/01/1967 | 10 | Crue de la rivière Mekerra |
| 01/05/1971 | 0 | Orages |
| 02/10/1978 | 8 | Orages |
| 06/03/1980 | 12 | Orages |
| 04/10/1986 | 210 | Orages |
| 01/05/1990 | 150 | Orages |
| 14/03/1991 | 0 | Orages |
| 29/09/1994 | 42 | Orages |
| 16/10/1994 | 70 | Orages |
| 05/12/1995 | 6 | Orages |
| 10/06/1996 | 0 | Orages |
| 13/06/1996 | 2 | Orages |
| 17/08/1997 | 44 | Orages |
| 27/08/1997 | 0 | Crue de la rivière Mekerra |
| 22/09/1997 | 0 | Orages |
| 27/09/1997 | 10 | Orages |
| 13/12/1997 | 15 | Orages |
| 14/02/1998 | 0 | Orages |
| 18/01/1999 | 0 | Orages |
| 10/02/1999 | 0 | Orages |
| 27/09/1999 | 0 | Orages |
| 27/07/2000 | 100 | Orages |
| 23/10/2000 | 148 | Orages |
| 24/10/2000 | 110 | Crue de la rivière Mekerra |
| 08/06/2003 | 10 | Orages |
| 15/10/2005 | 0 | Orages |
| 19/02/2006 | 0 | Orages |
| 27/05/2006 | 42 | Orages |
| 28/05/2006 | 0 | Orages |
| 05/06/2006 | 0 | Orages |
| 17/04/2007 | 50 | Orages |
| 18/04/2007 | 360 | Forte précipitation |
| 26/10/2015 | 0 | Crue de la rivière Mekerra |
| 28/10/2016 | 0 | Crue urbain |
| 29/11/2017 | 10 | Crue de la rivière Mekerra |
| 14/09/2018 | 0 | Crue urbain |

III.2- Étude de l'indice de susceptibilité de terrains inondables

La vulnérabilité de la zone à risque est la sensibilité de cette zone en réponse la survenue d'un événement géodynamique. Il n'existe pas un modèle conventionnel pour maintenir les paramètres structurés à la délimitation de la susceptibilité aux inondations.

L'évaluation de la susceptibilité aux inondations est basée sur les différents facteurs ; la pente, la proximité des rivières, la densité des cours d'eau, la géologie, l'altitude, les précipitations, l'indice de témoignage topographique, du type de sol et l'occupation du sol.

III.2.1- La méthodologie d'étude

D'après mes encadreurs le calcul d'indice de susceptibilité aux inondations, et des cartes thématiques ont été élaborées grâce à l'outil informatique utilisant le système d'information géographique (SIG) pour organiser les requêtes et le géo référencement des cartes. Par-ailleurs, l'utilisation d'algorithme de calcul statistique est focalisée sur l'exercice du processus d'analyse hiérarchique comparative (AHP). Cette méthode est très utilisée en contexte de prise de décision ; aux choix de la décision la plus favorable en cas ou sa concerne plusieurs facteurs explicatif ayant une influence sur la vulnérabilité des terrains aux inondations. L'AHP est utilisé dans plusieurs domaines de la géoscience et notamment pour les risques naturels tel est que l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain. La cartographie de la susceptibilité des terrains aux inondations a été exploitée ; in Hammami et al, (2019).

La carte des formations géologiques est numérisée à partir de la carte géologique de l'Algérie du nord à l'échelle de 1/50.0000. La carte d'occupation des sols de Sidi Bel-Abbès à l'échelle : 1/ 50 000 est utilisée comme un paramètre environnemental pour l'estimation de la sensibilité aux inondations. La distance par rapport aux cours d'eaux et les cartes de densité de drainage sont établies à partir du réseau de drainage de la zone d'étude à l'aide des fonctionnalités du 'SIG'.

III. 2. 2 - Les différentes thématiques de la susceptibilité aux inondations

III.2.2.1- La carte de distance de proximité aux oueds

En général, les zones les plus proches des cours d'eau sont les plus sensibles aux inondations. Sur cette carte (fig.15), on remarque que plus la distance est grande, plus la pente et l'altitude est élevée. Selon le degré d'importance, la distance par rapport aux cours d'eaux est générée à l'aide des lignes du réseau hydrographiques et des fonctionnalités du SIG.

III.2.2.2- La carte de pente

La pente est une variable importante pour déterminer les risques d'inondation d'une zone, par son influence directe dans l'accumulation d'eau sur le sol. Les zones plates sont plus susceptibles d'être inondées que les zones accidentées. Dans ce contexte, le paramètre le paramètre de gradient de pente est intégré pour désigner la susceptibilité aux inondations, le degré de la pente est classé en cinq respectivement : (0-2), (2-4), (4-8), (8-12) > 12°.

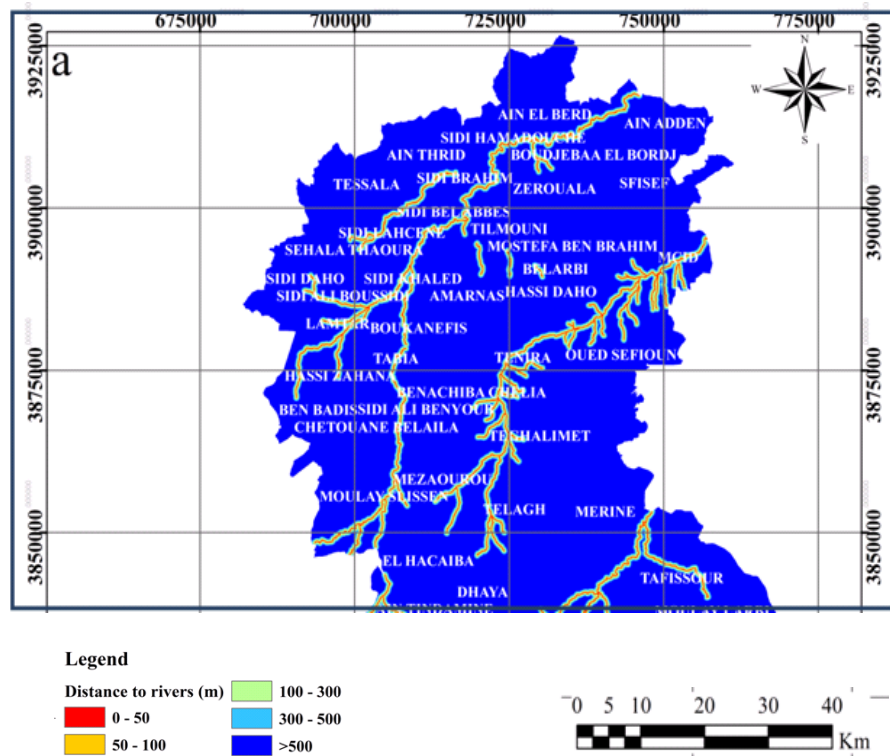


Fig. (16) : Carte de distance de proximité aux oueds.

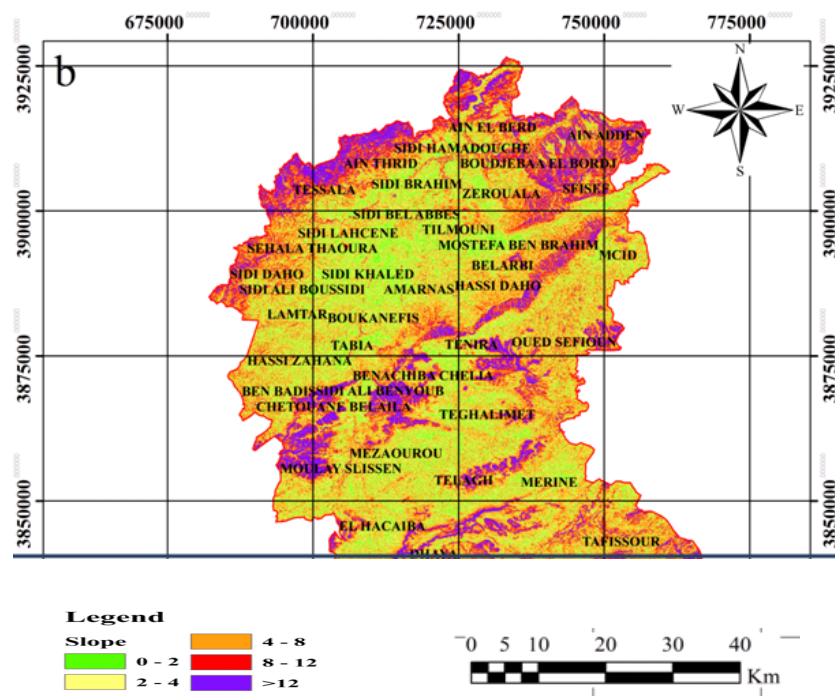


Fig. (17) : Carte des pentes (gradients).

III.2.2.3- La carte de la densité de drainage

Les zones à densité de drainage élevé sont les plus susceptibles aux inondations. La densité de drainage est dérivée du réseau fluvial de la plaine de Sidi Bel-Abbés, cette carte thématique représente l'indice de densité de drainage repartie en cinq classes présentes dans la figure.

III.2.2.4- La carte d'altitude (Côtes altimétriques)

L'altitude est un facteur intrinsèque qui contrôle la susceptibilité aux inondations. Les zones moins élevées avec une surface plane sont les plus susceptibles aux inondations étant que les zones plus élevées ont peu de susceptibilité aux inondations. La Carte d'altitude (fig.18), est dérive du modèle numérique du terrain « MNT », elle est respectivement classée en cinq : <350, (350-500), (500-700), (700-1000) et > 1000 mètres.

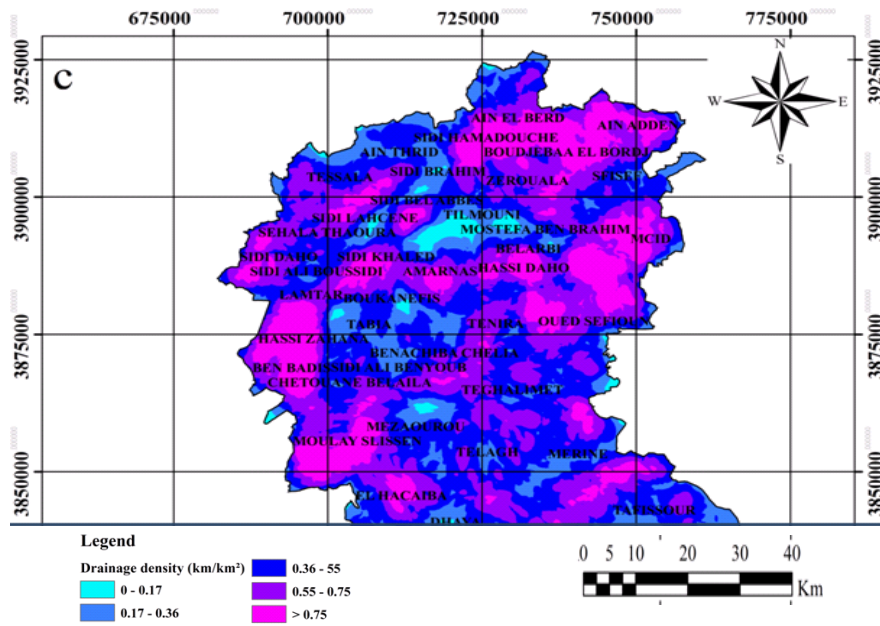


Fig. (18) : Carte de la densité de drainage.

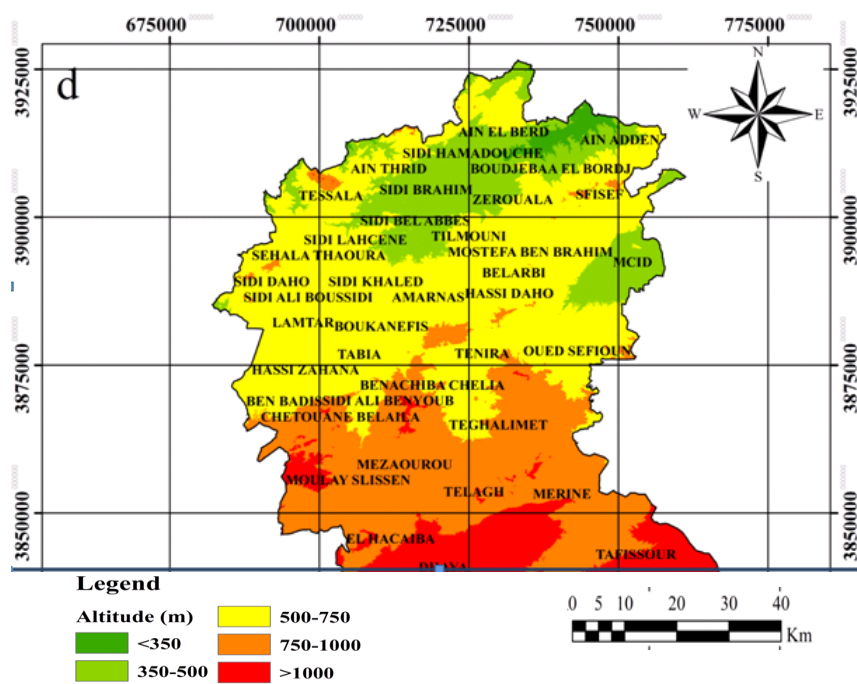


Fig. (19) : Carte d'altitude (Côtes altimétriques).

III.2.2.5- Carte d'accumulation de flux

Elle constitue un paramètre important dans la cartographie des zones vulnérables aux inondations, car des valeurs élevées d'accumulation de débit signifient une forte susceptibilité

aux inondations. La carte d'accumulation de flux est générée à partir du MNT repartie en cinq classes (voir figure correspondante).

III.2.2.6- Carte des précipitations

La partie nord de la plaine est caractérisé par des précipitations élevées par rapport au sud. La répartition de la précipitation en quatre classes (100-200), (200-300), (300-400) et > 400 a été établie pour calculer l'influence des précipitations sur la distribution spatiale de la sensibilité aux inondations.

III.2.2.7- Carte d'occupation du sol

Des sols nus et les zones bâties ainsi que les routes augmentent le ruissèlement des eaux de surface, ces zones sont considérées comme des terrains susceptibles d'être inondées. La probabilité d'occupation du sol est divisée en neuf catégories, dont les zones agricoles occupent 41,85% de la superficie.

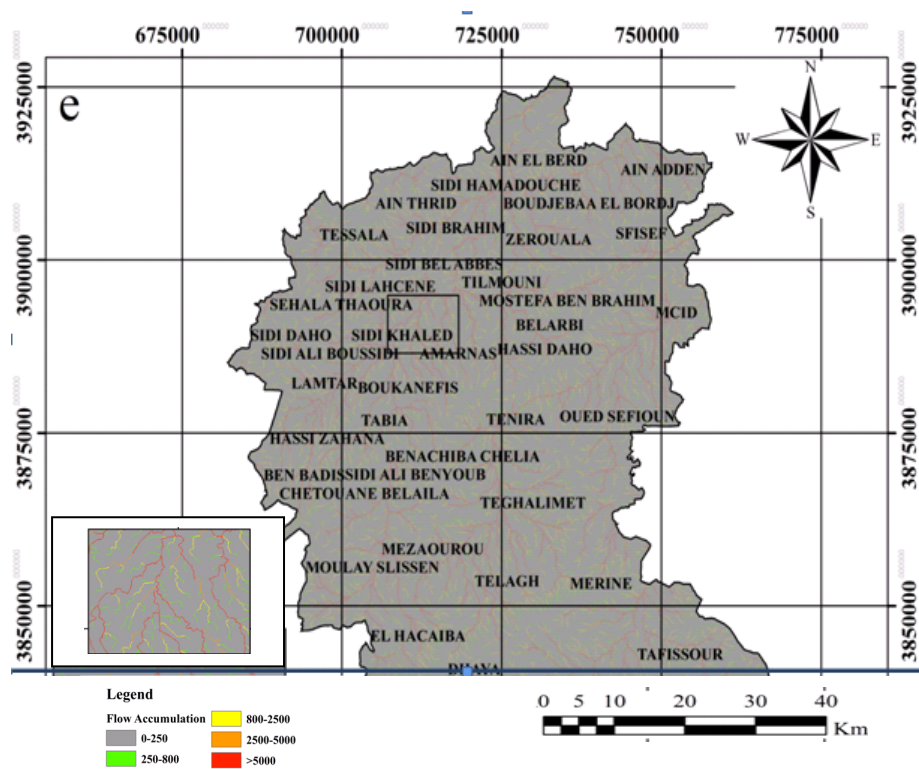


Fig. (20) : Carte d'accumulation de flux.

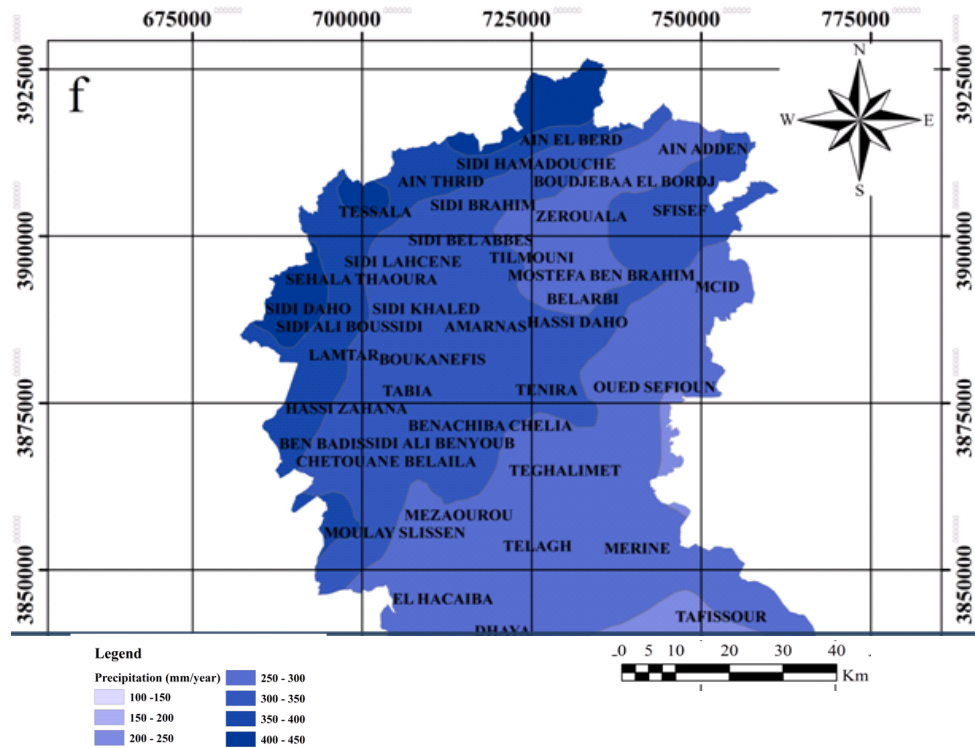


Fig. (21) : Carte des précipitations.

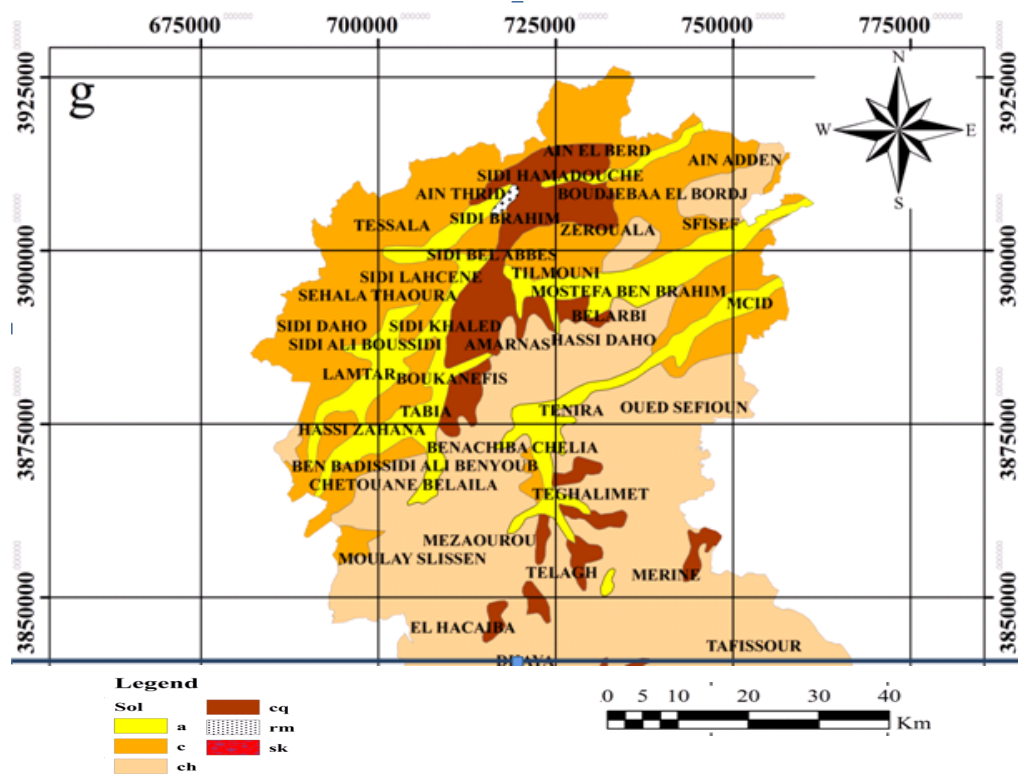


Fig. (22) : Type du sol.

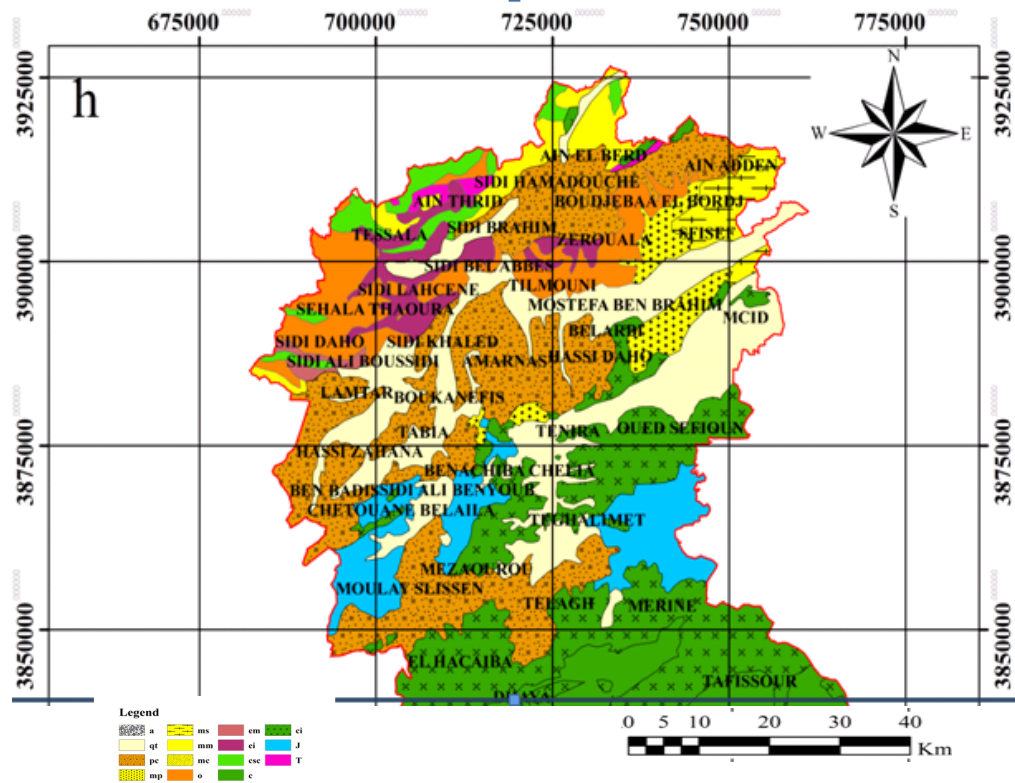


Fig. (23) : Carte géologique.

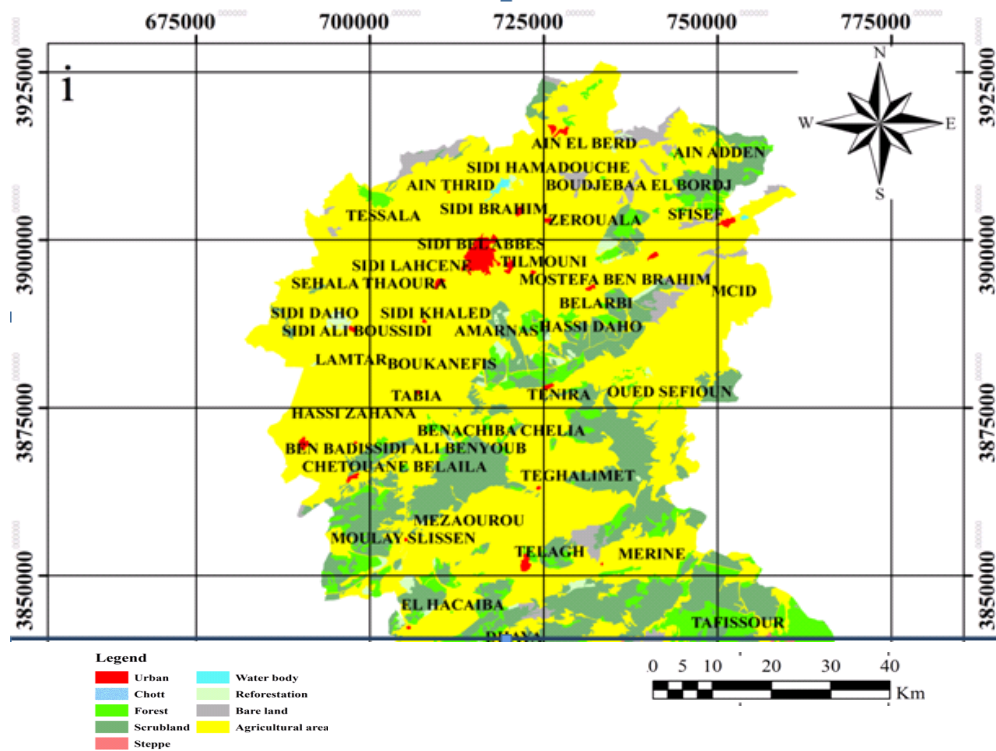


Fig. (24) : Occupation du sol.

III. 2. 3- Le modèle du processus de hiérarchie analytique (AHP)

Le choix du processus analytique hiérarchique (AHP) est lié à la nécessité d'adopter des méthodes qui aident à prendre des décisions complexes. Développée dans les années 1970 par le professeur Thomas Saaty, d'Université de Pennsylvanie (USA), cette méthode offre la possibilité de travailler avec des considérations qualitatives et subjectives, telles que la prise de décision, associées à un traitement quantitatif.

Dans ce processus de hiérarchisation et de comparaisons, on cherche à diviser le problème général en évaluations moins importantes, sans toutefois éliminer la participation de ces problèmes mineurs à la décision globale. Ainsi, lorsqu'on travaille sur un problème complexe, il devient plus simple de le diviser en petites analyses puis de les intégrer dans la solution du problème principal in CERRI et PAULA (2012).

Une fois les cartes thématiques établies et les éléments à utiliser dans la méthode sélectionnée, il est alors possible de construire la matrice de comparaison par paires, utilisant une échelle de poids définie par Saaty (1977), en suivant l'ordre d'importance indiqué dans le tableau 6.

Tableau 6 : Échelle de comparaison entre deux paramètres dans l'AHP (Saaty., 1977).

| Échelle numérique ou Intensité | Échelle verbale Ou définition | Explication |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Importance égale | Les deux critères contribuent identiquement à l'objectif |
| 3 | Faible importance de l'un sur l'autre | L'expérience et le jugement légèrement fortement un critère sur l'autre |
| 5 | Importance essentielle ou forte | L'expérience et le jugement favorisent fortement un critère sur l'autre |
| 7 | Importance démontrées | Un critère est fortement favorisé et sa prépondérance est démontrée |
| 9 | Importance absolue | Il est évident qu'un critère doit être favorisé au maximum |
| 2,4,6,8 | Intermédiaires | Le compromis est nécessaire entre les deux appréciations afin d'affiner le jugement |
| Réciprocité | Oppositions | Utilisé pour la comparaison inverse. |

Une fois la matrice construite et la comparaison mutuelle effectuée en calculant la division de poids de la ligne / poids par rapport à la colonne par la somme de la colonne en question, les notes finales sont établies, normalisant ces valeurs. La somme de chaque ligne de la matrice est divisée par l'ordre de la matrice, pour finalement trouver la valeur du poids traité pour chaque facteur de pondération.

Pour la vérification les jugements utilisés sont confirmés par l'utilisation du rapport de cohérence, défini par l'indice CR (Eq-1) ; in Saaty (1977)

$$CR=CI/RI.$$

Où :

RI représente la moyenne de l'indice de cohérence résultant selon l'ordre de la matrice donné par Saaty ; (1980) et

CI représente l'indice de cohérence exprimé par la relation suivante (Eq - 2) :

$$CI= ((\lambda_{\max}-n)) / ((n-1))$$

Avec ' λ_{\max} ' indique la plus grande valeur propre de la matrice et peut être facilement calculé à partir de la matrice ; 'n' représente l'ordre de la matrice. Si le rapport de cohérence est supérieur à 0,1 on jugera que la matrice de comparaison n'est pas cohérente et doit être révisé. Dans notre étude, le rapport de cohérence est inférieur à 0,1 ce qui montre la cohérence des préférences utilisés pour la comparaison de matrice.

III.2.3.1- Le résultat finale de l'étude

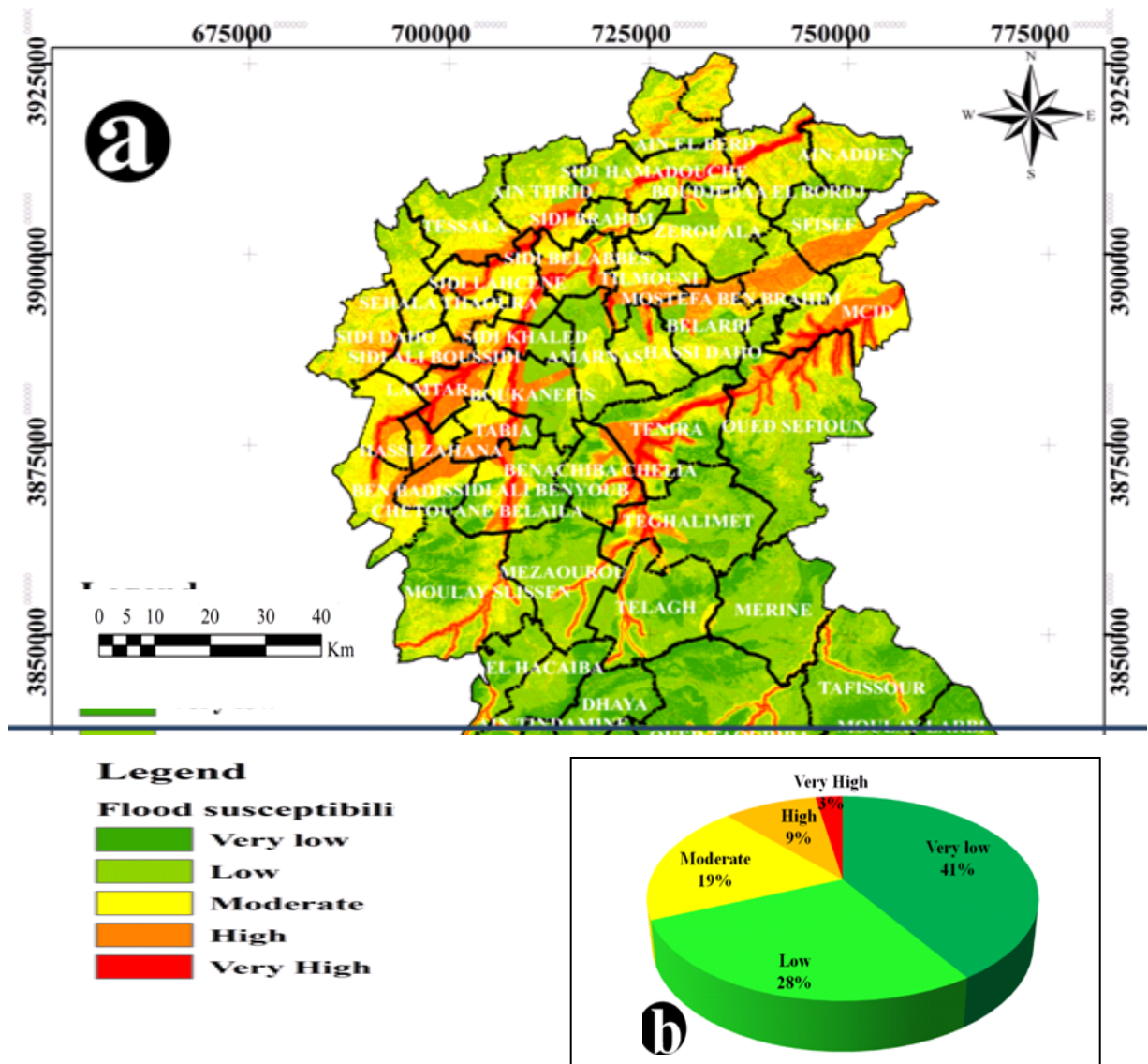


Fig. (25) : Carte thématique de la susceptibilité des zones inondables.

L'ensemble des neuf facteurs causatives d'inondation a rendu possible l'obtention de la matrice comparative, qui montre les valeurs du poids de facteur calculé et la valeur du rapport de cohérence (CR=0,014). Les taux relatifs à chaque facteur ; la distance de la proximité aux oueds est de 25,24%, le type du sol présente les 17,14%, l'accumulation de débit est de 17.14% et le gradient de la pente est estimé à 12,75%, ces dernières sont considérables les facteurs le plus influentes dans les inondations de terrain. Par contre, les facteurs les moins influentes sont ; la densité de drainage à 4, 066%, l'occupation du sol à 4,022 et la géologie à (2.461%).



Fig. (26) : Exemples des dommages occasionnés lors d'importantes inondations à Sidi bel-Abbés.

CONCLUSION

Dans cette partie sub-tellienne du nord occidental de l'Algérie, au court de son histoire, elle dénombre plusieurs dizaines d'évènements hydriques dévastateurs. Les inondations constituent une énigme dangereuse lors des manifestations saisonnières, associées aux brusques changements climatiques, dont le phénomène de débordement de la plaine alluviale et des sites déprimés se manifeste fréquemment ; avec des pics parfois excessifs et à périodicité décennale. Le développement socio-économique de la Wilaya de Sidi Bel-Abbès dépend de l'agriculture et des échanges industriels notables dont l'essentiel de transit s'effectue à travers cette plaine alluviale surpeuplée et polluée. Additivement à ces enjeux j'ajoute le manque d'informations ou de l'oubli préventif associé à cette région inondable. Le risque hydrique devient donc énigmatique dont l'inventaire des dommages enregistre d'importants pertes matérielles et même en vies humaines durant la période d'observation '1889-2018'. Devant cette situation l'état algérien doit suivre un stratège vigoureux pour lutter contre l'aggravation de cette situation précaire. En conséquence, plusieurs études en domaines de risques hydriques se sont manifestées pour étudier l'aléa d'inondation et pour mieux estimer la vulnérabilité des terrains exposés aux inondations et notamment pour l'établissement de cartes de susceptibilité aux inondations des plaines alluviales.

Dans ces conditions, on a jugé utile de mettre à l'épreuve d'une approche géo-décisionnelle qui engage l'aspect préventif à l'encadrement des zones potentielles à ce risque en cas d'inondation affectant (grandes superficies) la plaine alluviale. Dans notre démarche on a envisagé l'utilisation d'analyse statistique bi-variée connue par (AHP) réalisée par mes encadreurs sous l'environnement du SIG et qui se distingue d'être bien adapter à la cartographie des zones exposées aux inondations des terrains de la Wilaya de Sidi Bel-Abbès. La carte de susceptibilité aux inondations de la zone d'étude indique que la plaine est située à l'aval du grande Bassin versant de l'Oued El-Mekerra ; représente les zones les plus susceptibles en aléa. La vulnérabilité excessive et enjeux socio-économiques regroupés ne font qu'augmenter le taux du risque hydrique. L'inventaire des inondations historique montre que les principales communes menacées sont respectivement : Sidi Bel-Abbès, Bou-Khanefis, Sidi-Khaled, Ras El-Maa, Moulay-Slissen, Sidi-Lahcen et Ain El-Berd) sont les plus vulnérables à cette énigme d'inondations. Les principales causes de cette situation de crise remontent aux tempêtes et les fortes précipitations et notamment du fait de débordement des Oueds sur l'urbanisation dense et anarchique vue son occupation aux berges des Oueds.

La comparaison entre la carte de susceptibilité aux inondations obtenue et la carte des risques d'inondation établie par (Yahiaoui 2012) pour la ville de Sidi Bel-Abbès a confirmé l'état du lieu pour résoudre la délimitation des zones susceptibles aux inondations à différents échelles.

Les résultats de la modélisation de l'aléa hydrique renforcent l'hypothèse de l'occurrence des inondations de façon périodique d'une moyenne de trente années, la courbe est d'une allure exponentielle inverse. L'application de cette approche dans d'autres domaines peut être utile pour prédire plusieurs phénomènes liés aux des facteurs utilisées pour cette étude. Ce travail porte une contribution modeste pour redresser la situation en cas de risques d'inondations et un poids important dans la réalisation d'un plan de prévention de risque d'inondation (PPRI).

RECOMMANDATIONS

En fonction du zonage hydrique arbitraire de la carte de susceptibilité aux inondations potentielles sur la Wilaya de Sidi Bel-Abbès on propose la recommandation suivante :

- La cartographie de zonage sectorielle peut être restituée à la faveur du classement d'indice de susceptibilité des terrains inondables selon l'importance des valeurs informatives réduites en 5 classes codifiées en plusieurs colorations : rouge, orange, jaune, vert clair, vert foncé. Cette répartition doit être strictement respectée pour toute prise de décision concernant l'autorisation de construction ou d'investissement des terrains vulnérables.
- C'est à l'état ou du gouverneur de donner de nouvelles restrictions et réglementations pour la sécurité et la sauvegarde des zones urbaines et rurales.
- Les services hydrologiques ont une grande mission envers la surveillance et l'entretien des drains hydrologiques au sein d'un environnement donné.
- Lancement des programmes éducatifs sur le risque hydrique au sein des établissements et des organisations civiles pour élever le niveau de sécurité chez les différentes catégories d'une population donnée.

Références Bibliographiques

BELLAREDJ A.E.M., (2019) : Caractérisation des principaux paramètres affectant les eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbes à l'aide du programme Visual Modflow (application et perspectives), Thèse., Univ. Oran 2., 202P.

BENSEDJAD A. (2011) : Aptitude des eaux de la plaine de sidi Bel Abbes à des fins d'irrigation. Mém. Ing., Univ. Tlemcen., 44P.

BENYAHIA M., BOUZIDI M. A., MOUEDDENE K., HALLOUCHE B., ATTAOUI I., MELIANI H., DERNOUNI F. (2011) : Compréhension de l'inondabilité de la plaine de Sidi Bel Abbes par l'oued Mekerra (Ouest Algérien). J. Eau. Envi., vol 10, n° 18., PP. 26-45.
<https://www.asjp.cerist.dz/en/article/37456> [consulté le 27 Octobre 2020].

CERRI L.E.S., PAULA B.L. (2012): Aplicação do processo analítico hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeperica da Serra e Suzano (SP). São Paulo: UNESP, Geociências, vol 3, n° 2., PP. 247-257.

KERAI Y. (2017) : Évaluation quantitative des eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbes : Approche hydrogéochimique., Mém., Univ., Aboubakr Belkaïd Tlemcen., 65 P.

KORICHI K., HAZZAB A. (2012): Hydrodynamic Investigation and Numerical Simulation of Intermittent and Ephemeral Flows in Semi-Arid Regions: Wadi Mekerra, Algeria. J. Hydrol. Hydromech., vol 60, n°2., PP.125-142.
<https://www.researchgate.net/publication/271051789> [Consulté le 24 Octobre 2020].

MEDDI M., ABDELKADER S.B.A. (2013) : Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Ouest de l'Algérie). Rev. Nat. Tech., vol 6, n°1., PP.21-31. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/43152> [Consulté le 04 Octobre 2020].

OTMANE A. (2015) : Prédétermination des valeurs de pluies et crues extrêmes dans le bassin versant de l'Oued Mekerra, Mém. Magister., Univ., Oran 2. 191P.

ROUKH Z. E., NADJI A (2020) : Une méthode géo-décisionnelle basée sur le Processus de Hiérarchie Analytique et le Système d'Information Géographique pour la cartographie de la susceptibilité aux inondations du territoire de Sidi Bel Abbes (NW de l'Algérie) [publication en cours].

SAATY T. H. (1977): A scaling method from priorities in hierarquical structures. Journal of Mathematical psychology., vol 15, n° 3., PP. 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).

SOURISSEAU B. (1973) : Étude hydrogéologique de la nappe de Sidi Bel Abbès. Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, Sous-direction des ressources en eau.

TACHI A., BENTRAD M. (2018) : Prédiction de Débit Solide dans la Période de Crue par l'Utilisation des Réseaux de Neurones Artificiels : Étude de Cas de l'Oued Mekerra – Sidi Bel Abbès - Algérie. Mém. Master., Univ. Bedji Mokhtar Annaba., 89P.

YOUSFI S. (2008) : Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès (Nord-ouest Algérien). Mém. Magister., Univ. Aboubakr Belkaïd Tlemcen., 60 P.