



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique



**Université de Batna 2 –Mostefa BenBoulaid -**

**Institut de : Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département de : Géographie et Aménagement  
du Territoire**

# **THESE**

**Présentée pour l'obtention du titre de :**

**Docteur en Sciences**

**Option : Aménagement du Territoire**

**Sous le thème :**

**Analyse Multi-Risques Dans le Bassin  
Versant d'Oued EL-GOURZI  
Et Ses Affluents (W de BATNA).**

**Présentée par :  
BELLA NASSIM**

**Devant le jury composé de :**

- |                                      |            |                    |                    |
|--------------------------------------|------------|--------------------|--------------------|
| • Mr. KALLA Mahdi                    | Professeur | Université Batna 2 | Président          |
| • Mme. DRIDI Hadda                   | Professeur | Université Batna 2 | Directeur de thèse |
| • Mr. GUTTOUCHE M <sup>ED</sup> Said | Professeur | USTHB Alger        | Examineur          |
| • Mr. BOUTIBA Makhoulf               | Professeur | USTHB Alger        | Examineur          |
| • Mr. AKAKBA Ahmed                   | M.C (A)    | Université Batna 2 | Examineur          |
| • Mr. CHIBANE Brahim                 | Professeur | USTHB Alger        | Examineur          |

**2020/2021**



## *Remerciements*

*Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de thèse PROFESSEUR DRIDI HADDA, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je remercie également le PROFESSEUR KALLA MEHDI, qui a fortement contribué à l'enrichissement de la partie des écoulements.*

*Je tiens surtout remercier les membres du jury, pour avoir lu et corrigé ma thèse, Leurs conseils seront très précieux.*

*Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux Institutions et personnes suivantes, pour l'aide dans la réalisation de ce mémoire :*

*- L'ANRH, L'ONM, et la Conservation Des Forêts De La Wilaya De Batna, qui m'ont fournis des données nécessaires pour l'élaboration de ce travail.*

*- Mes collègues Khentouche A, Bekhouche S, Belkhiri L, Rerboudj A et Annab R, Ils ont été d'un grand soutien dans l'élaboration de cette thèse.*

*J'aimerais exprimer ma gratitude à tous les chercheurs et spécialistes, trop nombreux pour les citer, qui ont pris le temps de discuter de mon sujet. Chacun de ces échanges m'a aidé à faire avancer mon analyse.*

## *Dédicace*

*À La mémoire de mon père ;*

*À ma mère ;*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*À mes frères et sœurs.*

*À ma femme.*

*À Mes enfants (Silina, Abdelhai, Arinasse et Dassine).*

*À tous ceux qui, un jour, pourraient profiter de ce travail.*

**Résumé :**

Le bassin versant de l'oued El Gourzi englobe l'ensemble des éléments physiques, climatiques et hydrologiques pouvant contribuer à l'apparition et à l'évolution des risques naturels tels que les inondations destructives et les incendies de forêt. Pour cela, nous avons procédé à l'étude de l'interaction entre le changement de l'occupation des sols et la réponse hydrologique. La présente recherche s'est appuyée sur une approche cartographique renforcée par un support de données numériques pour montrer l'ampleur et la distribution spatiale et temporelle des inondations et des feux de forêts.

Les résultats de cette analyse spatio-temporelle indiquent clairement l'impact accéléré des feux de forêts et leurs effets sur la modification de l'aléa hydrologique générant des crues en milieu urbain hautement vulnérable. Il est donc nécessaire de mieux choisir les modèles de l'estimation des risques les plus adaptables aux conditions du terrain dans le but de mettre à la disposition des décideurs les meilleurs moyens de gestion des risques.

**Mots clés :** les risques naturels, les inondations, les feux de forêts, les interactions, BV Oued El Gourzi.

**المخلص:**

يشتمل الحوض التجميحي لواد القرزي على جميع العناصر الفيزيائية والمناخية والهيدرولوجية التي قد تساهم في ظهور وتفاقم الأخطار الطبيعية مثل الفيضانات وحرائق الغابات من جهة، والتفاعل بين التغير في استخدام الأراضي والاستجابة الهيدرولوجية من جهة أخرى ولإظهار التوزيع المكاني والزمني للفيضانات وحرائق الغابات اعتمدنا على المقاربة الخرائطية والرقمية.

تشير نتائج التحليل المكاني والزمني إلى أثر حرائق الغابات وتأثيرها على تسارع وتفاقم الفيضانات في المناطق الحضرية الهشة. لذلك من الضروري اختيار نماذج تقدير المخاطر الأكثر قابلية للتكيف مع الظروف الميدانية على نحو أفضل من أجل وضع وسائل أنجع لإدارة وتسيير المخاطر.

**الكلمات المفتاحية:** الأخطار الطبيعية، لفيضانات، حرائق الغابات، لتفاعلات، لحوض التجميحي لواد القرزي.

**Abstract**

The Oued El Gourzi watershed includes all the physical, climatic and hydrological elements that can contribute to the appearance and evolution of natural risks such as floods and forest fires.

To achieve this objective, we have studied the interaction between land use change and the hydrological response in order to show the extent and the spatial and temporal distribution of floods and forest fires by adopting a cartographic approach reinforced by a digital data medium.

The results of the spatio-temporal analysis clearly indicate the accelerated impact of forest fires and their effects on the modification of hydrological risks generating floods in highly vulnerable urban areas.

Therefore, it is necessary to better choose the risk estimation models most adaptable to field conditions to put in place the best means of risk management by engineers and decision-makers.

**Keywords:** natural hazards, floods, forest fires, interactions, BV Oued El Gourzi

## Table des matières

|  |      |
|--|------|
| <i>Remerciements</i> .....   | ii   |
| <i>Dédicace</i> .....  | iii  |
| <b>Résumé :</b> .....  | vii  |
| <b>Table des matières</b> .....  | viii |
| <b>Liste Des Figures</b> .....   | xiii |
| <b>Liste Des Tableaux</b> .....  | xvii |
| <b>Introduction générale</b> .....   | 1    |
| <b>Partie 1 :Aspect Physique, Analyse socio-économique et étude climatique</b> ..... | 4    |
| <b>I. Chapitre I : Aspect Physique</b> .....   | 6    |
| <b>Introduction :</b> .....  | 6    |
| <b>I.2. Situation géographique du bassin versant d'Oued El Gourzi :</b> .....        | 6    |
| <b>I.3. Les Grandes Unités Topographiques :</b> .....                                | 7    |
| I.3.1 Les Altitudes :.....   | 7    |
| I.3.2 Les Pentcs :.....  | 8    |
| <b>I.3.3 Exposition générale :</b> .....   | 10   |
| <b>I.4 La Géologie :</b> .....   | 12   |
| I.4.1 La Stratigraphie :.....  | 12   |
| I.5 La lithologie :.....   | 14   |
| I.6 La perméabilité :.....   | 15   |
| <b>I.7 Le couvert végétal :</b> .....  | 17   |
| I.7.1 Le Pin d'Alep :.....   | 17   |
| I.7.2 Le Cèdre :.....  | 18   |
| I.7.3 Les Maquis :.....  | 18   |
| I.7.4 Les Céréalicultures :.....   | 18   |
| <b>I.8 Les caractéristiques géométriques :</b> .....                                 | 18   |
| <b>I.9 Le réseau hydrographique et le système d'écoulement :</b> .....               | 19   |
| I.9.1 Système d'écoulement :.....  | 20   |
| <b>Conclusion</b> .....  | 22   |
| <b>II. Chapitre II : Analyse Socio-économique</b> .....                              | 24   |
| <b>Introduction</b> .....  | 24   |
| II.2 La période coloniale :.....   | 24   |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| II.3   | La période après l'indépendance : .....  | 27        |
| <b>II.4</b>  | <b>La population : .....</b>   | <b>31</b> |
| II.4.1   | Evolution de la population dans la ville de Batna : .....  | 31        |
| II.4.2   | Prévision de la population dans la ville de Batna : .....  | 32        |
| II.4.3   | Découpage de la ville de Batna en secteurs d'études : .....  | 32        |
| II.4.4   | Densité de la population : .....   | 34        |
| II.4.5   | Estimation de la population par secteurs aux horizons 2015 et 2030 : .....   | 35        |
| <b>II.5</b>  | <b>L'Habitat : .....</b>   | <b>35</b> |
| II.5.1   | Evolution du parc de logements (1966 – 2008) : .....   | 36        |
| II.5.2   | Typologie d'habitat : .....  | 36        |
| <b>II.6</b>  | <b>Equipements : .....</b>   | <b>37</b> |
| II.6.1   | Equipements éducatifs : .....  | 37        |
| II.6.2   | Les Equipements sanitaires : .....   | 38        |
| II.6.3   | Les Equipements industriels : .....  | 38        |
| <b>II.7</b>  | <b>Les obstacles naturels : .....</b>  | <b>39</b> |
|  | La ville de Batna a connu deux obstacles naturels qui empêchent l'expansion et provoquent des risques naturels associés à ce phénomène ..... | 39        |
| II.7.1   | Montagnes et forêts : .....  | 39        |
| II.  | Les Oueds : .....  | 39        |
| <b>Conclusion</b>                                      | <b>.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>III. Chapitre III : Etude climatique</b>            | <b>.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>Introduction</b>                                    | <b>.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>III.1. Les Paramètres Climatiques</b>               | <b>.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>III.2. Les données pluviométriques</b>              | <b>.....</b>   | <b>43</b> |
| III.3.1  | Qualité des données recueillies : .....  | 43        |
| III.3.2  | Test d'homogénéité ou corrélation double masse : .....   | 43        |
| III.3.3  | La régression linéaire : .....   | 44        |
| III.3.4  | Comblement des lacunes : .....   | 44        |
| <b>III.4 Étude de la pluviométrie annuelle</b>         | <b>.....</b>   | <b>44</b> |
| III.4.1  | Variation de la pluviométrie annuelle : .....  | 45        |
| III.4.2  | Étude de la pluviométrie saisonnière : .....   | 46        |
| III.4.3  | Étude de la pluviométrie mensuelle : .....   | 47        |
| <b>III.5 Détermination de la lame d'eau précipitée</b> | <b>.....</b>   | <b>48</b> |
| II.5.1   | Moyenne arithmétique des stations : .....  | 48        |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| III.5.1   | Moyenne de THIESSEN : .....   | 48        |
| III.5.3   | Méthode des isohyètes : .....   | 49        |
| III.5.4   | Discussion des résultats : .....  | 51        |
| <b>III.6</b>  | <b>Les températures : .....</b>   | <b>51</b> |
| III.6.1   | Étude des températures saisonnière : .....  | 52        |
| <b>III.7</b>  | <b>Caractérisation du climat : .....</b>  | <b>53</b> |
| III.7.1   | Diagramme Ombrothermique : .....  | 53        |
| III.7.2   | Indice de De Martonne : .....   | 54        |
| III.7.3   | Indice d'aridité mensuel : .....  | 54        |
| III.7.4   | Climagramme de Louis Emberger : .....   | 55        |
| III.7.5   | Indice de Paul Moral : .....  | 56        |
| <b>III.8</b>  | <b>L'insolation : .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>III.9</b>  | <b>Les vents : .....</b>  | <b>58</b> |
| III.9.1   | La direction de vent : .....  | 59        |
| III.9.2   | Le siroco : .....   | 61        |
| <b>III.10</b>   | <b>L'humidité relative : .....</b>  | <b>62</b> |
| <b>III.11</b>   | <b>Evaporation totale : .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>III.12</b>   | <b>Le bilan hydrique : .....</b>  | <b>64</b> |
| III.12.1  | Les Facteurs Du Bilan Hydrique : .....  | 64        |
| <b>Conclusion</b>   | <b>.....</b>  | <b>66</b> |
| <b>Partie 2 : Analyse des risques et leurs interactions</b> | <b>.....</b>  | <b>67</b> |
| <b>I.1</b>  | <b>Chapitre I : Risque des feux de forêts .....</b>   | <b>69</b> |
| <b>Introduction</b>   | <b>.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>I.1</b>  | <b>Eléments de feu : .....</b>  | <b>69</b> |
| I.1.1   | Les combustibles : .....  | 70        |
| <b>I.2</b>  | <b>L'analyse Des Feux De Forêts Dans Le Bassin Versant De L'oued El Gourzi : ...</b>        | <b>71</b> |
| I.2.1   | Evolution mensuelle des nombres d'incendies et des superficies parcourus par le feu : ..... | 73        |
| I.2.2   | La relation entre les paramètres climatique est les incendies : .....                       | 76        |
| <b>I.3</b>  | <b>Analyse Evaluation De Risque D'incendie De Forêts : .....</b>                            | <b>81</b> |
| I.3.1   | L'indice topomorphologique (IM) : .....   | 81        |
| I.3.2   | L'Indice de Combustibilité (IC) : .....   | 81        |
| I.3.4   | L'indice d'occupation humaine (IH) : .....  | 82        |
| I.3.4   | Résultats et discussions : .....  | 83        |

|                 |  |            |
|-----------------|--|------------|
| <b>I.3.4.4</b>  | <b>Carte de l'indice de risque de feu :</b>  | <b>90</b>  |
|                 | <b>Conclusion.....</b>   | <b>92</b>  |
| <b>II.</b>      | <b>Chapitre II : Risque des inondations.....</b>   | <b>94</b>  |
|                 | <b>Introduction .....</b>  | <b>94</b>  |
| <b>IV.2</b>     | <b>Modélisation statistique des précipitations annuelles maximales :.....</b>                | <b>94</b>  |
| II.1.1          | La loi d'extrémum généralisée (GEV) : .....  | 94         |
| II.1.2          | La sélection du modèle :.....  | 95         |
| II.1.3          | Résultats et Discussions :.....  | 96         |
| III.1.4         | Comparaison des critères de sélection : .....  | 99         |
| II.1.4          | Estimations du niveau de retour : .....  | 102        |
| <b>II.2</b>     | <b>Etude des débits :.....</b>   | <b>102</b> |
| II.2.1          | La variation temporelle des débits : .....   | 102        |
| II.2.1.1        | Les variations annuelles des débits : .....  | 103        |
| II.2.1.2        | La variabilité mensuelle des débits : .....  | 105        |
| <b>II.3</b>     | <b>Etude des Cures :.....</b>  | <b>106</b> |
| II.3.1          | Estimation des débits instantanés $Q_{i_{max}}$ de la station hydrométrique de Fesdis :..... | 106        |
| II.3.2          | Estimation des débits max instantanés par les méthodes empirique :.....                      | 108        |
| <b>II.4</b>     | <b>Hydrogramme des crues :.....</b>  | <b>110</b> |
| II.4.1          | Méthodes de Sokolovski :.....  | 110        |
| II.4.2          | Modèle hydrologique HEC-HMS :.....   | 112        |
| II.4.3          | Présentation des résultats :.....  | 115        |
| <b>II.5</b>     | <b>Cartographie des zones inondables : .....</b>   | <b>117</b> |
| II.5.1          | Dispositif et outils informatiques utilisées : .....   | 117        |
| II.5.4          | Elaboration du fichier des données d'écoulement.....   | 120        |
| <b>II.5.7</b>   | <b>Visualisation et discussion des résultats : .....</b>                                     | <b>121</b> |
| II.5.7.1        | Les profils en long :.....   | 121        |
| II.5.7.2        | Les profils en travers : .....   | 122        |
| <b>II.5.7.3</b> | <b>Vue de trois dimensions du tronçon modélisé :.....</b>                                    | <b>122</b> |
| <b>II.5.8</b>   | <b>Détermination des zones inondables dans le tronçon modélisé :.....</b>                    | <b>123</b> |
|                 | <b>Conclusion.....</b>   | <b>125</b> |
| <b>III.</b>     | <b>Chapitre III : Interaction entre les risques .....</b>                                    | <b>127</b> |
|                 | <b>Introduction .....</b>  | <b>127</b> |
| <b>III.1</b>    | <b>Matériels et méthodes : .....</b>   | <b>129</b> |

|                                  |   |            |
|----------------------------------|---|------------|
| III.1.1                          | Détection des changements d'occupations du sol :..... | 130        |
| III.1.2                          | L'estimation des hydrogrammes de crue :.....          | 131        |
| <b>III.2</b>                     | <b>Résultats et discussions :.....</b>                | <b>136</b> |
| III.2.1                          | Analyse des changements d'occupation des sols :.....  | 136        |
| III.2.2                          | Analyse de la réponse hydrologique : .....            | 139        |
| <b>Conclusion.....</b>           |   | <b>144</b> |
| <b>Conclusion générale .....</b> |   | <b>146</b> |
| <b>Bibliographie.....</b>        |   | <b>150</b> |
| <b>Résumé : .....</b>            |   | <b>158</b> |

**Liste Des Figures**

Figure 1: Feux Des forêts Dans Le Bassin Versant D’oued El Gourzi..... 1

Figure 2: Carte de localisation du bassin versant d’oued el Gourzi..... 6

Figure 3: Carte des altitudes du bassin versant d’oued el Gourzi ..... 8

Figure 4: Carte des pentes du bassin versant oued el Gourzi..... 10

Figure 5: Carte des expositions du bassin versant oued el Gourzi..... 11

Figure 6: Carte Géologique du bassin versant d’oued el Gourzi ..... 14

Figure 7: Carte lithologique du bassin versant d’oued el Gourzi..... 15

Figure 8: Carte des perméabilités du bassin versant d’oued el Gourzi ..... 16

Figure 9: Carte d’occupation de sol du bassin versant d’oued el Gourzi..... 17

Figure 10: Carte de réseau hydrographique du bassin versant d’oued el Gourzi..... 21

Figure 11: le noyau colonial..... 24

Figure 12: Z’mala - Le premier quartier populaire à Batna ..... 25

Figure 13: la ville de Batna entre 1923-1945 ..... 26

Figure 14: la ville de Batna entre 1945-1962 ..... 27

Figure 15: la ville de Batna La période (1962-1978) ..... 28

Figure 16: la période (1978-1984) : éclatement de l’agglomération..... 29

Figure 17: la période (1984-1996) : saturation de l’agglomération ..... 30

Figure 18: Evolution de la population dans la ville de Batna (1954-2010) ..... 32

Figure 19: *Sectorisation de la ville de Batna* ..... 33

Figure 20: tissu des zones d’habitats..... 37

Figure 21: les obstacles naturels (montagnes)..... 39

Figure 22: les obstacles naturels (les oueds de la ville de Batna) ..... 39

Figure 23: Carte de situation des stations hydro climatologiques..... 42

Figure 24: Variation interannuelle des précipitations aux cinq stations (1969/2012)..... 45

Figure 25: Précipitation moyennes saisonniere (1969/2011)..... 46

Figure 26: Précipitations mensuelles (1969/2011)..... 47

Figure 27: Polygones de THIESSEN (1969/2012) ..... 49

Figure 28: Carte des isohyètes D’ANRH (1969/2012) ..... 50

Figure 29: Moyenne mensuelle des températures (max, moy, min) (1989-2010) ..... 52

Figure 30: moyenne saisonnière des températures (1989 – 2010)..... 52

Figure 31: diagramme Ombrothermique de GAUSSEN (1989 – 2010)..... 53

|  |     |
|--|-----|
| Figure 32: Climagramme pluviométrique d'EMBERGER .....   | 56  |
| Figure 33: Carte des zones bioclimatiques.....   | 57  |
| Figure 34: moyenne mensuelle de l'insolation (1989- 2010) .....  | 58  |
| Figure 35: moyenne mensuelle des vitesses de vent (1989 – 2009) .....  | 59  |
| Figure 36: La rose de vent des mois (mai et juin) 1999-2011.....   | 60  |
| Figure 37: La rose de vent des mois (juillet, aout et septembre) pendant 1999-2011 .....   | 60  |
| Figure 38: La rose de vent de la moyenne annuelle (1999-2011).....   | 61  |
| Figure 39: nombre des jours de siroco (1999- 2010) .....   | 62  |
| Figure 40: Moyenne mensuelle d'humidité (1989 – 2009).....   | 63  |
| Figure 41: moyenne mensuelle d'évaporation totale (1989-2010) .....  | 63  |
| Figure 42: triangle du feu (Medd, 2002 in Ammari, 2011).....   | 69  |
| Figure 43 : carte localisation des feux de forêts dans le Bassin Versant De l'Oued el Gourzi (1999-2011).....  | 71  |
| Figure 44 : Evolution des nombres d'incendies et des superficies parcourues par le feu (1999 – 2011).....  | 72  |
| Figure 45: répartition mensuelle des nombres de feux et des superficies incendiées (1999-2011).....  | 74  |
| Figure 46: distribution de superficie brûlé par secteur (1999- 2011).....  | 75  |
| Figure 47: Le nombre de foyer par secteur .....  | 75  |
| Figure 48: La relation entre le nombre de foyer et Le moyenne de température maximale (1999-2011).....   | 77  |
| Figure 49: la relation entre le nombre de foyer et le moyenne d'humidité minimale .....  | 78  |
| Figure 50: la relation entre la superficie brûlé (ha) et la vitesse de vent.....   | 80  |
| Figure 51: carte des pentes du BV d'oued el gourzi .....   | 84  |
| Figure 52: Carte des expositions du bassin versant oued el Gourzi.....   | 85  |
| Figure 53: Carte des altitudes du bassin versant d'oued el Gourzi .....  | 86  |
| Figure 54: Carte NDVI du bassin versant d'oued el Gourzi .....   | 88  |
| Figure 55: Carte de l'Indice d'occupation Humaine du bassin versant d'oued el Gourzi .....   | 89  |
| Figure 56: Carte de risque des feux des forêts du bassin versant d'oued el Gourzi.....   | 90  |
| Figure 57: Boxplot des précipitations maximales annuelles .....  | 97  |
| Figure 58: Présentation Graphique des données de précipitations maximales annuelles de 1969 à 2011, avec tendance ajustée par lissage plus faible..... | 98  |
| Figure 59: Graphes des quantiles et de densité pour chaque station .....   | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure 60: variations des débits moyens annuels –station de Fesdis- série 1969-1986 .....   | 104 |
| Figure 61: Variation de coefficient d’hydraulicité .....  | 105 |
| Figure 62: variation du coefficient mensuel des débits –station de Fesdis- série 1969-1985  | 106 |
| Figure 63: ajustement statistique des Qjmax par la loi de Gumbel.....   | 106 |
| Figure 64: Hydrogramme des crues par la méthode de Sokolovski (10-100 ans ) .....   | 112 |
| Figure 65: Hydrogramme de crue calé période de retour 10 ans de l’Oued el gourzi .....  | 115 |
| Figure 66: Hydrogramme de crue calé période de retour 100 ans de l’Oued el gourzi .....   | 115 |
| Figure 67: Hydrogramme du crues méthode SCS $f=10$ et $f=100$ dans l’oued el Gourzi .....   | 116 |
| Figure 68: l’interface du logiciel Hec-Ras 5.0.7 .....  | 117 |
| Figure 69: l’extension Hec-GeoRas sur l’interface ArcMap .....  | 118 |
| Figure 70: Quelques entités géométriques numérisées sur ArcMap à l’aide de l’extension Hec-GeoRas .....                           | 119 |
| Figure 71: L’importation de la géométrie du tronçon a modélisée dans Hec Ras .....  | 119 |
| Figure 72: Elaboration des données d’écoulement du tronçon a modélisée dans Hec.....  | 120 |
| Figure 73: L’introduction des conditions aux limites pour l’écoulement .....  | 120 |
| Figure 74: Fenêtre de la simulation.....  | 121 |
| Figure 75: Le profil en long du tronçon modélisé d’Oued el Gourzi.....  | 122 |
| Figure 76: le profil en travers d’une station .....   | 122 |
| Figure 77: Vue en 3D de la zone la plus débordée du tronçon simulé.....   | 123 |
| Figure 78 Les zones débordées par la crue centennale (Ville de Batna).....  | 124 |
| Figure 79: les grands feux des forêts juillet 1997 dans le bassin versant de l’Oued el Gourzi images satellitaire ETM+ .....      | 128 |
| Figure 80: compositions colorées des bandes 5-4-3 des images satellitaire TM et ETM+ 1984 et 1999 .....                           | 130 |
| Figure 81: classification de changement d’occupation de sol sur la base des images satellitaire TM 1984.....                      | 137 |
| figure 82:classification de changement d’occupation de sol sur la base des images satellitaire etm+ 1999.....                     | 137 |
| Figure 83: pourcentage de changement d’occupation de sol durant la période de 1984 à 1999 .....                                   | 138 |
| Figure 84: surface d’occupation de sol en 1984 et 1999 .....  | 139 |
| Figure 85: les hydrogrammes des crues observer et calculer par Turraza (crue du 13 septembre 1982), B (crue du 22 Aout 1997)..... | 140 |

Figure 86: les hydrogrammes des crues observer et calculer par SCS (crue du 13 septembre 1982), B (crue du 22 Aout 1997) ..... 141

Figure 87: les hydrogrammes des crues observer (la crue du 13 septembre 1982, crue du 22 Aout 1997)..... 142

**Liste Des Tableaux**

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Dates Et Conséquences Certains Inondations Du Bassin Versant De Oued El Gourzi..... | 2  |
| Tableau 2: Répartition des pentes dans le bassin versant.....                                  | 9  |
| Tableau 3: Répartition des différentes expositions .....                                       | 11 |
| Tableau 4: Répartition de la perméabilité dans le bassin versant .....                         | 16 |
| Tableau 5: Répartition de l'occupation de sol dans le bassin versant .....                     | 18 |
| Tableau 6: Tableau récapitulatif des paramètres morpho métriques du BV .....                   | 19 |
| Tableau 7: L'évolution de la population dans la ville de Batna (1954-2010).....                | 31 |
| Tableau 8: Prévision de la population dans la ville de Batna.....                              | 32 |
| Tableau 9: Sectorisation de la ville de Batna .....  | 33 |
| Tableau 10: La répartition de la population et densité par secteurs. ....                      | 34 |
| Tableau 11: Prévision de la population par secteur.....  | 35 |
| Tableau 12: Evolution du parc logements (1966-2008).....                                       | 36 |
| Tableau 13: : les équipements éducatifs.....   | 37 |
| Tableau 14: les équipements sanitaires .....   | 38 |
| Tableau 15: les équipements industriels.....   | 38 |
| Tableau 16: Stations climatiques et pluviométriques.....                                       | 43 |
| Tableau 17: Résultats des corrélations par régression linéaire .....                           | 44 |
| Tableau 18: Description statistique des précipitations annuelles.....                          | 45 |
| Tableau 19: Précipitations saisonnières pour la période (1969/2011) .....                      | 46 |
| Tableau 20: Valeurs caractéristiques des séries pluviométriques (1969/2011) .....              | 47 |
| Tableau 21: moyenne mensuelle des températures (1989-2010).....                                | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Tableau 22: moyenne saisonnière des températures (1989 –2010).....   | 52 |
| Tableau 23: moyenne mensuelle des températures et des précipitations (1989-2010) .....                     | 53 |
| Tableau 24: Indices d’aridité mensuels (I) à la station de Batna .....                                     | 55 |
| Tableau 25: moyenne mensuelle de l’insolation (1989 – 2010) .....  | 57 |
| Tableau 26: moyenne mensuelle des vitesses de vent m/s (1989 – 2009) .....                                 | 58 |
| Tableau 27: la direction de la vitesse du vent pendant quelques mois (1999-2011).....                      | 59 |
| Tableau 28: La direction de vent moyenne annuelle pendant la série de (1999-2011).....                     | 60 |
| Tableau 29: nombre des jours de siroco (1999- 2010).....   | 61 |
| Tableau 30: Moyenne mensuelle d’humidité (1989 – 2009) .....   | 62 |
| Tableau 31: moyenne mensuelle d’évaporation en mm (1989- 2010).....  | 63 |
| Tableau 32: ETP mensuelle selon THORONT WAITE (1989-2010) .....  | 65 |
| Tableau 33: Bilan hydrique de Batna (1989-2010).....   | 65 |
| Tableau 36 : Evolution des nombres d’incendies et des superficies parcourues par le feu (1999 – 2011)..... | 72 |
| Tableau 37: répartition mensuelle des nombres de feux et des superficies incendiées (1999- 2011).....      | 73 |
| Tableau 38: Répartition de superficie et nombre d’incendies par secteur (1999-2011) .....                  | 74 |
| Tableau 39: La relation entre le nombre de foyer et Le moyenne de température maximale (1999-2011).....    | 76 |
| Tableau 40: la relation entre le nombre de foyer et le moyenne d'humidité minimale .....                   | 78 |
| Tableau 41: la relation entre la superficie brulé (ha) et la vitesse de vent .....                         | 79 |
| Tableau 42: la variation de l'aléa de feu par les paramètres climatiques .....                             | 80 |
| Tableau 43: Classes de pentes .....  | 84 |
| Tableau 44: Classes des expositions .....  | 85 |

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 45: Classes de la topomorphologie «M » .....   | 86  |
| Tableau 46: classes de l'indice topomorphologique .....  | 87  |
| Tableau 47: Indice de combustibilité .....   | 88  |
| Tableau 48: Classes de l'Indice de Risque de feu (IR) .....  | 90  |
| Tableau 49: Différentes combinaisons et la fonction de régression.....                                       | 95  |
| Tableau 50: Description statistique des précipitations maximales annuelles .....                             | 97  |
| Tableau 51: Test de tendance Mann-Kendall pour chaque station .....  | 99  |
| Tableau 52: Estimations de paramètres et résumé des tests de qualité de l'ajustement pour trois modèles..... | 100 |
| Tableau 53: Périodes de retour pour chaque station .....   | 102 |
| Tableau 54: Débits moyennes annuelles (station de Fesdis).....   | 103 |
| Tableau 55: Variations mensuelles des débits.....  | 105 |
| Tableau 56: les débits instantanés maximales.....  | 107 |
| Tableau 57: Test d'adéquation de Shi2 des débits instantanés maximales.....                                  | 108 |
| Tableau 58: débits maximales fréquentielles - station de Fesdis- .....                                       | 108 |
| Tableau 59: Les Q <sub>max</sub> des sous bassins par la méthode de TURAZZA .....                            | 109 |
| Tableau 60: Les Q <sub>max</sub> des sous bassins par la méthode de Mallet et Gautier.....                   | 110 |
| Tableau 61: Hydrogramme de crue par la méthode de Sokolovski .....   | 111 |
| Tableau 62: debit de pointe observe et calcule (SCS).....  | 116 |
| Tableau 63: caractéristiques des images satellites Landsat.....  | 129 |
| Tableau 64: valeur de Coefficient de ruissellement d'après la SOGREAH 1986.....                              | 131 |
| Tableau 65: numéro de courbe CN par SCS .....  | 135 |
| Tableau 66: matrice de confusion pour la classification 1984.....  | 136 |

Tableau 67: matrice de confusion pour la classification de 1999 ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 68: Estimation des périodes de retour des débits de pointe avant et après les changements ..... 141

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Les risques naturels (inondations, séismes, feux de forêts, glissements de terrain...) se produisent aujourd'hui d'une manière fréquente à travers tout le globe terrestre, menaçant en permanence l'existence humaine et provoquant des dégâts matériels immenses, ce qui constitue un véritable handicap pour les opérations de développement.

L'Algérie fait partie des pays confrontés aux effets néfastes de certaines de ces catastrophes naturelles, notamment celles liées aux événements d'origine météorologique, tels que les inondations et les feux de forêts.

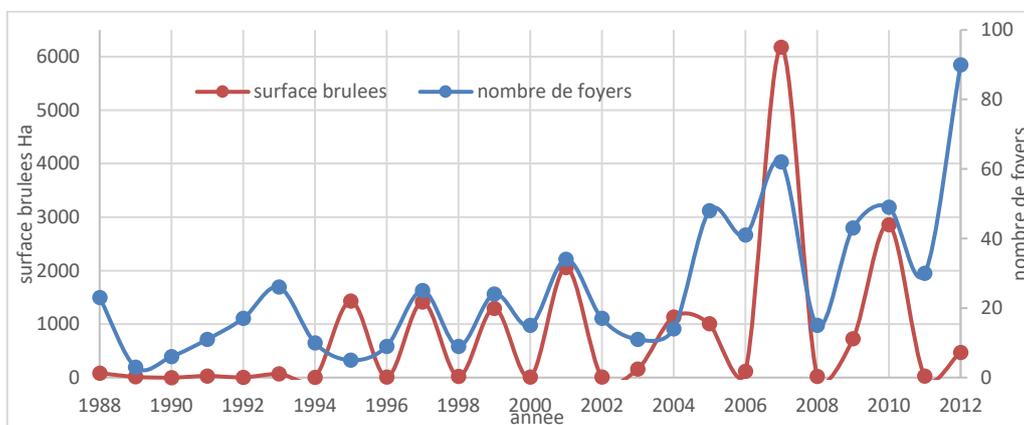
Ces catastrophes sont considérées comme des risques majeurs à cause de leurs fréquences dans l'espace. Plusieurs régions de notre pays (Skikda, Annaba, Constantine, Batna, Alger) en ont souffert dans les années précédentes.

La ville de Batna se situe dans Le bassin versant d'Oued El Gourzi dans une dépression naturelle (cuvette) dont les altitudes maximales ne dépassent pas les 1200 m, entourée de montagnes, facilitant la mobilisation rapide des écoulements. Cette position la rend vulnérable à plusieurs risques comme les inondations à la cuvette et les incendies des forêts sur les hautes altitudes.

Les risques naturels pris en compte dans cette étude sont les inondations et les feux des forêts qui sont les plus fréquents dans la zone d'étude.

L'analyse historique des incendies a montré qu'entre 1988 et 2012, 637 incendies de forêt, entre faibles et importants, ont été enregistrés dans la zone d'étude et la plupart de ces incendies sont survenus au Dj Iche Ali, Belazma, et Dj Bouarif. Durant cette période, la superficie exposée aux feux de forêts a atteint 19128 Ha (fig. 1). Notons que la moyenne des superficies incendies par année est 765.14 Ha.

**FIGURE 1: FEUX DES FORETS DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**



Source : Conservation des forêts de la wilaya de Batna, 2015.

Les inondations sont des catastrophes naturelles qui constituent une menace directe sur la vie humaine et causent souvent des pertes économiques Considérables, alors que les inondations des oueds sont causées par les pluies torrentielles, Les incendies de forêt augmentent le facteur de risque auquel les humains et les propriétés sont exposés durant les inondations, en intensifiant et en accélérant le volume maximal de l'eau de débordement (C. Papathanasiou, et al 2015).

Le tableau 1 récapitule quelques inondations qui ont touché la zone d'étude.

**TABEAU 1: DATES ET CONSEQUENCES CERTAINS INONDATIONS DU BASSIN VERSANT DE OUED EL GOURZI**

| Date des inondations | Nombre Des Morts | Nombre de disparus | Nombre de maisons touchées | Nombre de familles touchées | Estimation des pertes                                  |
|----------------------|------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| Janvier 1965         | 04 morts         | /                  | /                          | 2560                        | 4560000.00DA   |
| 09/10/1969           | 27 morts         | /                  | /                          | 7500                        | 49577649.00DA  |
| 26/03/1973           | /                | /                  | /                          | 880                         | 2825545.00 DA  |
| 05/07/1987           | 02 morts         | /                  | 34                         | 167                         | 1755833.00 DA  |
| 13/05/1990           | /                | /                  | 44                         | 89                          | /  |
| 31/08/1997           | /                | /                  | 23                         | 23                          | 62000000.00 DA 03 ponts et 06 km de la route détruites |

Source : Protection civil de la wilaya de Batna

Beaucoup d'études portent sur l'évaluation et l'estimation des conséquences d'un risque donné, mais peu d'entre elles visent les interactions entre les différents risques notamment en Algérie. Cependant, les exemples d'interactions et enchainement qui s'observent après chaque risque sont multiples (incendies suite au séisme de San Francisco en 1906, inondations consécutives à la tempête de fin 1999, etc.). Ceci est d'autant plus vrai en milieu urbain, car les villes constituent des systèmes complexes dynamiques dans les différentes composantes naturelles (eau, air et sol), sociales (population, activités et parmi elles les activités dangereuses...) (Elise B.2006).

Les effets des feux de forêts sur le comportement hydrologique des bassins versants peuvent être classés en effets directs et indirects, à savoir : l'augmentation du ruissellement, l'érosion et les débits de pointe. L'augmentation de la fréquence des crues et la modification de la forme des hydrogrammes de crues ont également été signalées. Plusieurs études ont été réalisées sur les effets des incendies de forêt sur la réponse hydrologique des bassins fluviaux (Imeson et al., 1992, Lavabre et al., 1993, Inbar et al., 1998, Benavides-Solorio et al., 2001, McLin et al., 2001, Rulli et Rosso, 2007, Pierson et al., 2008), soulignant la vulnérabilité accrue des zones en aval aux inondations dues aux terres brûlées en amont.

## **Objectifs de l'étude**

L'idée principale de ce travail est non seulement de combler le vide existant du point de vue scientifique et méthodologique à propos du bassin versant d'Oued El Gourzi, en matière de l'analyse, l'évaluation et l'interaction des risques, mais aussi de contribuer d'une façon concrète à préserver et/ou plutôt à éviter la dégradation de l'économie précaire de la région. En un mot, nous essayons à notre façon d'élever la qualité de vie de la région, en donnant des éléments déterminants qui aideront à sensibiliser la population de la nature et de l'ampleur des risques qui l'entourent et qui la menacent constamment.

Les principaux objectifs de cette recherche peuvent se résumer ainsi :

- 1-** Identifier, localiser, et caractériser les aléas naturels pouvant engendrer des risques aux personnes et aux biens dans le bassin versant d'Oued El Gourzi.
- 2-** Créer des cartes des risques naturels du bassin versant d'Oued El Gourzi.
- 3-** Faire l'analyse multirisque dans le bassin versant d'Oued El Gourzi.
- 4-** Etudier les changements dans la réponse hydrologique notamment les inondations d'un bassin versant à la suite d'un incendie de forêt et de développer un cadre méthodologique qui soutiendra la redéfinition des paramètres hydrologiques après l'incendie de forêt.

Structurellement, ce travail est divisé en deux parties : la première partie est une présentation de la zone d'étude à plusieurs façons naturelles, urbanistiques et climatiques pour une bonne connaissance de la région et ceci dans le but d'analyser et d'évaluer les risques naturels existants.

La deuxième partie est dédiée à l'analyse et l'évaluation des risques dans notre zone d'étude, la création des différentes cartes des risques à l'échelle du bassin versant et au niveau de la ville de Batna. Elle se termine par l'analyse multirisques et leurs interactions avec les risques étudiés dans le bassin versant d'Oued el Gourzi. Elle traite donc la problématique étudiée à l'échelle du bassin.

# *Partie 1*

*Aspect Physique, Analyse  
socio-économique et étude  
climatique*

# *Chapitre I*

*Aspect Physique*

## I. Chapitre I : Aspect Physique

### Introduction :

Ce chapitre présent le cadre physique général indispensable pour compréhension des interactions entre le milieu physique du bassin, sa mise en valeur naturels et les conséquences environnementales potentielles pouvant en découler.

### I.2. Situation géographique du bassin versant d'Oued El Gourzi :

Le bassin versant d'Oued El Gourzi est situé dans la wilaya de Batna à l'est d'Algérie, avec une superficie de 299.72 km<sup>2</sup>, c'est la partie amant du sous bassin Sebket EZ-zemoul (03-07) du grand bassin versant des hauts plateaux constantinois code 07 (fig.2).

Le bassin versant d'Oued El Gourzi est localisée entre 6°21'14,76" - 6°02'00" de longitude Est, 35°36'38,84" - 35°25'00" de latitude Nord (fig.2), par rapport aux systèmes de projection UTM (WGS 84).

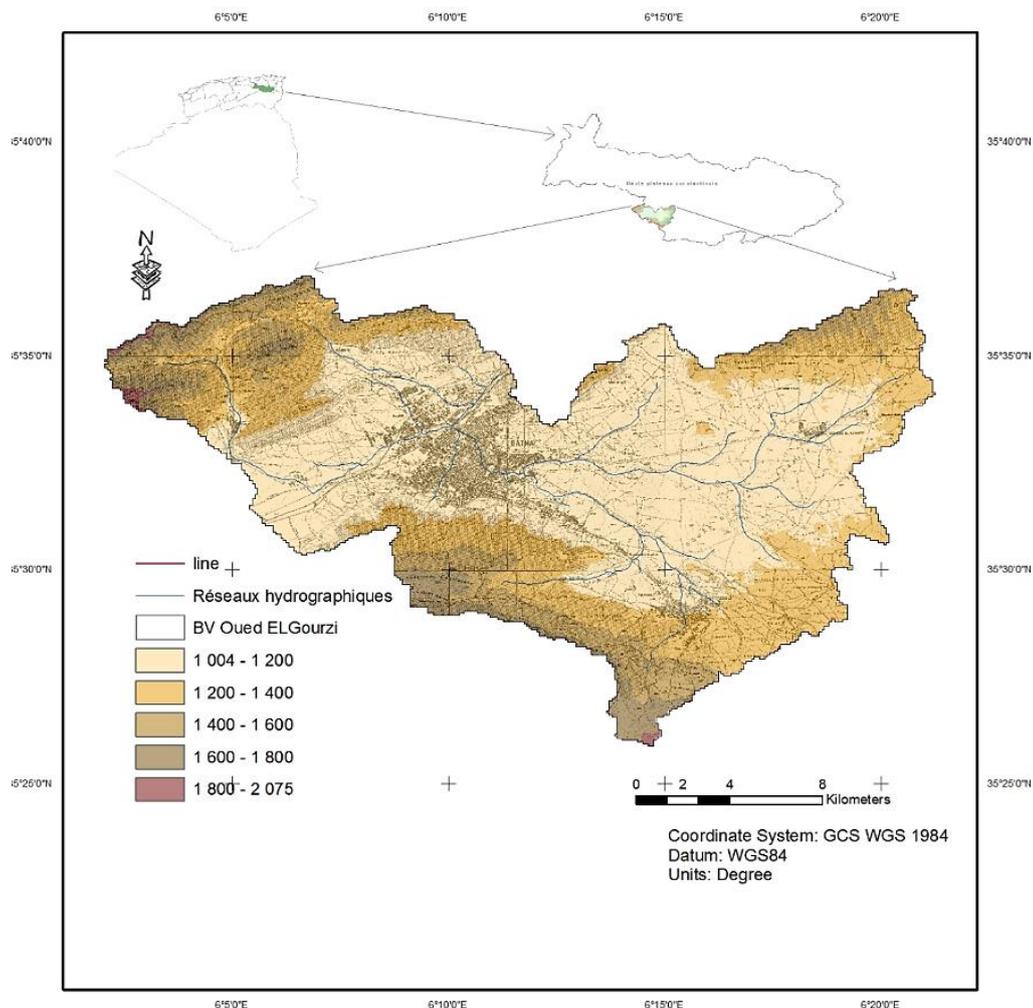


FIGURE 2: CARTE DE LOCALISATION DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI

La ville de Batna est située dans le bassin versant d'Oued El Gourzi dans une dépression naturelle (cuvette) d'une hauteur maximale de plus de 1200 m, (bella, 2013) composée des Djebels Tarhabit, Kasrou, Ich Ali ainsi qu'un certain nombre de Koudiet à l'Ouest. Ce statut en fait un passage obligatoire pour toutes les eaux qui tombent dans les bassins versants de la région.

### **I.3. Les Grandes Unités Topographiques :**

#### **I.3.1 Les Altitudes :**

##### **I.3.1.1 Les Montagnes :**

Selon les cartes topographiques 1/50 000 de Batna Est, Batna Ouest, Arris Est et Arris Ouest les montagnes observées se distinguent par des altitudes (fig.03), et d'expositions particulières:

##### **- Au Nord :**

Il y a Dj Boumerzoug, à 1692 m d'altitude, et Dj Kassrou (1641 m), les deux montagnes ont une exposition Sud-est.

##### **- Au Nord- Est :**

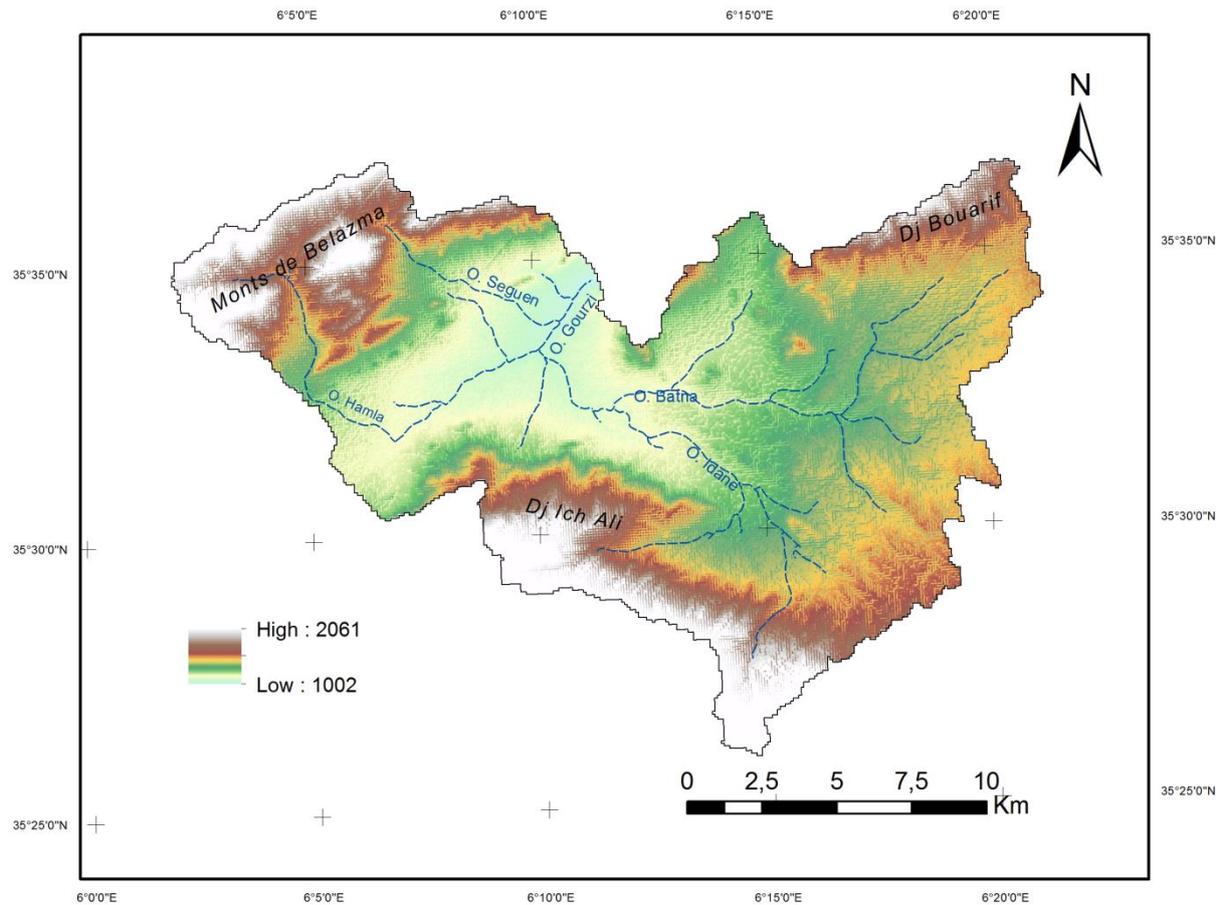
Cette partie est occupée par Dj Azzab, à 1365 mètres d'altitude, et Dj Bouarif (1584 m), avec une exposition d'est en sud.

##### **- Dans la partie Ouest :**

On cite Dj Tugurt (2089 m) et Dj Boukezzazà 1442 m, ces deux montagnes sont exposées vers le Sud-est.

##### **- Au sud :**

Il existe Dj Ich Ali dont l'altitude est d'environ 1800 m avec une exposition au Nord.



**FIGURE 3: CARTE DES ALTITUDES DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**

### I.3.1.2 Les piedmonts :

Ils sont situés entre les plaines et les montagnes, et sont des surfaces d'accumulation à pente douce et régulière (fig.03).

### I.3.1.3 Les Plaines :

La plaine de Batna est caractérisée par une grande étendue allongée, d'est en ouest, et une plaine montagneuse entourée au sud par Dj Ich Ali, à l'Est par Dj Azzab, DJ Bouarif et Dj Boumerzoug et Kassrou au Nord et Dj Belezma à l'Ouest, Ces altitudes ne dépassent pas 1200 mètres.

### I.3.2 Les Pentes :

La pente joue un rôle majeur dans l'écoulement, elle permet donc de choisir les zones à risque d'inondation.

A partir de la carte des pentes (fig.4) et le (tab.02), les catégories suivantes ont été déterminées :

#### I.3.2.1 Classe 1 : de 0 à 3% :

Qui occupe une superficie de 80.28 kilomètres carrés (26,80%) du bassin versant, et caractérise la partie centrale de l'impluvium, et cette légère pente contribue à la stagnation de l'eau qui produit le problème des crues.

#### **I.3.2.2 Classe 2 : de 3 à 12.5% :**

Elle caractérise la zone des piedmonts avec sa superficie de 119.15 km<sup>2</sup> de la surface totale soit un pourcentage de 39.74%.

#### **I.3.2.3 Classe 3 : de 12.5 à 25% :**

Occupe lui-même une très grande superficie de 58.53 km<sup>2</sup> de la surface totale du bassin versant avec un pourcentage de 19.52%. Cette pente caractérise les zones de moyenne altitude.

#### **I.3.2.4 Classe 4 : de 25 à 35% :**

Il s'agit d'une classe de pentes très importante qui coïncide avec des altitudes plus élevées, avec une superficie de 22.91 km<sup>2</sup> ou 19,52% de la surface totale du bassin versant.

#### **I.3.2.5 Classe 5 : plus de 35% :**

C'est la classe des pentes très importantes qui coïncident avec les hautes altitudes, notamment les monts de Belazma, elle présente 18.86 km<sup>2</sup> soit 6.29% de la surface totale du bassin versant.

**TABLEAU 2: REPARTITION DES PENTES DANS LE BASSIN VERSANT**

| Classe des pentes | Surface occupée (km <sup>2</sup> ) | Pourcentage (%) |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|
| 0 – 3 %           | 80.28                              | 26.80           |
| 3 – 12.5 %        | 119.15                             | 39.74           |
| 12.5 – 25 %       | 58.53                              | 19.52           |
| 25 – 35 %         | 22.91                              | 7.64            |
| > 35 %            | 18.86                              | 6.29            |

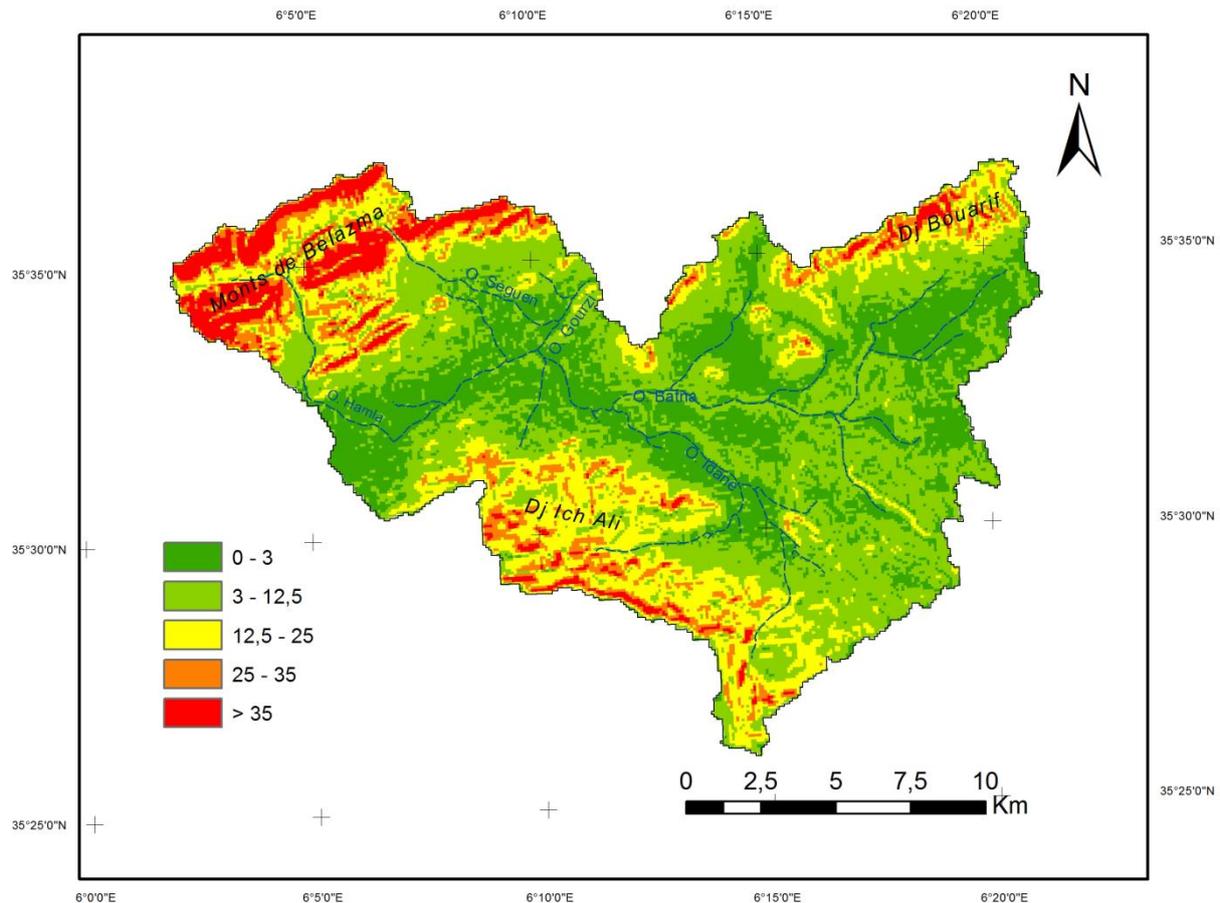


FIGURE 4: CARTE DES PENTES DU BASSIN VERSANT OUED EL GOURZI

### I.3.3 Exposition générale :

L'exposition est l'un des principaux et importants facteurs topo-climatique affectant la répartition de la végétation. En effet le versant exposé au Nord reçoit plus d'eau et d'humidité que celui exposé au sud, qui reçoit une forte insolation du fait de l'évapotranspiration (Benaiche, 2005).

L'exposition reflète la situation du versant par rapport aux vents dominants, à l'ensoleillement et les précipitations. En effet, elle joue également un rôle indirect sur l'évolution du feu. Sur les versants exposés aux vents, la propagation est différente de celles soumises au vent.

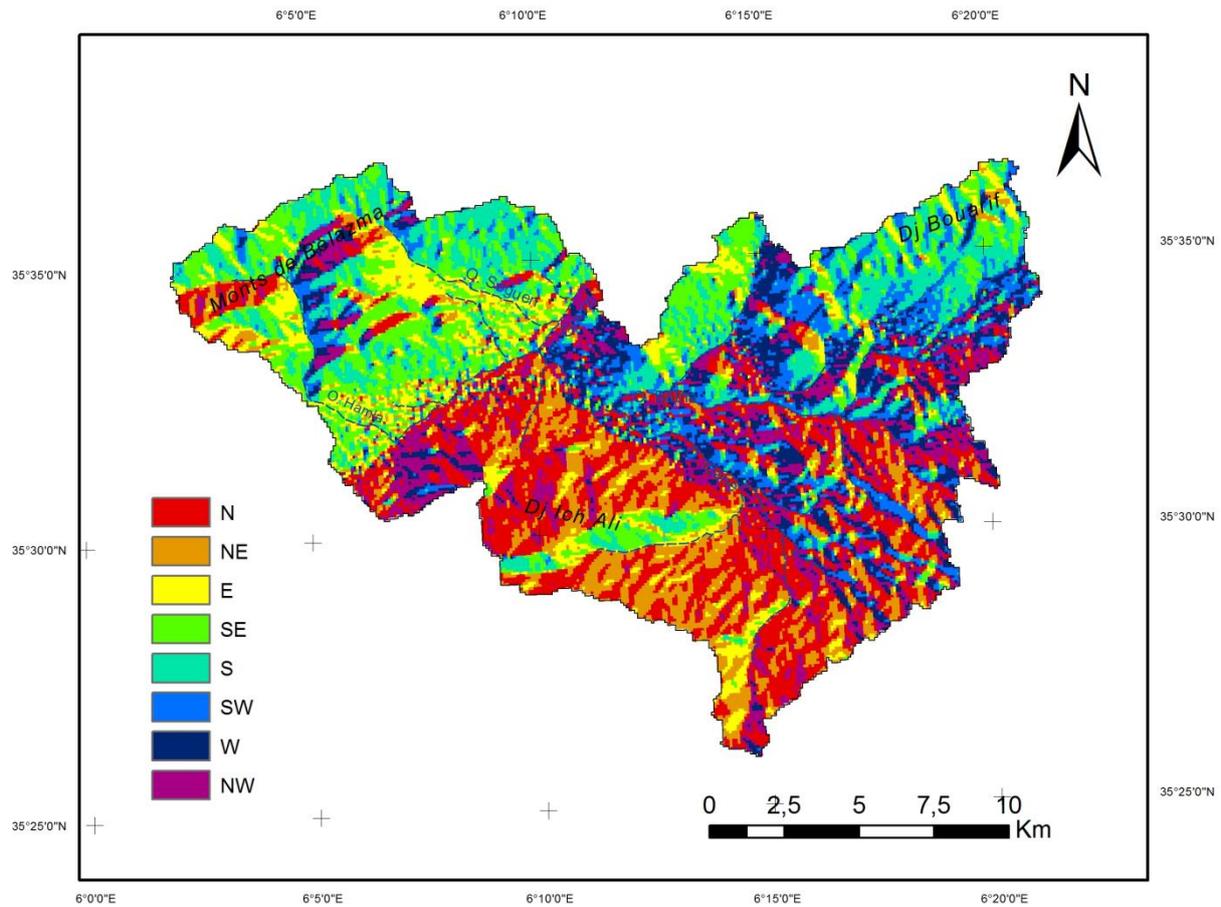


FIGURE 5: CARTE DES EXPOSITIONS DU BASSIN VERSANT OUED EL GOURZI

La carte des expositions du Bassin Versant de l’oued El Gourzi (Fig. 05) et (tab.03), montre plus de 35,37% de surfaces exposées à l’EST, le NORD-EST et le SUD-EST. Les expositions SUD, SUD-EST et SUD-OUEST constituent 40,05% de la surface totale du bassin. Les expositions favorables aux précipitations, (OUEST et NORD) représentent plus de 38 % de la superficie totale de la zone d’étude.

TABLEAU 3: REPARTITION DES DIFFERENTES EXPOSITIONS

| Exposition | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Pourcentage (%) |
|------------|-------------------------------|-----------------|
| Nord       | 54.38                         | 18,14           |
| Nord-est   | 39.41                         | 13,14           |
| Est        | 29.30                         | 9,77            |
| Sud-est    | 40.33                         | 13,45           |
| Sud        | 48.34                         | 16,15           |
| Sud-ouest  | 31.33                         | 10,45           |
| Ouest      | 23.62                         | 7,88            |
| Nord-ouest | 33.02                         | 11,02           |

**I.4 La Géologie :**

La géologie joue un rôle très important dans la détermination de l'influence de différentes caractéristiques physiographiques (Fig. 06), et cette géologie affecte à la fois l'écoulement de surface et l'écoulement souterrain.

**I.4.1 La Stratigraphie :**

La zone d'étude est constituée des formations litho stratigraphiques suivantes :

**I.4.1.1 Le Trias :**

Il apparaît sous forme ponctuelle à Dj Tugurt, Dj Boumerzoug, le trias est caractérisé par des formations lithologiques argileuses, marneuses, des sels et du gypse (Laffite, 1939).

**I.4.1.2 Le jurassique :****I.4.1.2.1 La jurassique inferieure :**

Constitué de marnes et de calcaires riches en fossiles, il s'affleure dans la partie Nord du bassin versant à Dj Tugurt, Dj Boumerzoug et Dj Kassrou (Laffite, 1939).

**I.4.1.2.2 Le jurassique moyen :**

Il est également présent dans les parties nord de l'impluvium, avec des formations lithologiques de calcaire, de marne et de marne grise (Laffite, 1939).

**I.4.1.2.3 Le jurassique supérieur :**

Il se compose principalement de calcaire, de marne, de calcaire alterné, de marne, et de dolomite (Laffite, 1939).

**I.4.1.3 Crétacé :**

Le Crétacé constitue les terrains les plus développés, il affleure largement dans les monts de Belezma-Batna, en constituant une série concordante où tous les étages sont représentés (Laffite, 1939) qui se divise en :

**I.4.1.3.1 Crétacé inférieure :**

Il apparaît au nord de l'impluvium au Dj Enza, Dj Tarkat, Dj Tugurt et Dj Bouarif au Nord-est.

Le crétacé inférieur se compose de beaucoup de formations lithologiques telles que : calcaire, marne, grès et marne riche en fossiles.

**I.4.1.3.2 Crétacé moyen :**

Il occupe une superficie assez vaste, il affleure à Dj Meghoua et Dj Kassrou au nord, et Dj Ich Ali, Dj Boughzala au sud (Laffite, 1939).

Les formations de cétaqués moyens sont principalement constituées de calcaire-marne, de dolomite, de marne et de gypse.

**I.4.1.4 Le Miocène :**

Elle comporte plusieurs ensembles lithostratigraphiques (Laffite, 1939), qui se divise en :

**I.4.1.4.1 Miocène supérieure :**

Il apparait dans la partie Est du bassin versant et se caractérise par des formations lithologiques tendres telles que l'argile, les marnes multi couleurs et les sables.

**I.4.1.4.2 Miocène inférieure :**

Le miocène inférieur se compose de nombreux pointements diapiriques nombreux à Dj Tugurt, Dj Meghoua et Theniet el Markouna. Il est caractérisé par conglomérats, des argiles, des marnes bleu et vert et du calcaire.

**I.4.1.5 Le Quaternaire :**

Qui occupe la plaine du Batna avec une très grande superficie, le quaternaire est constitué des alluvions, des éboulis, de l'argile, du sable, de Glacis et, des croutes calcaireuses.

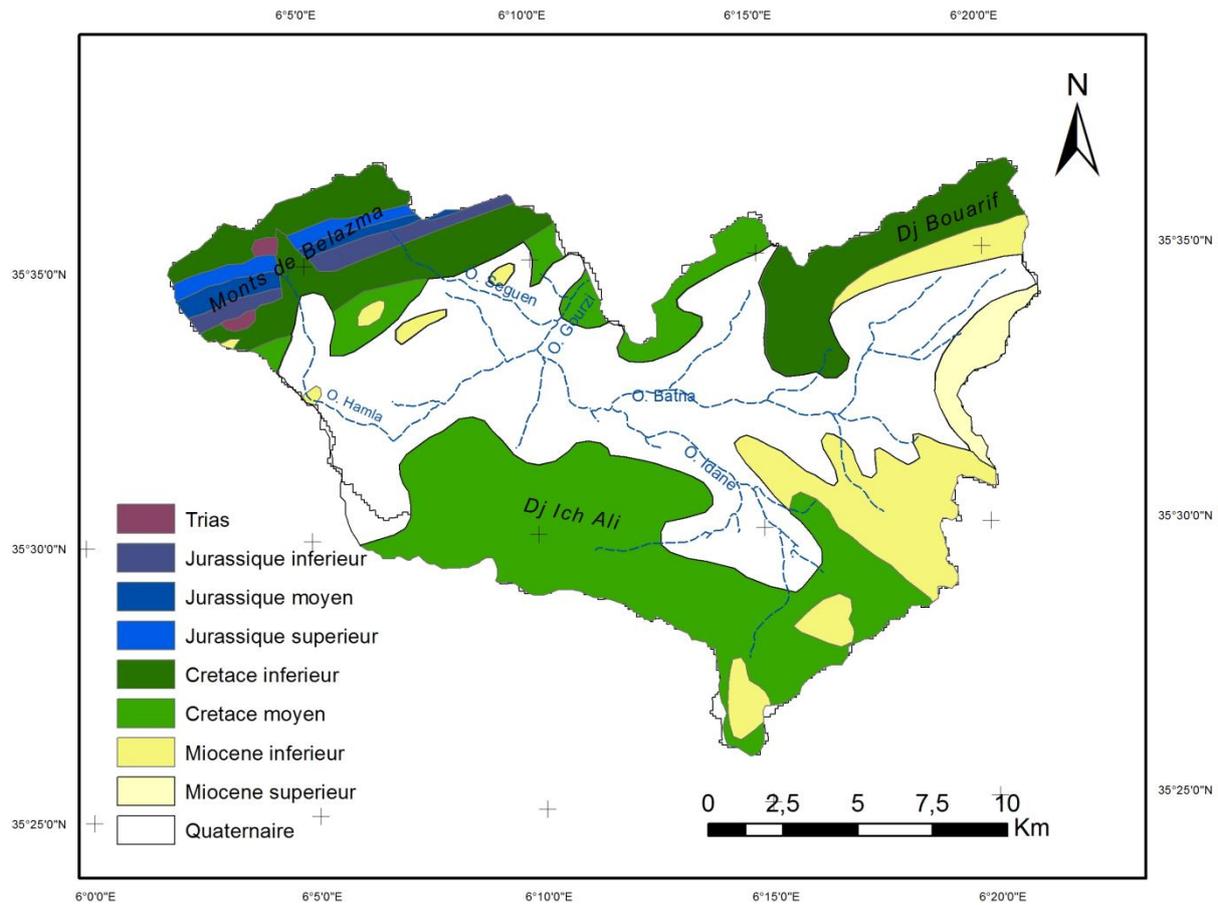


FIGURE 6: CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI

## I.5 La lithologie :

On peut distinguer les formations lithologiques suivantes (fig.07) :

### I.5.1 Le calcaire :

Il présente plus de 40% des formations lithologiques du bassin et on peut différencier entre le calcaire dolomitique et le calcaire-marne.

Ces types de formations résistent à l'érosion, et ces formations apparaissent dans les régions nord-ouest de Dj Kassrou, Tugurt, Boumerzoug et les zones sud du bassin dans le Dj Ich Ali.

### I.5.2 La marne :

Offrant 6,5% de formations, cette formation peut être trouvée en alternance de calcaire ou semble isolée surtout dans les parties nord-est et sud du bassin versant.

La marne est une formation très fragile qui permet le développement du réseau hydrographique.

### I.5.3 Les Grés :

À 15.5%, les grés apparaissent dans les zones Nord-est.

### I.5.4 Le gypse :

Qui présente 0.5 %, ce type apparait dans les chaines Kassrou dans Nord en forme ponctuelle.

### I.5.5 Formations du quaternaire :

Ces formations apparaissent à 36,5% en terrasses et plaines fluviales, Ce sont des éboulis, dépôts fluviaux, calcareuses...

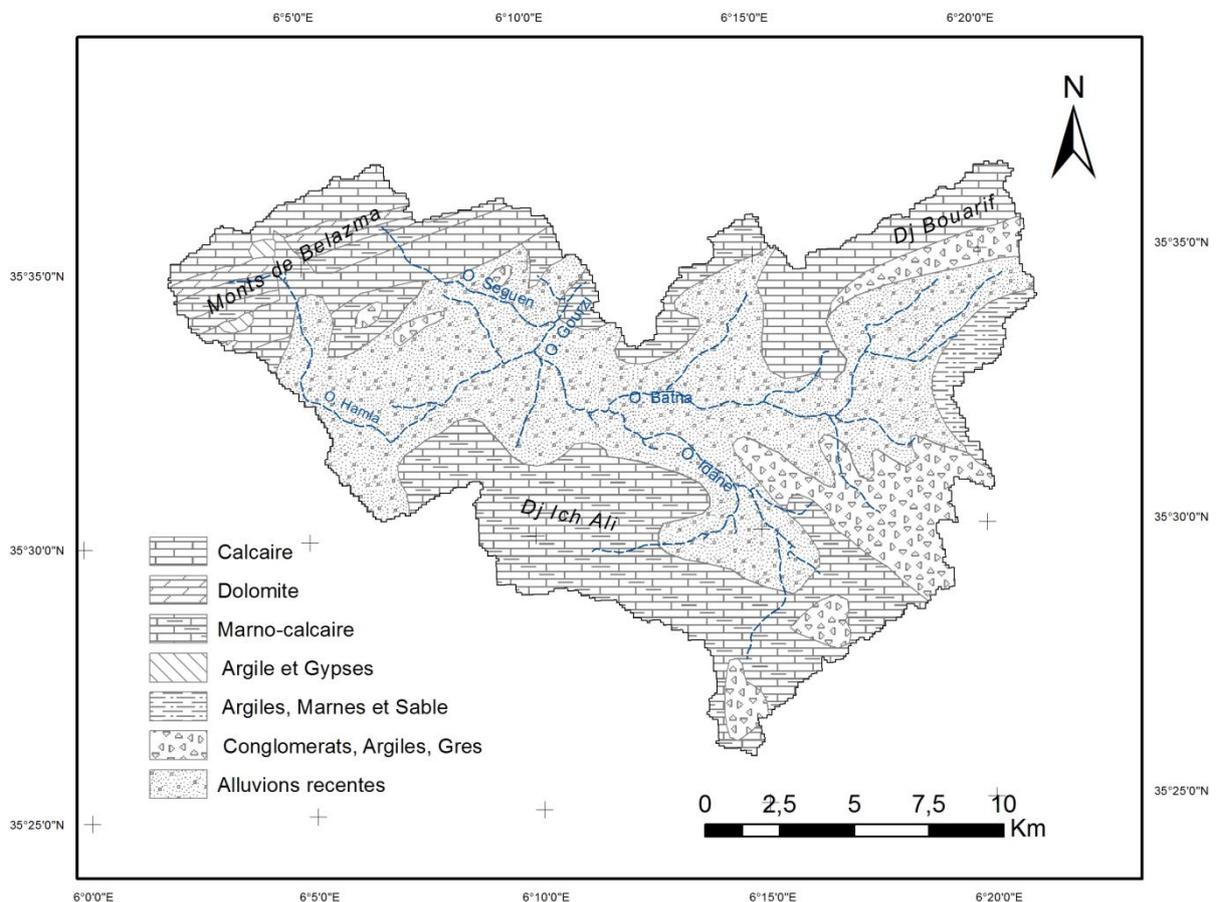


FIGURE 7: CARTE LITHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI

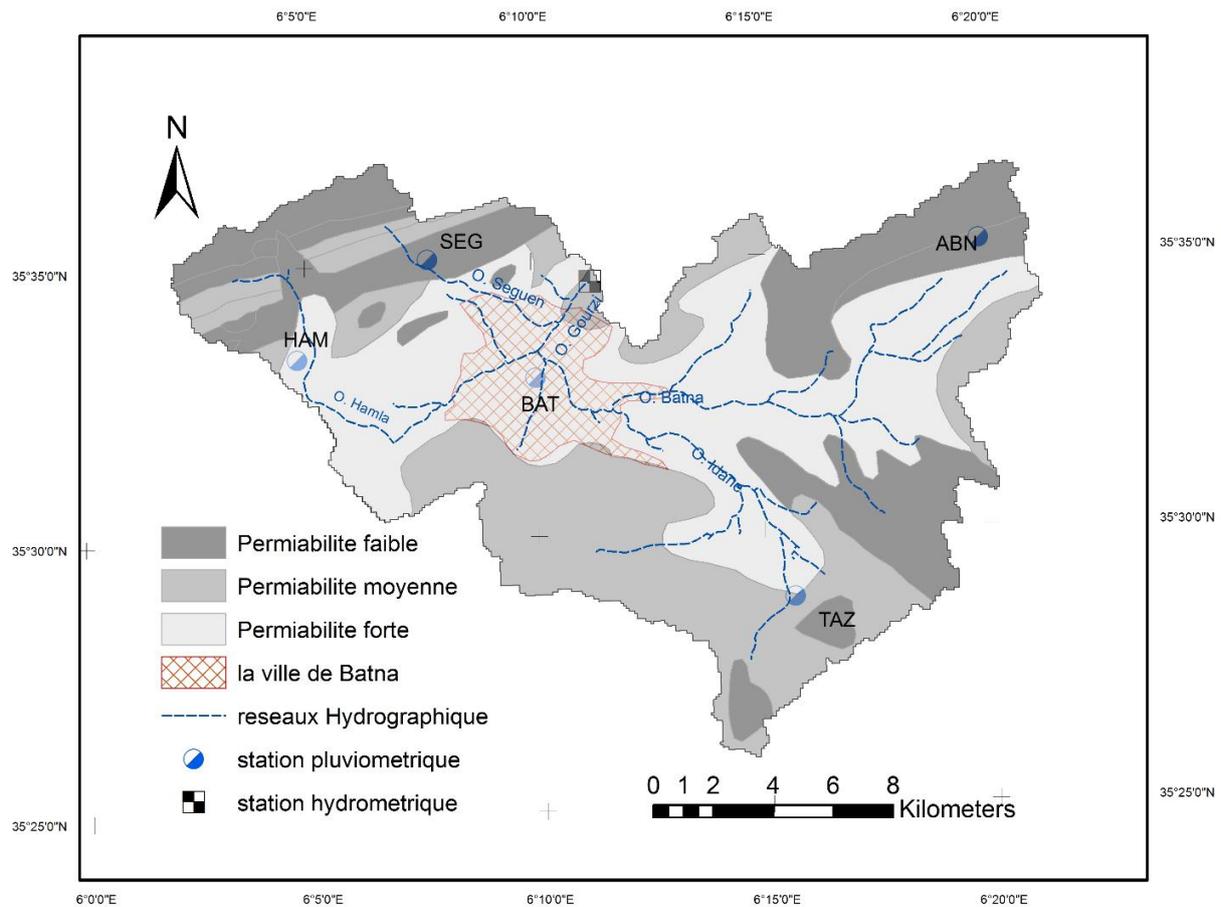
## I.6 La perméabilité :

La perméabilité est très importante dans l'étude des écoulements et du dimensionnement de certains ouvrages hydrauliques, dont les terrains imperméables provoquent des écoulements très importants par rapport à une faible perméabilité.

Le résultat de l'analyse de la carte lithologique et de la perméabilité est enregistré dans le tableau suivant :

**TABLEAU 4: REPARTITION DE LA PERMEABILITE DANS LE BASSIN VERSANT**

| Formation   | Perméabilité    | Surface (km <sup>2</sup> ) | Surface (%) |
|---|-----------------|----------------------------|-------------|
| -Alluvions récentes (éboulis, graviers...)  | Perméables      | 104.88                     | 34.98       |
| - Calcaire-marne.<br>- alternance du calcaire et la marne.<br>- Conglomérats, argiles et grés.<br>- Grés. | Semi perméables | 92.38                      | 30.84       |
| - Dolomite.<br>- Argile, gypse.<br>- Calcaire.<br>- Surface bâti.   | Imperméables    | 102.46                     | 34.17       |

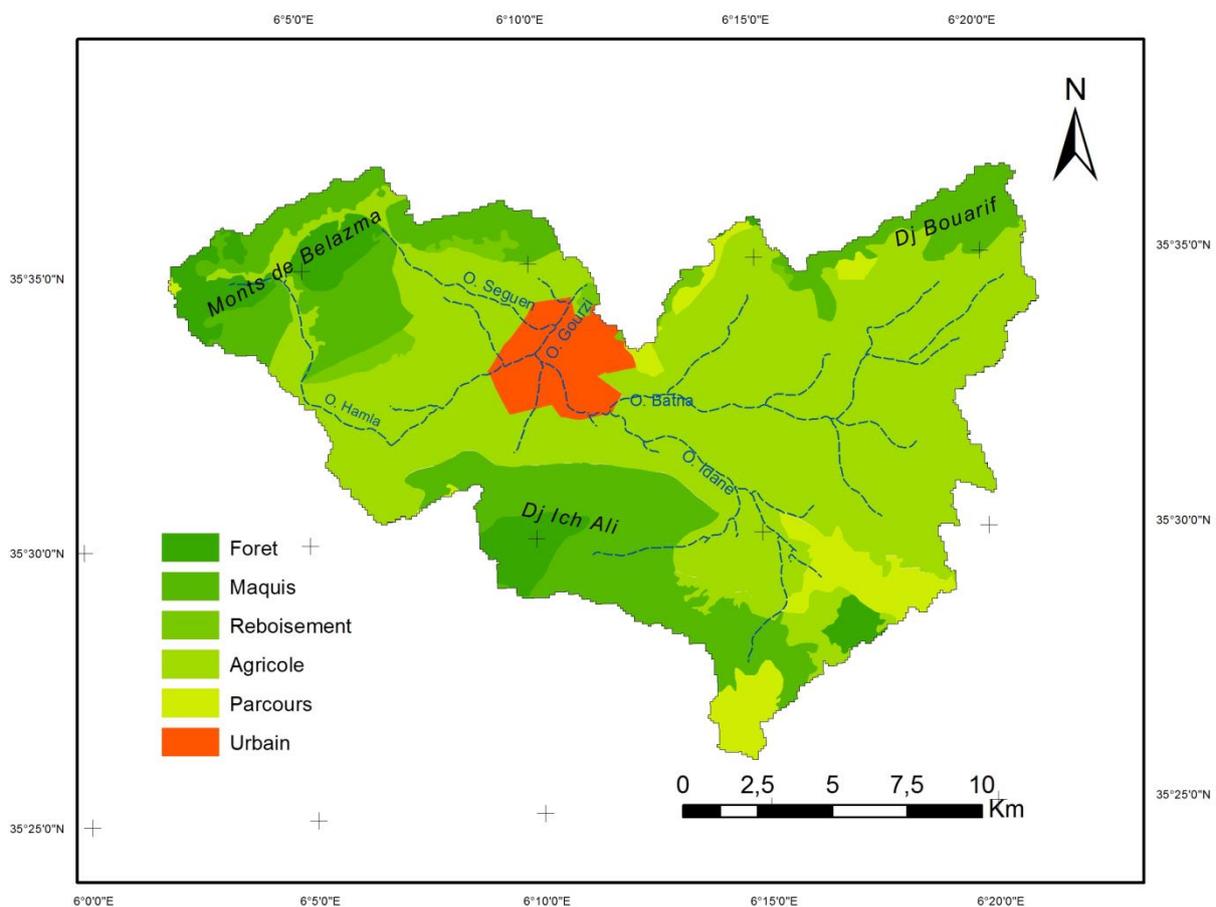


**FIGURE 8: CARTE DES PERMEABILITES DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**

## I.7 Le couvert végétal :

La couverture spatiale joue un rôle majeur dans le risque en particulier :

- Certaines formations végétales sont plus sensibles aux feux des forêts: les maquis et garrigues sont plus vulnérables que les zones nettement forestières.
- Les inondations forestières ont un impact particulier sur le cycle de l'eau. Pendant une averse, elles interceptent et retiennent un pourcentage important des pluies dans le feuillage. En outre, elles produisent des sols poreux et filtrants, qui peuvent stocker de grandes quantités et favoriser l'infiltration. Selon le CEMAGREF, le couvert forestier peut ralentir l'écoulement d'eau.



**FIGURE 9: CARTE D'OCCUPATION DE SOL DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**

D'après la carte d'occupation des sols (Fig. 09) et (Tab. 05), nous pouvons identifier les principales espèces végétales du bassin de l'Oued el Gourzi :

### I.7.1 Le Pin d'Alep :

Ce type occupe une grande partie du dj Ich Ali au sud et dj Belazma au Nord. Le pin d'Alep occupe des superficies assez importantes.

**I.7.2 Le Cèdre :**

Situé au Nord du bassin versant dans les monts de Belezma avec un faible taux d'occupation.

**I.7.3 Les Maquis :**

Occupent une superficie de 38.78% Km<sup>2</sup>, et est situé dans les parties ouest, nord et sud du bassin versant.

**I.7.4 Les Céréales :**

Elles occupent 56% de la surface totale du bassin versant, et on peut distinguer le blé de l'orge.

Il existe également des espèces dégradées telles que le genévrier et le chêne vert.

**TABLEAU 5: REPARTITION DE L'OCCUPATION DE SOL DANS LE BASSIN VERSANT**

| Occupation   | Surface (km <sup>2</sup> ) | Surface (%) |
|--------------|----------------------------|-------------|
| Foret        | 18.17                      | 6,06        |
| Maquis dense | 61.29                      | 20,44       |
| Maquis clair | 10.22                      | 3,41        |
| Reboisement  | 4.92                       | 1,64        |
| Agriculture  | 167.82                     | 55,97       |
| Parcours     | 16.32                      | 5,48        |
| Urbain       | 20.99                      | 7,00        |

**I.8 Les caractéristiques géométriques :**

L'objectif de la morphométrie, qui sera obtenue à l'aide de cet élément est de calculer les indices physico-géographiques du bassin versant, pour mieux comprendre le système hydrologique et la dynamique des matériaux, tout en interprétant les résultats des indices.

La caractérisation géométrique d'un bassin versant peut être traitée à l'aide de certains indices caractéristique et quantitatifs. Ces indices nécessitent d'abord la connaissance et la mesure de deux paramètres de base qui sont essentiels dans ce cas, la superficie du bassin versant et son périmètre.

Le bassin versant a été déterminé en compilant des cartes topographiques de Batna EST, Batna Ouest, Arris Est et Arris Ouest à l'échelle de 1/50.000 et avec les MNT de la zone d'étude.

La superficie du bassin versant est une dimension importante, qui doit être connue car elle est à la base de tous les calculs hydrologiques. La mesure de cette surface suppose d'abord la délimitation du bassin par la ligne de partage des eaux.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 06 :

**TABLEAU 6: TABLEAU RECAPITULATIF DES PARAMETRES MORPHO METRIQUES DU BV**

| Paramètre                    | Symbole  | Unités             | Valeurs |
|------------------------------|----------|--------------------|---------|
| Superficie du BV             | S        | Km <sup>2</sup>    | 299.72  |
| Périmètre                    | P        | Km                 | 99.52   |
| Indice de compacité          | KC       | -                  | 1.58    |
| Rectangle Équivalent         | Longueur | L                  | 42.19   |
|                              | Largeur  | L                  | 7.28    |
| Altitude maximale            | Hmax     | m                  | 2090    |
| Altitude minimale            | Hmin     | m                  | 991     |
| Altitude H5%                 | H5%      | m                  | 1635    |
| Altitude H95%                | H95%     | m                  | 1075    |
| Indice de pente de roche     | Ipr      | -                  | 0.14    |
| Indice de pente globale      | Ig       | m/km               | 13.27   |
| Dénivelée spécifique         | Ds       | m                  | 232.73  |
| Longueur du talweg principal | Lp       | Km                 | 5.2     |
| Densité de drainage          | Dd       | Km/km <sup>2</sup> | 2.32    |
| Coefficient de torrentialité | Ct       | -                  | 6.26    |
| Temps de concentration       | Tc       | Heure              | 3.18    |
| Vitesse de concentration     | Vc       | Km/h               | 1.63    |

### **I.9 Le réseau hydrographique et le système d'écoulement :**

Le réseau hydrographique a un rôle d'organisateur d'écoulement à l'intérieur du bassin versant et contrôle la quantité de pluie évacuée, il influe sur l'évolution des crues notamment lors de pluies torrentielles, et sa densité est influencée par des facteurs naturels tels que : la topographie, la nature de la roche et le couvert végétal.

Le bassin versant de Batna se présente sous la forme d'un réseau hydrographique dense qui tire son écoulement des montagnes et s'écoule dans les ravineaux pour se terminer dans les oueds principaux : Oued Tazoult, Oued Bouadane, Oued Azzeb, Oued Seguen et enfin Oued Batna (fig.10).

### **I.9.1 Système d'écoulement :**

#### **I.9.1.1 Oued Tazoult :**

Dérive de la ligne de partage des eaux à une altitude de 1592 m à haute densité, s'écoulant sur une pente raide, ce qui augmente la vitesse de sa concentration et permet la formation des ravineaux et des cours d'eau déversant d'une façon perpendiculaire dans oued Tazoult se jette directement dans l'oued principal de la ville de Batna (fig.10).

#### **I.9.1.2 Oued Azzeb et Oued Bouadane :**

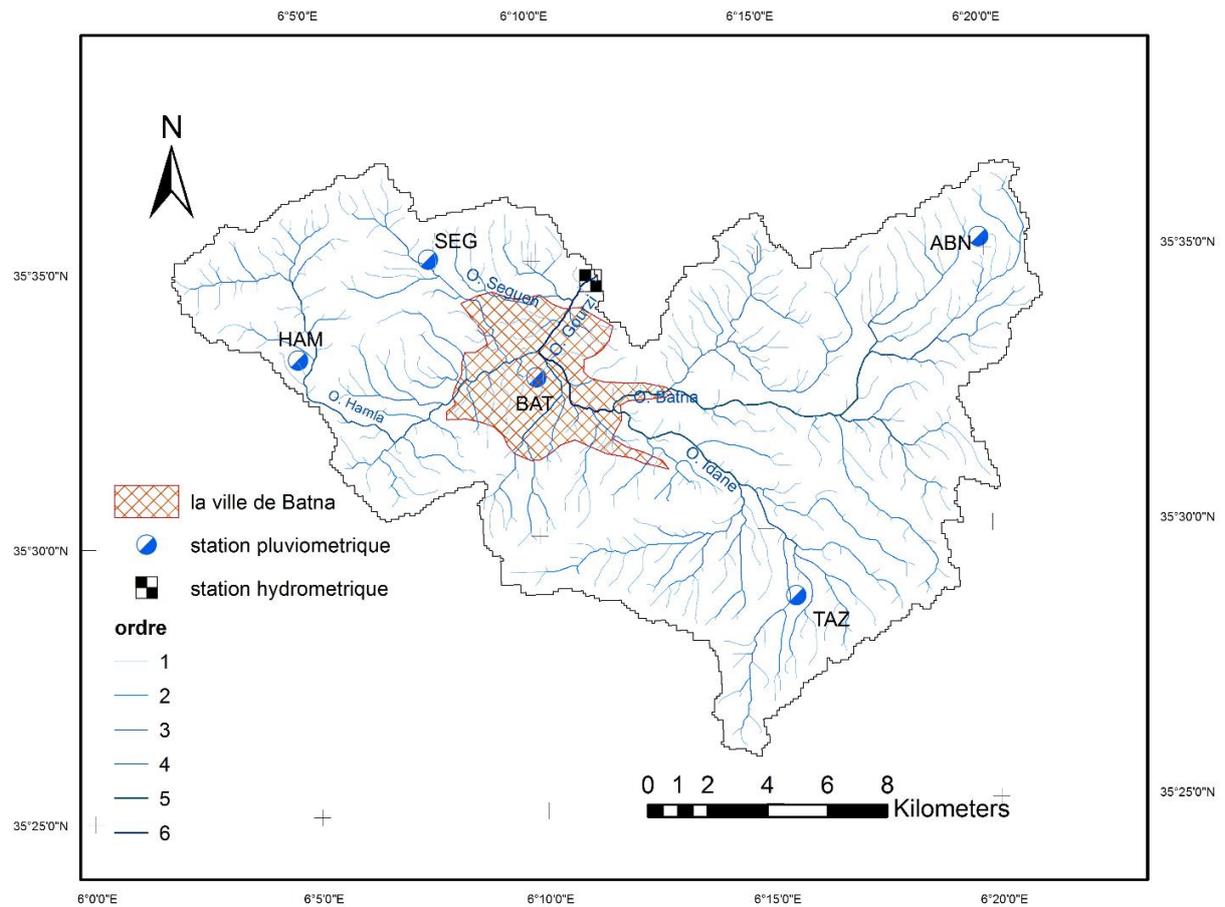
Ils dérivent de la ligne de partage des eaux du Dj Azzeb et Dj Mafla respectivement à une altitude de 1236m et 1646m, ce qui reflète la concentration de l'écoulement due à la forte pente où le réseau hydrographique est dense. La convergence des deux oueds dans un seul point forme l'oued de Batna qui traverse la ville du côté Nord-ouest (fig.10).

#### **I.9.1.3 Oued Seguen :**

Prend son débit à une altitude de 1792m de Dj Boumerzoug, où le débit est important lors des pluies torrentielles, et la dénivelée entre la crête et la plaine est importante et permet une augmentation de la vitesse de concentration des eaux.

#### **I.9.1.4 Oued Hamla :**

Se découle de la ligne de partage des eaux du Dj Belezma à une altitude supérieure de 1900m, où la pente est forte. Ceci permet la concentration des eaux dans la direction de la ville de Batna.



**FIGURE 10: CARTE DE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT D’OUED EL GOURZI**

Tous les oueds mentionnés déversent dans l’oued Gourzi, dans le tissu urbain de la ville de Batna (fig.10).

### **Conclusion**

Les paramètres physiques sont essentiels pour étudier les risques naturels, en particulier les inondations et les feux des forêts.

Le Bassin Versant de l'oued El Gourzi occupe une superficie de (299.72 km<sup>2</sup>), caractérisée par une topographie dominée par deux catégories d'altitudes et de pentes : la première occupe les altitudes de moins de 1200m et des pentes de moins de 3%, la seconde est que les hautes altitudes constituent environ 50% de la zone d'étude, et la pente dans cette classe est relativement de moyenne à forte.

L'impluvium de la ville de Batna se nourrit de quatre oueds dont oued el Gourzi forme le cours d'eau principal qui draine ces eaux vers chott de Gadain.

Le Bassin versant de l'oued el Gourzi est doté de couverture végétale riche composée principalement de forêts, de maquis, de parcours, et de reboisement avec un taux de recouvrement végétal (couverture végétale) estimé à 35%.

Tous ces facteurs ont un impact majeur sur l'accélération des risques naturels, notamment les inondations et les feux de forêt.

# ***Chapitre II***

*Analyse socio-économique*

## II. Chapitre II : Analyse Socio-économique.

### Introduction

La ville de Batna est l'une des nombreuses régions du pays menacées par les risques naturels, notamment les inondations et les feux de forêts, qui ne sont pas toujours dus à des conditions hydrométéorologiques exceptionnelles. D'autres facteurs sont liés à la nature du bassin versant, à l'organisation du tissu urbain et surtout aux actions humaines qui exacerbent les effets des risques.

Le développement spatio-temporel de la ville de Batna a traversé deux périodes bien distinctes : l'une coloniale et l'autre est celle de l'indépendance.

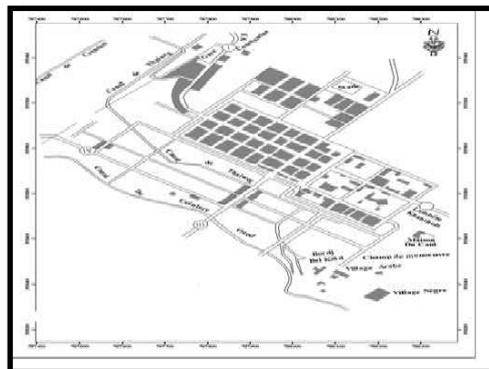
### II.2 La période coloniale :

#### II.2.1 Période 1844-1923 : « la fondation de la ville »

Le fondateur de la ville de Batna est le colonel "Buffalo" en 1844 sur un terrain marécageux. Au départ, l'objectif était de construire un camp militaire connu sous le nom de "Batna". Le camp était entouré d'un mur perforé de quatre portes.

Le terrain d'implantation était choisi pour son emplacement stratégique qui permettrait de contrôler l'ensemble de la région des Aurès et de sécuriser la route sud de Biskra. Le tracé du CAMP militaire est marqué par l'intersection de deux axes perpendiculaires Est –Ouest et Nord-Sud (fig.11).

La première garnison a été construite à Batna à l'intérieur d'un camp fortifié qui abritait la caserne : ateliers ; L'hôpital ... Le camp a été installé à côté de la l'Oued "Batna", qui la longe d'est en ouest sans la traverser.



Source : PDAU 1998

FIGURE 11: LE NOYAU COLONIAL

## II.2.2 Période 1848-1923 :

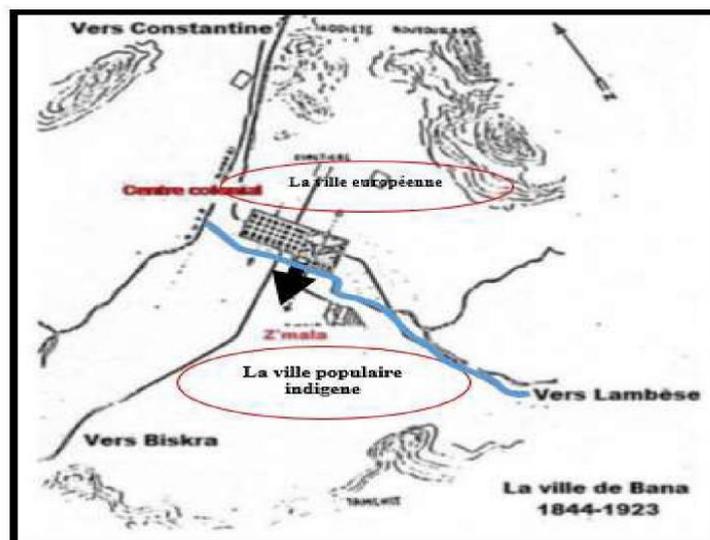
### « Structure de la ville civile et ses extensions à l'intérieur des remparts »

La première extension est la création de la ville civile à l'Ouest du CAMP, cette ville de type colonial est caractérisée par un plan en damier structuré suivant deux axes principaux, dont l'un est le prolongement de l'axe Est-Ouest du camp militaire défini par la route Constantine – Biskra, et l'autre perpendiculaire au premier, qui est l'axe Nord-Sud défini par l'autre route Sétif –Khenchela (fig.12).

La ville européenne a été construite à l'intérieur des remparts et il y avait suffisamment de places pour l'arrivée de nouveaux colons. Sa construction a pris du temps, il a fallu de nombreuses années pour qu'elle soit rempli de construction.

Au même moment l'apparition Sud-Est de la ville européenne du premier noyau de constructions populaires (indigènes) pas trop éloigné de la ville coloniale. Ce noyau, sous le nom de Z'mala, est séparé de la ville par l'Oued Gourzi, sur l'emplacement du «village nègre» (Mammri Nourredine, 2011).

Le village nègre n'existe plus aujourd'hui, le quartier de Z'mala, occupe son espace petit à petit jusqu'à sa disparition totale. Z'mala est la prémisse des constructions populaires à Batna. La quête, de la sécurité et du travail chez les colons comme ouvriers ou autre, a créé le noyau de ce quartier, à proximité de la ville coloniale (fig.12).



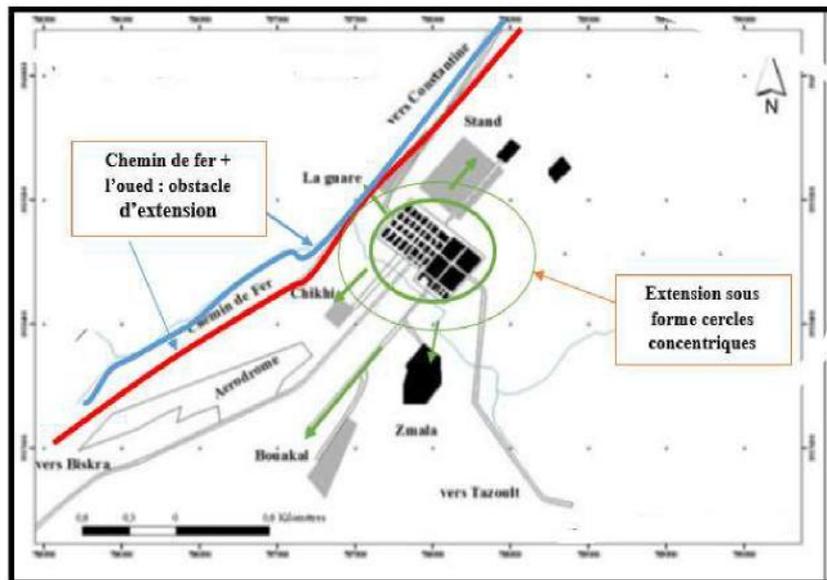
Source : PDAU 1998

FIGURE 12: LE PREMIER QUARTIER POPULAIRE A BATNA

### II.2.3 La période 1923-1945 :

Dans cette période, la ville est devenue un centre de services commerciaux et administratifs. Les colons commençaient à occuper de plus en plus la ville. Ce début de concentrations de la population a provoqué l'éclatement du noyau en trois directions (Tebbi Hafida ; 2011) (fig.13) :

- Nord-est, par le quartier Stand, qui a repris la même trame orthogonale que celle du noyau au long du prolongement de la rue Mously,
- Nord-ouest, par le quartier Fourrière près de la gare.
- Sud-est et Sud-ouest par les premières constructions de deux futurs quartiers de l'agglomération Chikhi et Bouakal. (Ben yahia Rabah ; 2005).



Source : PDAU 1998

FIGURE 13: LA VILLE DE BATNA ENTRE 1923-1945

### II.2.4 La période 1945-1962 :

#### « Création de sites de recasement (Les nouveaux quartiers populaires à Batna) »

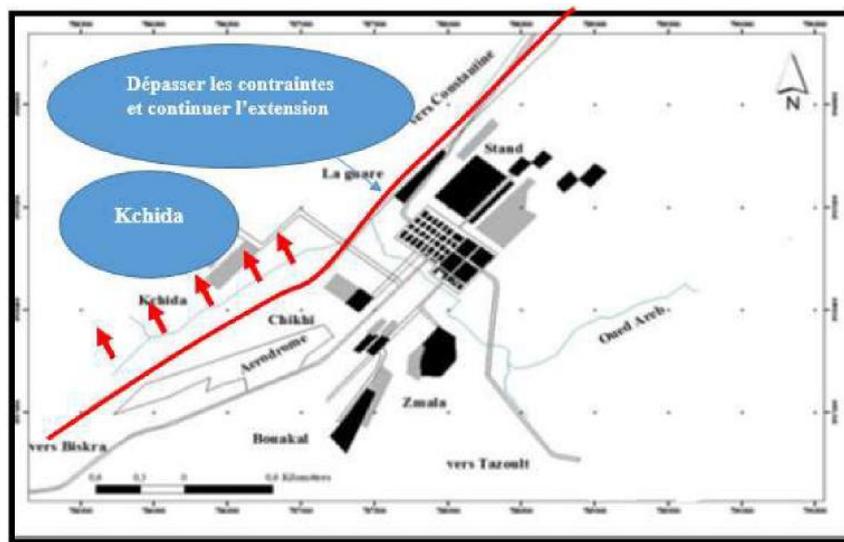
Pendant cette période, et après 1958, la commune de Batna est devenue indépendante du département de Batna, avec une structure administrative. Cette étape de croissance coïncide avec le lancement du plan de Constantine et la guerre de la libération. Sur le plan spatial, cette situation se traduit par les processus suivants :

### - Au Nord (les quartiers Européens) :

L'introduction des immeubles collectifs : 140+40 logts des allées. Cité million 158 logts, et la cité Fourrière 100 logts. A la fin des années 50 le renforcement du potentiel militaire par la construction des casernes au Nord-est du noyau colonial, où se trouve actuellement le sanatorium, sur l'axe reliant le cimetière et le camp (fig.14).

### - Au Sud (les quartiers traditionnels) :

Le regroupement d'une grande partie de la population durant la guerre dans les cités de recasements (il y a eu 03 opérations) : cité Chekhi avec 252 logts, cité évolutive avec 192 logts, cité Kechida avec 260 logts. L'apparition de nouveaux quartiers Kechida à l'Ouest, Parc à forage à l'Est, et l'extension des quartiers traditionnels : Bouakal, Chikhi, Zmala, et la cité évolutive, pour accueillir une population qui est passée de 25 mille en 1949 à 55 mille en 1962, Jusqu' à 1962, et au Sud, les quartiers traditionnels, séparés par des lots de jardins (quartier la verdure) (fig.14).



Source : PDAU 1998

FIGURE 14: LA VILLE DE BATNA ENTRE 1945-1962

## II.3 La période après l'indépendance :

### II.3.1 La période (1962-1978) :

« Peu d'extensions après le départ des européens, programme spécial aux Aurès »

La ville de Batna a bénéficié du programme « spécial Aurès » concernant l'habitat, l'infrastructure et l'équipement, dont le plus important est la création de la zone industrielle (Nord-ouest). Aurès 1968 a lancé une nouvelle dynamique dans tous les secteurs, en

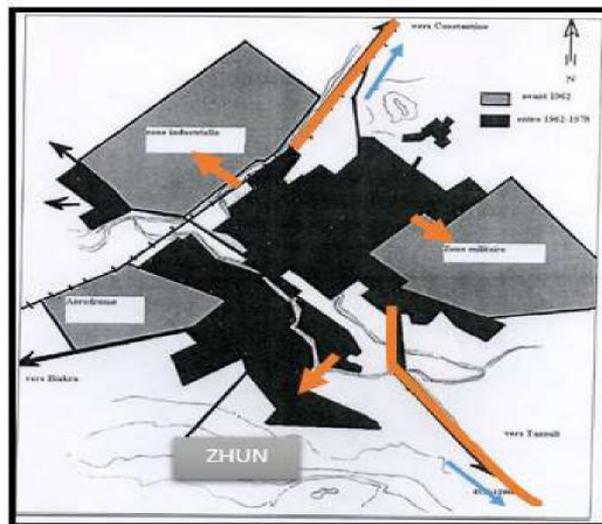
particulier le secteur socio-économique. Ce dernier a provoqué un exode massif vers la ville en raison de la possibilité de trouver un emploi. Cette dynamique urbaine est évidente dans les quartiers Suivants : Bouakal, cité chikhi, parc à forage, Kchida.

Le deuxième fait marquant de cette période est l'élaboration du premier plan d'urbanisme (PUD) en 1978 qui vise à définir les zones d'extension de la ville, non seulement pour prendre en charge la population estimée à 102756 habitants, mais aussi pour contrôler et assurer le développement harmonieux de la ville (fig.15).

- **1er secteur (Nord-est) :** La zone militaire comme étant une réserve foncière à long terme et le quartier parc à forage Comme une extension à court et moyen terme.
- **2ème secteur (Sud-Sud- ouest) :** Le programme du projet en deux zones d'habitat urbaines nouvelles (ZHUN).
- **3ème secteur (Nord – Ouest) :** L'extension orientée de la zone industrielle.

En plus de ces zones d'extensions, le PUD a proposé la réalisation de deux voies d'évitement :

- 1' la première au Sud, en direction de Khenchla
- 1' la deuxième au Nord, contournant l'agglomération en direction de Constantine.



Source : plan d'urbanisme de la ville de Batna 1978 in CADAT 1985 et plan d'urbanisme directeur.

**FIGURE 15: LA VILLE DE BATNA LA PERIODE (1962-1978)**

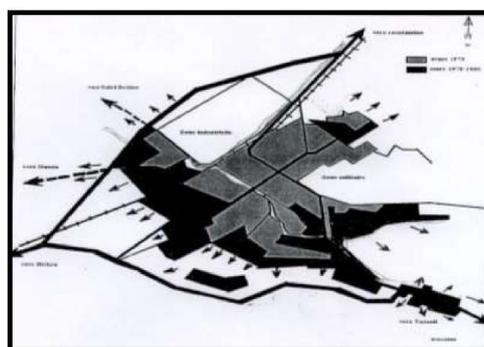
### II.3.2 La période (1978-1984) éclatement de l'agglomération :

La mise en œuvre de certains projets PUD, liés à l'habitat et aux équipements a entraîné un afflux important de personnes à la recherche d'emplois, d'éducation et de services administratifs.

Toutes ces données reflètent une urbanisation anarchique et une explosion de l'agglomération dans toutes les directions. Ainsi, Bouakal, Bouzourane, Kchida, Parc à forage, et Tamachit ont connu une urbanisation étonnante, et les tendances de la DDP se concrétisent par le lancement d'un vaste programme d'habitat collectif et individuel, de coopératives, de lotissements et de ZHUN.

- Habitats individuels : Les lotissements : Kamouni (331 lots), ...
- Habitats collectifs : L'habitat collectif est concentré au niveau ZHUN ...
- ZHUN I : cité 1200 et 1000 logts, cité Sonatiba et 220 logts.
- ZHUN II : cité 64 logts et 72 logts Casorec et 32 éducations, cité police 40 logts, cité 800...

Parallèlement à ce programme d'habitat structuré se développe sous la pression démographique, une urbanisation anarchique dans tous les quartiers périphériques (fig.15) : Bouakal, Parc à forage, Douar Diss, Route de Tazoult, Kechida, Ouled Bechina et Bouzourane à travers la prolifération des constructions individuelles de mauvaise qualité au détriment des terres agricoles et celles prévues pour l'extension futur de l'agglomération (Touati.W,2014). Cette urbanisation anarchique, qui s'est développée beaucoup plus au Sud, a généré l'éclatement et un développement horizontal de la ville dans toutes les directions, favorisant ainsi l'émergence d'ensembles disponibles sans liaisons avec le centre et dépourvus d'équipements de réseaux. Cette croissance désordonnée de la ville a créé une occupation irrationnelle de sol.



Source : PDAU 1998

**FIGURE 16: LA PERIODE (1978-1984) : ECLATEMENT DE L'AGGLOMERATION**

### II.3.3 La période (1984-1996) :

#### « Saturation du tissu urbain »

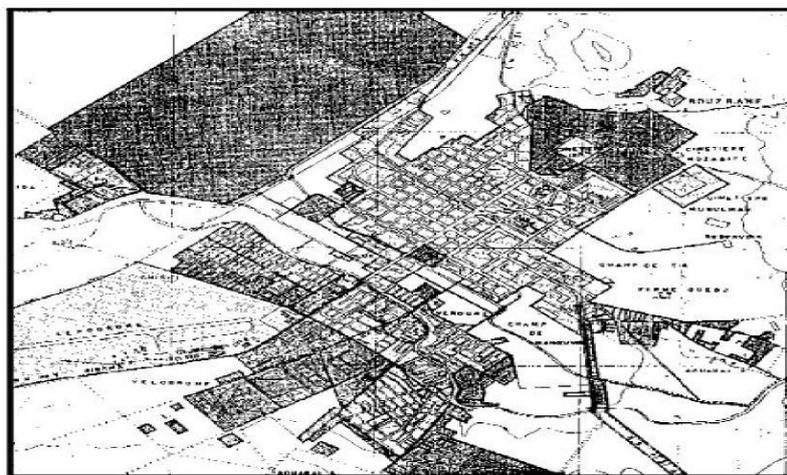
Cette typologie qui s'est étendue à tous les quartiers : Kechida, Bouzourane, Parc à forage, Route de Tazoult, et notamment dans la partie Sud (Tamachit et Bouakal).

La réalisation de toutes ces mesures a coïncidé avec le lancement du deuxième PUD en 1985, qui visait à réorganiser le tissu urbain en rééquilibrant du tissu urbain par le rééquilibrage du schéma d'affectation des sols, ainsi que 04 ZHUN d'une capacité totale de 10230 logts dont 8672 Collectifs ont été proposés, il s'agit de : ZHUN I au Sud, ZHUN II, au Sud-ouest, ZHUN IV, à l'Est (Parc à forage). Seuls les deux premiers ont été retenus.

Dans le PUD de 1985, trois circuits urbains concentriques, circuit interne, moyen, et périphérique, ont été proposés interconnectés par des radiales pour une meilleure fluidité de la circulation. En outre, deux voies d'évitement (Nord et Sud) et des fossés de protection contre les inondations ont été réalisés, aussi que: 3821 logts ont été lancés, et répartis comme suit :

- La promotion immobilière avec 2398 logts
- Les coopératives avec 114 lots.
- Les lotissements avec 1309 logts.

Outre l'occupation des terrains à l'intérieur du tissu urbain, l'urbanisation est bloquée au: Nord-est par la zone militaire, au Sud-ouest par la zone industrielle, et au Nord et au Sud par le relief montagneux de Bouzourane, et Tamachit.



Source : PDAU 1998

FIGURE 17: LA PERIODE (1984-1996) : SATURATION DE L'AGGLOMERATION

### II.3.4 Période 1996- nos jours :

#### « Tissu urbain entre saturation et aménagement »

Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme 1996 avait pour objectif de redonner à la ville une dimension régionale, de valoriser son rôle de ville et d'améliorer la qualité de vie de ses habitants en proposant un cadre pour l'ossature de la partie d'aménagement. Cependant, malgré les orientations ambitieuses du PDAU, la ville de Batna fait face à d'énormes problèmes d'espace nécessaires à son expansion. Cela est dû d'une part à des obstacles physiques tels que le relief montagneux, la zone industrielle, d'autre part, à la problématique du foncier.

En conséquence, l'extension de la ville évolue actuellement dans 3 directions principales :

- **Route de Tazoult** : avec un habitat pavillonnaire.
- **Route de Biskra** : amorcée par la construction d'habitations individuelles en cours de réalisation.
- **Route de Constantine** : à travers Fesdis, Une ville nouvelle est créée, la ville de « Hamla », pour contenir tous les nouveaux programmes de logements et d'équipements. Elle est à l'Ouest de la ville de Batna, et distante de quelques kilomètres de celle-ci, elle est presque un quartier périphérique de la ville de Batna (Maamri. N, 2011).

## II.4 La population :

La ville de Batna, comme toutes les villes algériennes, une forte croissance démographique et ceci est dû à des facteurs très classiques dans notre pays, à savoir:

- La croissance naturelle
- L'exode rural.

### II.4.1 Evolution de la population dans la ville de Batna :

Le tableau 7 et (figure 18) ci-dessous montrent l'évolution de la population de Batna au fil du temps de 1954 à 2010.

**TABLEAU 7: L'EVOLUTION DE LA POPULATION DANS LA VILLE DE BATNA (1954-2010)**

| L'année                   | 1954  | 1966  | 1977   | 1987   | 1998   | 2004   | 2010   |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| La population (Habitants) | 22400 | 55751 | 102756 | 181601 | 242400 | 286725 | 298893 |

Source : DPSB (2010)

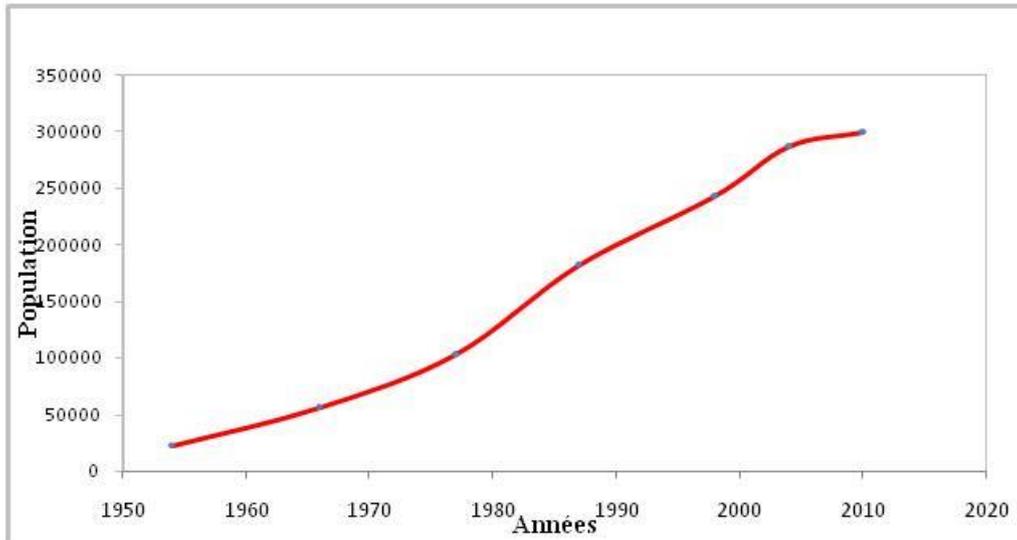


FIGURE 18: EVOLUTION DE LA POPULATION DANS LA VILLE DE BATNA (1954-2010)

#### II.4.2 Prévision de la population dans la ville de Batna :

Les prévisions démographiques à long terme donnent une idée de la relation entre les débits des eaux usées probables et le réseau d'assainissement actuel. Cette étude se retrouve donc dans le volume d'affaires proposé à l'horizon.

Avec :

$$P_n = p_0(1+r)^n$$

Où : P<sub>n</sub>: nombre de population à long terme.

P<sub>0</sub>: nombre de population actuel.

r: taux d'accroissement (2.04).

n: nombre d'année séparant l'année de référence à l'horizon de calcul.

Et les résultats sont affichés dans le tableau suivant :

TABLEAU 8: PREVISION DE LA POPULATION DANS LA VILLE DE BATNA

| Années     | 2010   | 2015   | 2025   | 2035   |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Population | 298893 | 321128 | 392991 | 480936 |

Source : DPSB (2010)

#### II.4.3 Découpage de la ville de Batna en secteurs d'études :

Afin de mieux organiser et clarifier le travail, la ville de BATNA a été divisée en 16 secteurs d'étude (fig.19) et tableau 9, où les critères de la sectorisation sont :

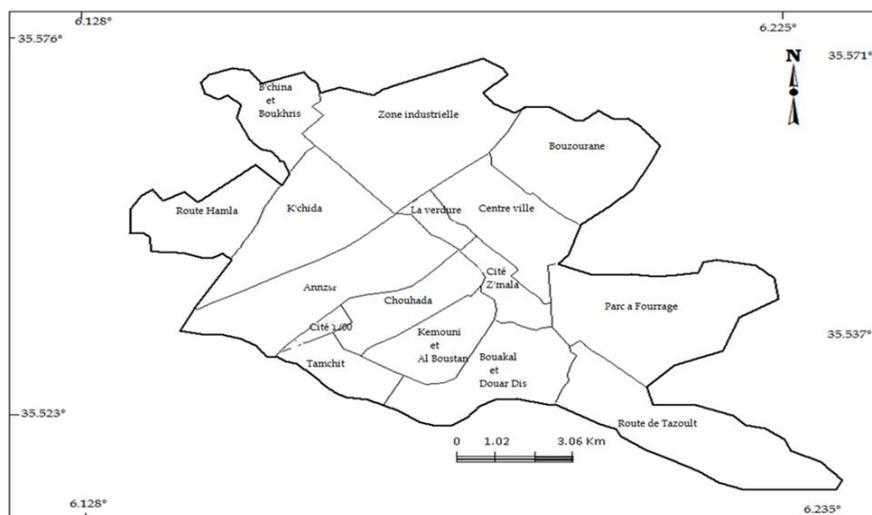
- Répartition spatiale du réseau d'assainissement et leur impact sur l'inondation.
- Les contraintes physiques et les axes principaux.
- Les noms des quartiers.

**II.4.3.1 Sectorisation de la ville et la surface correspondante de chaque secteur :**

**TABLEAU 9: SECTORISATION DE LA VILLE DE BATNA**

| N° | Nom du Secteur        | Superficie (ha) |
|----|-----------------------|-----------------|
| 1  | Route de Tazoult      | 304.8           |
| 2  | 1200 logements        | 16.53           |
| 3  | Cité Chouhada         | 112.9           |
| 4  | Kemmouni + Alboustan  | 115.9           |
| 5  | Route de Hamla        | 148.2           |
| 6  | Cité de Kchida        | 217.4           |
| 7  | Cité de Bouzourane    | 226.5           |
| 8  | Parc à fourrage       | 320.6           |
| 9  | Cité de Z'mala        | 63.8            |
| 10 | Centre-Ville          | 172.4           |
| 11 | B'china + Boukhris    | 120.9           |
| 12 | Cité Annasr           | 265.1           |
| 13 | Tamchit               | 77.5            |
| 14 | Zone Industrielle     | 336.5           |
| 15 | Bouakal + Douar Eddis | 185.5           |
| 16 | La verdure            | 32.79           |

Source : D.P.A.T



**FIGURE 19: SECTORISATION DE LA VILLE DE BATNA**

#### II.4.4 Densité de la population :

La répartition et la densité de la population déterminent l'ampleur de la menace de risques d'inondation, la densité de population variant d'un secteur à l'autre, il est clair qu'il existe une hétérogénéité dans la répartition de la densité (tab.10), là où les secteurs de Tamchit, Bouakal sont les plus denses, suivi par le lotissement Kemmouni, Z'mala, Parc à Fourrage, Alboustan, Kchidaà densité moyenne, et enfin Chouhada, Route de Hamla, Annasr, Centre-ville, Bouzourane, 1200 logements, Route de Tazout et la Zone Industrielle de faible à très faible densité.

**TABLEAU 10: LA REPARTITION DE LA POPULATION ET DENSITE PAR SECTEURS.**

| N° | Nom du Secteur        | Superficie (ha) | Population | Densité (hab/ha) |
|----|-----------------------|-----------------|------------|------------------|
| 1  | Route de Tazoult      | 304.8           | 9972       | 32.71            |
| 2  | 1200 logements        | 16.53           | 1190       | 72.00            |
| 3  | Cité Chouhada         | 112.9           | 10811      | 95.75            |
| 4  | Kemmouni + Alboustan  | 115.9           | 12604      | 163.29           |
| 5  | Route de Hamla        | 148.2           | 11782      | 79.50            |
| 6  | Cité de Kchida        | 217.4           | 25598      | 117.74           |
| 7  | Cité de Bouzourane    | 226.5           | 13524      | 59.70            |
| 8  | Parc à fourrage       | 320.6           | 45240      | 141.11           |
| 9  | Cité de Z'mala        | 63.8            | 10070      | 157.83           |
| 10 | Centre-Ville          | 172.4           | 15390      | 89.27            |
| 11 | B'china + Boukhris    | 120.9           | 9938       | 82.20            |
| 12 | Cité Annasr           | 265.1           | 21131      | 70.73            |
| 13 | Tamchit               | 77.5            | 27560      | 355.61           |
| 14 | Zone Industrielle     | 336.5           | 1132       | 3.36             |
| 15 | Bouakal + Douar Eddis | 185.5           | 5698       | 304.03           |
| 16 | La verdure            | 32.79           | 2380       | 72.58            |

Source : RGPH 2008.

#### II.4.5 Estimation de la population par secteurs aux horizons 2015 et 2030 :

TABLEAU 11: PREVISION DE LA POPULATION PAR SECTEUR

| Taux d'accroissement = 1.32 |                      |                      |                   |                   |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| N°                          | Nom du Secteur       | La population (2008) | Estimation (2015) | Estimation (2030) |
| 1                           | Route de Tazoult     | 9972                 | 10930             | 13303             |
| 2                           | 1200 logements       | 1190                 | 1304              | 1587              |
| 3                           | Cité Chouhada        | 10811                | 11850             | 14422             |
| 4                           | Kemmouni, Alboustan  | 18926                | 20746             | 25255             |
| 5                           | Rout de Hamla        | 11782                | 12914             | 15717             |
| 6                           | Cité de Kchida       | 25598                | 28058             | 34148             |
| 7                           | Cité de Bouzourane   | 13524                | 14824             | 18041             |
| 8                           | Parc à fourrage      | 45240                | 49589             | 60369             |
| 9                           | Cité de Z'mala       | 10070                | 11038             | 13433             |
| 10                          | Centre-Ville         | 15390                | 16869             | 20530             |
| 11                          | B'china + Boukhris   | 9938                 | 10893             | 13257             |
| 12                          | Cité Annasr          | 21131                | 23162             | 28189             |
| 13                          | Tamchit              | 27560                | 30209             | 36765             |
| 14                          | Zone Industrielle    | 1132                 | 1241              | 1510              |
| 15                          | Bouakal, Douar Eddis | 56398                | 61818             | 75235             |
| 16                          | La verdure           | 2380                 | 2609              | 3176              |

Source : RGPH 2008

#### II.5 L'Habitat :

La croissance démographique de Batna est logiquement suivie d'une croissance rapide du parc immobilier, due à des facteurs très classiques tels que :

- La développement de quartiers insalubres.
- Apparition de constructions anarchiques.
- Le non-respect des normes d'urbanisme.

**II.5.1 Evolution du parc de logements (1966 – 2008) :****TABLEAU 12: EVOLUTION DU PARC LOGEMENTS (1966-2008).**

| Année               | 1966 | 1977  | 1987  | 1998  | 2005  | 2008  |
|---------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nombre de Logements | 9111 | 15376 | 27082 | 43917 | 47917 | 70140 |
| T.O. L              | 7.5  | 7.6   | 7.8   | 6.7   | 6     | 4.26  |

Source : ONS+DPAT (2009).

L'urbanisation rapide que connaît la ville crée un grand besoin de logements et d'approvisionnement en eau, notamment avec la construction de nouveaux pôles d'habitation (Hamla 1,2, et 3). Le taux d'occupation du logement reste relativement élevé.

**II.5.2 Typologie d'habitat :**

La croissance progressive de Batna après plusieurs étapes s'est traduite par une typologie d'habitat très diversifiée entre collectif et individuel, et ces types de logement conviennent à trois types de tissus :

**- Le noyau central :**

- Le centre-ville qui est caractérisé par l'habitat de type colonial, se distingue par une texture homogène du point de vue urbain et architectural.
- Les quartiers traditionnels (z'mala, cité chiki) caractérisés par l'habitat individuel.

**- Le tissu périphérique très hétérogène :**

Il se compose des quartiers de Bouakal, Kechida, Route de Tazoult, Bouzourane, Chouhada, qui se caractérisent par la prédominance de l'habitat individuel, à partir des villas aux constructions individuelles de mauvaise qualité, et la plupart de ces constructions appartiennent à l'urbanisation anarchique. Cette typologie qui s'est étendue à certains quartiers, était à l'origine de tous les problèmes d'agglomération, notamment le problème de l'eau, en particulier l'éruption de nombreux foyers des MTH.

**- Le tissu des zones d'habitats urbains nouvelles (ZHUN1 et ZHUN2) :**

Représentant le programme d'habitat collectif, individuel, et les équipements d'accompagnement (figure 20).

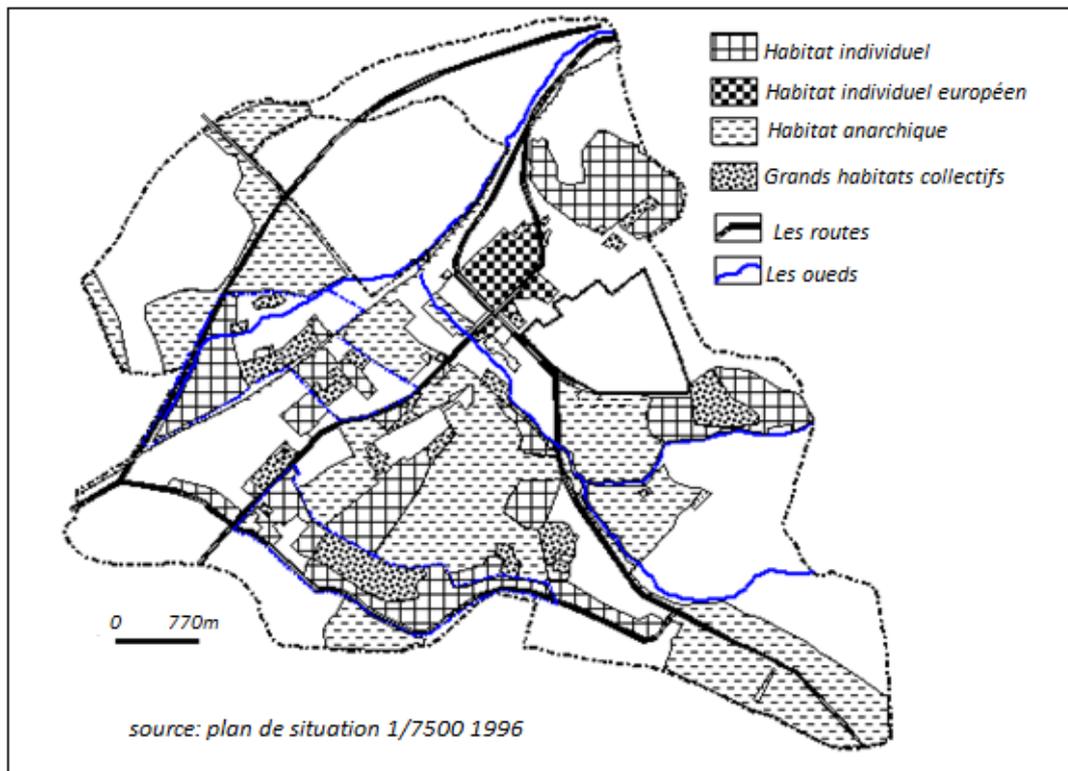


FIGURE 20: TISSU DES ZONES D’HABITATS

**II.6 Equipements :**

Les équipements sont un facteur important dans l'architecture d'une ville, ils sont des éléments de la composition urbaine.

La ville de Batna bénéficie d’une concentration d’équipements de différents types d’équipements, représentés par de solides équipements éducatifs, sanitaires et industriels, etc.

Ces équipements sont :

**II.6.1 Equipements éducatifs :**

TABLEAU 13: : LES EQUIPEMENTS EDUCATIFS

| Etablissement        | Nombre | Taux d'occupation |
|----------------------|--------|-------------------|
| CFA                  | 5      | 2200              |
| Université           | 1      | 46502             |
| Primaire             | 65     | 36682             |
| CEM                  | 23     | 22256             |
| Lycée + tec          | 23     | 14839             |
| Cités universitaires | 16     | 25279             |
| Ecoles religieuses   | 43     |                   |

Source : PDAU Batna 2005-2009

**II.6.2 Les Equipements sanitaires :****TABLEAU 14: LES EQUIPEMENTS SANITAIRES**

| Etablissement     | Nombre | Taux d'occupation |
|-------------------|--------|-------------------|
| Hôpitaux          | 4      | 963               |
| Cliniques         | 3      | ---               |
| Centre sanitaires | 3      | ---               |
| Salle de soin     | 4      | ---               |
| Polycliniques     | 10     | ---               |
| Unité de soin     | 9      | ---               |

Source : PDAU Batna 2005 -2009

**II.6.3 Les Equipements industriels :**

Le secteur industriel s'est développé dans la ville de Batna depuis les années 1960, en particulier dans le secteur public, et atteint aujourd'hui un nombre relativement important d'unités industrielles auxquelles le secteur privé participe largement.

**TABLEAU 15: LES EQUIPEMENTS INDUSTRIELS**

| Etablissement         | Etablissement            |
|-----------------------|--------------------------|
| ENIPEC                | Emballage métallique     |
| COTITEX               | ECOTEC                   |
| ORAVIE                | SERUB                    |
| ORALAIT               | SIDER                    |
| Abattoir              | Imprimerie (Guerfi)      |
| SNTR                  | TUDOR (batterie)         |
| ENB (bouteille à gaz) | Entr - filtres à l'huile |
| ECOTEX                | EPRE                     |

Source : PDAU 1998

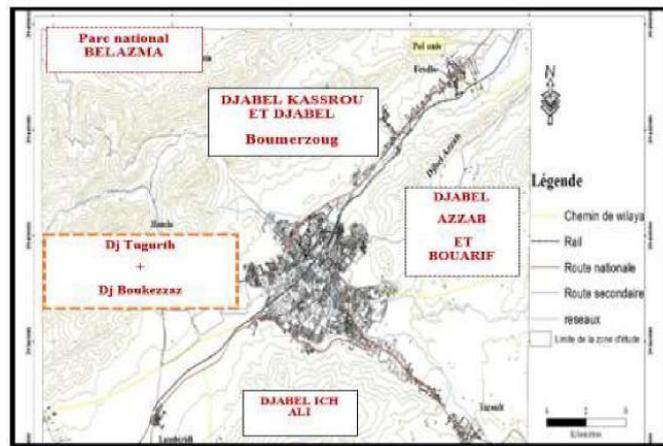
La zone industrielle regroupe un grand nombre d'activités, mais a connu la fermeture de quelques unités de production, et la diversification de la production est notable (pièces mécaniques, filtres et batteries, industrie alimentaire et transformation du lait).

**II.7 Les obstacles naturels :**

La ville de Batna a connu deux obstacles naturels qui empêchent l'expansion et provoquent des risques naturels associés à ce phénomène

**II.7.1 Montagnes et forêts :**

La ville de Batna est entourée de zones montagneuses qui dirigent la ville vers trois couloirs d'extension et lui donnent la forme d'un triangle.

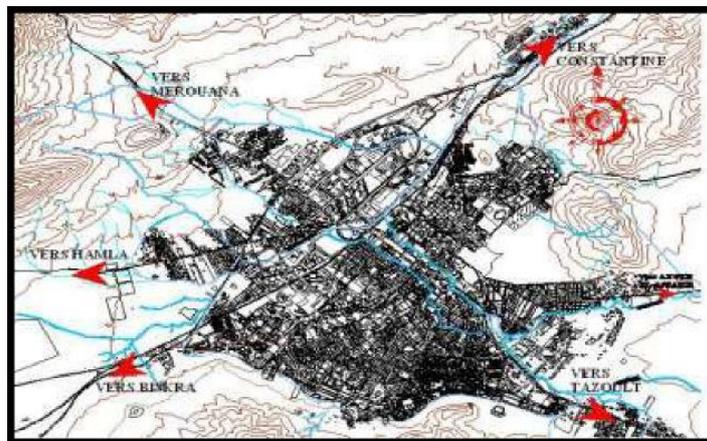


Source : SCU, 2009

**FIGURE 21: LES OBSTACLES NATURELS (MONTAGNES)**

**II. Les Oueds :**

Les plus influents sont Oued Azzeb et Oued Bouaidene qui s'élèvent des hauteurs de l'Est de la ville. Puis leurs eaux rencontrent les eaux de pluies à l'est C'est la traversée de la ville à travers deux canaux. Ils se rencontrent dans l'Oued Gourzi qui reste le seul accumulant naturel de tous les oueds de l'impluvium de la ville de Batna.



Source : SCU ,2009

**Figure 22: les obstacles naturels (les oueds de la ville de Batna)**

**Conclusion**

La ville de Batna a connu une forte croissance démographique avec une répartition hétérogène de la densité par secteur, suivie d'une croissance dans l'habitat et les équipements, Cette croissance a un impact direct sur les risques naturels, notamment les inondations et les incendies de forêt.

Initialement, la ville de Batna était située dans une zone dépressive où les oueds se rencontrent et forment une zone de confluence.

La ville connaît actuellement un développement (extension) très important vers les piémonts et les montagnes.

Cette situation est très favorable à l'apparition d'inondations et même d'incendies de forêt, et ceci est dû à la présence de problèmes dans la zone d'alea.

# *Chapitre III*

*Étude climatique*

### III. Chapitre III : Etude climatique

#### Introduction :

Toute l'étude climatique repose sur la collecte de données. La quantité et la qualité de ces derniers déterminent les résultats obtenus. Pour accomplir nos travaux, nous avons étudié les paramètres climatiques de cinq stations situées dans la zone d'étude (Fig. 23).

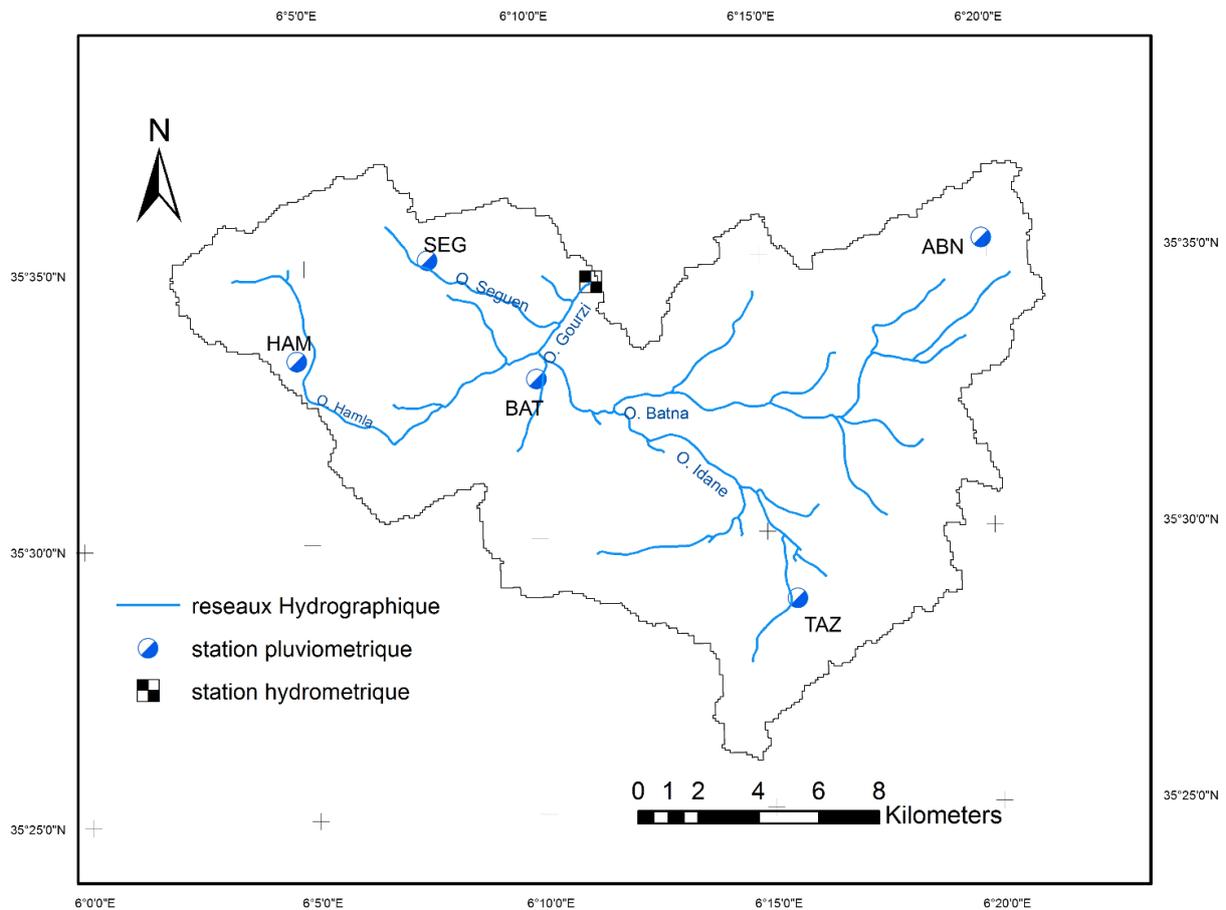


FIGURE 23: CARTE DE SITUATION DES STATIONS HYDRO CLIMATOLOGIQUES

#### III.1. Les Paramètres Climatiques :

Les stations étudiées fournissent des informations sur la pluviométrie et la température. La pluviométrie reste le paramètre le plus important, car elle ajuste l'écoulement et le régime des cours d'eau. Les cinq stations sont situées à l'intérieur du bassin. L'altitude des stations change de 1040m (Batna) à 1400m (Seguen). Les données climatologiques ont été collectées au niveau des services de l'A.N.R.H et l'O.N.M de Batna (tab.16). On note que ces données contiennent des lacunes au niveau de la plupart des stations, ce qui nécessite de combler ces différentes lacunes.

TABLEAU 16: STATIONS CLIMATIQUES ET PLUVIOMETRIQUES

| N° | Station                 | Code  | Coordonnées |           | Altitude |
|----|-------------------------|-------|-------------|-----------|----------|
|    |                         |       | X           | Y         | Z        |
| 01 | Ali Ben Tenoun(ABT)     | 70304 | 6°19'53"    | 35°34'53" | 1180     |
| 02 | Batna (BAT)             | 70316 | 6°10'02"    | 35°32'50" | 1040     |
| 03 | Hamla (HAM)             | 70308 | 6°06'48"    | 35°29'13" | 1174     |
| 04 | Seguen (SEG)            | 70309 | 6°07'44"    | 35°35'02" | 1400     |
| 05 | Tazoult (TAZ)           | 70303 | 6°15'36"    | 35°25'08" | 1200     |
| 06 | Batna-Aéroport (Climat) | 60468 | 06°19'00"   | 35°45'19" | 826.13   |

### III.2. Les données pluviométriques :

#### III.3.1 Qualité des données recueillies :

Après examen des données pluviométriques, on constate que seule la station de Batna présente une série complète allant de 1969 à 2012. En conséquence, cette station servira de référence et nous permettra d'apporter les corrections nécessaires aux autres stations.

Une série chronologique est dite homogène si elle présente le caractère aléatoire simple, ce qui suppose l'absence de toute organisation à l'intérieur de la série ou si la propriété statistique de l'erreur de mesure affectant ces mesures est restée invariable au cours de la période d'observation. Pour cela, il existe plusieurs tests statistiques où nous avons utilisé le test de double cumule et la régression linéaire qui nous permettront de détecter d'éventuelles anomalies.

#### III.3.2 Test d'homogénéité ou corrélation double masse :

Le principe de la méthode est de vérifier la proportionnalité des valeurs mesurées à deux stations, dont l'une est la station de référence, qui est censée être correcte, et l'autre est la station à contrôler.

Les précipitations cumulées doivent être calculées sur plusieurs années consécutives dans les stations de la région, puis comparer les résultats avec des groupes de deux stations.

Pour des stations soumises au même régime pluviométrique, la corrélation entre deux stations doit être linéaire. Cela compensera les lacunes de l'une des stations, en tenant compte des valeurs obtenues du coefficient de corrélation.

Nous avons appliqué cette méthode pour les stations : Batna(**BAT**) - Ali Ben Tenoun (**ABT**) sur 42ans (1969/2011), Batna (**BAT**) - Tazoult (**TAZ**) sur 42ans (1969/2011), Batna (**BAT**) –Hamla (**HAM**) sur 42ans (1969/2011) et Batna (**BAT**) - Seguen(**SEG**) sur 42ans (1969/2011).

### III.3.3 La régression linéaire :

Nous avons calculé la régression des séries précédentes. Les résultats obtenues (Tableau 17) nous ont permis de tracer les courbes respectives corrélant Batna aux stations : Ali Ben Tenoun, Hamla, Seguen, Tazoult.

**TABLEAU 17: RESULTATS DES CORRELATIONS PAR REGRESSION LINEAIRE**

| Stations      | Coefficient de corrélation | Equation de la droite de régression |
|---------------|----------------------------|-------------------------------------|
| (BAT) - (ABT) | 0,9996                     | $Y = 2,50 x - 1000,49$              |
| (BAT) - (TAZ) | 0,9974                     | $Y = 1,00 x - 141,43$               |
| (BAT) - (HAM) | 0,9988                     | $Y = 0,55 x + 177,38$               |
| (BAT) - (SEG) | 0,9835                     | $Y = 1,87 x - 491,66$               |

### III.3.4 Comblement des lacunes :

Les observations à la majorité des stations sont incomplètes, ce qui nous conduit au processus de comblement des lacunes.

Étant donné que le nombre de stations est important, il sera difficile d'appliquer la méthode de régression, et pour cette raison nous avons utilisé une méthode simple et rapide suggérée par LABORDE qui permet de compenser ces lacunes à l'aide des notes disponibles qui peuvent être facilement implémentées avec le logiciel HYDROLAB. Ainsi, pour combler les lacunes à une échelle mensuelle et annuelle, nous avons utilisé des commandes du logiciel HYDROLAB.

### III.4 Étude de la pluviométrie annuelle :

La carte des précipitations moyenne du nord de l'Algérie pour la période (1965-95) développée par A.N.R.H montre que les précipitations sur notre région d'étude fluctuent entre 300 et 600 mm.

III.4.1 Variation de la pluviométrie annuelle :

La figure 24 et le tableau 18 montrent l'évolution de la pluviométrie annuelle sur une période de 31 ans (1969/ 2011) où l'on note que les hauteurs moyenne des précipitations comprises entre 321.41mm en station de HAM et 450.75mm en station de SEG, les précipitations maximales atteignent 785 mm en station SEG pendant l'année 1975/76,et un minimum de 85,10 mm a été enregistré à la station HAM en1997/98.

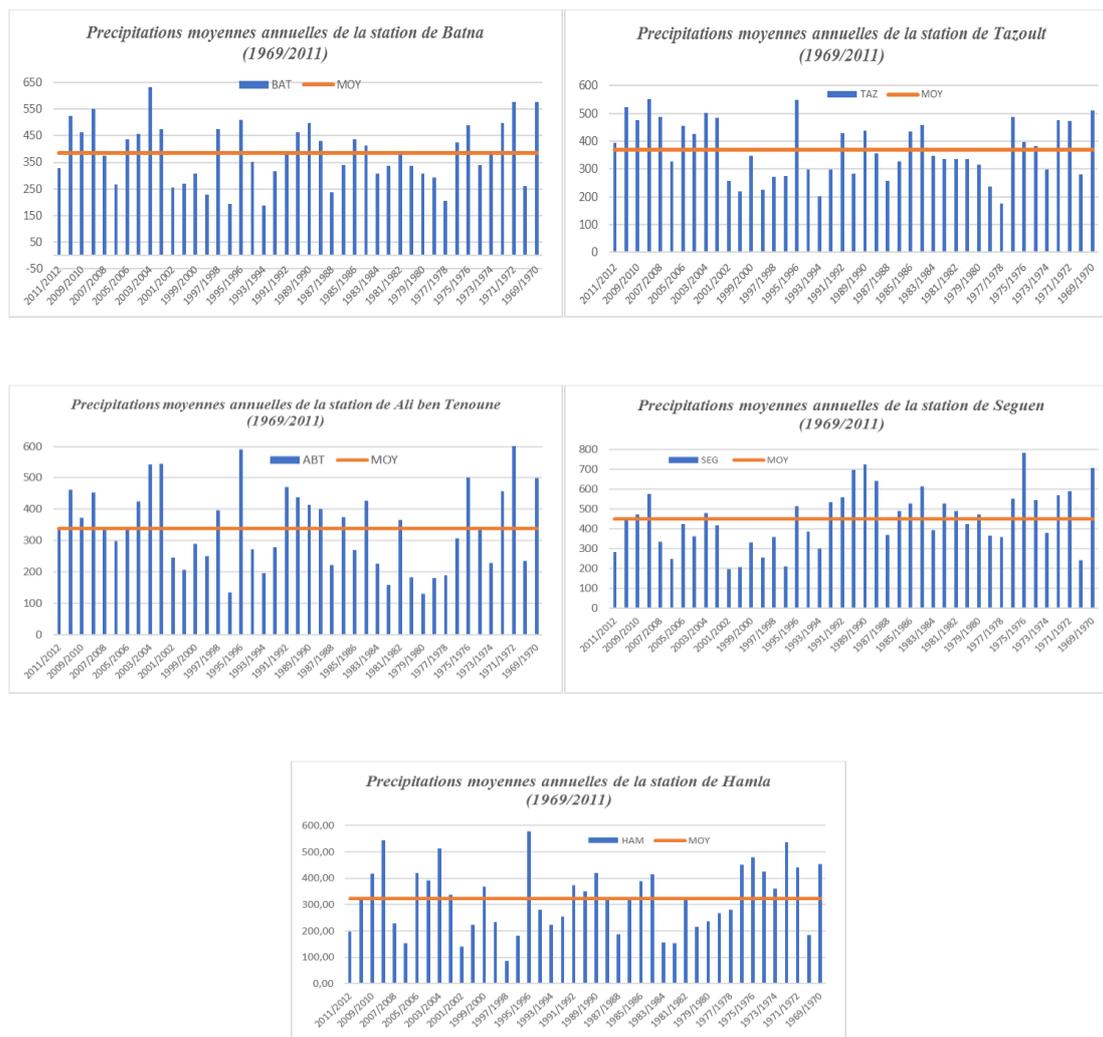


FIGURE 24: VARIATION INTERANNUELLE DES PRECIPITATIONS AUX CINQ STATIONS (1969/2012)

TABLEAU 18: DESCRIPTION STATISTIQUE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES

| Stations | BAT    | ABT    | SEG    | TAZ    | HAM    |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Moyenne  | 384,43 | 339,61 | 450,78 | 370,60 | 321,41 |
| Ecrtype  | 113,12 | 127,16 | 148,20 | 102,78 | 123,93 |
| CV       | 0,29   | 0,37   | 0,33   | 0,28   | 0,39   |

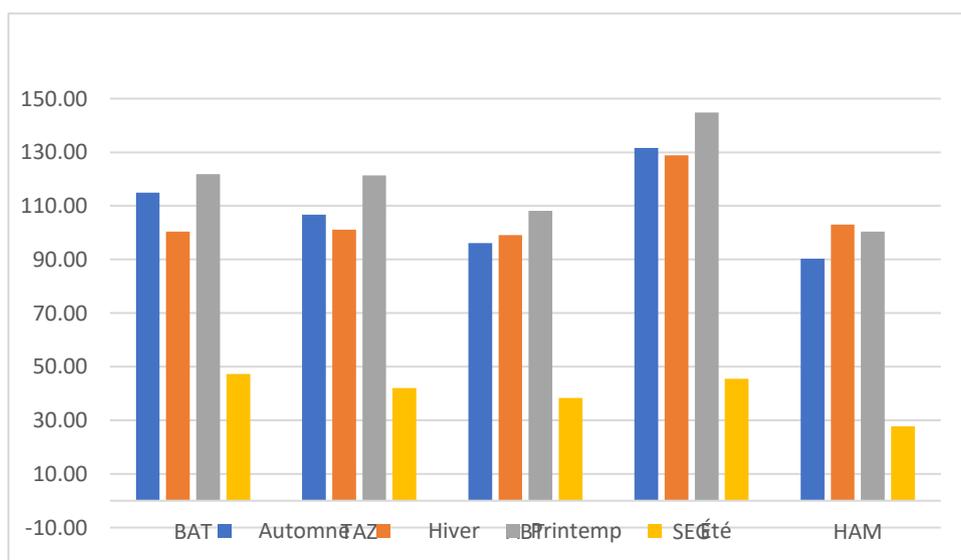
**III.4.2 Étude de la pluviométrie saisonnière :**

Le tableau (19) rassemble les données des précipitations saisonnières des cinq stations du bassin pour la période (1969/2011).

**TABLEAU 19: PRECIPITATIONS SAISONNIERES POUR LA PERIODE (1969/2011)**

| Station | Unité | Automne | Hiver  | Printemps | Été   | Total  |
|---------|-------|---------|--------|-----------|-------|--------|
| BAT     | mm    | 114,94  | 100,44 | 121,82    | 47,23 | 384,43 |
|         | %     | 29,90   | 26,13  | 31,69     | 12,29 | 100,00 |
| TAZ     | mm    | 106,71  | 101,14 | 121,38    | 42,06 | 371,30 |
|         | %     | 28,74   | 27,24  | 32,69     | 11,33 | 100,00 |
| ABT     | mm    | 96,15   | 99,09  | 108,19    | 38,38 | 341,80 |
|         | %     | 28,13   | 28,99  | 31,65     | 11,23 | 100,00 |
| SEG     | mm    | 131,67  | 128,82 | 144,77    | 45,52 | 450,78 |
|         | %     | 29,21   | 28,58  | 32,12     | 10,10 | 100,00 |
| HAM     | mm    | 90,31   | 103,02 | 100,36    | 27,71 | 321,41 |
|         | %     | 28,10   | 32,05  | 31,23     | 8,62  | 100,00 |

L'étude de la répartition saisonnière de la pluviosité montre qu'en dépit de la grande variation des précipitations, on constate que le printemps est la saison où les plus fortes pluies sont enregistrées, avec des taux variantes entre 31 et 32%, et l'été est la saison la moins pluvieuse jusqu'à 8% (fig.25).



**FIGURE 25: PRECIPITATION MOYENNES SAISONNIERE (1969/2011)**

### III.4.3 Étude de la pluviométrie mensuelle :

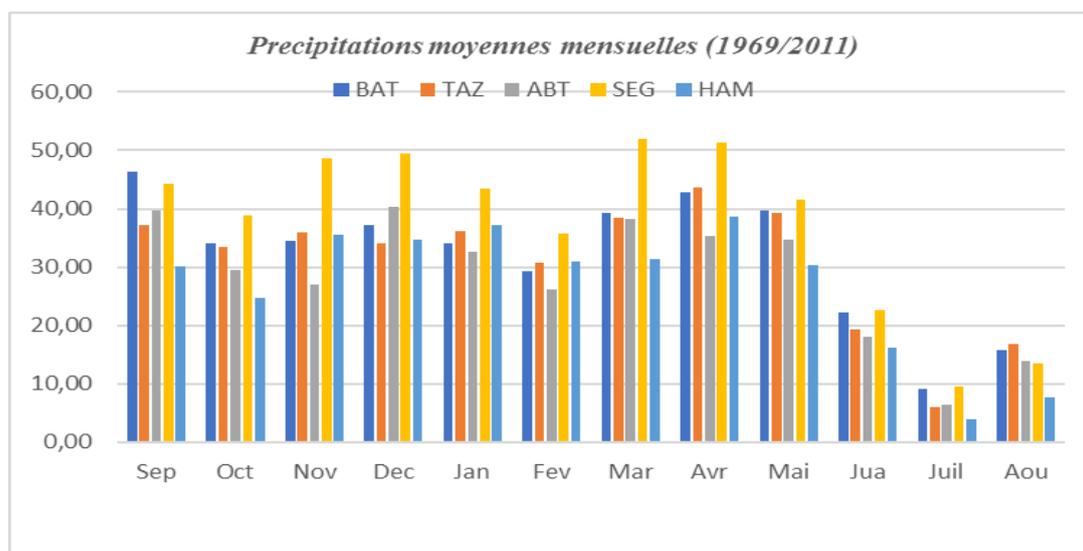
Afin d'évaluer la variabilité des précipitations mensuelles et annuelles sur la région d'étude, on a défini les différentes caractéristiques descriptives des stations pluviométriques liées à la période d'observation 1969/2011, (TAB.20).

**TABLEAU 20: VALEURS CARACTERISTIQUES DES SERIES PLUVIOMETRIQUES (1969/2011)**

| Station | Sep   | Oct.  | Nov.  | Déc.  | Jan   | Fév.  | Mar   | Avr.  | Mai   | juin  | Juil. | Août  | Total  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| BAT     | 46,36 | 34,18 | 34,40 | 37,14 | 34,04 | 29,26 | 39,31 | 42,87 | 39,64 | 22,22 | 9,21  | 15,80 | 384,43 |
| TAZ     | 37,19 | 33,49 | 36,03 | 34,13 | 36,19 | 30,82 | 38,42 | 43,66 | 39,31 | 19,37 | 5,96  | 16,74 | 370,60 |
| ABT     | 39,68 | 29,42 | 27,05 | 40,37 | 32,64 | 26,08 | 38,16 | 35,33 | 34,70 | 18,05 | 6,43  | 13,90 | 339,61 |
| SEG     | 44,24 | 38,87 | 48,57 | 49,52 | 43,53 | 35,77 | 51,87 | 51,33 | 41,57 | 22,55 | 9,55  | 13,41 | 450,78 |
| HAM     | 30,10 | 24,67 | 35,54 | 34,76 | 37,23 | 31,03 | 31,38 | 38,69 | 30,30 | 16,12 | 3,99  | 7,59  | 321,41 |

Source : ONM Aéroport Batna

On note qu'aux variations spatiales des précipitations annuelles s'ajoutent des variations temporelles qui restent moins clairs qu'à l'échelle mensuelle (fig.26). Le phénomène de la variation interannuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation ( $C_v$ ) qui reflète la dispersion relative des pluies. Les valeurs du coefficient de variation pour la période (1969/2011) pour les cinq stations ont oscillés entre 0,28 et 0,39, ce qui signifie une variabilité faible en général, par rapport à la variabilité des précipitations mensuelles.



**FIGURE 26: PRECIPITATIONS MENSUELLES (1969/2011)**

L'histogramme de la figure 26, représente la répartition des précipitations moyennes mensuelles pour les cinq stations pour la période 1969/2011.

L'observation de cet histogramme montre que les mois les plus pluvieux de l'année sont septembre, mars, et avril, et les mois les plus secs sont juillet et août.

### III.5 Détermination de la lame d'eau précipitée :

Pour estimer la lame d'eau précipitée, trois méthodes ont été choisies (méthode de THIESSEN, des isohyètes et de la variation altimétrique).

#### III.5.1 Moyenne arithmétique des stations :

C'est la plus rapide, elle consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations observées à chaque station. Son efficacité est meilleure pour les petits bassins où l'influence de l'altitude, de l'exposition, de la latitude sur les précipitations est partout identique.

Elle est déterminée par la relation :

$$P_{moy} = \frac{\sum P_i}{N}$$

Avec :

- $P_i$  : Précipitation moyenne annuelle à la station  $i$ .
- $N$  : Nombre d'année d'observation.

Pour la période 1969/12 nous obtenons une moyenne annuelle de la lame tombée à l'échelle du bassin de l'ordre de 373,37 mm/an.

#### III.5.1 Moyenne de THIESSEN :

Cette méthode, qui repose uniquement sur les pluies observées avec des pluviomètres, consiste à attribuer à chaque pluviomètre une zone d'influence de telle sorte que le point de cette zone soit plus proche dans la distance horizontale de ce pluviomètre que tout autre point. Les éléments de surface les plus proches d'un pluviomètre que de tout autre, sont déterminés par le réseau des médiatrices des segments joignant les postes 2 à 2.

La figure 27, représente le découpage du bassin versant en polygones ayant servi de base au calcul de la pluviométrie moyenne.

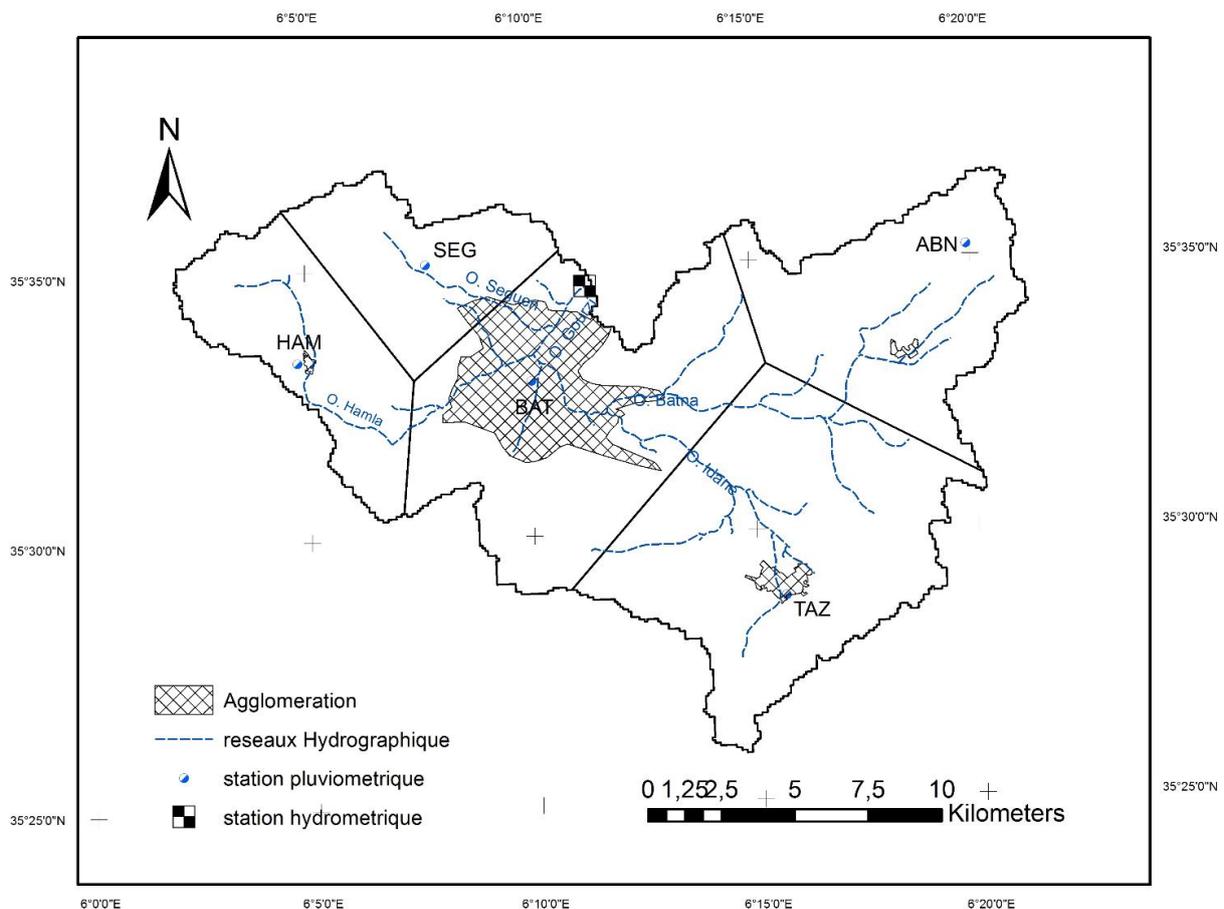
La hauteur de précipitations choisie est celle relevée à la station située à l'intérieur du polygone, en tenant compte des précipitations uniformément réparties. La hauteur des précipitations recherchée sur le bassin est égale à :

$$P_{moy} = \frac{\sum(P_i * S_i)}{S}$$

**P<sub>i</sub>** : précipitation de la station à l'intérieur du polygone

**S<sub>i</sub>** : surface du polygone

**S** : surface totale du bassin versant



**FIGURE 27: POLYGONES DE THIESSEN (1969/2012)**

On obtient ainsi une moyenne de la lame d'eau précipitée de 363,8mm.

### III.5.3 Méthode des isohyètes :

Cette méthode est considérée comme la plus fiable, elle prend en compte les variations de pluie avec l'altitude et l'éloignement à la mer. Après avoir tracé des courbes d'égalité pluviométriques, on mesure les surfaces comprises entre deux courbes isohyètes successives. En

supposant que la hauteur de pluie tombée sur cette surface est égale à la moyenne des valeurs des deux isohyètes qui la délimitent. La lame d'eau tombée sur le bassin versant est :

$$P_{moy} = \frac{\sum(P_i * S_i)}{S}$$

**P<sub>i</sub>** : Pluviométrie moyenne inter isohyète

**S<sub>i</sub>** : Surface inter isohyète

**S** : Surface totale du bassin versant

La carte des isohyètes (fig. 28) établie par l'ANRH pour la période (1973/2004), permet de déterminer les surfaces inter isohyète, calculant ainsi la pluviométrie moyenne inter isohyète.

Ces résultats montrent que la lame d'eau précipitée est de 370,6mm.

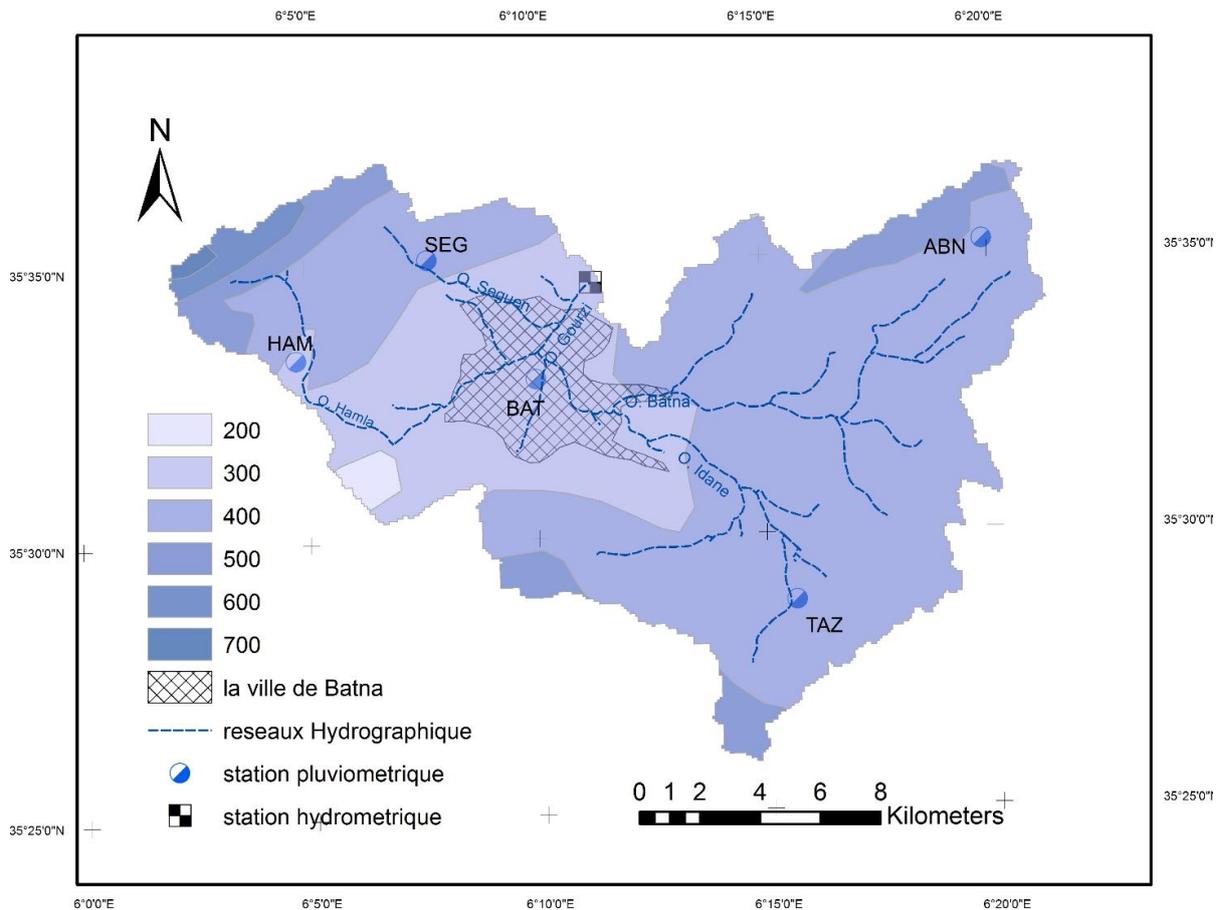


FIGURE 28: CARTE DES ISOHYETES D'ANRH (1969/2012)

### III.5.4 Discussion des résultats :

Les résultats obtenus à partir des trois méthodes utilisées pour estimer la lame d'eau précipitée sur le bassin versant montrent que la méthode altimétrique ne peut donner de résultats dans notre cas puisque l'altitude n'a aucune influence sur les précipitations. Celle de THIESSEN estime les précipitations à cause de la mauvaise répartition des stations.

Cependant, la méthode isohyète donne des valeurs proches et devraient être plus proches de la réalité. La valeur moyenne entre ces deux méthodes est de 370,6 mm, elle est donc définie comme moyenne des précipitations pour l'ensemble du bassin.

### III.6 Les températures :

Selon RAMADE (1984), la température est une composante importante du climat, elle détermine la distribution de toutes les espèces faunistique et floristique dans la biosphère.

Dans la plupart des stations du réseau météorologique algérien, la température de l'air est surveillée trois fois par jour: à 7 heures du matin, à 1 heure du matin et à 7 heures du matin.

Les thermomètres sont placés à l'ombre sous l'abri réglementaire, à 2.60 mètres au-dessus d'un sol gazonné et autant que possible exempt de réverbérations. De plus, les températures maximales et minimales sont enregistrées tous les jours lors de l'observation matinale qui donne généralement le maximum pour la veille et le minimum pour le même jour.

La température affecte directement le comportement des espèces (la répartition des essences forestières et leur croissance).

Les végétaux sont très sensibles surtout pendant la saison chaude lorsque la température atteint son maximum.

**TABLEAU 21: MOYENNE MENSUELLE DES TEMPERATURES (1989-2010)**

| Mois       | S     | O     | N     | D     | J     | F    | M     | A     | M     | J     | J     | A     |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T max (°C) | 29,07 | 23,85 | 17,08 | 12,73 | 11,81 | 13,7 | 17,17 | 19,82 | 25,89 | 31,73 | 35,57 | 34,82 |
| T min (°C) | 14,32 | 9,99  | 4,62  | 1,49  | 0,05  | 0,49 | 2,94  | 5,56  | 9,87  | 14,45 | 17,04 | 17,28 |
| T moy (°C) | 21,7  | 16,69 | 10,85 | 7,11  | 5,93  | 7,09 | 10,05 | 12,69 | 17,88 | 23,09 | 26,3  | 26,05 |

Source : ONM Aéroport Batna.

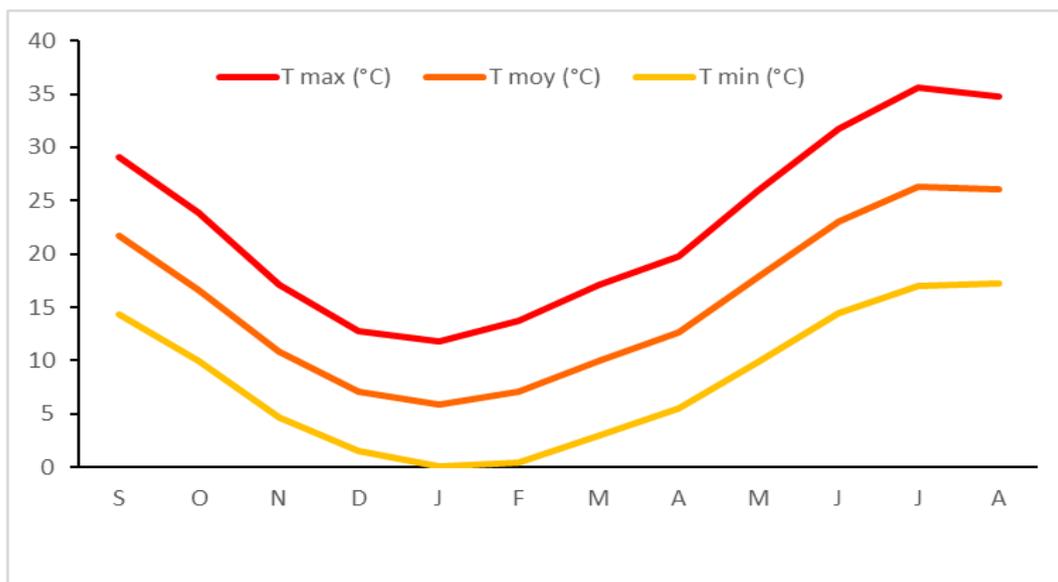


FIGURE 29: MOYENNE MENSUELLE DES TEMPERATURES (MAX, MOY, MIN) (1989-2010)

- A l'examen de tableau 21 et (fig.29) on peut constater :
- ✓ Moyenne des maxima du mois le plus chaud :
- Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une moyenne maximale de 35,57 °C.
- ✓ Moyenne des minima du mois le plus froid :
- Le mois le plus froid est janvier avec une moyenne minimale de 0,05 °C.

III.6.1 Étude des températures saisonnière :

TABLEAU 22: MOYENNE SAISONNIERE DES TEMPERATURES (1989 –2010)

| Saison    | Automne | Hiver | Printemps | Eté   |
|-----------|---------|-------|-----------|-------|
| Tmoy (°C) | 16,41   | 6,71  | 13,54     | 25,14 |

Source : ONM Aéroport Batna.

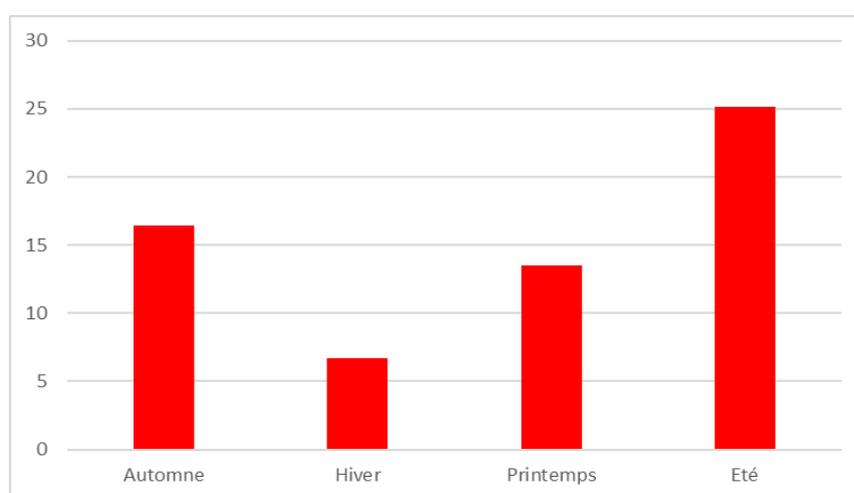


FIGURE 30: MOYENNE SAISONNIERE DES TEMPERATURES (1989 – 2010)

À partir de ce graphique (Fig.30) et (Tab 22), nous pouvons conclure que la saison la plus froide est l'hiver avec une température moyenne de 6,71 ° C, et d'autre part la saison la plus chaude est l'été avec une température moyenne de 25,14 ° C.

**III.7 Caractérisation du climat :**

La caractérisation du climat d'une zone donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes permet de comparer le climat d'une région à une autre. Ils prennent généralement en compte l'offre pluviométrique, la demande évaporative et les températures. Les plus couramment utilisés sont :

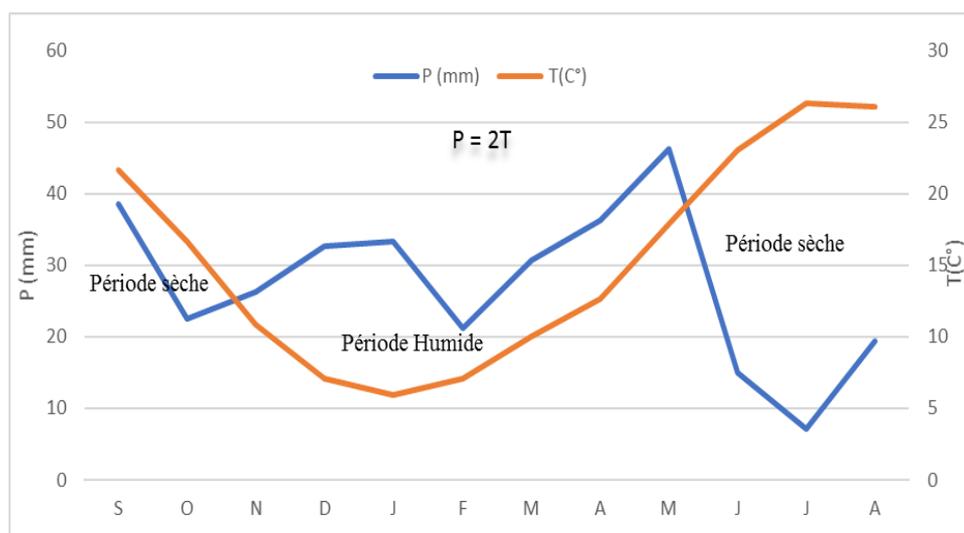
**III.7.1 Diagramme Ombrothermique :**

Un mois sec est défini selon (Bagnouls et Gausse, 1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ( $P \leq 2T^\circ$ ). Ainsi, on voit que la saison sèche se compose de plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausse (fig. 31) montre une saison humide commençant fin octobre et se terminant en mai, et une saison sèche allant de juin à début octobre.

**TABEAU 23: MOYENNE MENSUELLE DES TEMPERATURES ET DES PRECIPITATIONS (1989-2010)**

| Mois   | S     | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J     | J    | A     |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| P (mm) | 38,51 | 22,5  | 26,26 | 32,75 | 33,25 | 21,25 | 30,67 | 36,24 | 46,25 | 14,94 | 7,19 | 19,43 |
| T(C°)  | 21,7  | 16,69 | 10,85 | 7,11  | 5,93  | 7,09  | 10,05 | 12,69 | 17,88 | 23,09 | 26,3 | 26,05 |

Source : ONM Aéroport Batna.



**FIGURE 31: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN (1989 – 2010)**

**III.7.2 Indice de De Martonne :**

En 1923, De Marton (le géographe français de l'école classique 1873-1955) se préoccupe du problème en tentant de formaliser ou de qualifier l'anomalie climatique. Pour éviter que les températures moyennes inférieures ne donnent une valeur négative de l'indice comme pour les facteurs de pluie de Lang, il propose l'indice annuel d'aridité par la formule suivante:

$$I = \frac{P}{T+10} \text{Où :}$$

$I$  : indice d'aridité

$P$  : précipitations moyennes annuelles en mm

$T$  : températures moyennes annuelles en °C

Application :

$$P = 329,24 \text{ mm}$$

$$T = 15,45^\circ\text{C}$$

Ce qui donne :

$$I = 12,94$$

Suivant les valeurs de ( $I$ ), De Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$  : climat hyperaride

$5 < I < 7,5$  : climat désertique

$7,5 < I < 10$  : climat steppique

$10 < I < 20$  : climat semi-aride

$20 < I < 30$  : climat tempéré.

La station de Batna classifie dans un climat semi-aride.

**III.7.3 Indice d'aridité mensuel :**

Pour faciliter l'accès à l'information et prendre des mesures ponctuelles, De Martonne a suggéré l'indice mensuel d'aridité :

$$I = \frac{12*P}{T+10} \text{Où :}$$

$I$  : Indice d'aridité mensuel

$P$  : Précipitations moyennes mensuelles en mm

$T^\circ$  : Température moyenne mensuelle en °C.

L'application de la formule a permis de dresser le tableau :

TABLEAU 24: INDICES D'ARIDITE MENSUELS (I) A LA STATION DE BATNA

| Mois      | I     | Étage bioclimatique |
|-----------|-------|---------------------|
| Septembre | 14,58 | Semi-aride          |
| Octobre   | 10,12 | Semi-aride          |
| Novembre  | 15,11 | Semi-aride          |
| Décembre  | 22,97 | Tempéré             |
| Janvier   | 25,05 | Tempéré             |
| Février   | 14,92 | Semi-aride          |
| Mars      | 18,36 | Semi-aride          |
| Avril     | 19,17 | Semi-aride          |
| Mai       | 19,91 | Semi-aride          |
| Juin      | 5,42  | Désertique          |
| Juillet   | 2,38  | Hyperaride          |
| Août      | 6,47  | Désertique          |

Selon la classification précédente de 'De Martonne', les mois de décembre et de janvier ont classé dans un climat tempéré (tab.24). Septembre, octobre, novembre, février, mars, avril et mai ont un climat semi-aride. Juin et août sont caractérisés par un climat désertique, alors que le mois de juillet devient hyperaride.

### III.7.4 Climagramme de Louis Emberger :

Pour définir les climats de la région méditerranéenne, L. Emberger a proposé la détermination du quotient pluviométrique Q2, qui est basé sur les précipitations annuelles moyennes et les températures minimales et maximales moyennes, respectivement dans les mois les plus froids et les plus chauds. Il a donc suggéré la formule suivante :

$$Q2 = \frac{P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}} * 1000 \text{ où :}$$

$P$  : précipitation moyenne annuelle (mm)

$M$  : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degrés/Kelvin)

$m$  : moyenne des minima du mois le plus froid (degrés/Kelvin)

L'application numérique donne les résultats suivants :

$$P = 329,24 \text{ mm}$$

$$M = 308,57 \text{ °K}$$

$$m = 273,05 \text{ °K}$$

Ce qui donne :

Q2 = 31,87 Le reporté de notre station sur la figure 32, permet de dire que le climat de notre zone est de type semi-aride a hiver fais.

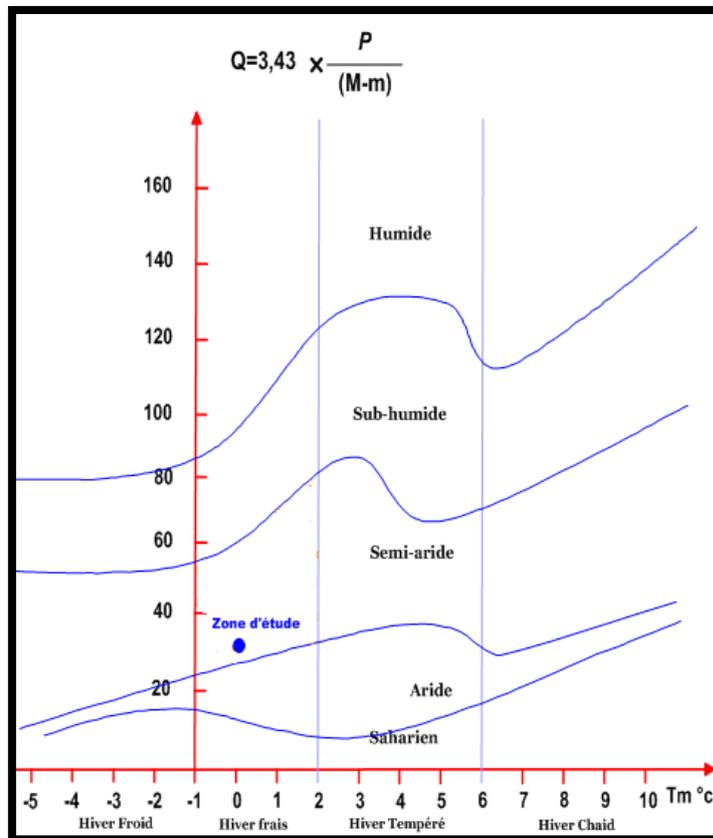


FIGURE 32: CLIMAGRAMME PLUVIOMETRIQUE D'EMBERGER

### III.7.5 Indice de Paul Moral :

Les résultats précédents sont confirmés par l'indice pluviométrique de Moral (IM), qui utilise également la hauteur annuelle des précipitations (en mm) et les températures moyennes annuelles en °C. Cet indice permet de dire :

Si  $IM < 1$  : climat sec et si  $IM > 1$  : climat humide.

$$IM = \frac{P}{(T^2 - 10T + 200)} \text{Où :}$$

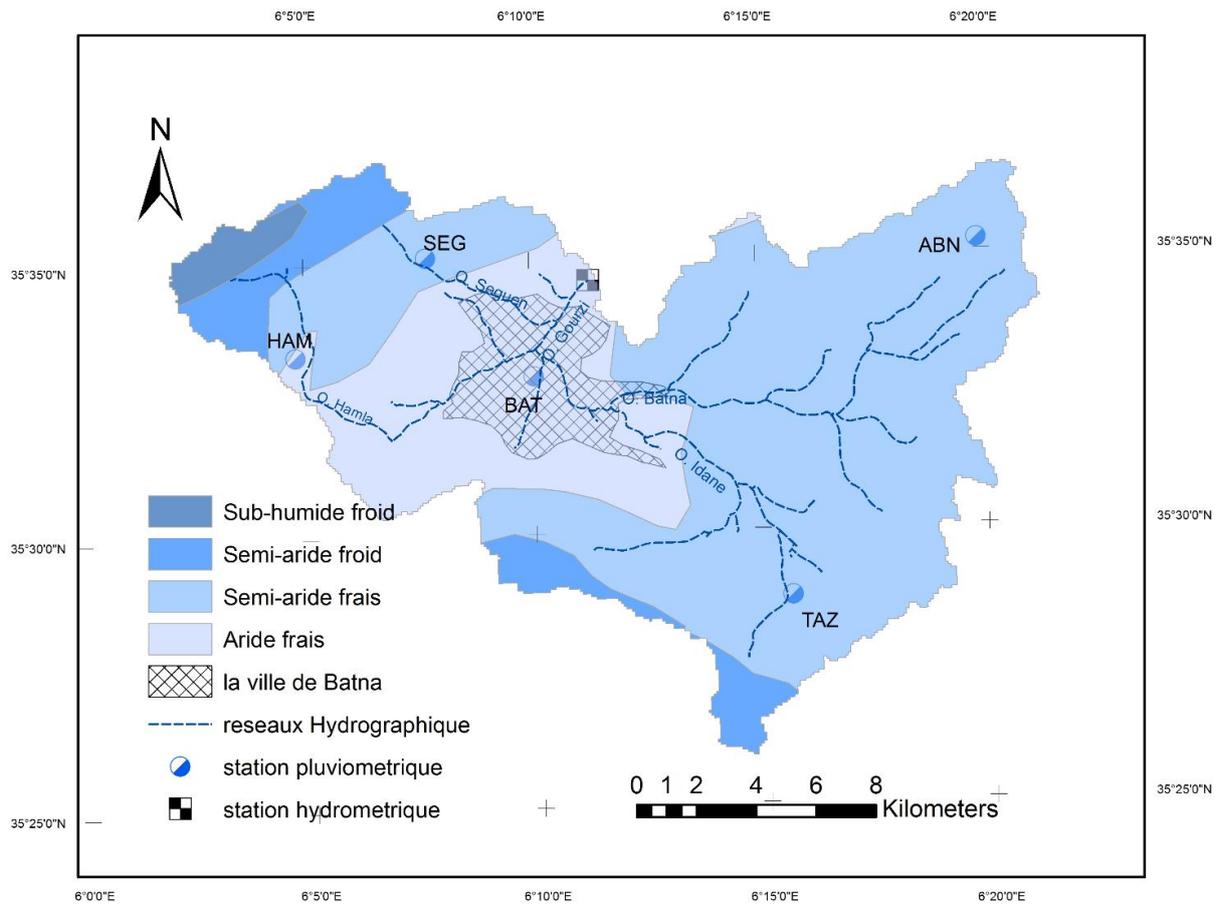
$$P = 329,24 \text{ mm}$$

$$T = 15,45^\circ\text{C}$$

Ce qui donne

$$IM = 0,75$$

On peut dire que le climat du bassin versant d'Oued el Gourzi est semi-aride



**FIGURE 33: CARTE DES ZONES BIOCLIMATIQUES**

Donc le climat de la zone d'étude est un climat méditerranéen de type semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux, et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, les altitudes et orientation des reliefs),(fig.33).

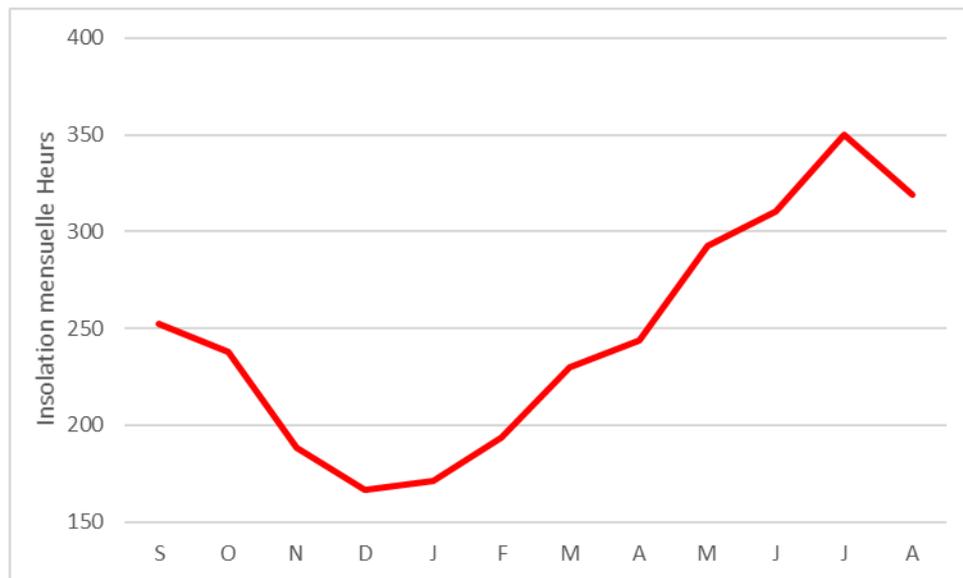
**III.8L'insolation :**

C'est la période où le soleil se lève sur le sol.

**TABLEAU 25: MOYENNE MENSUELLE DE L'INSOLATION (1989 – 2010)**

| Mois                     | S     | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A     |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Insolation mensuelle (h) | 252,2 | 238,0 | 188,5 | 166,9 | 171,1 | 193,5 | 229,7 | 243,9 | 292,4 | 310,8 | 349,9 | 318,9 |

Source :ONM Aéroport Batna



**FIGURE 34: MOYENNE MENSUELLE DE L'INSOLATION (1989- 2010)**

A noter que l'ensoleillement atteint son maximum en période estivale en juillet à une moyenne de 349,95 par heure (Fig. 34), par contre, le minimum est en décembre à une moyenne de 166,91 par heure.

**III.9 Les vents :**

Le vent est un paramètre important de fait qu'il accélère l'évaporation et la transpiration et rend ainsi le combustible très vulnérable aux incendies.

Le vent joue un rôle majeur dans la propagation du feu. Il agit à plusieurs niveaux en renouvelant l'oxygène de l'air, en réduisant l'angle entre les flammes et le sol et en favorisant le transport de particules incandescentes en avant du front de flammes.

Le vent est un facteur météorologique non négligeable, qui est caractérisé par sa fréquence, intensité et sa direction dominante (ELIARD, 1974)

**TABLEAU 26: MOYENNE MENSUELLE DES VITESSES DE VENT M/S (1989 – 2009)**

| Mois              | S   | O    | N    | D | J    | F   | M    | A | M    | J    | J    | A   |
|-------------------|-----|------|------|---|------|-----|------|---|------|------|------|-----|
| Vitesse des vents | 3,3 | 2,98 | 3,13 | 3 | 2,69 | 3,2 | 3,59 | 4 | 3,65 | 3,69 | 3,56 | 3,5 |

Source :ONM Aéroport Batna

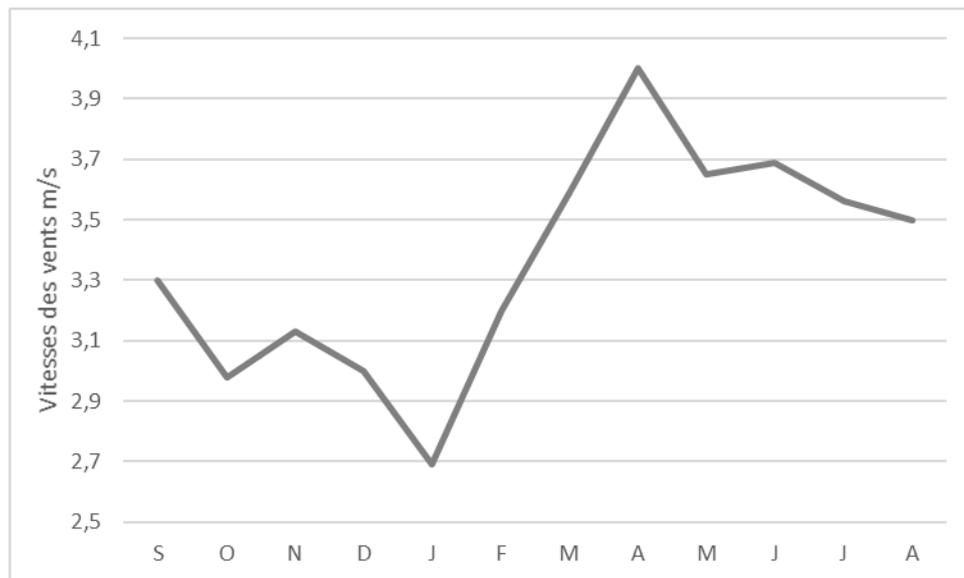


Figure 35: moyenne mensuelle des vitesses de vent (1989 – 2009)

La vitesse moyenne mensuelle du vent maximal est de 4 m /S en Avril(fig.35).

C'est l'altitude et l'exposition qui sont influés sur la vitesse du vent.

### III.9.1 La direction de vent :

Le vent alimente le feu en oxygène, et provoque des feux secondaires par le transport de l'étincelle.

Le trajet et la vitesse de propagation du feu sont influencés par la direction du vent et sa vitesse.

TABLEAU 27: LA DIRECTION DE LA VITESSE DU VENT PENDANT QUELQUES MOIS (1999-2011)

| Mois      | Nord | Nord Est | Est  | Sud Est | Sud  | Sud-Ouest | Ouest | Nord-Ouest |
|-----------|------|----------|------|---------|------|-----------|-------|------------|
| Mai       | 1,87 | 1,56     | 0,81 | 0,53    | 0,81 | 0,67      | 2,34  | 1,39       |
| Juin      | 1,87 | 1,56     | 0,81 | 0,53    | 0,81 | 0,67      | 2,34  | 1,39       |
| Juillet   | 2,67 | 1,35     | 0,38 | 0,38    | 0,89 | 1,04      | 1,76  | 1,5        |
| Aout      | 2,67 | 1,35     | 0,38 | 0,38    | 0,89 | 1,04      | 1,76  | 1,5        |
| Septembre | 2,67 | 1,35     | 0,38 | 0,38    | 0,89 | 1,04      | 1,76  | 1,5        |

Source : ONM Aéroport Batna

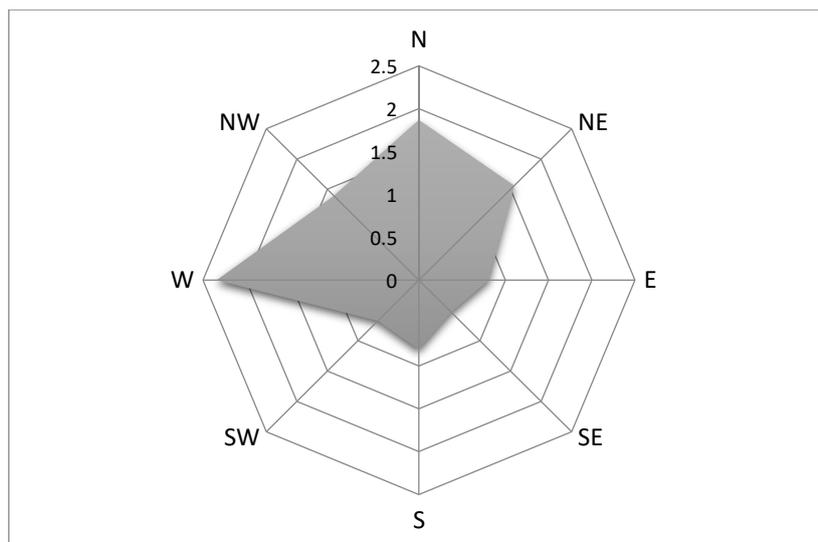


FIGURE 36: LA ROSE DE VENT DES MOIS (MAI ET JUIN) 1999-2011

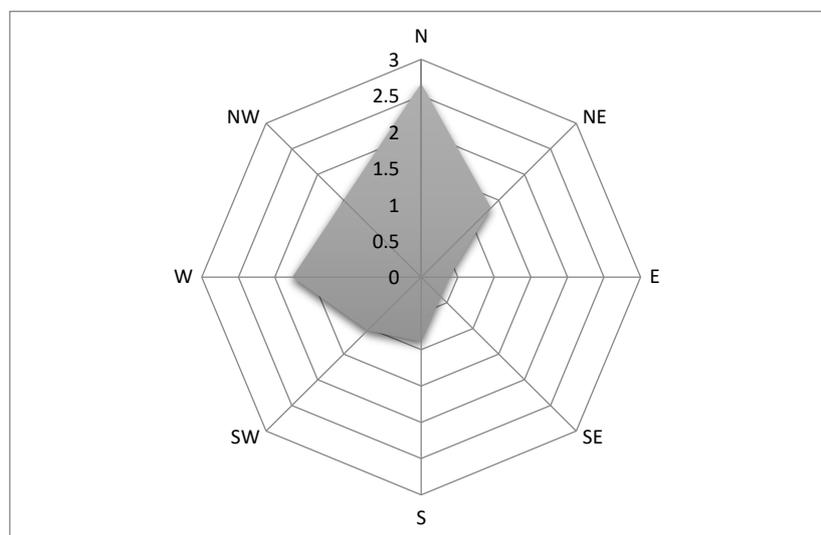
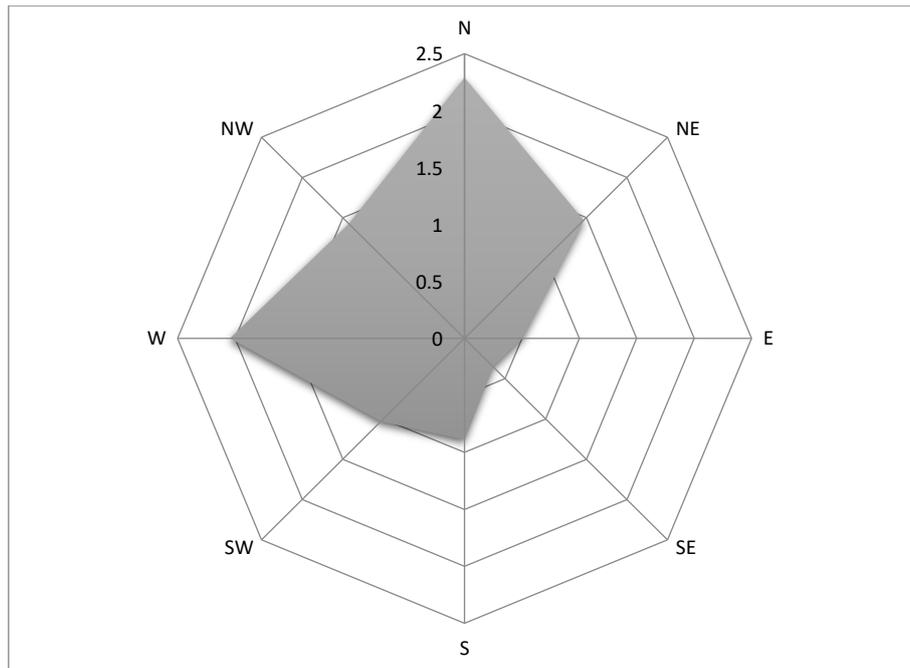


FIGURE 37: LA ROSE DE VENT DES MOIS (JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE) PENDANT 1999-2011

TABLEAU 28: LA DIRECTION DE VENT MOYENNE ANNUELLE PENDANT LA SERIE DE (1999-2011)

| Direction   | Nord | Nord Est | Est   | Sud Est | Sud  | Sud-Ouest | Ouest | Nord-Ouest |
|-------------|------|----------|-------|---------|------|-----------|-------|------------|
| Pourcentage | 22,8 | 14,6     | 05,30 | 03,6    | 08,8 | 10,3      | 20,4  | 14,2       |

Source : ONM Aéroport Batna



**FIGURE 38: LA ROSE DE VENT DE LA MOYENNE ANNUELLE (1999-2011)**

Le tableau 28 reflète des données mensuelles moyennes où la vitesse du vent est de 2,67%, la direction prédominante est (le nord) (fig.38).

Pendant l'été, la région connaît souvent des vents violents, chauds ; c'est le sirocco.

**III.9.2 Le siroco :**

C'est un vent sec et chaud qui provoque une élévation notable de la température et une baisse brutale de l'humidité de l'atmosphère, et il peut être observé à tout moment de l'année, sauf que sa fréquence maximale est en juillet, et la plus faible en décembre et janvier s'il souffle assez tôt au printemps lorsque la végétation reprend. En général. Selon LEFEBRE (1990) in MALKI. « Le siroco a une température très élevée est extrêmement sec, il dessèche, en provoque une évaporation intense, les végétaux dont l'épiderme n'est pas suffisamment étanché,

**TABLEAU 29: NOMBRE DES JOURS DE SIROCO (1999- 2010)**

| Mois             | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nombre des jours | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 | 2 |

Source : ONM Aéroport Batna

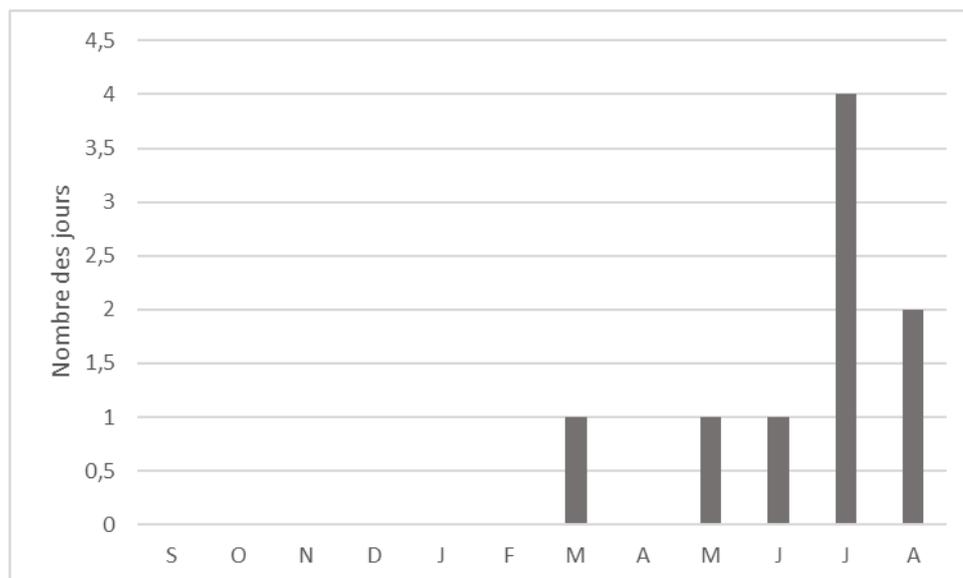


FIGURE 39: NOMBRE DES JOURS DE SIROCO (1999- 2010)

On voit que le Sirocco atteint son niveau le plus élevé en période sèche en août (4 jours), ce qui affecte l'apparition de risques d'incendie en période estivale (Fig. 39).

**III.10 L'humidité relative :**

Une certaine humidité est nécessaire à la vie, et les plantes détériorent et meurent si elles sont placées dans une atmosphère qui ne leur convient pas en termes d'humidité.

L'humidité joue un rôle important dans la régénération, le développement et la détermination des espèces (QUEZEL P,1957), aussi elle contribue à la détermination de risque d'incendie, elle augmente à partir du sol pour atteindre le niveau 100% aux couches nuageuses (HALIMI A, 1980).

TABLEAU 30: MOYENNE MENSUELLE D'HUMIDITE (1989 – 2009)

| Mois         | S  | O  | N  | D  | J    | F    | M  | A  | M    | J    | J    | A  |
|--------------|----|----|----|----|------|------|----|----|------|------|------|----|
| Humidité (%) | 56 | 61 | 67 | 74 | 74,1 | 68,1 | 63 | 60 | 56,1 | 46,9 | 39,7 | 44 |

Source : ONM Aéroport Batna

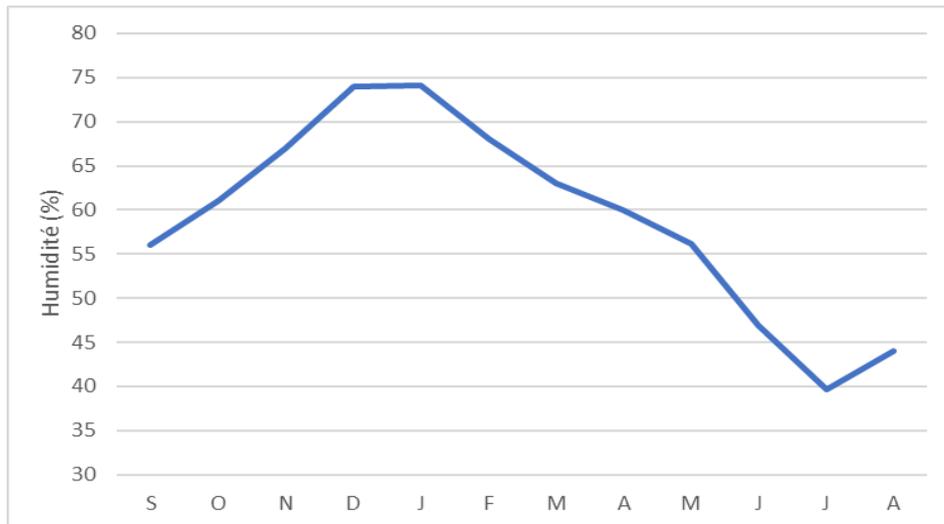


FIGURE 40: MOYENNE MENSUELLE D’HUMIDITE (1989 – 2009)

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période hivernale, correspondant aux mois de Décembre, Janvier et février. La sécheresse de l’air en été ; en particulier au des mois de Juillet et d’Août.

**III.11 Evaporation totale :**

L’évaporation est l’un des facteurs les plus importants dans la détermination du bilan hydrique.

TABLEAU 31: MOYENNE MENSUELLE D’EVAPORATION EN MM (1989- 2010)

| Mois       | J    | F   | M    | A    | M     | J     | J     | A     | S     | O     | N    | D    |
|------------|------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Évaporatio | 53,6 | 72, | 113, | 145, | 195,3 | 267,2 | 324,3 | 298,6 | 194,6 | 145,3 | 92,8 | 62,6 |
| n (mm)     | 6    | 8   | 9    | 8    | 3     | 8     | 8     | 1     | 1     | 3     | 5    | 1    |

Source : ONM Aéroport Batna

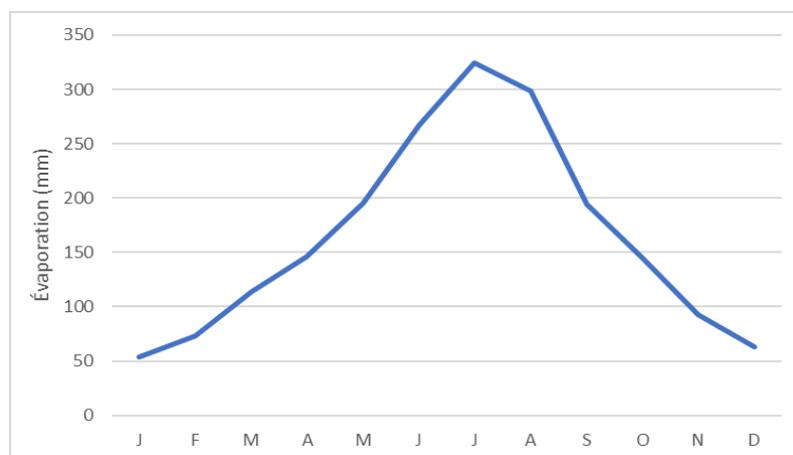


FIGURE 41: MOYENNE MENSUELLE D’EVAPORATION TOTALE (1989-2010)

Selon les résultats obtenus, les trois mois d'été représentent la période pendant laquelle il y a plus d'évaporation sous l'influence de températures plus élevées, contrairement à l'hiver, où l'évaporation diminue de valeurs moyennes en automne et au printemps (Fig.41).

### III.12 Le bilan hydrique :

Un bilan hydrique exprime le processus qui suit la quantité d'eau qui atteint le sol par les précipitations ou la neige avant de retourner dans l'atmosphère, il est donc utilisé pour déterminer la distribution des précipitations entre les termes selon l'équation du bilan hydrique, et exprime l'égalité des pertes et gains d'eau, et est défini à travers :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

**P** : lame précipitée en moyenne mensuelle en mm

**ETR** : évapotranspiration réelle mensuelle en mm

**R** : lame ruisselée en mm

**I** : lame infiltrée en mm

#### III.12.1 Les Facteurs Du Bilan Hydrique :

##### III.12.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évaporation potentielle est la consommation d'eau sous l'évaporation du sol et la transpiration des Plantes.

Le calcul de l'évaporation potentielle a été traité par plusieurs auteurs en utilisant des formules pour calculer les moyennes annuelles de la force d'évaporation à partir de données météorologiques.

##### III.12.1.2 Formule de THORNTON WAITE :

$$ETP_c = 16 \left( 10 \frac{t}{I} \right)^a \cdot k$$

Avec : **ETP<sub>c</sub>** : l'évapotranspiration potentielle

**t** : température moyenne de la période considérée (c°)

**I** : indice annuelle, soit la somme des indices de chaleur mensuelle.

$$I = \sum i \text{ avec } i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

**a** : l'exposant climatique donné par la formule :

$$a = 0,016 I + 0,5$$

**K** : Coefficient correctif, fonction de la durée théorique de l'insolation en (temps, lieu).

$$I = \sum i = 71,81 \quad a = 1,64$$

**TABLEAU 32: ETP MENSUELLE SELON THORONT WAITE (1989-2010)**

| Mois   | S      | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J      | J      | A      |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| P (mm) | 38.51  | 22.50 | 26.26 | 32.75 | 33.25 | 21.25 | 30.67 | 36.24 | 46.25 | 14.94  | 7.19   | 19.43  |
| T(C°)  | 21.70  | 16.69 | 10.85 | 7.11  | 5.93  | 7.09  | 10.05 | 12.69 | 17.88 | 23.09  | 26.30  | 26.05  |
| i      | 9.23   | 6.20  | 3.23  | 1.70  | 1.29  | 1.70  | 2.88  | 4.10  | 6.88  | 10.14  | 12.35  | 12.17  |
| ETP    | 99.07  | 64.24 | 31.57 | 15.72 | 11.65 | 15.64 | 27.82 | 40.88 | 71.97 | 109.75 | 136.05 | 133.92 |
| ETPc   | 102.04 | 62.32 | 27.15 | 13.36 | 10.14 | 13.30 | 28.65 | 44.56 | 87.09 | 132.80 | 167.34 | 235.70 |

**TABLEAU 33: BILAN HYDRIQUE DE BATNA (1989-2010)**

| Mois   | S      | O     | N     | D     | J     | F     | M     | A     | M     | J      | J      | A      |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| P (mm) | 38.51  | 22.50 | 26.26 | 32.75 | 33.25 | 21.25 | 30.67 | 36.24 | 46.25 | 14.94  | 7.19   | 19.43  |
| ETPc   | 102.04 | 62.32 | 27.15 | 13.36 | 10.14 | 13.30 | 28.65 | 44.56 | 87.09 | 132.80 | 167.34 | 235.70 |
| P-ETP  | -63.53 | -39.8 | -0.89 | 19.39 | 23.11 | 7.95  | 2.02  | -8.32 | -40.8 | -117.9 | -160.2 | -216.3 |
| RFU    | 0      | 0     | 0     | 19.39 | 42.50 | 50.00 | 50.00 | 41.68 | 0.84  | 0      | 0      | 0      |
| ETR    | 38.51  | 22.50 | 26.26 | 13.36 | 10.14 | 13.30 | 28.65 | 44.56 | 87.09 | 15.78  | 7.19   | 19.43  |
| EXD    | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.46  | 2.02  | 0     | 0     | 0      | 0      | 0      |
| DE     | 63.53  | 39.82 | 0.89  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 117.02 | 160.15 | 216.27 |

Une note (tab.33, 34) du bilan hydrique nous amène à dire que l'ETP est significatif d'avril à octobre, avec des valeurs atteignant les 235 mm en août. A partir de novembre, on assiste à une reconstitution du stock accompagnée d'une augmentation du RFU, qui atteint son maximum entre février et mars. Après cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock.

**Conclusion**

La zone d'étude est influencée par un climat semi-aride caractérisé par des précipitations orageuses qui génèrent des crues durant l'automne, l'hiver et le printemps.

Par ailleurs l'été est la saison la plus favorable aux déclenchements des feux des forêts car la température est très élevée, l'humidité relative est basse et le vent sec est très dominant.

# *Partie2*

## *Analyse des risques et leurs interactions*

# *Chapitre I*

## *Risque des feux de forêts*

## I.1 Chapitre I : Risque des feux de forêts

### Introduction

On parle de feu de forêt lorsque le feu concerne une superficie d'au moins un hectare d'un seul tenant, et qu'au moins une partie des étages arbustifs et ou arboré (parties supérieures) est détruite. Un incendie est un phénomène qui échappe au contrôle de l'Homme, tant en durée qu'en étendue (P.Y, Colin et al. 2001).

Pour que l'inflammation et la combustion se produisent, trois facteurs doivent être présents, chacun dans des proportions appropriées : un combustible, qui peut être n'importe quelle substance qui peut brûler, une source externe de chaleur (flamme ou étincelle), et de l'oxygène, nécessaire pour allumer un feu.

### I.1 Eléments de feu :

Le phénomène feu est la réaction chimique qui se produit, suite à une élévation de température entre un combustible et l'oxygène de l'air.

Cette réaction peut être schématisée comme suit :



FIGURE 42: TRIANGLE DU FEU (MEDD, 2002 IN AMMARI, 2011).

Les feux de forêt sont le résultat de la combustion des matériaux ligneux qui composent la plus grande partie de la végétation forestière.

La combustion exige la présence en proportions convenables de trois éléments :

### **I.1.1 Les combustibles :**

Ce sont toutes les substances organiques, susceptibles de se combiner avec l'oxygène de l'air dans cette réaction de combustion. La plupart de matériaux d'origine organique sont des combustibles. Par exemple ; les Bions, (20000 kilojoules), le charbon, et le pétrole (42000 kilojoules par kilo pour l'essence).

### **I.1.2 L'Oxygène :**

L'Oxygène consiste un élément indispensable pour produire la combustion.

Il contient 1/5 du volume d'air, qui est également fourni par la réaction de combustion, puisque ce dernier produit son propre flux d'air (l'apport massique d'air froid).

On considère qu'il faut environ 130 pieds cubes d'air pour avoir l'oxygène nécessaire à la combustion d'une livre de bois (P.Y, Colin et al. 2001).

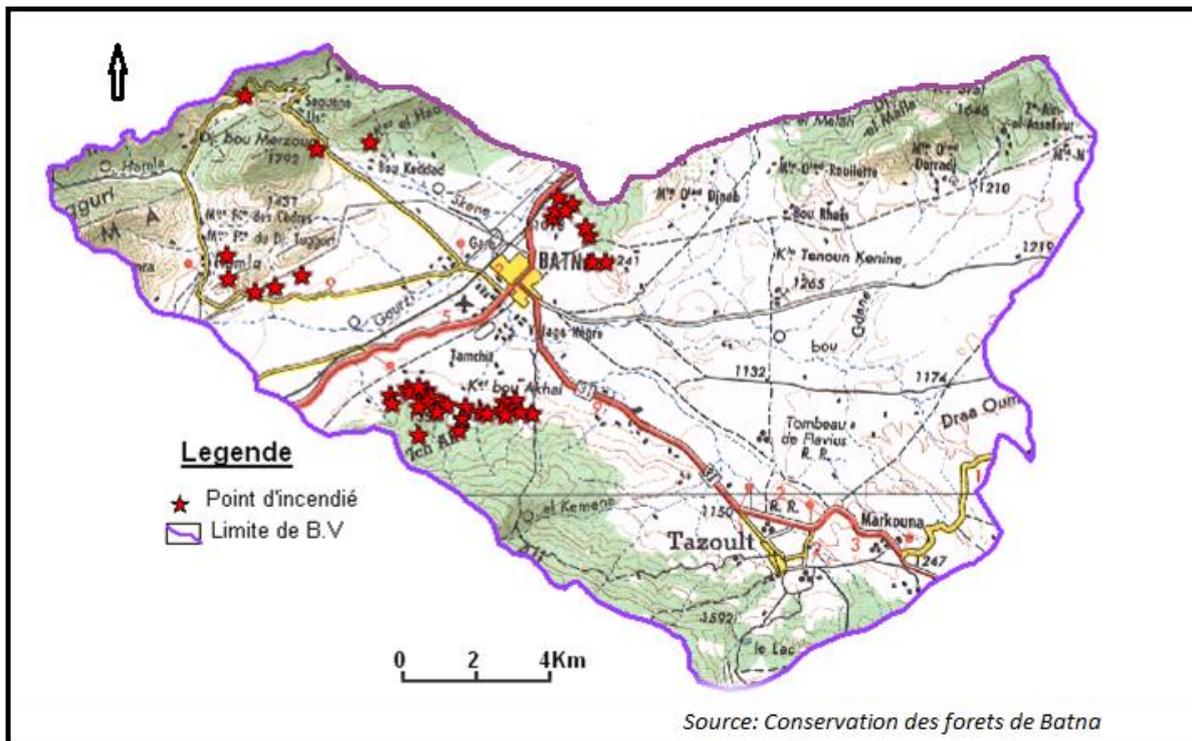
### **I.1.3 La Chaleur :**

La température nécessaire pour la combustion est de 400°C à 425°C (Countryman,1972, Drouet J. Ch.1973) ; cette température désigne aussi ce qu'on appelle « le point d'inflammations ».

De ces données, on peut dire que, pour qu'un combustible arrive au point d'inflammation, il doit passer par des étapes ou phases de combustion, (Countryman, 1972, J. Ch. Drouet, 1973, Truboud 1976), distinguent trois phases dans le processus de combustion.

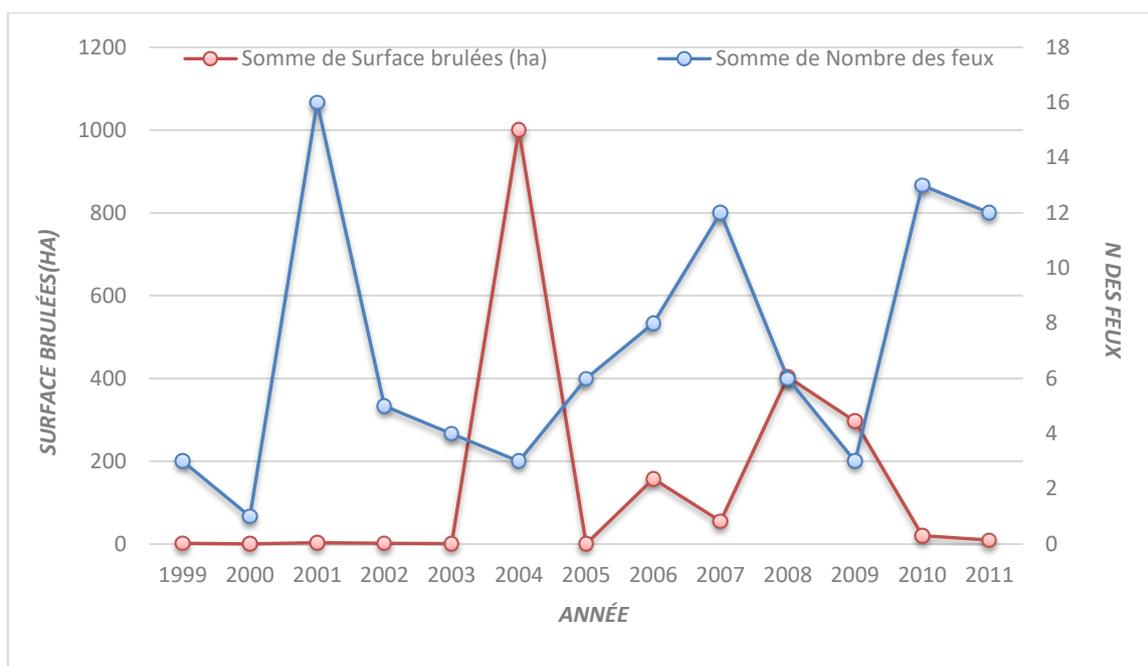
### I.2L'analyse Des Feux De Forêts Dans Le Bassin Versant De L'oued El Gourzi :

Au cours de la période (1999-2011), nous avons enregistré des différences significatives dans la superficie brûlée par rapport au nombre de foyers dans notre zone d'étude ; Les superficies brûlées par les incendies présentent des fluctuations d'année en année, le même constat fait pour le nombre de foyers dans l'ensemble de la zone d'étude (Fig. 43).



**FIGURE 43 : CARTE LOCALISATION DES FEUX DE FORETS DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED EL GOURZI (1999-2011)**

L'évolution annuelle des superficies parcourues par le feu où l'on en dénombre 92 au total. Ces feux qui ont détruit une superficie totale de 1950,94 ha, sont représentés sur le tableau et la figure suivante, ce qui correspond à une moyenne annuelle de 4 feux et 84,82 ha de surface brûlée (tab.34).



**FIGURE 44 : EVOLUTION DES NOMBRES D’INCENDIES ET DES SUPERFICIES PARCOURUES PAR LE FEU (1999 – 2011)**

**TABLEAU 344 : EVOLUTION DES NOMBRES D’INCENDIES ET DES SUPERFICIES PARCOURUES PAR LE FEU (1999 – 2011)**

| Année    | Nombre des feux | Surface brulées (ha) |
|----------|-----------------|----------------------|
| 1999     | 3               | 1,43                 |
| 2000     | 1               | 0,25                 |
| 2001     | 16              | 3,61                 |
| 2002     | 5               | 1,67                 |
| 2003     | 4               | 1,16                 |
| 2004     | 3               | 1000,06              |
| 2005     | 6               | 0,28                 |
| 2006     | 8               | 157,68               |
| 2007     | 12              | 54,76                |
| 2008     | 6               | 403,89               |
| 2009     | 3               | 296,5                |
| 2010     | 13              | 20,54                |
| 2011     | 12              | 9,11                 |
| Total    | 92              | 1950,94              |
| Moy / an | 4               | 84,82                |

Source : forêts de Batna (2011)

Il convient de noter que le maximum enregistré était de 1000,06 ha en 2004 et le minimum de 0,25 ha en 2000. Le nombre d'incendies varie d'un minimum de 1 en 2000 à un maximum de 16 en 2001 (tab 34).

### I.2.1 Evolution mensuelle des nombres d'incendies et des superficies parcourus par le feu :

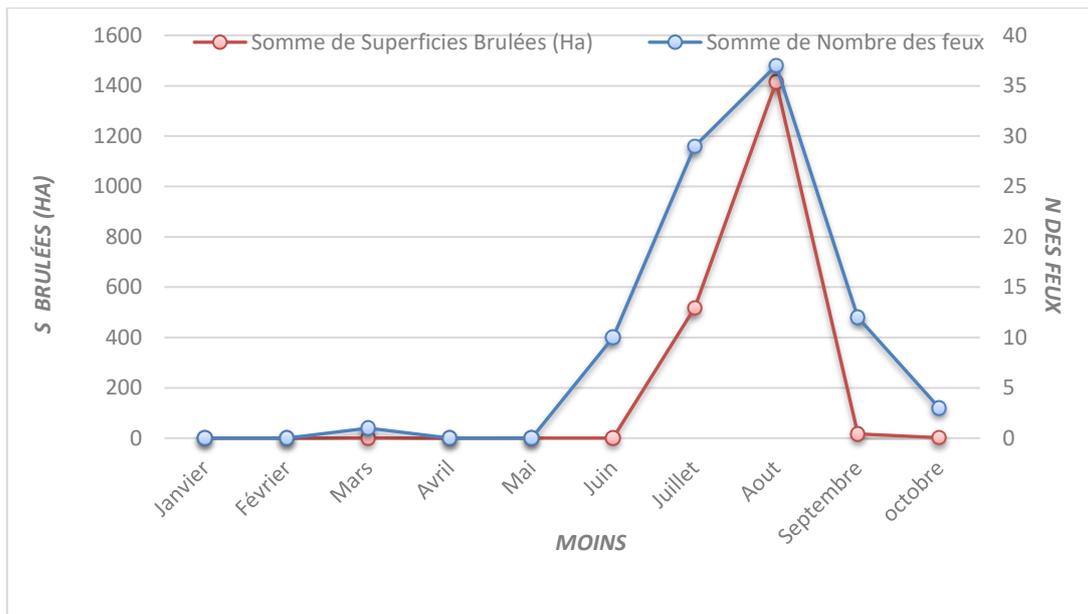
La saison des feux commence généralement en juin et se termine vers octobre ; sauf qu'il ya des exemptions ou que cela débute en mai. Pour ce qui est de notre zone d'étude, la saison des feux commence en juin et se termine octobre, mais à titre exceptionnel on distingue le feu au mois de mars.

Nous constatons d'après la fig.45 et le tableau 35 que le mois avec le plus grand nombre de foyers est le mois d'août par rapport aux autres mois.

**TABLEAU 35: REPARTITION MENSUELLE DES NOMBRES DE FEUX ET DES SUPERFICIES INCENDIEES (1999-2011)**

| Mois    | Nombre des feux | Superficies Brulées (Ha) |
|---------|-----------------|--------------------------|
| Janvier | 0               | 0                        |
| Février | 0               | 0                        |
| Mars    | 1               | 0,03                     |
| Avril   | 0               | 0                        |
| Mai     | 0               | 0,04                     |
| Juin    | 10              | 0,601                    |
| Juillet | 29              | 518,21                   |
| Aout    | 37              | 1414,2                   |
| Septe   | 12              | 16,85                    |
| Octobre | 3               | 1,05                     |
| TOTAL   | 92              | 1950,94                  |

Source : forêts de Batna (2011)



**FIGURE 45: REPARTITION MENSUELLE DES NOMBRES DE FEUX ET DES SUPERFICIES INCENDIEES (1999- 2011)**

Étant donné que les zones brûlées dans notre zone d'étude variaient d'un mois à l'autre, la forte incidence de zones brûlées a été enregistrée pour août, suivi de juin (Fig. 45 et tab 36).

**TABLEAU 366: REPARTITION DE SUPERFICIE ET NOMBRE D'INCENDIES PAR SECTEUR (1999-2011)**

| Foret   | Superficie (ha) | Nombre de foyer |
|---------|-----------------|-----------------|
| Ich Ali | 22,38           | 40              |
| Belezma | 921,32          | 35              |
| Bouarif | 1007,24         | 17              |
| Total   | 1950,94         | 92              |

Source : forêts de Batna (2011)

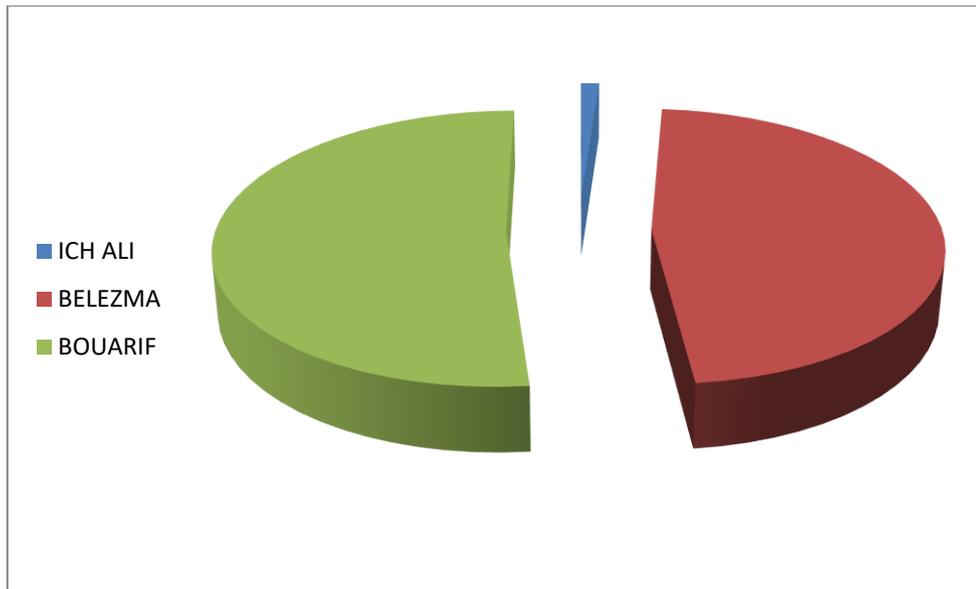


FIGURE 46: DISTRIBUTION DE SUPERFICIE BRULEE PAR SECTEUR (1999- 2011)

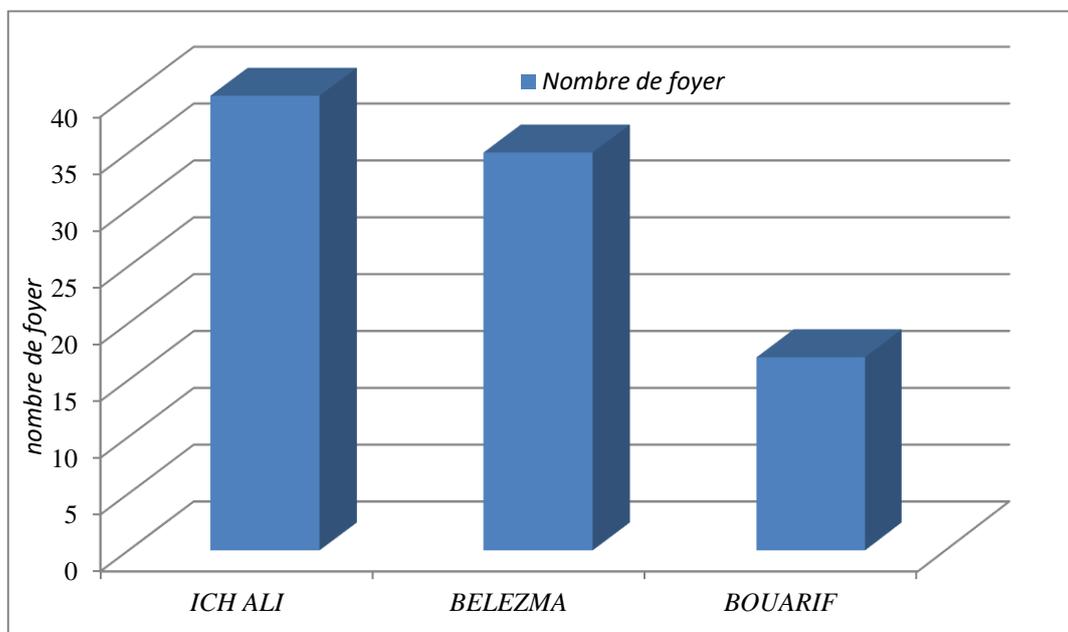


FIGURE 47: LE NOMBRE DE FOYER PAR SECTEUR

Selon le graphe 47, la superficie d’incendie de secteur Bouarif est très remarquable par comparaison d’autres secteurs qu’elle atteigne 1007,24 Ha, par contre le secteur de Ich Ali caractérisé par un nombre de foyer maximale atteignant 40, avec une superficie brûlée de 24,38 ha (fig.46,47 et tab.36).

### I.2.2 La relation entre les paramètres climatique est les incendies :

Le but de cette étude est de découvrir la relation entre les facteurs climatiques (température maximale, humidité maximale et vitesse maximale du vent) et le phénomène des feux de forêt dans la zone d'étude.

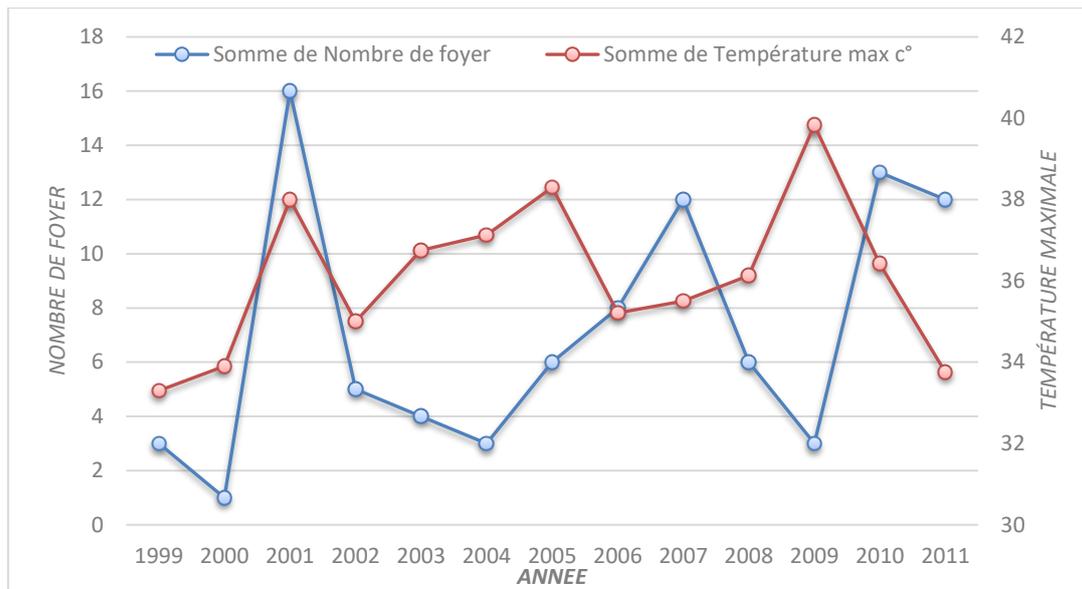
#### I.2.2.1 La relation entre l'incendie et les températures maximales :

La température varie tout le long de la journée en fonction de l'intensité d'insolation, et il fait généralement chaud pendant la journée et plus frais la nuit.

**TABLEAU 37: LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE FOYER ET LE MOYENNE DE TEMPERATURE MAXIMALE (1999-2011)**

| Année | Nombre de foyer | Température max c° |
|-------|-----------------|--------------------|
| 1999  | 3               | 33,3               |
| 2000  | 1               | 33,9               |
| 2001  | 16              | 38                 |
| 2002  | 5               | 35                 |
| 2003  | 4               | 36,75              |
| 2004  | 3               | 37,13              |
| 2005  | 6               | 38,3               |
| 2006  | 8               | 35,21              |
| 2007  | 12              | 35,5               |
| 2008  | 6               | 36,13              |
| 2009  | 3               | 39,83              |
| 2010  | 13              | 36,42              |
| 2011  | 12              | 33,75              |

Source : forêts de Batna (2011)



**FIGURE 48: LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE FOYER ET LE MOYENNE DE TEMPÉRATURE MAXIMALE (1999-2011)**

D'après le tableau 37 et (fig.45), on constate que le nombre de foyer varie avec les températures maximales d'une façon proportionnelle, les températures affectent grandement le comportement des feux, car elles exercent une grande force desséchante sur les combustibles et donnent une indication du stress hydrique des végétations et donc sur les augmentations de la masse de combustible disponible.

### **I.2.2.2 La relation entre les incendies et l'humidité de l'air :**

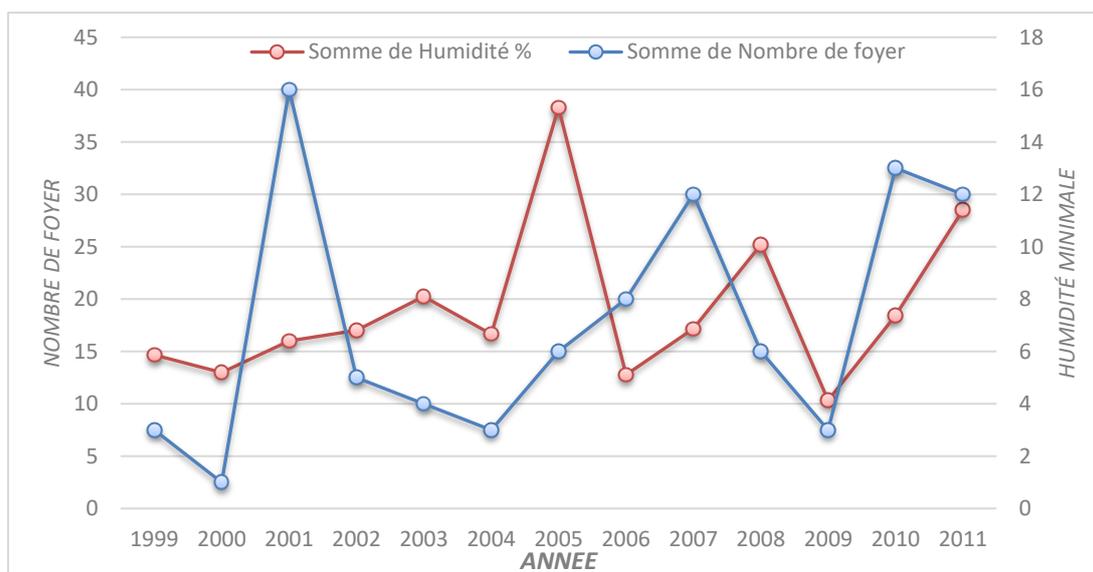
L'humidité atmosphérique est un élément important, car elle contrôle le taux d'évaporation du sol et de la végétation. Elle exprime le pourcentage de saturation en eau l'atmosphère et varie avec la température de l'air, et les combustibles réagissent différemment au changement d'humidité ambiante, de sorte que l'inflammabilité spécifique dépendra de la vitesse de déperdition d'eau des combustibles.

**TABLEAU 388: LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE FOYER ET LE MOYENNE D'HUMIDITE MINIMALE**

| Année | Nombre de foyer | Humidité % |
|-------|-----------------|------------|
| 1999  | 3               | 14,66      |
| 2000  | 1               | 13         |
| 2001  | 16              | 16         |
| 2002  | 5               | 17         |
| 2003  | 4               | 20,25      |
| 2004  | 3               | 16,66      |
| 2005  | 6               | 38,3       |
| 2006  | 8               | 12,77      |
| 2007  | 12              | 17,16      |
| 2008  | 6               | 25,2       |
| 2009  | 3               | 10,33      |
| 2010  | 13              | 18,46      |
| 2011  | 12              | 28,5       |

Source : forêts de Batna (2011)

D'après la (fig. 49), nous constatons que l'humidité présente des variations d'une année à l'autre ; Cela n'affecte pas directement le nombre de foyer.



**FIGURE 49: LA RELATION ENTRE LE NOMBRE DE FOYER ET LE MOYENNE D'HUMIDITE MINIMALE**

### I.2.2.3 La relation entre l'incendie et la vitesse de vent :

Le vent est un facteur climatique très important dans le comportement du feu ; il exerce un pouvoir desséchant ce augmente la quantité du combustible disponible, et il va apporté de l'oxygène qui facilite la combustion.

**TABLEAU 39: LA RELATION ENTRE LA SUPERFICIE BRULE (HA) ET LA VITESSE DE VENT**

| Année | Superficie brûlé (ha) | Vitesse de vent (m/s) |
|-------|-----------------------|-----------------------|
| 1999  | 1,43                  | 12                    |
| 2000  | 0,25                  | 15                    |
| 2001  | 3,61                  | 16,8                  |
| 2002  | 1,67                  | 13,8                  |
| 2003  | 1,16                  | 23,5                  |
| 2004  | 1000,06               | 19                    |
| 2005  | 0,28                  | 17,83                 |
| 2006  | 157,68                | 30,44                 |
| 2007  | 54,76                 | 15,2                  |
| 2008  | 403,89                | 15                    |
| 2009  | 296,5                 | 14                    |
| 2010  | 20,54                 | 14,76                 |
| 2011  | 9,11                  | 13                    |

Source : forêts de Batna (2011)

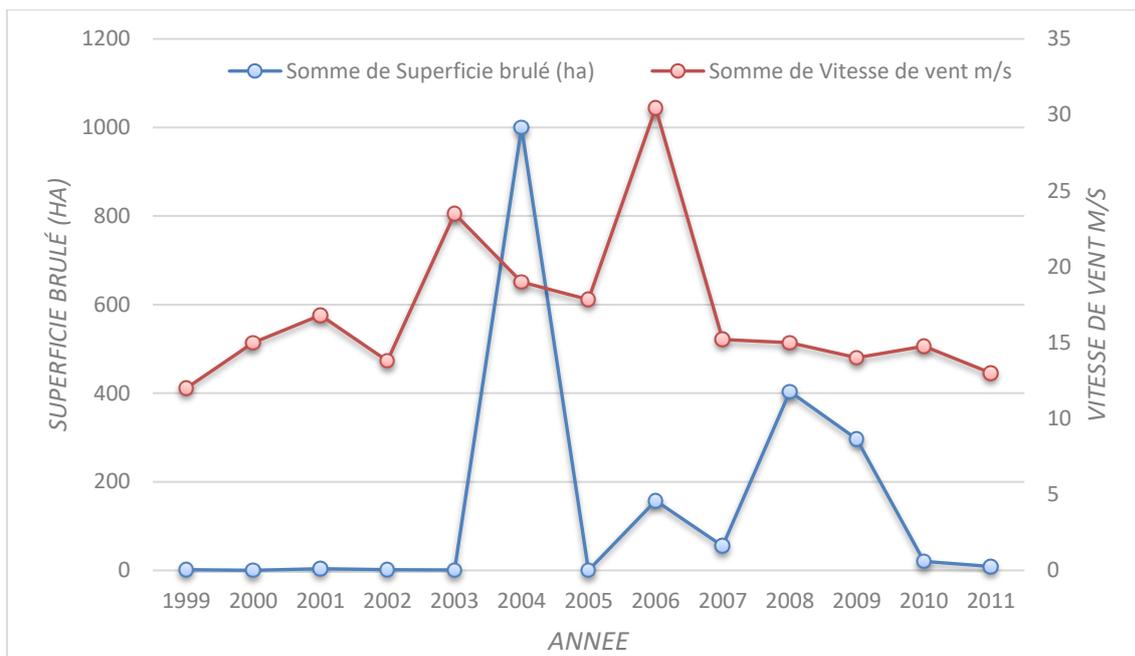


FIGURE 50: LA RELATION ENTRE LA SUPERFICIE BRULE (HA) ET LA VITESSE DE VENT

De la fig.50, on remarque que les variations de nombre de foyer ne suivent pas les variations du vent ; le vent n'agit pas directement sur le phénomène de l'ignition car il doit y avoir une source qui déclenche le feu (chaleur, flamme ...), le vent influe sur la combustion par l'enrichissement de l'air en oxygène et le changement de la voie des gaz enflammés (chadler et al. 1983).

Malgré l'analyse précédente de la relation entre les paramètres climatiques et les incendies indique qu'ils n'y ont pas de corrélation entre les deux, Bien que l'analyse précédente de la relation entre les paramètres climatiques et les incendies indique qu'il n'y a pas de relation entre les deux, on peut observer la variation de l'aléa avec la variation des valeurs de ces paramètres comme dans le tableau 40 suivant.

TABLEAU 40: LA VARIATION DE L'ALEA DE FEU PAR LES PARAMETRES CLIMATIQUES

| Aléa                                      | Forte         | Moyenne      | Faible         |
|---|---------------|--------------|----------------|
| Moyenne de Température maximale (c°)      | Plus de 39,83 | 33,3 - 39,83 | Moins de 33,3  |
| Moyenne d'Humidité minimale (%)           | Plus de 38,3  | 10,33 – 38,3 | Moins de 10,33 |
| Moyenne de Vitesse de vent maximale (m/s) | Plus de 23,5  | 10 -23,5     | Moins de 10    |

**I.3 Analyse Evaluation De Risque D'incendie De Forêts :**

L'établissement de la carte de risque d'incendie de forêts nécessite l'application d'un modèle préparé par DAGORNE Y. DUCHE (1994) et testé sur les massifs forestiers de la région méditerranéenne.

Ce modèle comprend trois facteurs principaux pour évaluer le risque d'incendie de forêt, à savoir : la topomorphologie, le combustible et l'homme qui constitue à la fois un facteur mais aussi un enjeu présentant une certaine vulnérabilité. Le modèle est basé sur la formule suivante:

$$\mathbf{IR = 5.IC + 2.IH + IM}$$

**IR** : Indice de risque de feu de forêt

**IC** : Indice de combustibilité (facteur lié au combustible)

**IH** : Indice d'occupation humaine (facteur lié à l'activité humaine)

**IM** : Indice topomorphologique (facteur lié à la topomorphologie du terrain)

La caractérisation de cet indice est basée sur la variabilité spatiale du risque d'incendie dont la détermination est issue des paramètres physiques et humains intervenant dans le modèle choisi.

**I.3.1 L'indice topomorphologique (IM) :**

Trois paramètres topographiques interviennent dans le modèle : la pente, l'exposition et l'altitude. Tous ces paramètres sont déduits à partir du modèle numérique de terrain (M.N.T) de la région. Cet indice est exprimé par la relation suivante :

$$\mathbf{IM = 3p + (m. e)}$$

**p** : la pente

**m** : la topomorphologie

**e** : l'exposition

**I.3.2 L'Indice de Combustibilité (IC) :**

La végétation est caractérisée par sa combustibilité, qui représente sa capacité à propager le feu en se consumant. Elle traduit donc sa façon de se consumer, en libérant des quantités de chaleur plus ou moins importantes. La combustibilité dépend de la structure et

des espèces dominantes de la forêt. Elle est corrélée à la quantité de biomasse combustible (BV) liée à la structure du combustible et sa composition.

Pour évaluer l'indice de combustibilité (IC), MARIEL (1995) propose la méthode suivante :

$$\mathbf{IC = 39 + 0,23 BV (E1 + E2 - 7,18)}$$

**BV** : Représente le biovolume de la formation végétale.

**E1**: Représente les notes de combustibilité pour les ligneux hauts les plus dominantes.

**E2**: Représente les notes de combustibilité pour les ligneux bas ou les herbacées les plus dominantes.

#### **II.1.4L'indice d'occupation humaine (IH) :**

La présence de la population et de ses habitations à proximité des forêts est l'enjeu dont l'importance détermine le degré de vulnérabilité du milieu. Il s'agit de protéger la vie humaine et les installations. Ainsi, le paramètre anthropique est le terme clé du modèle d'indice d'activité humaine.

Cet indice dépend de l'occupation humaine de l'espace et de son activité. Pour décortiquer la composante activité humaine, nous avons proposé une démarche qui comprend deux aspects : source de départ de feu et les enjeux.

- Le premier paramètre (IV) est basé sur l'impact anthropique sur le proche voisinage forestier à une profondeur de 100 m. Nous supposons que l'être humain exerce une pression sur son voisinage forestier.
- Le deuxième paramètre (ID) prend en compte les infrastructures routières (routes, pistes, sentiers). Cependant les éclosions d'incendie sont beaucoup plus fréquentes près des routes et des chemins de parcours des forêts.

L'indice d'occupation humaine sera ensuite exprimé à travers la combinaison linéaire des deux indices, soit :

$$\mathbf{IH = IV + 2ID}$$

**IV** : indice de voisinage

**ID** : indice de présence humaine

**I.3.4 Résultats et discussions :**

Pour évaluer le risque d'incendie de forêts lors de cette étude, susmentionné a été adopté en deux étapes :

Etape 1° Elaboration des cartes thématiques des facteurs de risque par la digitalisation des données spatiales et en développant des bases de données attributaires. Cette étape consiste à intégrer en mode vecteur la variabilité spatiale des différents facteurs (peuplement, voisinage, occupations humains et topographie). Convertir ensuite les données en mode raster pour appliquer des analyses spatiales et en déduire la topomorphologie.

Etape 2 Superposition et croisements des cartes thématiques et application des formules de la technique dans le SIG pour faire ressortir les cartes de vulnérabilité avec les statistiques nécessaires pour l'interprétation.

**I.3.4.1 Indice topomorphologique (IM) :**

La digitalisation des courbes de niveaux a permis de générer le model numérique du terrain (MNT) à partir duquel on a déduit la géométrie des surfaces. Le SIG a permis par la suite de déduire la carte des pentes et de l'exposition des versants de la zone d'étude. Ces cartes ont été utilisées pour calculer l'Indice Topomorphologique ; l'un des paramètres retenu et utilisé dans l'approche méthodologique.

**I.3.4.1.1 La carte des pentes :**

La pente modifie l'inclinaison relative à des flammes par rapport au sol et favorise, lors d'une propagation ascendante, l'efficacité des transferts thermiques par rayonnement et convection. Les feux ascendants brûlent donc plus rapidement sur les pentes fortes. En revanche, un feu descendant voit sa vitesse ralentir considérablement.

Quatre classes de pente ont été retenues en fonction de leur incidence, leur fréquence d'apparition, et leur distribution spatiale. (Tableau.41, Fig.51).

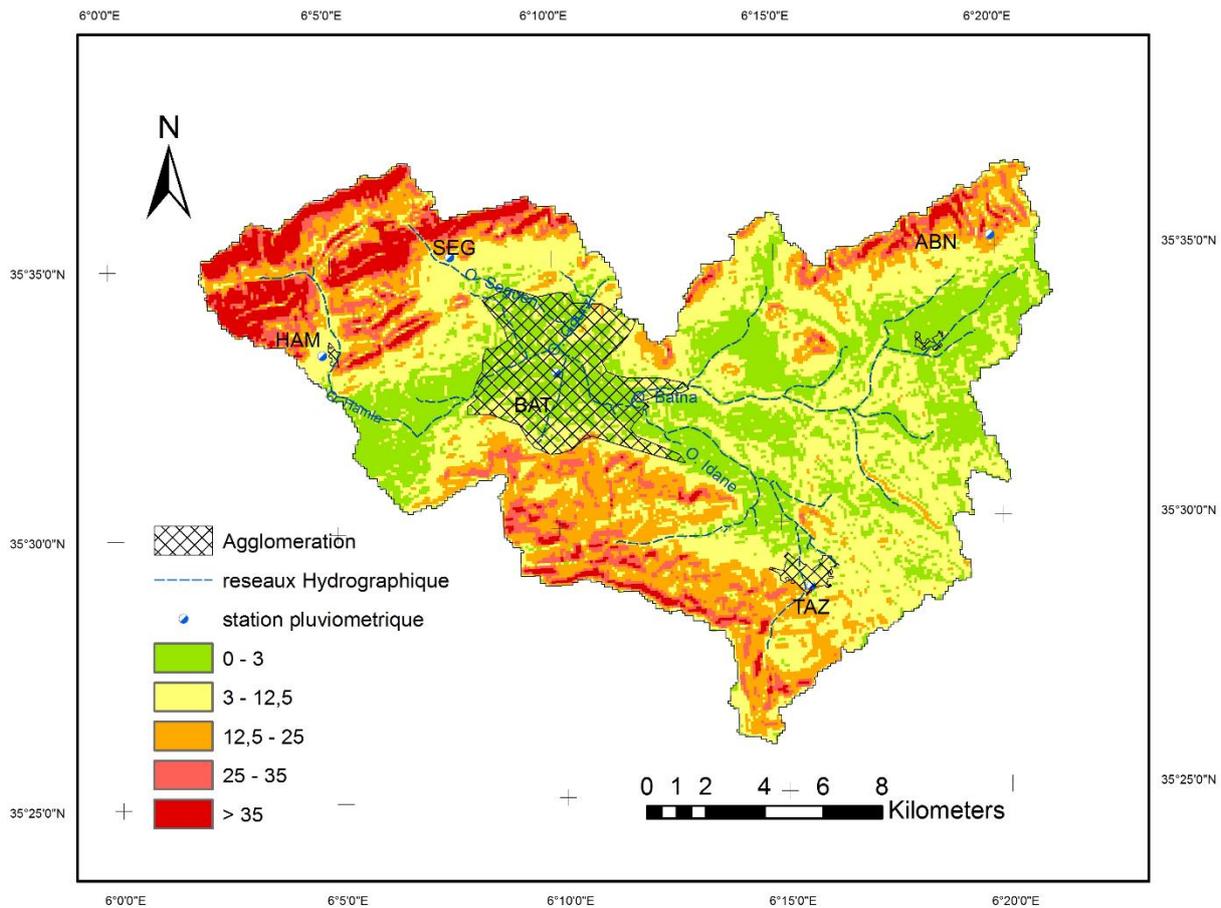


FIGURE 51: CARTE DES PENTES DU BV D'OUED EL GOURZI

TABLEAU 391: CLASSES DE PENTES

| Classes de pentes | Superficie en Km <sup>2</sup> | Pourcentage % | Code |
|-------------------|-------------------------------|---------------|------|
| 0 – 12,5 %        | 199.45                        | 66,54         | 1    |
| 12.5 – 25 %       | 58.51                         | 19.52         | 2    |
| 25 – 35 %         | 22.90                         | 7.64          | 3    |
| > 35 %            | 18.85                         | 6.29          | 4    |

La carte des pentes (Fig. 51) montre un faible pourcentage des classes de pentes faibles et très fortes dans la zone d'étude respectivement 15% et 3,02%, les classes de pentes moyennes et fortes représentent respectivement 43,79% et 38,19%, donc notre zone d'étude est presque dominée par les classes de pentes moyennes et fortes (plus de 82%).

### I.1.1 La carte des expositions :

L'exposition traduit la situation du versant par rapport aux vents dominants et à l'ensoleillement (Ghaleb F, 2006. Lakhouaja et al, 2012). En effet, elle joue également un rôle

indirect sur la progression du feu (Guettouche et al, 2011). Sur les versants exposés aux vents, la propagation est différente à celles soumises au le vent. En général, les versants SUD et EST présentent les conditions les plus favorables d'inflammation. (Tab.52).

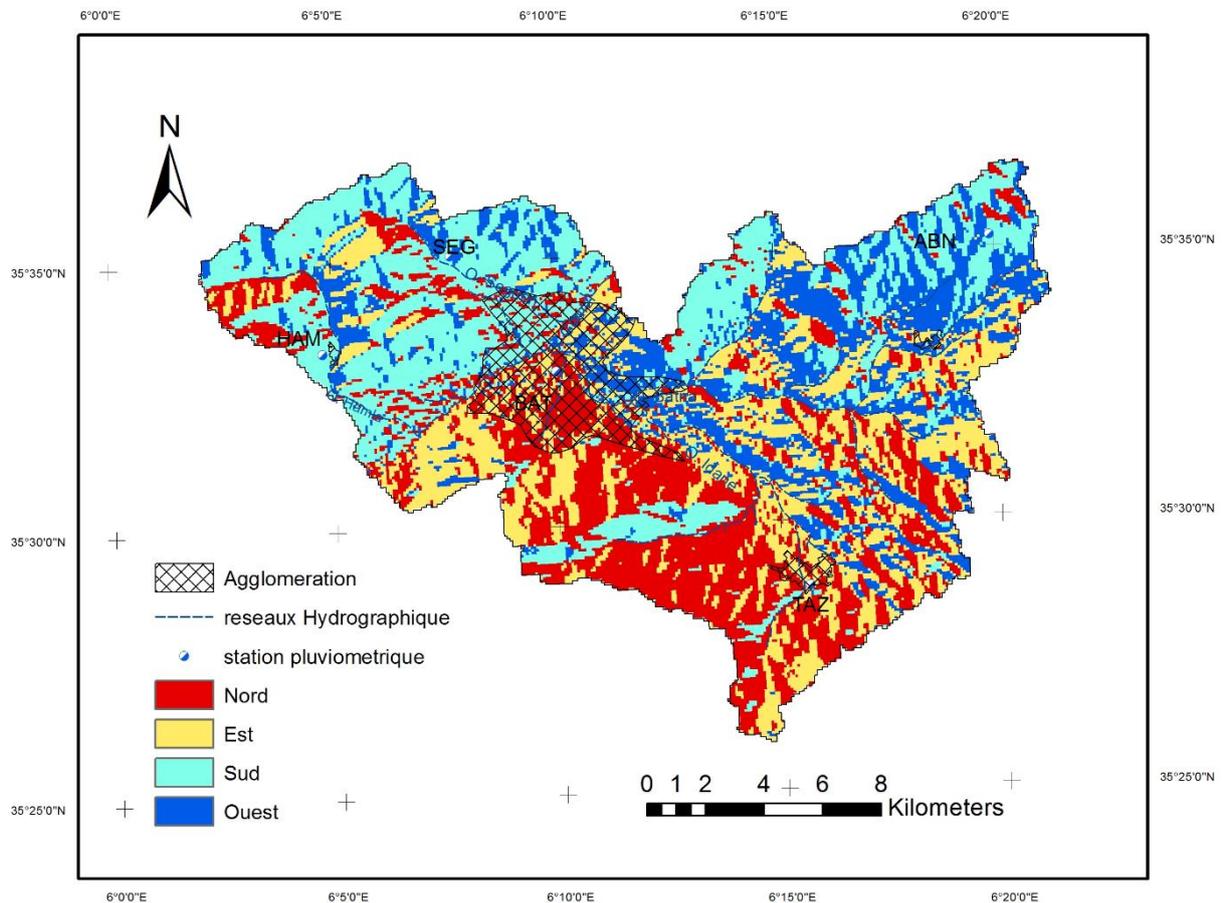


FIGURE 52: CARTE DES EXPOSITIONS DU BASSIN VERSANT OUED EL GOURZI

TABLEAU 40: CLASSES DES EXPOSITIONS

| Orientation | Superficie(Km <sup>2</sup> ) | Pourcentage | Code |
|-------------|------------------------------|-------------|------|
| EST         | 69.15                        | 23,07       | 3    |
| SUD         | 84.23                        | 28,10       | 2    |
| OUEST       | 55.77                        | 18,61       | 1    |
| NORD        | 90.57                        | 30,22       | 0    |

Quatre grandes classes d'exposition ont été sélectionnées, chaque exposition correspondant à un quartier de 45° centré sur la valeur moyenne de cette exposition. Elles sont déterminées par rapport aux quatre points cardinaux avec des valeurs exprimées en degré de sorte que le nord est l'origine.

La carte des expositions du bassin versant d'Oued El Gourzi (Fig. 52), ne présente que 23,37% de surfaces ayant des expositions EST, et que 31,34 % de celles ayant des expositions SUD. En revanche, les expositions défavorables à l'ensoleillement et les vents dominants (OUEST et NORD) représentent moins de 45 % de la superficie totale de la zone d'étude.

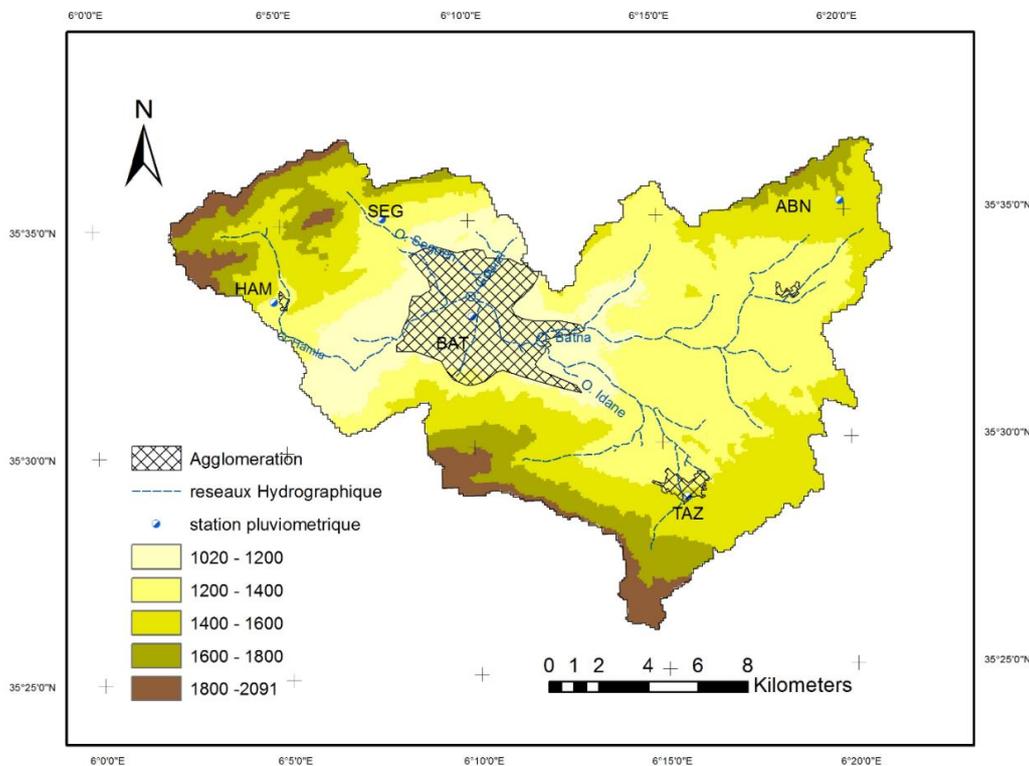
**I.3.4.1.3 La Carte de Topomorphologie :**

La position dans le versant où la topomorphologie «m» pondère l'intensité du feu en fonction de la position sur le relief. La topomorphologie a été retenue en fonction des classes des altitudes dérivées du MNT (Guettouche et al, 2011. Lakhouaja et al, 2012).

Les quatre classes définissent les situations topographiques de plus en plus défavorables à la lutte :

**TABLEAU 41: CLASSES DE LA TOPOMORPHOLOGIE «M»**

| Classe des pentes | Topographie | Pourcentage | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Code |
|-------------------|-------------|-------------|-------------------------------|------|
| H<1200            | Plaine      | 39,80%      | 119.28                        | 1    |
| 1200<=H<=1400     | Piedmont    | 16,26%      | 78.70                         | 2    |
| H>1300            | Montagne    | 33,94%      | 101.72                        | 3    |



**FIGURE 53: CARTE DES ALTITUDES DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**

Le tableau ci-dessus reflète un pourcentage de plus de 42% de la superficie étudiée des montagnes. Par contre, les plaines et les piémonts représentent un fort pourcentage par rapport à la surface étudiée (plus de 57%).

#### I.3.4.1.4 Carte de l'indice topomorphologique (IM) :

L'indice topomorphologique est obtenu par superposition de la carte de pentes, de l'exposition et de la topomorphologie et l'intégration de la formule de l'indice topomorphologique dans le SIG.

Les résultats obtenus nous ont permis d'obtenir quatre classes topomorphologiques récapitulées selon leur importance dans le tableau 46.

**TABLEAU 42: CLASSES DE L'INDICE TOPOMORPHOLOGIQUE**

| IM       | Signification         | Code |
|----------|-----------------------|------|
| IM<9     | Peu favorable         | 1    |
| 9<IM<14  | Moyennement favorable | 2    |
| 14<IM<19 | Favorable             | 3    |
| IM>19    | Très favorable        | 4    |

Un pourcentage de plus 75% de la superficie du bassin versant d'Oued El Gourzi se trouve dans des conditions topomorphologiques peu favorables à l'accentuation de feu. Les conditions moyennement favorables au risque d'incendie sont de 13%, et seulement 10% dans les tranches, sont favorables et très favorables.

#### I.3.4.2 L'indice de combustibilité :

##### IV. Carte de l'indice de combustibilité :

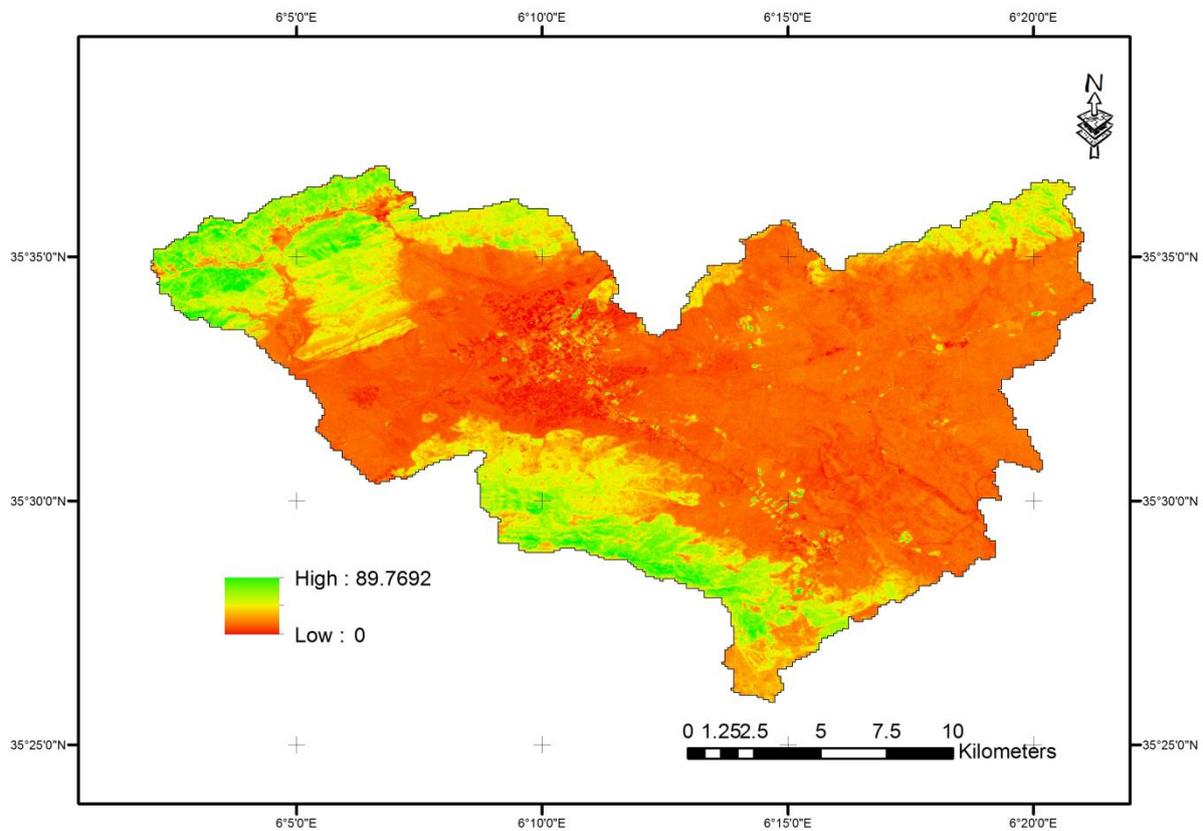
La carte de l'indice de combustibilité IC a été extraite à partir de la carte NDVI (Fig. 54) (Lakhouaja et al, 2012). La densité de la végétation où la biomasse relative est considérée comme un facteur important dans l'extension des incendies de forêt a été déterminée en calculant l'indice de végétation normalisé (NDVI) à partir des images satellitaires. Par contre, les notes d'intensité calorique des espèces présentes dans Le bassin versant d'Oued El Gourzi (E1et E2) ont été extraites de celles établies par le CEMAGREF (Guettouche et al, 2011).

Les valeurs de l'indice de combustibilité sont codées en quatre classes qui reflètent le plus fidèlement possible la répartition du combustible dans le bassin en relation avec la

combustibilité de chaque espèce (Guettouche et al, 2012). Les résultats de ce traitement sont illustrés par la carte de l'indice de combustibilité (Fig.54), et résumés dans le tableau 47.

**TABLEAU 43: INDICE DE COMBUSTIBILITE**

| Classe de l'IC | Note de risque | Superficie (Km <sup>2</sup> ) | Pourcentage | Code |
|----------------|----------------|-------------------------------|-------------|------|
| IC<10          | Nul            | 205.20                        | 68,47       | 0    |
| 10≤ IC<30      | Faible         | 15.08                         | 5,03        | 1    |
| 30≤ IC<40      | Modéré         | 49.19                         | 16,41       | 2    |
| 40≤ IC<50      | Élevé          | 18.16                         | 6,06        | 3    |
| IC≥50          | Très élevé     | 12.08                         | 4.03        | 4    |

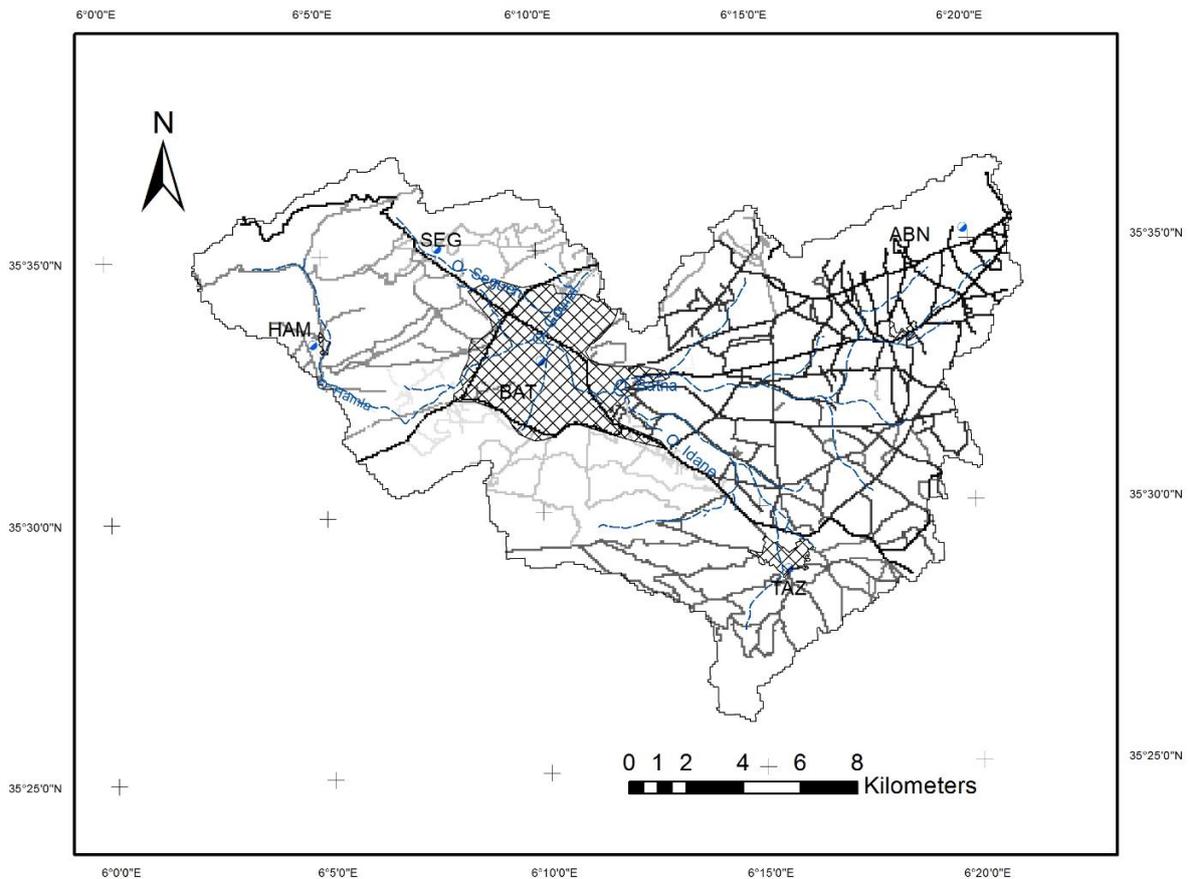


**FIGURE 54: CARTE DE L'INDICE DE COMBUSTIBILITE DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**

On constate que plus de 73% de la superficie du bassin versant d'Oued El Gourzi présente un indice de combustibilité faible et nul et que seulement 26 % de cette superficie présente un indice de combustibilité modéré, élevé et très élevé. Cela peut s'expliquer par la prédominance d'espèces à faible combustibilité telles que le chêne vert et qui se manifestent favorablement contre la propagation de feu.

### I.3.4.3 L'Indice d'Occupation Humaine :

Comme mentionné précédemment dans la partie méthodologique, l'indice d'occupation humaine est divisé selon la formule adoptée en deux indices ; l'indice de voisinage et l'indice d'occupation humaine, qu'on a assimilé par des surfaces tampons (Buffers) de 100 m de profondeur de part et d'autre des routes et des pistes selon le niveau de circulation et autour des habitations installées dans ou en lisière de forêt (CARREGA, 2008).



**FIGURE 55: CARTE DE L'INDICE D'OCCUPATION HUMAINE DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI**

L'Indice d'occupation humaine, reflète des petites superficies dont le risque de feu de forêt intervient, cette situation est due aux faibles densités humaines et à la faible densité du réseau routier implanté en forêt.

I.3.4.4 Carte de l'indice de risque de feu :

Le calcul de l'indice de risque du feu est le résultat de croisement entre la couche de l'indice de combustibilité, la couche de l'indice topomorphologique et l'indice d'activité humain en appliquant la formule suivante (Lakhouaja et al, 2012) :

$$IR = 5. IC + 2. IH + IM$$

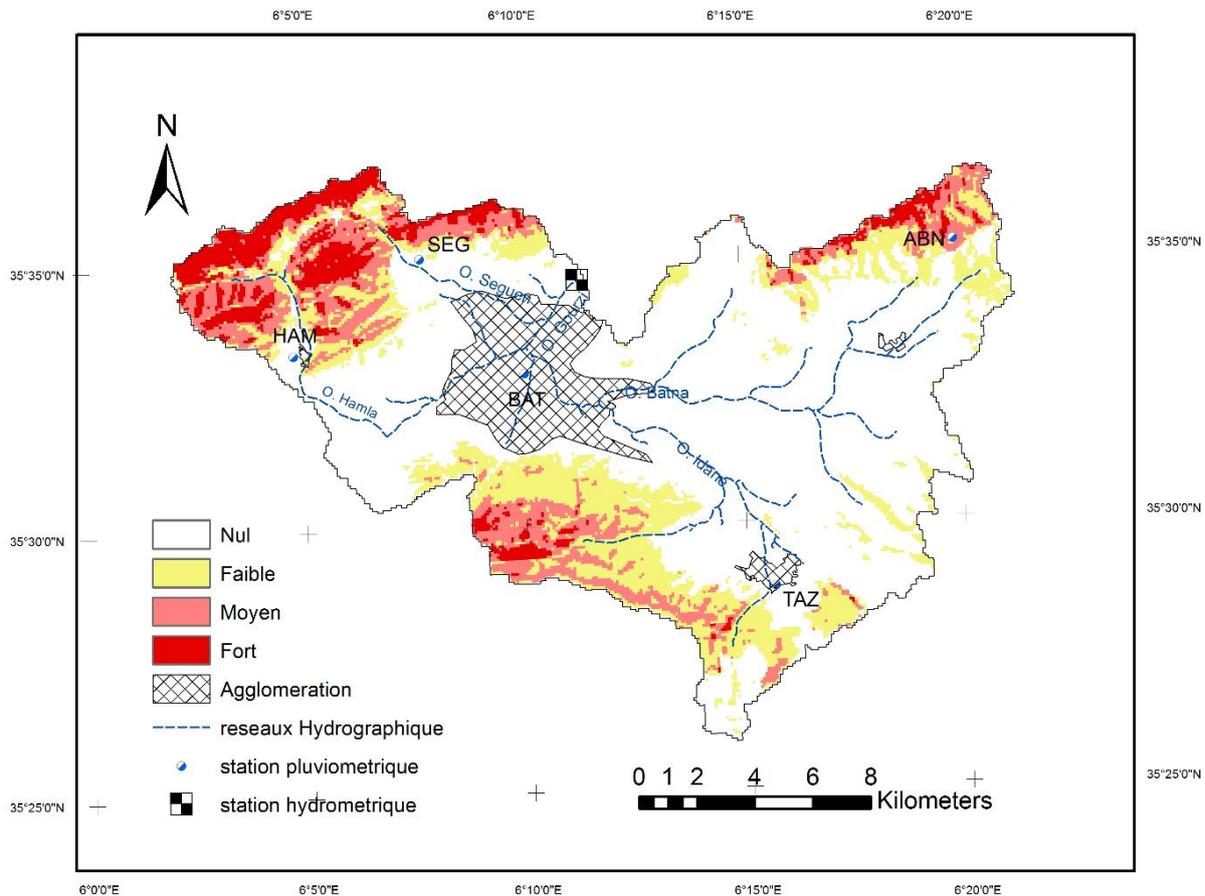


FIGURE 56: CARTE DE RISQUE DES FEUX DES FORETS DU BASSIN VERSANT D'OUED EL GOURZI

TABLEAU 44: CLASSES DE L'INDICE DE RISQUE DE FEU (IR)

| Classe de l'IR | Signification  | Superficie | Pourcentage |
|----------------|----------------|------------|-------------|
| IR > 12        | Risque fort    | 19.04      | 6.52%       |
| 9 < IR < 12    | Risque moyenne | 32.62      | 10.91 %     |
| 6 < IR < 9     | Risque faible  | 52.50      | 17.54%      |
| IR < 6         | Risque nul     | 194.83     | 65.01%      |

Le bassin versant d'Oued El Gourzi reste au regard des résultats obtenus, malgré la forte présence d'espèces ligneuses, dans le domaine du risque moyen à 10% et à faible risque de 65% face aux incendies. Cette conclusion a été confirmée en exploitant les données

statistiques des incendies dans cette forêt qui n'a pratiquement pas subi d'incendies entre la période 1994 et 2011.

Les conditions topomorphologiques du bassin versant d'Oued El Gourzi sont favorables en montagne (forte pente, l'exposition climatique, et biomasse 'couvert végétales') et négligeable dans les plaines (faible pentes, exposition vers l'OUEST et vers le NORD), ce qui minimise le risque d'incendies. Cette position peut confirmer notre conclusion étant donné le rôle fondamental de la topomorphologie du terrain et la combustibilité du couvert végétal sur les risques d'incendie de forêt.

Les résultats de l'application de ce modèle empirique ne peuvent être acceptés sans remettre en cause leur fiabilité, comme c'est le cas pour tous les modèles empiriques. Dans notre cas, le modèle a été appliqué sans tenir compte des incendies de forêt survenus dans la région.

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons traité des analyses statistiques des feux de forêts qui ont montré que l'été est la saison la plus favorable au déclenchement des feux, 2004 a enregistré un feu de forêt de 1000 ha, alors que l'année 2001 a connu 16 foyers de feu.

De l'analyse des paramètres climatiques, on peut conclure que la température et les vents sont les facteurs climatiques les plus influents sur les incendies de forêt, la vitesse critique du vent atteint 10 m/s et la température est de 33 °C permettant aux incendies de se déclencher.

Le modèle multicritère a permis d'estimer la répartition spatiale de la sensibilité aux feux de forêt et la cartographie de l'ensemble du bassin qui pourrait servir d'outils d'aide à la décision en matière de gestion et de protection des risques naturels.

# *Chapitre II*

## *Risque d'inondations*

## **II. Chapitre II : Risque des inondations**

### **Introduction**

Les inondations représentent un risque naturel qui peut entraîner des pertes de vie, des dommages matériels et une dégradation de l'environnement. Les inondations sont classées en deuxième position après les aléas sismiques, mais en revanche elles sont classées en premier en termes de fréquence d'occurrence, et les crues du projet peuvent être déterminées par des méthodes probabilistes (analyse de la fréquence des pluies, ou analyse de la fréquence des crues).

Les systèmes d'information géographique sont désormais indispensables à la bonne gestion dans ce domaine comme dans d'autres.

Ce chapitre, vise à délimiter les zones inondables dans le Bassin Versant de l'oued El Gourzi qui est exposé à des inondations grâce à l'utilisation conjointe de HEC-RAS et HEC-GEORAS. Combine du logiciel HEC-RAS et l'outil HEC- GEORAS.

### **IV.2 Modélisation statistique des précipitations annuelles maximales :**

Les valeurs extrêmes des variables hydro climatiques sont particulièrement importantes lorsqu'on parle en termes de risque. L'estimation de la récurrence de pluies extrêmes fournit des éléments indispensables pour la construction d'infrastructures telles que les digues et les ouvrages d'assainissement, etc. afin de protéger efficacement la population et ses biens.

Cette thèse vise à créer une loi théorique pouvant montrer une bonne représentation de la fonction de distribution annuelle maximale des précipitations pour prévenir les risques liés aux inondations dans la ville de Batna. Les données utilisées couvrent la période de 1969 à 2011.

#### **II.1.1 La loi d'extrémum généralisée (GEV) :**

La distribution GEV est largement utilisée pour la modélisation des extrêmes en sciences de l'environnement et ailleurs. Cela dépend des paramètres d'emplacement ( $\mu$ ), d'échelle ( $\sigma$ ) et de forme ( $\xi$ ). La distribution des valeurs extrêmes généralisées (GEV) est un modèle flexible à trois paramètres qui combine les distributions des valeurs extrêmes de Gumbel ( $\xi = 0$ ), Fréchet ( $\xi > 0$ ) et Weibull ( $\xi < 0$ ).

Dans la distribution GEV stationnaire, les trois paramètres sont constants. Alors que, dans la distribution GEV non stationnaire, ces paramètres sont exprimés en fonction du temps ( $t$ ) et éventuellement d'autres Co variables.

Si nous permettons, comme d'habitude, la non-stationnarité des paramètres d'emplacement et d'échelle mais pas celle du paramètre de forme, cette distribution GEV non stationnaire ( $\mu(t), \sigma(t), \xi$ ) a une fonction de distribution :

$$F(y; \mu(t), \sigma(t), \xi) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \frac{y - \mu(t)}{\sigma(t)} \right]^{-1/\xi} \right\}$$

En cas de non stationnaire, les structures de régression suivantes pourraient être prises en compte pour les paramètres de localisation et d'échelle

$$\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \times t$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 \times t$$

Permettant une dépendance linéaire dans le temps des paramètres de l'emplacement et d'échelle. On note GEV ( $i, j, 0$ ) le modèle avec dépendance temporelle de l'ordre  $i$  dans le paramètre emplacement et de l'ordre  $j$  dans le paramètre échelle. Par exemple, la distribution stationnaire de GEV est GEV ( $0, 0, 0$ ), obtenue lorsque les paramètres de l'emplacement et d'échelle sont indépendants du temps ( $\mu_1 = \sigma_1 = 0$ ), tandis que le modèle non stationnaire GEV ( $1, 1, 0$ ) suppose une tendance linéaire en termes d'emplacement et d'échelle. Deux modèles de complexité variable peuvent être définis de cette manière (deux choix pour chacun de  $i$  et  $j$ ). Le tableau 47, présente les différents modèles GEV et leurs paramètres.

Nous avons suivi les recommandations de la documentation du programme (R Studio) visant à normaliser les Co variables. Ainsi, le terme linéaire dans le temps est effectivement entré dans le modèle comme :

$$x_i = \frac{t_i - m}{s}$$

Où  $m$  et  $s$  sont la moyenne et l'écart type de la Co variable temporelle, respectivement.

**TABLEAU 45: DIFFERENTES COMBINAISONS ET LA FONCTION DE REGRESSION**

| <i>Modèles</i>          | <i>Paramètres</i>   |
|-------------------------|---|
| Modèle 0 (Stationnaire) | $\mu, \sigma$ et $\xi$ sont des constantes  |
| Modèle 1                | $\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 * t; \sigma$ et $\xi$ sont des constantes                   |
| Modèle 2                | $\mu(t) = \mu_0 + \mu_1 * t; \sigma(t) = \sigma_0 + \sigma_1 * t; \xi$ est constant |

**II.1.2 La sélection du modèle :**

Les modèles GEV stationnaires et non stationnaires peuvent être adaptés à une série de temps  $\{y(t_i) : t_i \in T\}$ . Où  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  en maximisant la fonction de log-vraisemblance comme suit :

$$\ell = \log L = \sum_{i=1}^n \left( -\log(\sigma(t_i)) - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \log \left(1 + \xi \frac{y(t_i) - \mu(t_i)}{\sigma(t_i)}\right) - \left[1 + \xi \frac{y(t_i) - \mu(t_i)}{\sigma(t_i)}\right]^{-1/\xi} \right)$$

La qualité de l'ajustement et la signification des modèles ont été testées à l'aide du test du log-likelihood ratio (LRT), Akaike's information criterion (AIC) et the Bayesian information criterion (BIC).

Les méthodes LRT, AIC et BIC sont utilisées pour choisir le meilleur modèle pour chaque station. L'AIC corrigée est utilisée pour sélectionner le meilleur modèle pour un petit échantillon ((n / k) < 40). Si  $\hat{\ell}$  est la valeur maximisée de la vraisemblance pour un modèle contenant  $p$  paramètres et que  $n$  est la taille de l'échantillon, les critères sont définis comme :

$$\begin{aligned} \text{(The third term is the correction) and } AIC_c &= -2\hat{\ell} + 2p + \frac{2p(p+1)}{n-p-1} \\ BIC &= -2\hat{\ell} + p \log n \end{aligned}$$

Le modèle préféré parmi les modèles GEV est celui qui minimise le critère choisi, cependant, il faut également faire attention aux modèles dont les valeurs sont proches du minimum.

Tous les résultats rapportés dans ce travail ont été obtenus dans l'environnement informatique R (R Development Core Team, 2019). Utiliser la routine *fevd* du package extrêmes pour ajuster les distributions GEV stationnaires et non stationnaires au maximum de vraisemblance.

### II.1.3 Résultats et Discussions :

#### II.1.3.1 Description statistique des données de précipitations maximales annuelles :

L'analyse préliminaire des données de précipitations maximales annuelles comprenait le calcul de statistiques descriptives. Plus précisément, nous avons calculé le minimum (Min), le maximum (Max), la médiane, la moyenne, l'écart type (DS), et le coefficient de variation (Cv).

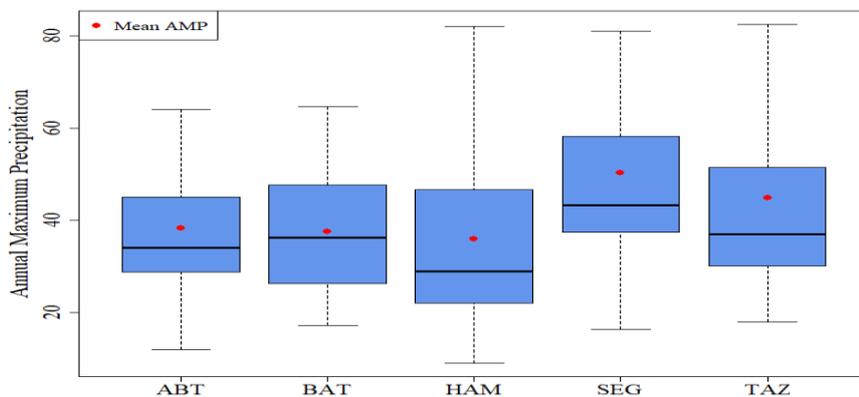
Le tableau 48 présente les valeurs des statistiques descriptives pour la série chronologique annuelle des précipitations maximales de toutes les stations. Les résultats montrent que la valeur maximale d'AMP est observée dans la station TAZ, tandis que les valeurs moyennes et médianes les plus élevées sont observées dans la station SEG (Fig. 57). La valeur la plus basse de Cv est pour la station BAT (35%) et la plus élevée pour la station TAZ (65%).

Selon Hare (2003), le coefficient de variation est utilisé pour classer le degré de variabilité des précipitations maximales annuelles comme étant inférieur ( $Cv < 20\%$ ), modéré ( $20\% < Cv < 30\%$ ), élevé ( $Cv > 30$ ), très faible, un  $Cv$  élevé  $> 40\%$  et un  $Cv > 70\%$  indiquent une variabilité extrêmement élevée des précipitations maximales annuelles.

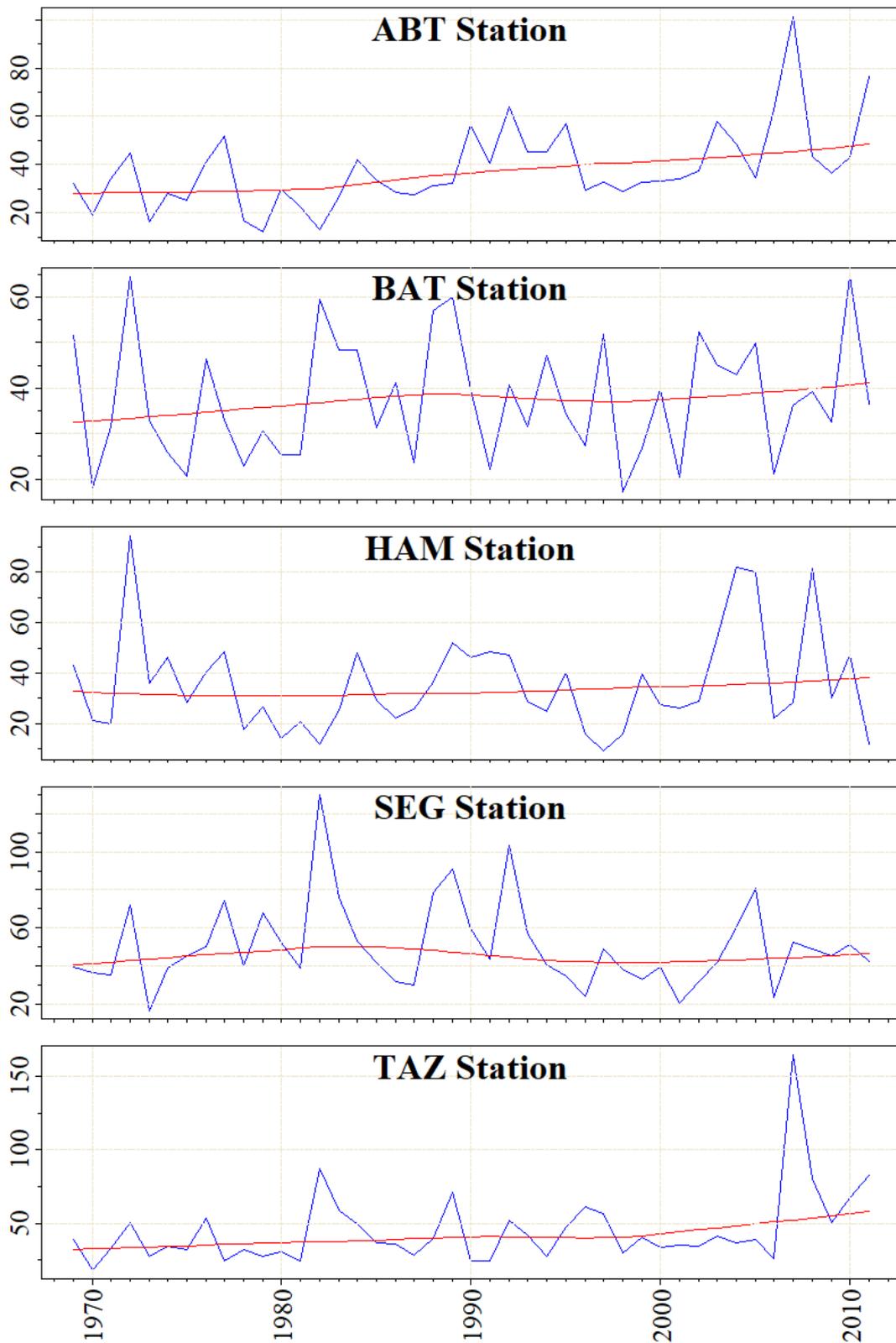
Sur cette base, les données observées ont montré que toutes les stations avaient un coefficient de variation supérieur à 30%, soulignant la forte variabilité des précipitations maximales annuelles sur le bassin versant de l'Oued El Gourzi (Tableau 48).

**TABLEAU 48: DESCRIPTION STATISTIQUE DES PRECIPITATIONS MAXIMALES ANNUELLES**

| Station     | ABT   | BAT  | HAM  | SEG         | TAZ          |
|-------------|-------|------|------|-------------|--------------|
| Min         | 12.0  | 17.2 | 9.0  | 16.4        | 18.0         |
| Max         | 101.3 | 64.6 | 94.5 | 129.8       | <b>164.6</b> |
| Médian      | 34.0  | 36.2 | 29.0 | <b>43.3</b> | 37.0         |
| Moy         | 38.4  | 37.6 | 35.9 | <b>50.3</b> | 44.9         |
| Ecart type  | 17.1  | 13.2 | 19.9 | 22.6        | 25.1         |
| C.Variation | 0.45  | 0.35 | 0.55 | 0.45        | 0.56         |



**FIGURE 57: BOXPLOT DES PRECIPITATIONS MAXIMALES ANNUELLES**



**FIGURE 58: PRESENTATION GRAPHIQUE DES DONNEES DE PRECIPITATIONS MAXIMALES ANNUELLES DE 1969 A 2011, AVEC TENDANCE AJUSTEE PAR LISSAGE PLUS FAIBLE.**

### II.1.3.2 Analyse préliminaire :

En tant que première approche pour étudier les tendances des précipitations maximales annuelles au cours de la période d'étude 1969-2011, le test de tendance Mann-Kendall est appliqué. Une tendance est considérée comme présente si elle est détectée par le test.

Les résultats montrent qu'au niveau de signification de 0,05, la série annuelle de précipitations maximales des stations ABT et TAZ a présenté une tendance statistiquement significative, alors que les autres stations ne présentaient aucune tendance statistiquement significative lorsque nous avons pris en compte l'ensemble de la période d'étude (Tableau 49).

**TABLEAU 49: TEST DE TENDANCE MANN-KENDALL POUR CHAQUE STATION**

| Station | Z      | p-value   |
|---------|--------|-----------|
| ABT     | 3.893  | 9.896E-05 |
| BAT     | 0.659  | 0.510     |
| HAM     | 0.576  | 0.565     |
| SEG     | -0.136 | 0.892     |
| TAZ     | 2.313  | 0.021     |

### III.1.4 Comparaison des critères de sélection :

L'étude d'utilisation de la distribution GEV pour modéliser les précipitations maximales annuelles à Oued El Gourzi. La modélisation des événements à l'aide de modèles stationnaires et non stationnaires pour la période 1969-2011. L'effet du temps est pris en compte. Dans cette étude, trois modèles GEV sont proposés. Les estimations des paramètres et les tests de critères d'ajustement (AIC et BIC) ont été calculés pour différents modèles de GEV, comme indiqué dans le tableau 51. Le meilleur modèle a été choisi sur la base des valeurs minimales des critères de **GOF**.

A partir des résultats, on voit que le modèle 2, dont le paramètre de l'emplacement dépend du temps et dont les autres paramètres sont constants, est le meilleur modèle pour expliquer le changement des précipitations maximales annuelles aux stations ABT et TAZ.

Le modèle 0 (cas stationnaire), dans lequel il n'y a pas de tendance significative, est le meilleur modèle pour les autres stations, ces résultats sont corroborés par la Fig.58 où nous avons montré les graphes de quantiles et de densité des ajustements pour les cinq séries chronologiques. La figure 59 montre que l'ajustement fourni par le modèle 0 et le modèle 1 est bon dans cette zone d'étude.

Dans le tableau 50, nous voyons clairement que les paramètres d'emplacement et d'échelle sont élevés pour la station SEG. Une analyse du paramètre de forme obtenue pour

tous les modèles et toutes les stations sauf la station BAT montre que ce paramètre est positif. Une plus grande valeur absolue de ce paramètre correspond à une plus grande précipitation annuelle extrême.

**TABLEAU 46: ESTIMATIONS DE PARAMETRES ET RESUME DES TESTS DE QUALITE DE L'AJUSTEMENT POUR TROIS MODELES**

| Paramètres       | Model 0 |        |        |        |        |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                  | ABT     | BAT    | HAM    | SEG    | TAZ    |
| $\mu$            | 30.85   | 32.06  | 26.28  | 39.97  | 33.68  |
| $\sigma$         | 12.82   | 11.48  | 13.19  | 15.60  | 11.69  |
| $\xi$            | 0.01    | -0.12  | 0.14   | 0.08   | 0.29   |
| $-\log l$        | 177.69  | 170.27 | 182.32 | 187.89 | 180.74 |
| AIC <sub>c</sub> | 361.38  | 346.53 | 370.64 | 381.79 | 367.49 |
| BIC              | 366.66  | 351.82 | 375.92 | 387.07 | 372.77 |
|                  | Model 1 |        |        |        |        |
|                  |         |        |        |        |        |
| $\mu_0$          | 31.32   | 32.01  | 26.20  | 39.96  | 33.77  |
| $\mu_1$          | 8.07    | 1.51   | -0.55  | -0.01  | 3.25   |
| $\sigma$         | 9.72    | 11.30  | 13.11  | 15.60  | 10.53  |
| $\xi$            | 0.14    | -0.11  | 0.15   | 0.08   | 0.36   |
| $-\log l$        | 169.11  | 169.92 | 182.28 | 187.89 | 177.92 |
| AIC <sub>c</sub> | 346.23  | 347.85 | 372.56 | 383.79 | 363.84 |
| BIC              | 353.27  | 354.89 | 379.61 | 390.83 | 370.89 |
|                  | Model 2 |        |        |        |        |
|                  |         |        |        |        |        |
| $\mu_0$          | 31.14   | 32.09  | 26.24  | 40.06  | 34.13  |
| $\mu_1$          | 7.93    | 1.47   | 0.35   | -1.09  | 4.86   |
| $\sigma_0$       | 9.54    | 11.37  | 13.07  | 15.61  | 10.74  |
| $\sigma_1$       | -0.54   | -0.26  | 1.70   | -1.79  | 1.80   |
| $\xi$            | 0.17    | -0.12  | 0.15   | 0.07   | 0.32   |
| $-\log l$        | 169.06  | 169.90 | 181.78 | 187.52 | 177.14 |
| AIC <sub>c</sub> | 348.12  | 349.81 | 373.56 | 385.04 | 364.28 |
| BIC              | 356.92  | 358.62 | 382.37 | 393.84 | 373.09 |

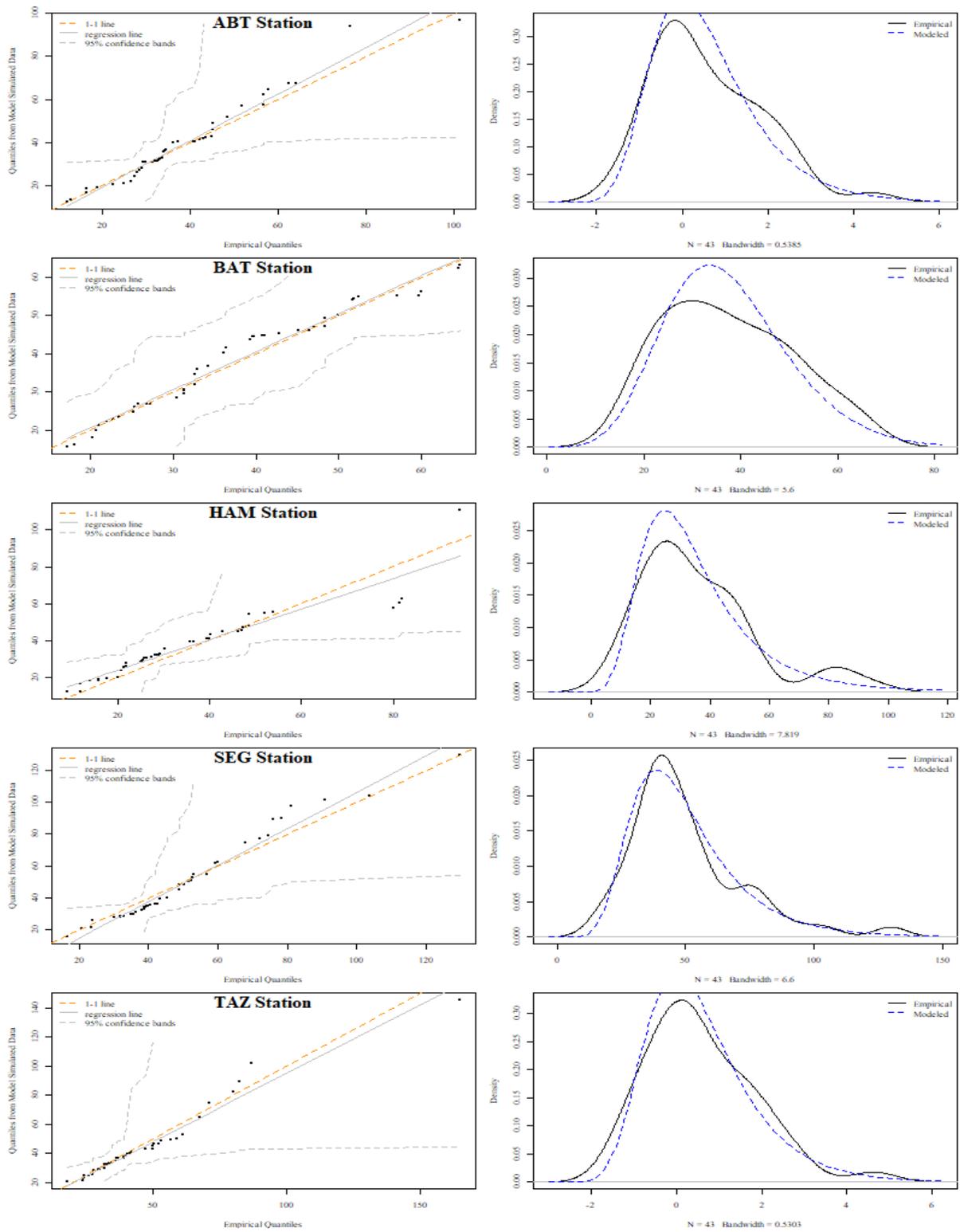


FIGURE 59: GRAPHES DES QUANTILES ET DE DENSITE POUR CHAQUE STATION

### II.1.4 Estimations du niveau de retour :

Une fois que le meilleur modèle pour les données a été déterminé, l'intérêt est de calculer les niveaux de retour des précipitations maximales annuelles. Le niveau de retour de l'année  $T$ , disons  $x_T$ , est la valeur apparaissant en moyenne une fois par année. Par exemple, le niveau de retour sur 2 ans est la médiane de la distribution de chaque station. Si le modèle 1 est supposé, alors en inversant

$$F(x_T) = 1 - \frac{1}{T} \text{ On a :}$$

$$x_T = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[ 1 - \left\{ -\log \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right\}^{-\xi} \right]$$

En substituant dans cette équation, nous obtenons les estimations du maximum de vraisemblance des niveaux de retour.

Les intervalles de confiance pour les estimations du niveau de retour sont obtenus au moyen de la méthode delta.

Les niveaux de retour sur 20 et 100 ans pour chaque station sont indiqués dans le tableau 51. Il est clair qu'à chaque station, il n'y a que 1 à 4 précipitations maximales annuelles observées dépassant le niveau de retour sur 20 ans. Aucune des précipitations maximales annuelles observées n'a dépassé le niveau de retour sur 100 ans dans les stations ABT, BAT et HAM. Alors qu'une seule précipitation annuelle maximale observée a dépassé le niveau de retour sur 100 ans dans les stations SEG et TAZ, respectivement.

**TABLEAU 47: PERIODES DE RETOUR POUR CHAQUE STATION**

| Station | $T = 20$ | $T = 100$ |
|---------|----------|-----------|
| ABT     | 74.95    | 101.47    |
| BAT     | 60.67    | 72.47     |
| HAM     | 74.89    | 111.54    |
| SEG     | 92.02    | 126.06    |
| TAZ     | 93.14    | 161.59    |

## II.2 Etude des débits :

### II.2.1 La variation temporelle des débits :

Les observations des débits s'étendent sur une période de dix-sept ans (1969-1986), qui ont été mesurées à la station Fesdis.

### II.2.1.1 Les variations annuelles des débits :

La régularité annuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations d'hydraulicité, C'est-à-dire le rapport des débits d'une année donnée  $Q_i$  aux débits moyennes d'une longue série d'observations, et peut être complété par d'autres critères statistiques simples tels que : « l'écart type » ou mieux « le coefficient de variation ».

**TABLEAU 48: DEBITS MOYENNES ANNUELLES (STATION DE FESDIS)**

| Années    | $Q_{\text{moy}} \text{ Annuel (m}^3/\text{s)}$ | CHY  | Apport Hydraulique<br>( $\text{hm}^3$ ) |
|-----------|--|------|---|
| 1969/1970 | 0.42   | 1.13 | 13,30                                   |
| 1970/1971 | 0.10   | 0.27 | 3,18                                    |
| 1971/1972 | 0.22   | 0.59 | 6,90                                    |
| 1972/1973 | 0.36   | 0.97 | 11,17                                   |
| 1973/1974 | 0.21   | 0.56 | 6,60                                    |
| 1974/1975 | 0.18   | 0.48 | 5,66                                    |
| 1975/1976 | 0.22   | 0.59 | 7,09                                    |
| 1976/1977 | 0.44   | 1.19 | 13,91                                   |
| 1977/1978 | 0.42   | 1.13 | 13,39                                   |
| 1978/1979 | 0.49   | 1.32 | 15,30                                   |
| 1979/1980 | 0.43   | 1.16 | 13,42                                   |
| 1980/1981 | 0.41   | 1.10 | 12,80                                   |
| 1981/1982 | 0.46   | 1.24 | 14,54                                   |
| 1982/1983 | 0.83   | 2.24 | 25,87                                   |
| 1983/1984 | 0.42   | 1.13 | 13,29                                   |
| 1984/1985 | 0.41   | 1.10 | 12,89                                   |
| 1985/1986 | 0.33   | 0.89 | 10,37                                   |
| Moyen     | 0.37   | 1.00 | 11.74                                   |

Source : agence nationale des ressources hydrique (ANRH)

$$CHY = \frac{Q_i}{Q_{an}}$$

Avec :

CHY : coefficient d'hydraulicité

$Q_i$  : débit moyen d'une année x

$Q_{an}$  : débit moyen de la série

Selon le tableau ci-dessus, le débit moyen annuel de la station de *Fesdis* pour la période d'exploitation est de  $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ , avec un débit maximal de  $0.83 \text{ m}^3/\text{s}$  en (1982/1983), et un débit minimal de  $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$  en (1970/1971).

- **L'intervalle de variation :**

C'est la moyenne de valeur maximale – la moyenne de valeur minimale  
 $= 0.83 - 0.10 = 0.73 \text{ (m}^3/\text{s)}$

- **L'intervalle de perturbations (coefficient d'immodération)**

Traduisant le rapport des modules extrême = moyenne valeur maximale/moyenne minimale =  $0.83/0.10 = 8.3$

Et selon le coefficient d'hydraulicité déterminé par la formule précédente et les valeurs affichées dans le tableau 54, on peut observer deux périodes :

- Période humide, où la valeur de CHY est supérieure à 1 avec 10/17 ans.
- Période sèche, où la valeur de CHY est inférieure à 1 avec 7/17 ans.

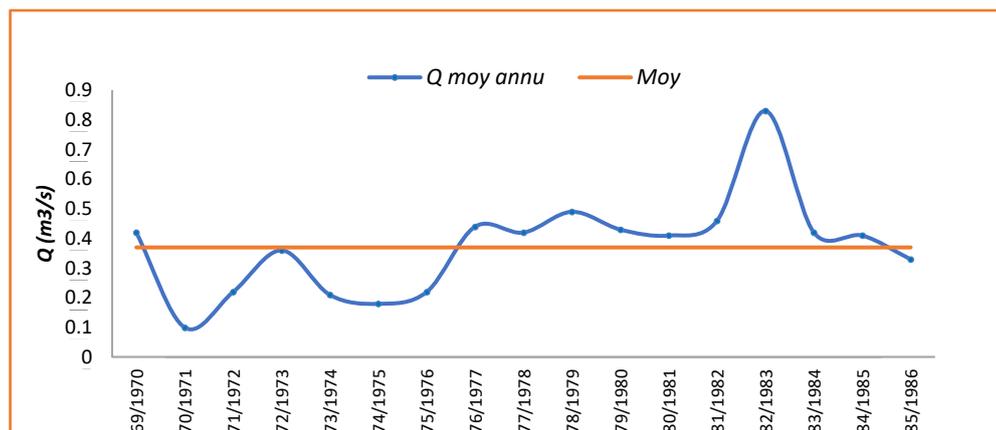


FIGURE 60: VARIATIONS DES DEBITS MOYENS ANNUELS –STATION DE FESDIS- SERIE 1969-1986

L'hydraulicité exceptionnelle de l'année 82-83 qui se traduit par un coefficient de **2.24** peut être attribuée aux fortes crues, c'est d'ailleurs l'année qui a connu une véritable surabondance fluviale autour de  $25,87 \text{ hm}^3$ . En revanche, l'hydraulicité atteint une valeur minimale en 70-71 par un coefficient de l'ordre **0.27**, cette année marquée par un important déficit pluviométrique, ce qui a déterminé un coefficient d'immodération remarquable **R=8.3**

Par conséquent, l'apport annuel moyen n'a cependant qu'une signification en raison de la forte variabilité interannuelle de l'écoulement superficiel au niveau du bassin, qui est mise en évidence par les valeurs hydrauliques.

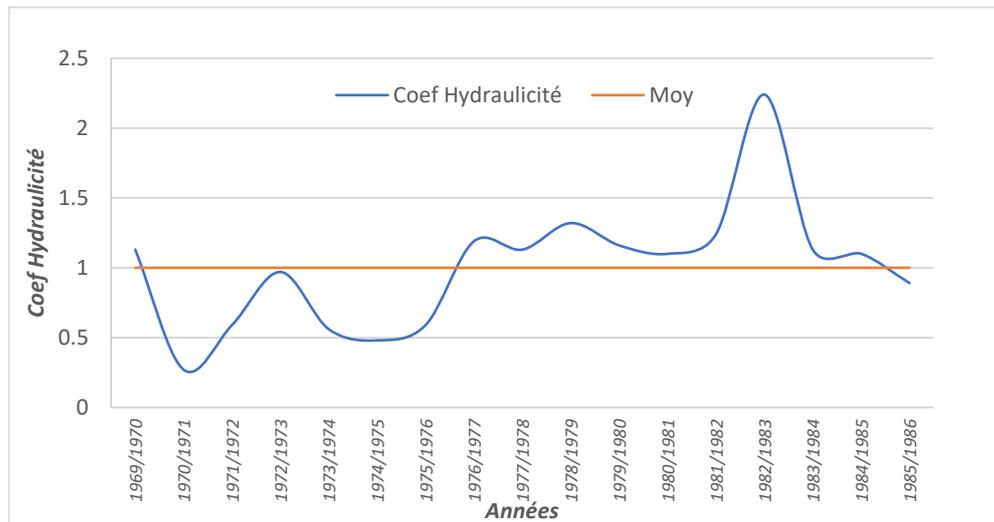


FIGURE 61: VARIATION DE COEFFICIENT D’HYDRAULICITE

II.2.1.2 La variabilité mensuelle des débits :

L'analyse des débits mensuels permet de faire la lumière sur les régimes des cours d'eau, les variations interannuelles, et les graphiques parmi lesquels on retiendra principalement :

TABLEAU 49: VARIATIONS MENSUELLES DES DEBITS

| Mois                                 | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Jan  | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Jua  | Jui  | Aou  |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q <sub>moy</sub> (m <sup>3</sup> /s) | 0.60 | 0.48 | 0.57 | 0.34 | 0.32 | 0.29 | 0.30 | 0.35 | 0.31 | 0.30 | 0.25 | 0.29 |
| Coef CMD                             | 1.62 | 1.29 | 1.54 | 0.91 | 0.86 | 0.10 | 0.81 | 0.94 | 0.83 | 0.81 | 0.67 | 0.78 |
| Ecart-type                           | 0.41 | 0.48 | 0.09 | 1.15 | 0.13 | 0.12 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.18 | 0.10 | 0.22 |
| CV                                   | 0.68 | 1    | 0.15 | 3.29 | 0.40 | 0.40 | 0.46 | 0.38 | 0.47 | 0.59 | 0.39 | 0.75 |

Source : ANRH

Sachant que : CMD : coefficient mensuel des débits ;

$$CMD = \frac{\text{débit moyen pour un mois } x}{\text{débit moyen de la série}}$$

- **Interprétation du coefficient CMD :**

Pour mieux séparer les périodes des hautes eaux de celles des basses eaux, il est indispensable de calculer le coefficient mensuel des débits pour chaque mois.

CMD <1: coïncide avec les mois des basses eaux.

CMD >1: coïncide avec les mis des hautes eaux.

La variabilité des débits mensuels indique les saisons les plus humides et les saisons les plus sèches. Les pluies d'automne provoquent de fortes crues dues aux pluies orageuses.

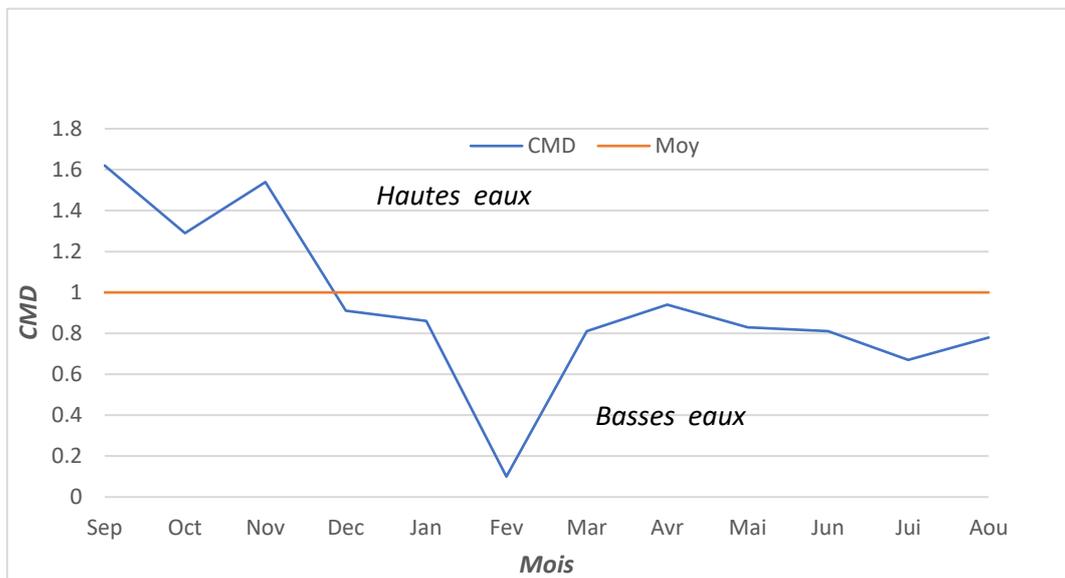


FIGURE 62: VARIATION DU COEFFICIENT MENSUEL DES DEBITS –STATION DE FESDIS- SERIE 1969-1985

### II.3 Etude des Cures :

#### II.3.1 Estimation des débits instantanés $Q_{i\max}$ de la station hydrométrique de Fesdis :

L'Ajustement des débits instantanés maximaux était réalisé par la Loi de Gumbel en suivant les étapes suivantes :

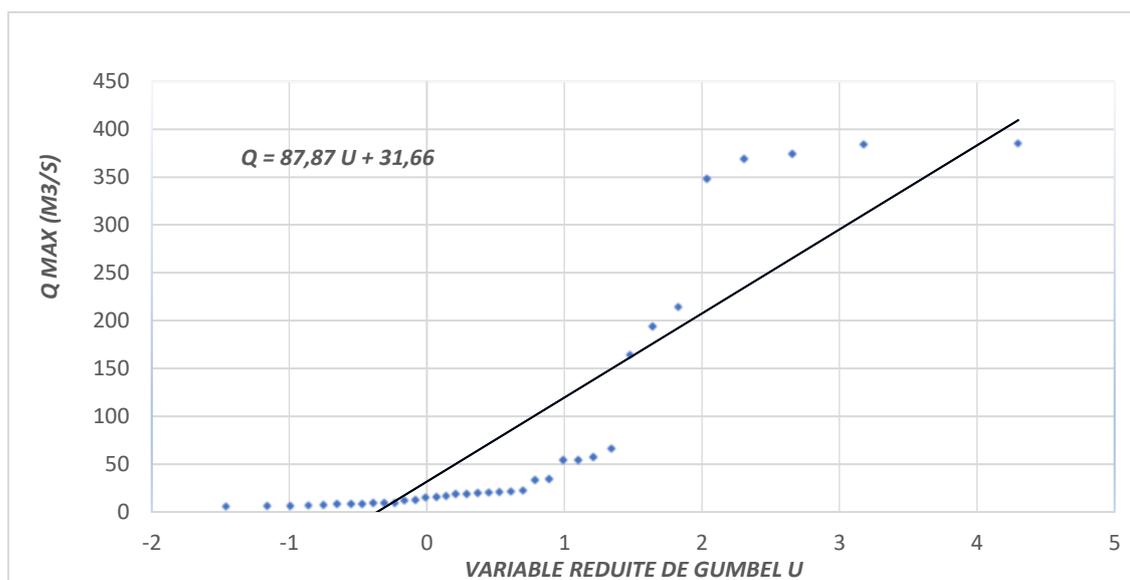


FIGURE 63: AJUSTEMENT STATISTIQUE DES  $Q_{i\max}$  PAR LA LOI DE GUMBEL

TABLEAU 50: LES DEBITS INSTANTANES MAXIMALES

| Classe | Qmax (m <sup>3</sup> /s) | F     | U     |
|--------|--------------------------|-------|-------|
| 1      | 5,6                      | 0,014 | -1,46 |
| 2      | 5,91                     | 0,041 | -1,16 |
| 3      | 5,98                     | 0,068 | -0,99 |
| 4      | 6,32                     | 0,095 | -0,86 |
| 5      | 7,15                     | 0,122 | -0,75 |
| 6      | 7,74                     | 0,149 | -0,65 |
| 7      | 7,92                     | 0,176 | -0,55 |
| 8      | 8,26                     | 0,203 | -0,47 |
| 9      | 8,68                     | 0,230 | -0,39 |
| 10     | 8,68                     | 0,257 | -0,31 |
| 11     | 9                        | 0,284 | -0,23 |
| 12     | 11,66                    | 0,311 | -0,16 |
| 13     | 12,2                     | 0,338 | -0,08 |
| 14     | 14,88                    | 0,365 | -0,01 |
| 15     | 15,32                    | 0,392 | 0,07  |
| 16     | 16,2                     | 0,419 | 0,14  |
| 17     | 18,3                     | 0,446 | 0,21  |
| 18     | 18,6                     | 0,473 | 0,29  |
| 19     | 19,5                     | 0,500 | 0,37  |
| 20     | 20,1                     | 0,527 | 0,45  |
| 21     | 20,8                     | 0,554 | 0,53  |
| 22     | 21,3                     | 0,581 | 0,61  |
| 23     | 22,2                     | 0,608 | 0,7   |
| 24     | 33,1                     | 0,635 | 0,79  |
| 25     | 34,2                     | 0,662 | 0,89  |
| 26     | 53,5                     | 0,689 | 0,99  |
| 27     | 54,15                    | 0,716 | 1,1   |
| 28     | 57                       | 0,743 | 1,21  |
| 29     | 66                       | 0,770 | 1,34  |
| 30     | 164                      | 0,797 | 1,48  |
| 31     | 194                      | 0,824 | 1,64  |
| 32     | 214                      | 0,851 | 1,83  |
| 33     | 348                      | 0,878 | 2,04  |
| 34     | 369                      | 0,905 | 2,31  |
| 35     | 374                      | 0,932 | 2,66  |
| 36     | 384                      | 0,959 | 3,18  |
| 37     | 385                      | 0,986 | 4,3   |

**TABLEAU 51: TEST D'ADEQUATION DE SHI2 DES DEBITS INSTANTANES MAXIMALES**

| N° | Xi-1 | Xi  | Ui-1  | Ui    | FNDi-1 | FNDi | Foi | FTi | X <sup>2</sup> |
|----|------|-----|-------|-------|--------|------|-----|-----|----------------|
| 1  | - ∞  | 8   | - ∞   | -0,48 | 0      | 0,2  | 7   | 7.4 | 0,16           |
| 2  | 8    | 15  | -0,48 | 0,09  | 0,2    | 0,4  | 7   | 7.4 | 0,16           |
| 3  | 15   | 33  | 0,09  | 0,67  | 0,4    | 0,6  | 9   | 7.4 | 2,56           |
| 4  | 33   | 164 | 0,67  | 1,50  | 0,6    | 0,8  | 7   | 7.4 | 0,16           |
| 5  | 164  | + ∞ | 1,50  | + ∞   | 0,8    | 1    | 7   | 7.4 | 0,16           |
|    |      |     |       |       |        |      |     |     | 3,2            |

**TABLEAU 52: DEBITS MAXIMALES FREQUENTIELLES - STATION DE FESDIS-**

| Station Fesdis           |       |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fréquence                | 0.5   | 0.8    | 0.9    | 0.95   | 0.98   | 0.99   | 0.999  |
| Période de retours       | 2     | 5      | 10     | 20     | 50     | 100    | 1000   |
| U de Gumbel              | 0.37  | 1.5    | 2.25   | 3      | 3.9    | 4.55   | 6.9    |
| Qmax (m <sup>3</sup> /s) | 64.17 | 163.47 | 229.37 | 295.27 | 374.35 | 431.46 | 637.96 |

### II.3.2 Estimation des débits max instantanées par les méthodes empirique :

Actuellement, nous avons plusieurs méthodes pour une bonne approximation des débits de crue, et nous essaierons d'appliquer les méthodes et formules les plus couramment utilisées.

#### II.3.2.1 La formule de TURAZZA :

$$Q_{MaxF\%} = \frac{C \cdot P_{tc} \cdot S}{3,6T_C}$$

Avec : C : Coefficient de ruissellement.

S : Surface de bassin versant. (Km<sup>2</sup>).

Tc : Temps de concentration / heures.

Ptc : Hauteur totale maximale de précipitation correspond au temps de concentration du bassin pour fréquence donnée.

$$P_{TC} = PJ_{Max.F\%} \left( \frac{t_c}{24} \right)^b$$

b : exposant climatique déterminé par la carte de body. b = 0.30

TABLEAU 53: LES QMAX DES SOUS BASSINS PAR LA METHODE DE TURAZZA

| Bassins                     | Période de retour                      | 10            | 100           | 1000          |
|-----------------------------|--|---------------|---------------|---------------|
|                             | Fréquence                              | 0.9           | 0.99          | 0.999         |
|                             | C                                      | 0.6           | 0.7           | 0.8           |
| Sous bassin<br>de Tazoult   | P <sub>jmax</sub> (mm)                 | 52.74         | 77.24         | 102.27        |
|                             | P <sub>tc</sub> (mm)                   | 34.86         | 51.05         | 67.59         |
|                             | Q <sub>maxF%</sub> (m <sup>3</sup> /s) | 122.92        | 210           | 317.77        |
| Sous bassin<br>de Bentenoun | P <sub>jmax</sub> (mm)                 | 47.15         | 62.88         | 78.96         |
|                             | P <sub>tc</sub> (mm)                   | 34.29         | 45.73         | 57.42         |
|                             | Q <sub>maxF%</sub> (m <sup>3</sup> /s) | 99.71         | 155.14        | 222.62        |
| Sous bassin<br>de Seguèn    | P <sub>jmax</sub> (mm)                 | 64.99         | 96.50         | 128.69        |
|                             | P <sub>tc</sub> (mm)                   | 37.69         | 55.97         | 74.64         |
|                             | Q <sub>maxF%</sub> (m <sup>3</sup> /s) | 63.46         | 109.93        | 167.56        |
| Sous bassin<br>de Hamla     | P <sub>jmax</sub> (mm)                 | 54.54         | 77.70         | 101.36        |
|                             | P <sub>tc</sub> (mm)                   | 33.16         | 47.24         | 61.63         |
|                             | Q <sub>maxF%</sub> (m <sup>3</sup> /s) | 61.1          | 101.41        | 151.20        |
| Bassin totale<br>de Batna   | Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)   | <b>347,19</b> | <b>576,48</b> | <b>859,15</b> |

### II.3.2.2 Formule de MALLET et GAUTHIER :

Mallet et Gautier ont adopté dans l'évaluation des Qmax du bassin versant sur une équation simple qui n'est pas liée à les Pjmax, et que l'on ne peut appliquer que si la période de retours est égale ou supérieure à 50 ans.

$$Q_{\max .F\%} = 2.K.\log(1 + AH) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

Avec :

T : période de retours de crue (ans).

H : pluie moyenne annuelle

L : longueur de cours d'eau principale (km)

S : surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

K et A coefficients des caractéristiques topographique (K = 1) et (A= 20)

TABLEAU 58: LES  $Q_{\max}$  DES SOUS BASSINS PAR LA METHODE DE MALLET ET GAUTIER

| Bassins                           | Période de retour     | 50 ans         | 100 ans        | 1000 ans       |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Seguèn                            | $Q_{\max F\%}$ (m3/s) | 144.40         | 148.55         | 161.58         |
| Bentenoun                         | $Q_{\max F\%}$ (m3/s) | 449.86         | 464.08         | 509.15         |
| Tazoult                           | $Q_{\max F\%}$ (m3/s) | 396.86         | 409.41         | 448.59         |
| Hamla                             | $Q_{\max F\%}$ (m3/s) | 218.70         | 225.12         | 245.27         |
| Bassin totale<br>d'oued el Gourzi | $Q_{\max F\%}$ (m3/s) | <b>1209,82</b> | <b>1247,16</b> | <b>1364,59</b> |

Les deux formules donnent des résultats différents à partir des paramètres de chaque formule, et on constate que la formule de TURRAZA est la plus proche de la réalité en raison que les paramètres de la formule bien adapté à la nature de la zone d'étude.

#### II.4 Hydrogramme des crues :

L'hydrogramme est la courbe qui indique la variation du débit en fonction du temps en point donné du cours d'eau.

La forme générale de l'hydrogramme des crues présente une courbe en cloche dissymétrique.

La courbe de hydrogramme des crues se compose de :

- ✓ Courbe de concentration : c'est la courbe de la montée de la crue
- ✓ Pointe : c'est la crête de hydrogramme des crues.
- ✓ Courbe de décrue.
- ✓ Courbe de tarissement.

Pour la détermination de l'hydro gramme des crues, nous avons utilisé la méthode de :

##### II.4.1 Méthodes de Sokolovski :

Cette formule divisée en deux formules complémentaires :

➤ **Formule de la montée :**  $Q_m = Q_{\max} f\% \left(\frac{t}{tm}\right)^n$

➤ **Formule de la décrue :**  $Q_d = Q_{\max} f\% \left(\frac{td-t}{td}\right)^m$

**$Q_{\max}$**  : débit maximale (m<sup>3</sup>/s)

**t m** : temps monté (heure) égal au temps de concentration **Tc** .

**td** : temps de décrue tel que  $td = \varphi \cdot tm$

**n et m** : Puissance de l'équation égales respectivement 2 et 3.

**$\varphi$**  : coefficient évalué en fonction de la taille de cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement de bassin versant. Dans notre zone d'étude il est égal à 2.5.

**TABLEAU 59: HYDROGRAMME DE CRUE PAR LA METHODE DE SOKOLOVSKI**

| BV Oued el Gourzi |            |             |
|-------------------|------------|-------------|
| Temps (h)         | Q (10 ans) | Q (100 ans) |
| 0                 | 0,00       | 0,00        |
| 1                 | 4,66       | 7,74        |
| 2                 | 18,65      | 30,96       |
| 3                 | 41,96      | 69,66       |
| 4                 | 74,59      | 123,85      |
| 5                 | 116,54     | 193,51      |
| 6                 | 167,82     | 278,65      |
| 7                 | 228,42     | 379,28      |
| 8                 | 298,35     | 495,38      |
| 8,63              | 347,19     | 576,48      |
| 9                 | 68,74      | 114,14      |
| 10                | 53,61      | 89,02       |
| 11                | 40,88      | 67,88       |
| 12                | 30,35      | 50,39       |
| 13                | 21,80      | 36,19       |
| 14                | 15,03      | 24,95       |
| 15                | 9,83       | 16,32       |
| 16                | 5,99       | 9,95        |
| 17                | 3,31       | 5,50        |
| 18                | 1,58       | 2,62        |
| 19                | 0,59       | 0,98        |
| 20                | 0,14       | 0,22        |
| 21                | 0,01       | 0,01        |

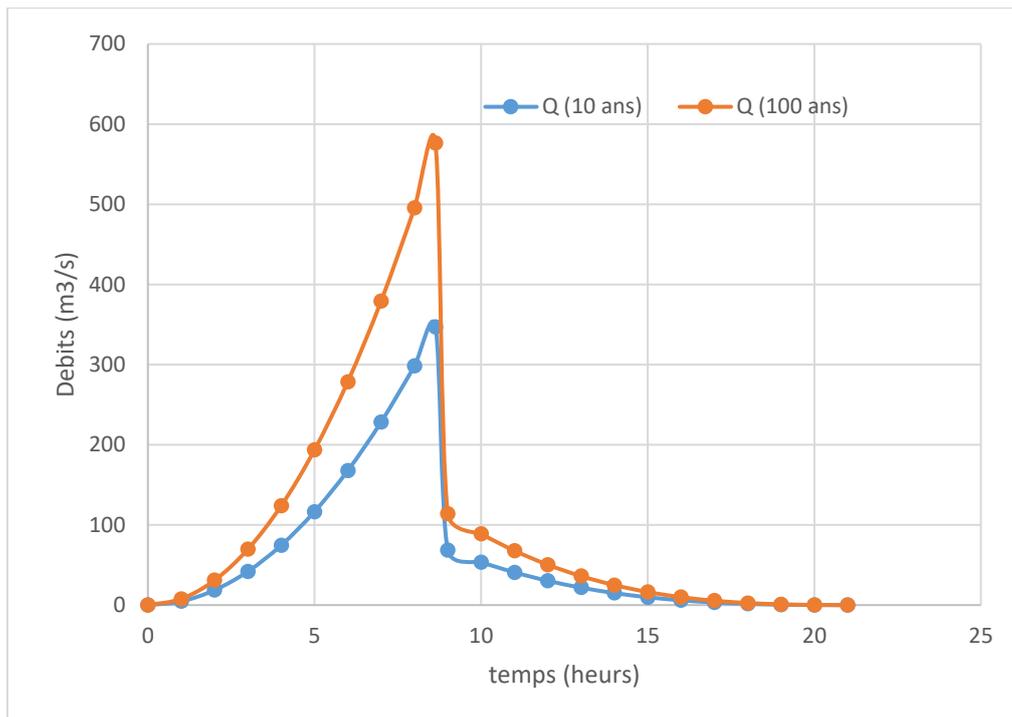


FIGURE 64: HYDROGRAMME DES CRUES PAR LA METHODE DE SOKOLOVSKI (10-100 ANS )

#### II.4.2 Modèle hydrologique HEC-HMS :

Le modèle hydrologique déterministe et conceptuel HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) a toujours été un modèle principalement appliqué à la simulation d'un événement spécifique donné. Les versions récentes permettent une simulation continue sur une longue période grâce à l'intégration de modules de calculs des différents processus d'évapotranspiration, d'humidité du sol et d'accumulation/fonte de neige (Xia et al. 2005)..

HEC-HMS est un modèle distribué qui permet de subdiviser un bassin versant en plusieurs sous-bassins dont chacun est considéré comme ayant des caractéristiques homogènes. Il est particulièrement bien adapté pour simuler le comportement hydrologique de bassins versants non urbanisés. HEC-HMS permet également de simuler et d'incorporer des réservoirs et des dérivations.

Ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues à plusieurs fins, à savoir les études de drainage urbain, la prévision des crues, la conception des réservoirs, et la réduction des effets des inondations (Xia et al. 2005).

Les modules modèles développés dans le cadre HEC-HMS permettent de prendre en charge quatre processus hydrologiques de base : Modèles pour le calcul des précipitations, du volume de ruissellement, du ruissellement direct, et des écoulements souterrains (Liu et al. 2004; Zepp et al. 2005).

L'objectif principal de HEC-HMS est de calculer les débits max instantanés fréquentielle décennale et cantonale et les hydrogrammes de crues par la méthode SCS CN dans le bassin versant de l'Oued el Gourzi

#### II.4.2.1 Le modèle de SCS Curve Number (CN) :

Ce modèle estime l'excès de précipitations en fonction des précipitations cumulées, de la couverture et de l'humidité initiale du sol à partir de l'équation suivante :

$$P_e = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + S}$$

$P_e$  : L'excès de précipitation ;

$P$  : est le total des précipitations accumulées au temps  $t$  ;  $I_a$  : Les pertes initiales ;

$S$  : est le potentiel maximum de rétention.

On a par ailleurs la relation empirique ci-dessous, développée à partir d'une analyse menée sur un ensemble de petits bassins versants expérimentaux qui donne  $I_a$  en fonction de  $S$  :

$$I_a = 0.2 S$$

On obtient donc :

$$P_e = \frac{(p - 0.2S)^2}{p + 0.8S}$$

Le potentiel de rétention maximum,  $S$ , et les caractéristiques du bassin versant sont reliées par l'intermédiaire du numéro de courbe CN (CurveNumber) par :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

CN peut être estimé comme une fonction du type du sol, d'occupation du sol, et des conditions hydriques précédentes du bassin.

**II.4.2.3 La méthode CN en grille :**

Une autre alternative de la méthode de CN qui peut être utilisée par le HEC-HMS est celle de CN en grille. Avec cette option, chaque cellule doit comprendre : sa localisation, sa distance de l'exutoire, ses dimensions, et son CN (donné en fonction du type de sol). Ainsi, HEC calcule l'excès des précipitations pour chaque cellule indépendamment en utilisant l'équation. Ensuite, il calcule l'excès total au niveau de l'exutoire en utilisant la méthode de ModClark (présentée ultérieurement). Ce qui veut dire que la méthode de CN en grille n'est compatible qu'avec cette méthode de calcul.

**II.4.2.3 Le modèle du SCS ( Soil Conservation Service) :**

Ce modèle repose sur l'hydrogramme unitaire normalisé (étant la moyenne de nombreux hydrogrammes unitaires calculés pour différents bassins versant). Ce hydrogramme normalisé représente le débit d'écoulement,  $U_t$ , comme une fraction du débit maximal,  $U_p$ , et,  $T_p$ , l'instant du pic. On a par ailleurs les relations empiriques suivantes :

$$U_p = 2.08 \frac{A_d}{T_p}$$
$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + 0.6T_c$$

Où,  $\Delta t$  : La durée de l'excès de précipitation ;  $T_c$  : le temps de concentration du bassin. Ainsi, il suffit de connaître le temps de concentration pour remonter à  $T_p$  et  $U_p$  et d'obtenir ainsi l'hydrogramme unitaire désiré par simple multiplication de l'hydrographe unitaire normalisé.

II.4.3 Présentation des résultats :

II.4.3.1 La crue du période de retour décennale et centennale :

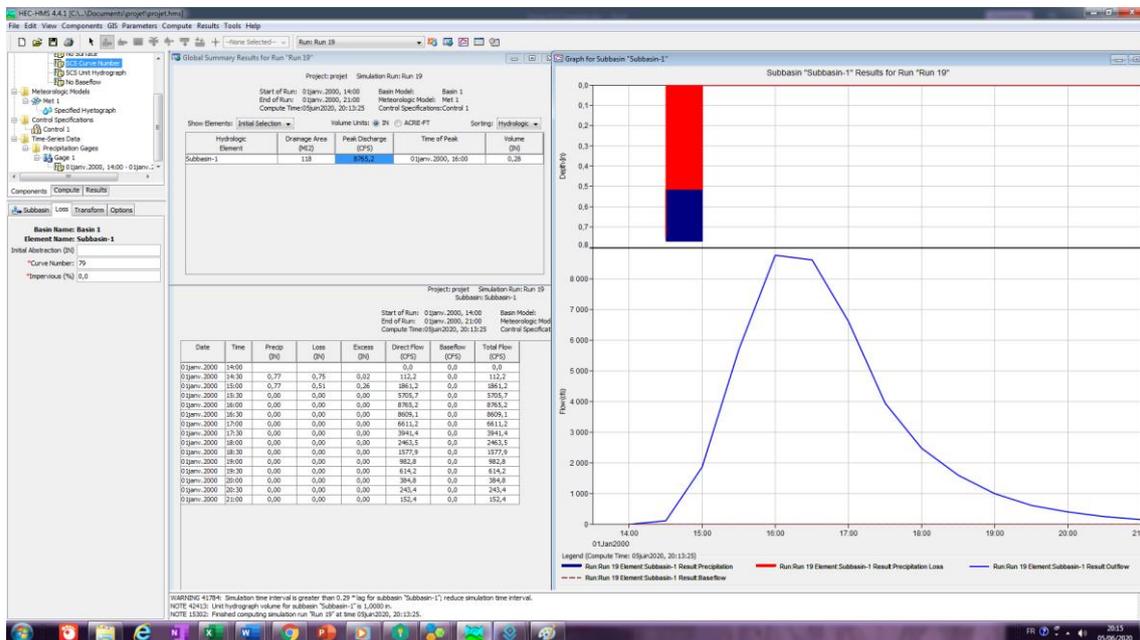


FIGURE 65: HYDROGRAMME DE CRUE CALE PERIODE DE RETOUR 10 ANS DE L’OUED EL GOURZI

Les débits de pointe correspondant à des périodes de récurrence de 10, et 100 ans sont enfin simulés à l’aide des HEC HMS. Les résultats obtenus sont :  $Q_{maxf10ans}=229.37$  m³/s et  $Q_{maxf100ans}=520.85$  m³/s (Fig.65)

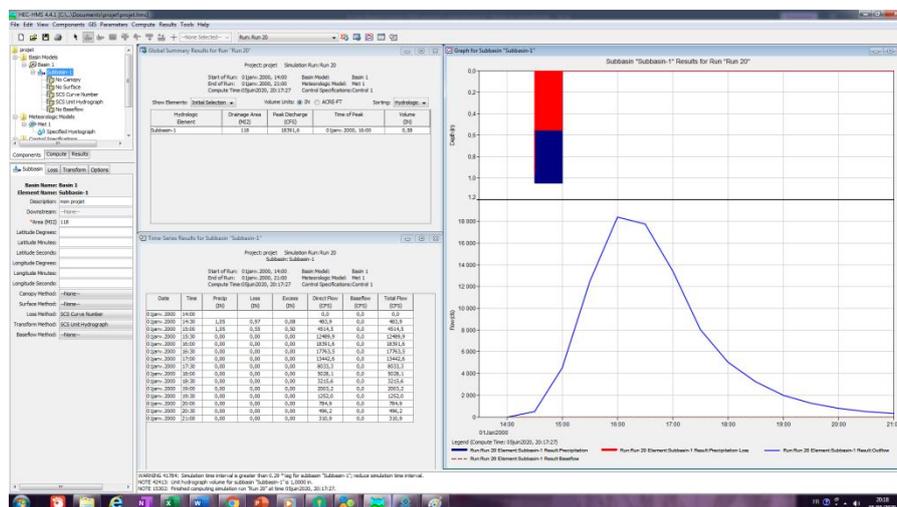


FIGURE 66: HYDROGRAMME DE CRUE CALE PERIODE DE RETOUR 100 ANS DE L’OUED EL GOURZI

Nous pouvons comparer ces résultats avec les débits de pointe fréquentielle de la station hydrométrique de Fesdis. Les pics de débits simulés sont relativement acceptables (tab.60). Selon les données nous avons présentés deux pics de crue : un premier de la fréquence décennale ( $Q_{maxf10ans}$ ) et un deuxième de la fréquence centennale ( $Q_{maxf100ans}$ ).

TABLEAU 54: DEBIT DE POINTE OBSERVE ET CALCULE (SCS)

|  | $Q_{\max f10\text{ans}} (\text{m}^3/\text{s})$ | $Q_{\max f100\text{ans}} (\text{m}^3/\text{s})$ |
|--|--|---|
| Débits fréquentielle station de Fesdis | 229.37   | 431.46  |
| Débits simuler HEC HMS (SCSCN)         | 248.23   | 520.85  |

Le débit de pointe étant calculé, il convient de compléter l'analyse et de déterminer les caractéristiques de l'hydrogramme de crue et en évaluer le volume (V) (fig.65, 66 et 67). L'hydrogramme unitaire synthétique du SCS résulte d'une analyse exhaustive des données mesurées sur le terrain. Il a été établi pour un grand nombre de bassins versants avant d'être transformé en hydrogramme unitaire sans dimension. Un hydrogramme unitaire sans dimension moyen, traduisant la relation  $Q(t)/Q_p = f(t/T_p)$ , a été ensuite développé (fig.67). Ce dernier peut être utilisé si l'on connaît le temps de pointe ( $t_p$ ) et le débit de pointe ( $Q_p$ ) à l'exutoire du bassin versant de l'Oued el Gourzi.

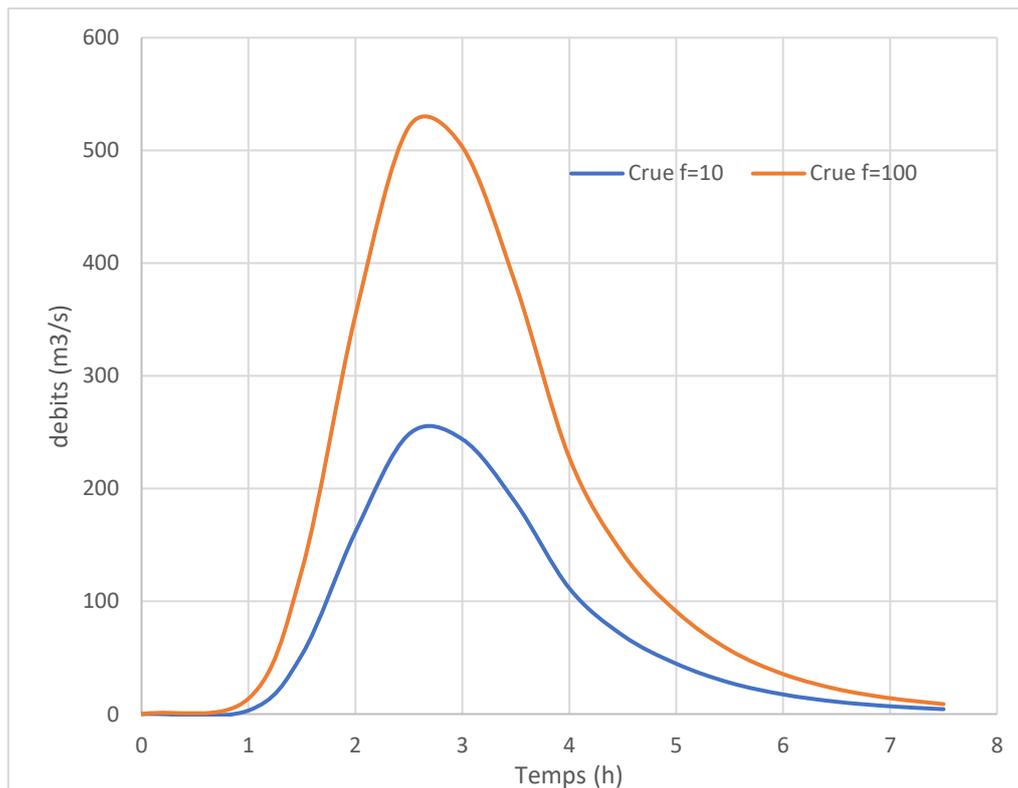


FIGURE 67: HYDROGRAMME DU CRUES METHODE SCS F=10 ET F=100 DANS L'OUED EL GOURZI

L'application du modèle fournit généralement des résultats d'écoulements proches des valeurs observées sur le bassin versant de l'Oued el Gourzi d'une manière générale, l'adéquation entre les débits observés et simulés est acceptable.

## II.5 Cartographie des zones inondables :

L'étude hydraulique consiste à faire le diagnostic de la zone d'étude pour tout événement hydraulique. Elle consiste à calculer les hauteurs d'eau et déterminer les zones de débordement. Une simulation hydraulique d'un modèle est un calcul, dont les résultats sont caractéristiques du débit, de la géométrie du cours d'eau ainsi que des conditions aux limites du modèle (Ackerman C. T. 2011).

### II.5.1 Dispositif et outils informatiques utilisées :

#### II.5.1.1 HEC-RAS :

HEC-RAS. 5.0.7. HEC-RAS Le logiciel HEC-RAS est un logiciel de simulation de l'hydraulique dans les rivières et canaux développé par le corps des ingénieurs de l'armée américaine. Il permet d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Ce logiciel utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning-Strickler...) et des modèles pour les seuils.

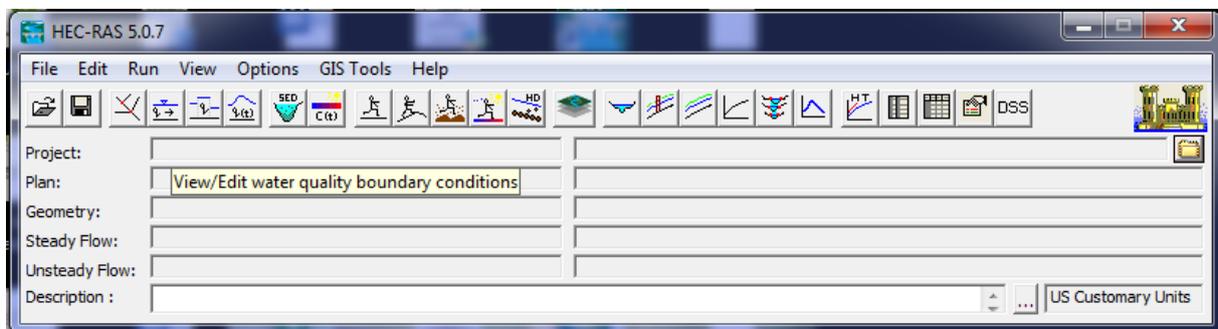


FIGURE 68: L'INTERFACE DU LOGICIEL HEC-RAS 5.0.7

#### II.5.1.2 HEC-GEORAS :

Afin de rendre possible les échanges entre HEC-RAS et les systèmes d'information géographiques, le corps des ingénieurs de l'armée américaine a développé cette extension qui s'intègre après installation avec ARCGIS. La dernière version de HEC-GEORAS disponible sur le site officiel de HEC-RAS, est HEC-GeoRAS, qui est compatible avec ArcGIS 10.5 et nécessite au moins la licence ArcView en plus des deux extensions *Spatial Analyst* et *3D Analyst* (Gary W. 2011).

HEC-GeoRAS est un ensemble de procédures, d'outils et d'utilitaires pour traiter les données géospatiales dans ArcGIS en utilisant une interface utilisateur graphique. Il permet d'une part, la préparation des données géométriques à exporter vers HEC-RAS, et d'une autre part, la récupération des résultats de simulation effectuée par HEC-RAS. L'élaboration du fichier de la géométrie à exporter est basée sur un modèle numérique, de préférence sous la forme de TIN (Ackerman C. T. 2011).

Les données résultantes de la simulation par HEC-RAS, peuvent être exploitées par HEC-GeoRAS sous ArcGIS pour analyser et cartographier les zones inondables, entre autres possibilités..

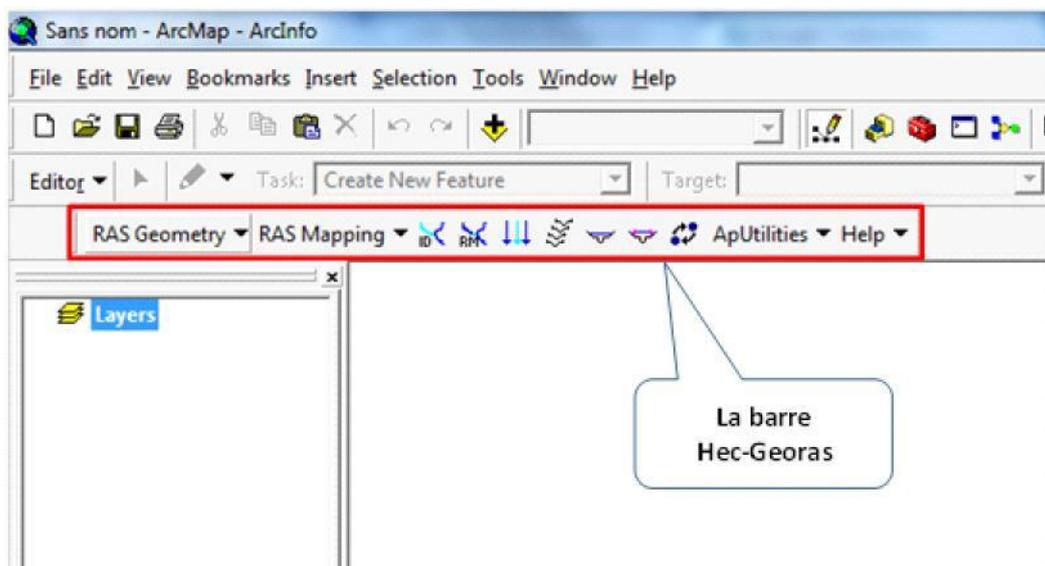


FIGURE 69: L'EXTENSION HEC-GEORAS SUR L'INTERFACE ARCMAP

Pour assurer toutes ces fonctionnalités, la barre de HEC-GEORAS est dotée de deux menus déroulants essentiels, le premier s'appelle **RAS Geometry**: qui permet de faire toutes les opérations nécessaires à l'établissement du fichier de la géométrie (preprocessing) ; le deuxième est RAS Mapping : Responsable de la réalisation des opérations liées à l'exploitation des résultats de simulation par HEC-RAS.

### II.5.2 Elaboration du fichier de la géométrie :

L'extension Hec-GeoRas nous a permis de préparer des entités géométriques nécessaires à la construction du modèle hydraulique. Après avoir mis en place les couches utilisées comme fonds d'extraction de l'information (cartes topographiques, MNT, images satellitaires...), les fonctionnalités fournies par l'extension Hec-GeoRas .

L'opération finale est d'enregistrer le résultat et de l'exporter sous forme d'un fichier RAS import. Sdf que reconnaît Hec-Ras

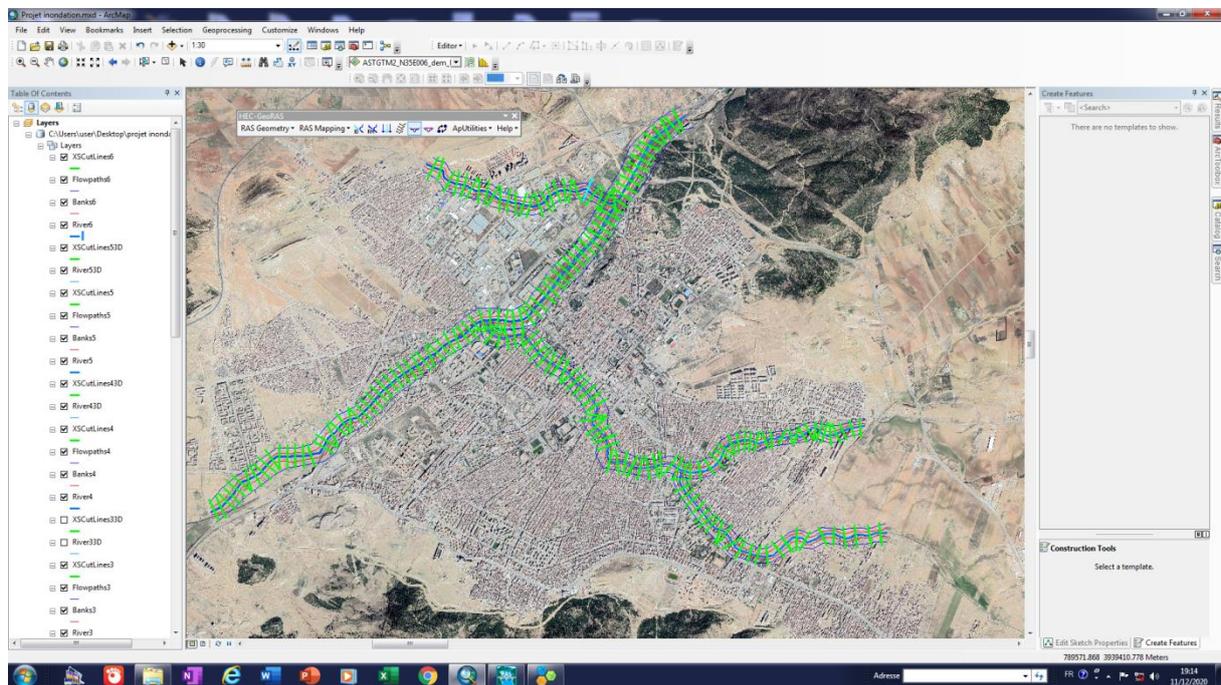


FIGURE 70: QUELQUES ENTITES GEOMETRIQUES NUMERISEES SUR ARCMAP A L'AIDE DE L'EXTENSION HEC-GEORAS

### II.5.3 Exportation du fichier de la géométrie

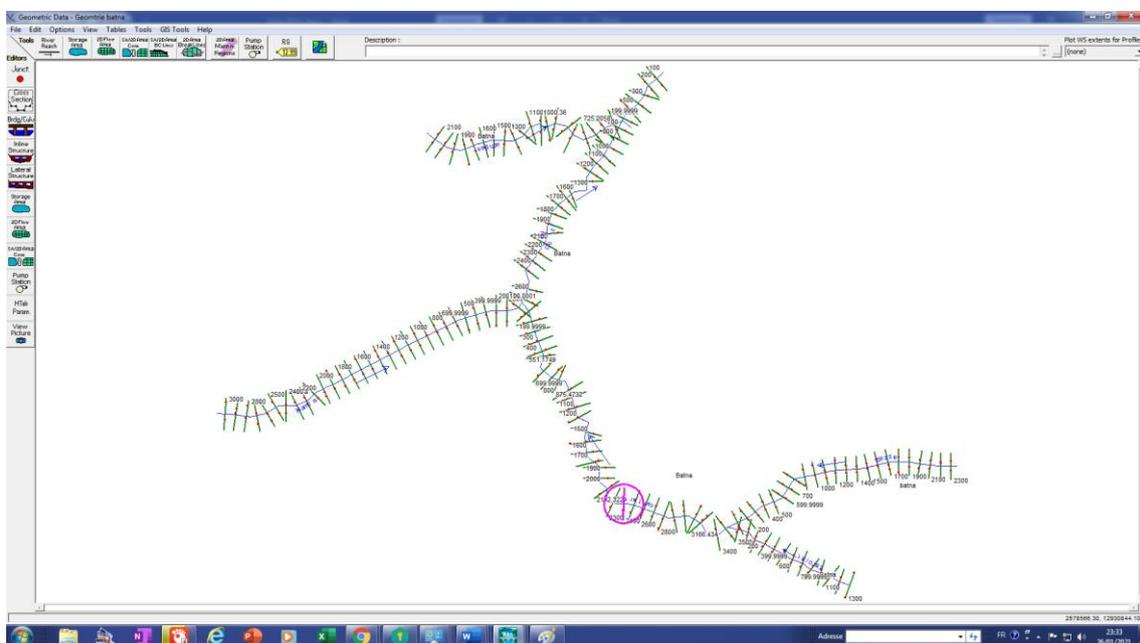


FIGURE 71: L'IMPORTATION DE LA GEOMETRIE DU TRONÇON A MODELISEE DANS HEC RAS

### II.5.4 Elaboration du fichier des données d'écoulement

Cette étape permet d'introduire les données et les informations en relation avec l'écoulement à simuler.

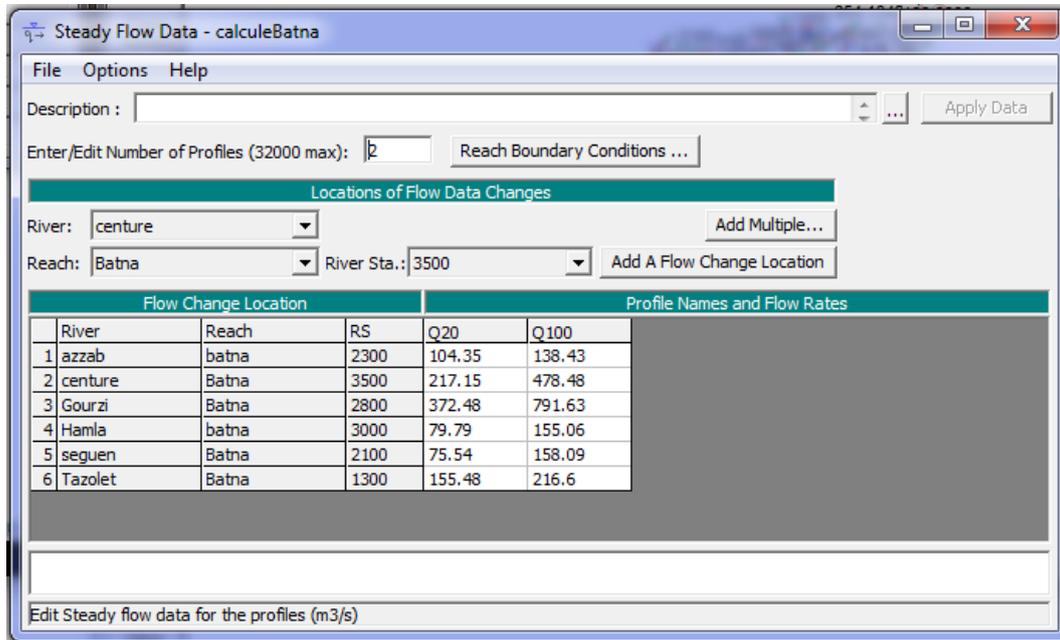


FIGURE 72: ELABORATION DES DONNEES D'ECOULEMENT DU TRONÇON A MODELISEE DANS HEC

### II.5.5 Les conditions aux limites :

Les limites amont et /ou aval de chaque tronçon doivent être soumises à des conditions qui peuvent être de nature différente. Hec-Ras propose une large gamme de conditions en amont et en aval.

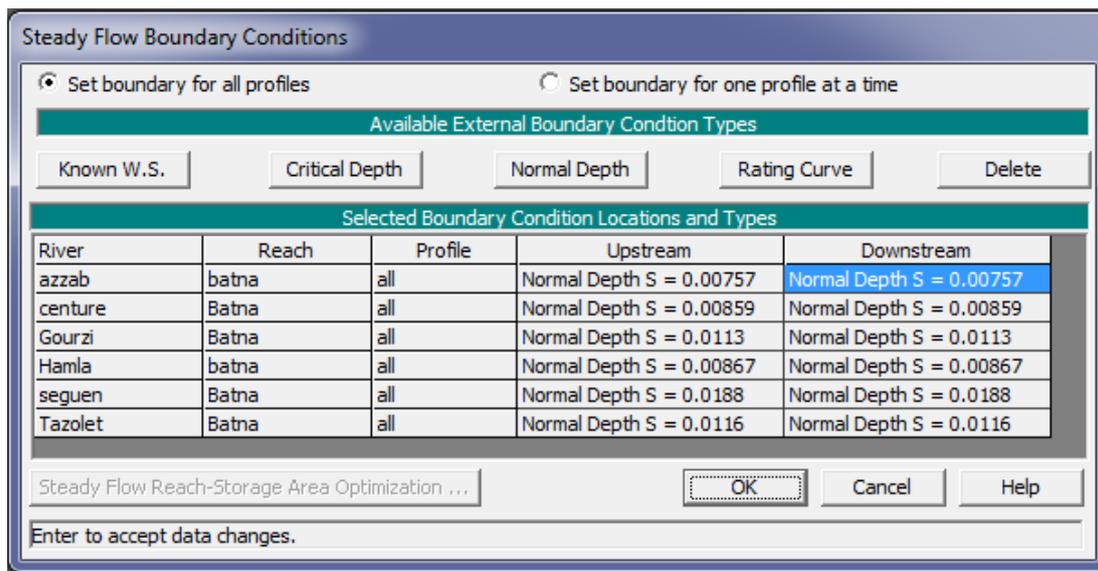
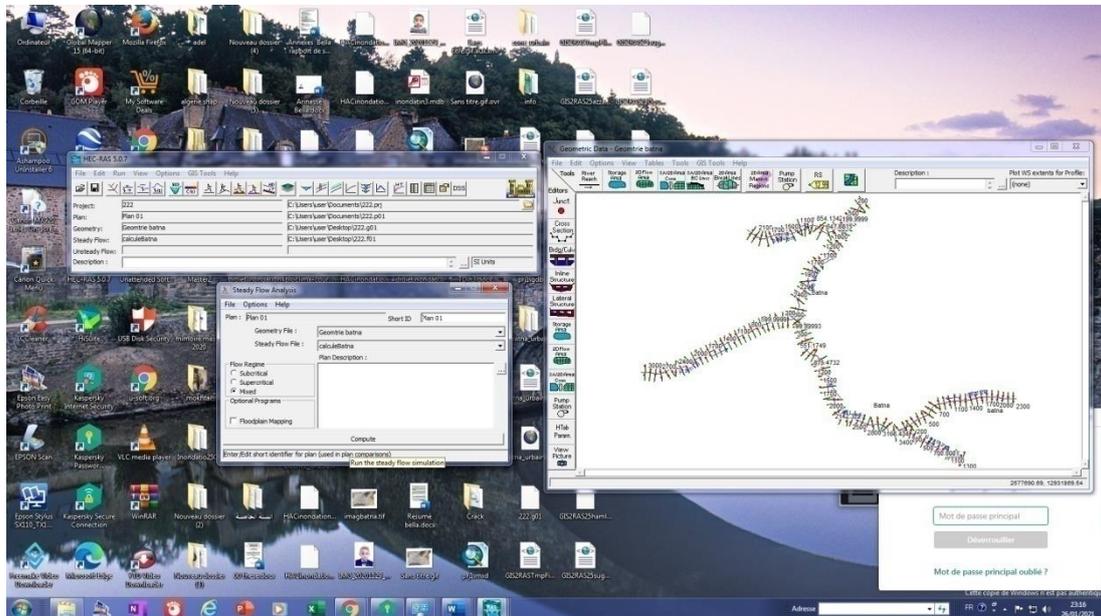


FIGURE 73: L'INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES POUR L'ECOULEMENT

**II.5.6 Simulation :**

Les résultats de la simulation sont exportés vers ArcGis où ils seront exploités par Hec-GeoRas pour cartographier la surface inondée correspondante à chaque profil calculé par Hec-Ras.



**II.5.7 Visualisation et discussion des résultats :**

La saisie des données géométriques concernant les profils des sections transversales et les débits de pointe de différentes périodes de retour, ainsi que les conditions limites dans le logiciel HEC-RAS, a permis d'effectuer les calculs et d'extraire des résultats comme des profils du tronçon simulé, le niveau d'eau de chaque période de retour sur les profils, une vue de trois dimensions du niveau d'eau dans le tronçon d'étude des tables descriptives, et la courbe de tarage.

**II.5.7.1 Les profils en long :**

La ligne d'eau représente une vue en profil du tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'Oued et le niveau d'eau de chaque période de retour.

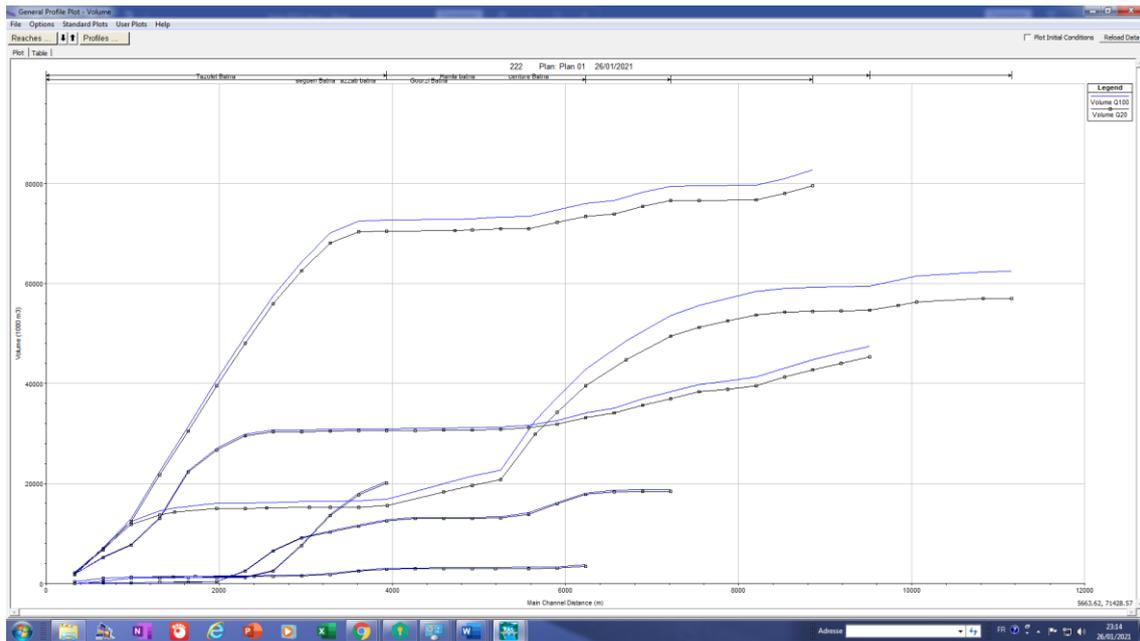


FIGURE 75: LE PROFIL EN LONG DU TRONÇON MODELISE D'OUED EL GOURZI

### II.5.7.2 Les profils en travers :

La section transversale représentée par la figure 76, permet de comparer à ce point précis, les hauteurs d'eau résultantes des débits sortant face à celles des débits entrants.

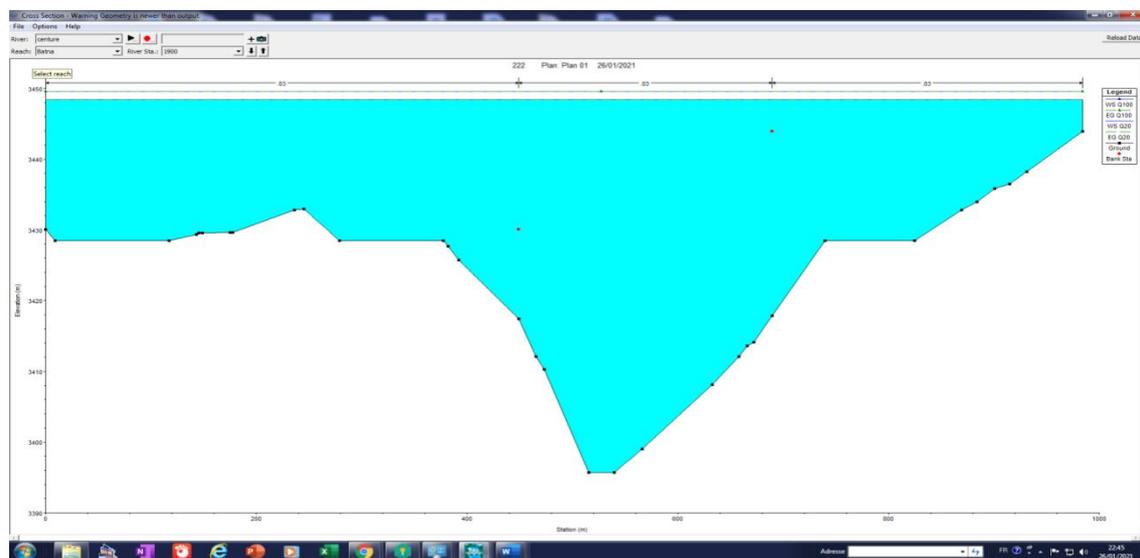


FIGURE 76: LE PROFIL EN TRAVERS D'UNE STATION

### II.5.7.3 Vue de trois dimensions du tronçon modélisé :

HEC-RAS fournit une vue de trois dimensions qui facilite le suivi du comportement des eaux de crue de période de retour. La Fig. 77 montre que dans la partie amont du tronçon, il n'y a pas un débordement de l'oued à cause de la pente. La concentration des eaux s'est effectuée dans le troisième quart du tronçon dont on observe un énorme débordement.

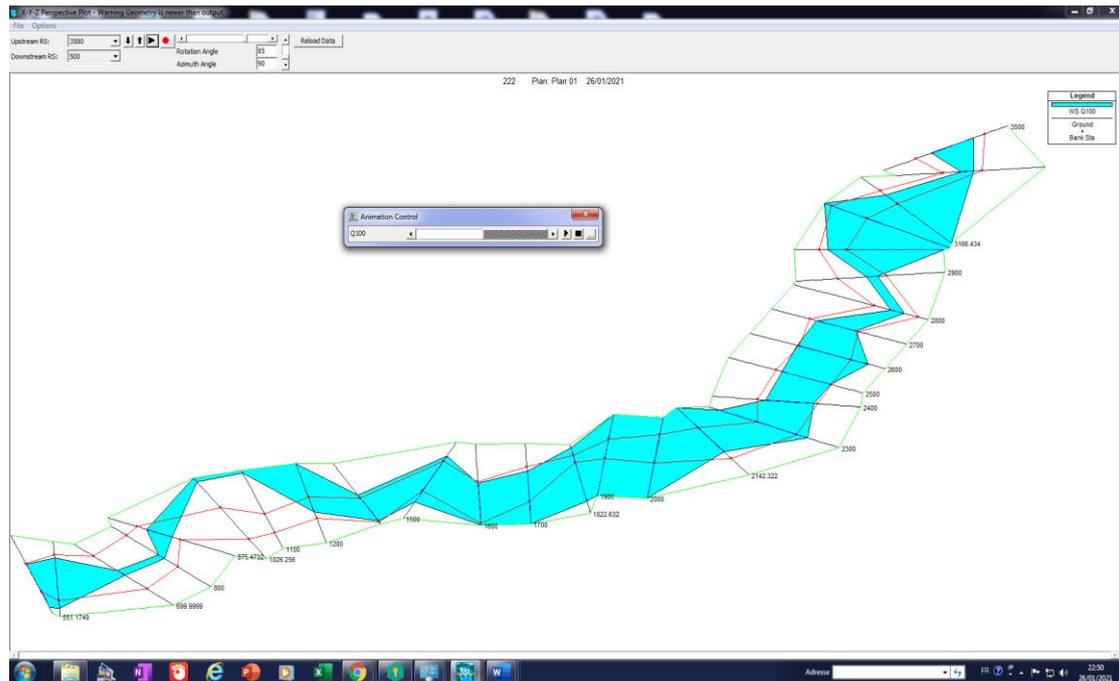


FIGURE 77: VUE EN 3D DE LA ZONE LA PLUS DEBORDEE DU TRONÇON SIMULE

### II.5.8 Détermination des zones inondables dans le tronçon modélisé :

La détermination des zones touchées lors des crues a été réalisée par la cartographie de ces zones après extrapolations de logiciel SIG. Pour la mise en évidence de ce risque dans la ville de Batna, nous avons rétabli les lits de tronçon d'eau qui traverse des zones sur la base de la carte topographique. Ensuite, nous les avons rectifiés à partir d'un navigateur satellitaire qui permet la visualisation des zones touchées.

Mais comme les débits sont généralement faibles, nous ne cartographierons que les zones qui sont touchées par la crue centennale.

Les figures (78) confirment qu'une partie des zones spécifiées a été touchée pendant les crues centennales du tronçon étudié.

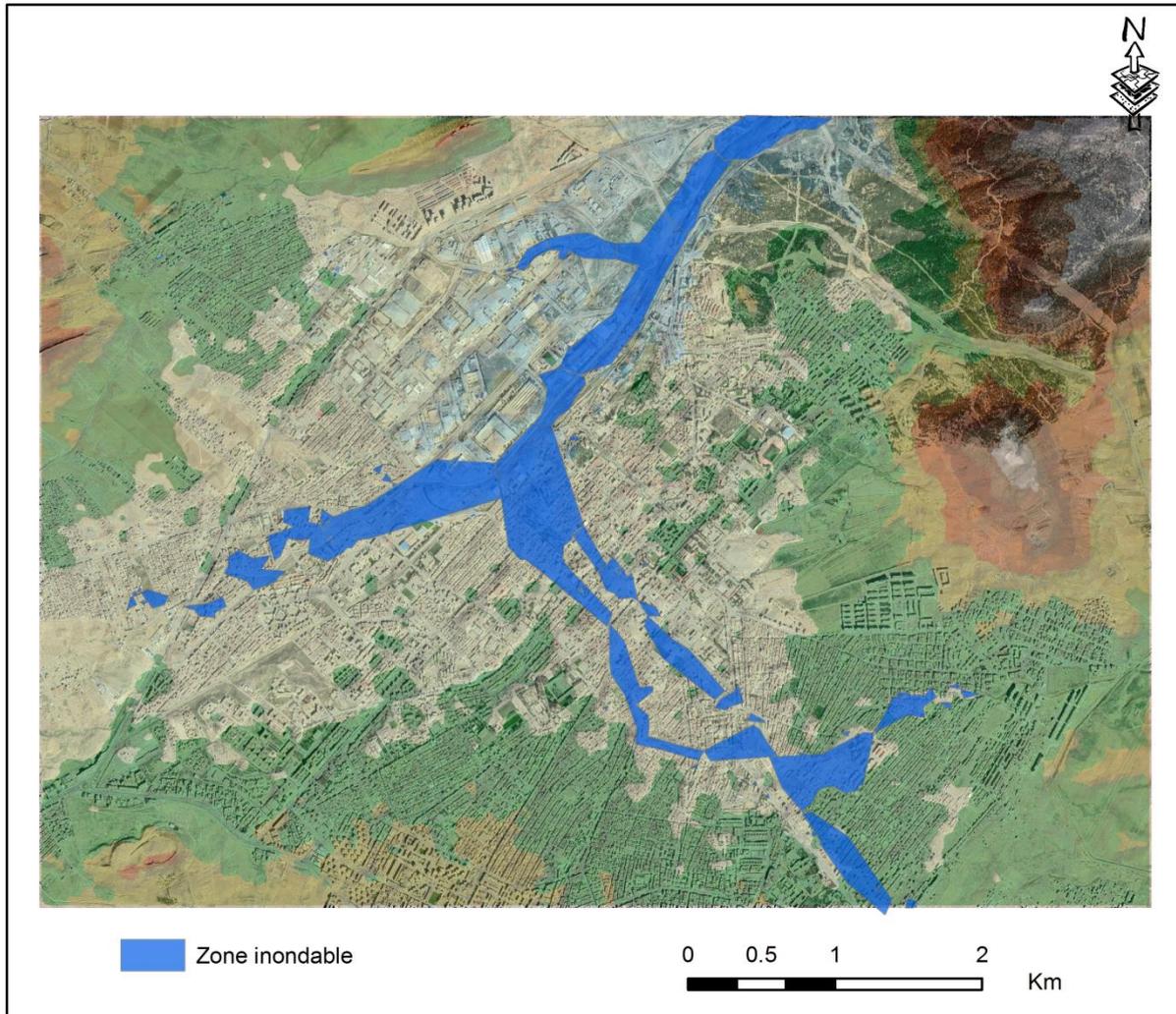


FIGURE 78 LES ZONES DEBORDEES PAR LA CRUE CENTENNALE (VILLE DE BATNA)

L'analyse de la carte obtenue révèle l'existence de plusieurs points menacés par le débordement des eaux à partir des tronçons étudiés :

- **Oued Boudane et Tazoulet** : en aval juste avant de sa confluence, un débordement est observé à partir de la rive droite et gauche, menaçant des constructions dans la cite de parc à Fourrage.

- **Canal Ceinture et Canal Talweg** : un débordement est observé à partir des canaux droite et gauche surtout canal ceinture et un débordement au niveau de la confluence entre le centre-ville et la zone industrielle.

- **Oued Hamla et Gourzi** : un débordement importance qui conduit à l'immersion de la route provinciale RN03 reliant les wilayas du sud au nord donc l'empêchement d'accès entre eux, partie de la cite Kchida et la zone industrielle.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons élaboré une analyse des pluies journalières maximales et les débits de la station hydrométrique de Fesdis pour déterminer les débits instantanés fréquentielles de déferont périodes.

Les démarches ont permis d`obtenir les résultats suivants :

La station de Tazoult a enregistré une valeur de  $P_{jmax}$  centennale de 161,59 mm, lentisque la valeur de  $P_{jmax}$  centennale a été observée à la station de Batna avec 72,47 mm. Par ailleurs, le débit centennal calculer par la méthode de Turraza est de l`ordre 576.48 m<sup>3</sup>/s et 520.85 m<sup>3</sup>/s par la méthode SCS-CN.

L`étude des hydrogrammes a été réalisée par deux méthodes Skolovski et SCS-CN.

Les résultats obtenus par les méthodes précédentes ont permis d`élaborer une carte de la zone inondable à l`aide d`outils géomantiques, notamment HAC RAS et HAC GeoRas.

# *Chapitre III*

*Interaction des risques (Feux  
de forêts & Inondation)*

### **III. Chapitre III : Interaction entre les risques**

#### **Introduction**

L'impact et le changement ultérieur de l'utilisation des terres sur la réponse hydrologique sont parmi les sujets de recherche les plus importants de ces dernières années (Amini et al.2011, Chen et al.2009 et Fox et al.2012).

Au cours du changement climatique et de sa survenue, des inondations ont été reconnues dans le monde entier (Collins 2009, Hurkmans et al. 2009 et Xu et al. 2009). Les effets des changements de couverture terrestre sur les événements de flux intenses sont susceptibles d'attirer plus d'attention. L'évolution urbaine et la nature botanique des forêts méditerranéennes inflammables, coexistent et sont particulièrement vulnérables à l'effet combiné des inondations et des incendies. Par conséquent, l'évaluation précise est une gestion efficace des risques d'inondation et les feux de forêts deviennent une question de priorité. (Papathanasiou. C et al, 2015), L'impact de l'urbanisation en tant qu'utilisation des terres; Leurs changements sont importants dans les études des écoulements et des inondations dans les bassins versants (Du Jinkang)

Les recherches consacrées à l'impact de l'utilisation de sol, tel que le changement du couvert végétal sur le cycle de l'eau et le modèle hydrologique qui a été examiné par de nombreux chercheurs (Ott et Uhlenbrook, 2004, Wang et al. 2007 et Archer, 2007 et Bathurst et al, 2011) qui sont basées sur les bassins versants comme unités expérimentales. On peut extraire plusieurs catégories pour examiner l'impact du changement de l'occupation de sol sur la réponse hydrologique (I. Braud et al. 2013) :

La première se base sur les débits extrêmes : la valeur et / ou la date de débit annuelle maximale, L'analyse : débit-durée-fréquence (Galéa et Prudhomme, 1994, Galéa et Prudhomme, 1997 et Javelle et al.1999).

La deuxième se base sur les débits faibles. Elle comprend la valeur et la date de débit annuel minimal, et la fréquence de rejet zéro. (Willems, 2009).

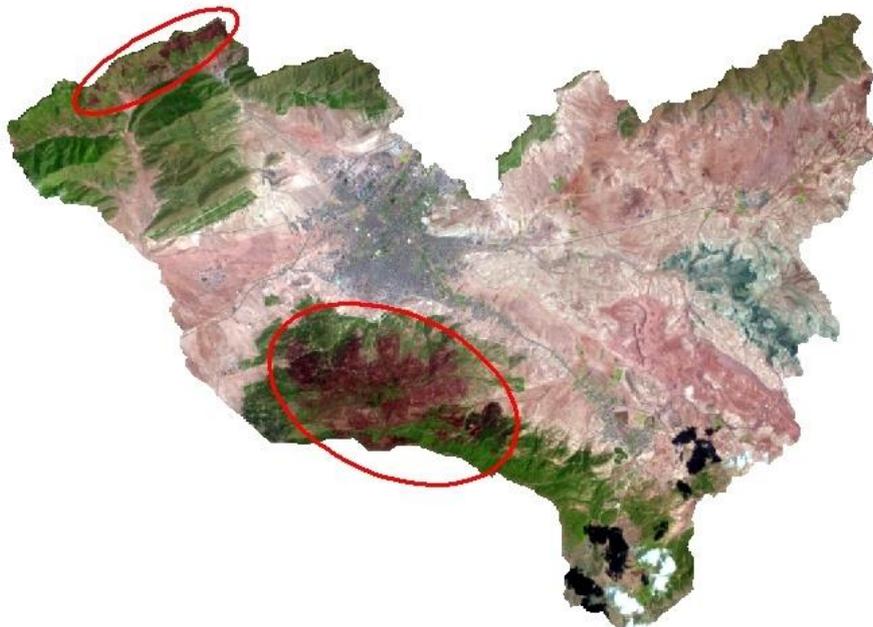
La troisième repose sur l'analyse de l'hydrogramme. Elle comprend l'étude des caractéristiques de l'événement (de coefficient de ruissellement, la hausse et la baisse des membres de hydrogrammes), la quantification des composants de flux est basée sur la séparation en débit de base, hypodermique et les débits instantanés. (Blume et al.2007 et Willems, 2009). Archer (2007) et Archer et al. (2010)). Cette catégorie permet d'introduire les indicateurs les plus sophistiqués : basés sur l'analyse de la montée et la

descente des débits, membres des débits extrêmes dans la série, ou de leurs variations. Ces indicateurs sont pertinents pour identifier les perturbations sur l'hydrogramme.

Les régions semi-arides sont caractérisées par de violents orages qui provoquent des phénomènes extrêmes. Les crues de la saison chaude liées généralement à des averses orageuses, brèves et localisées se caractérisent par une durée et une extension spatiale plus faibles que celle des crues de la saison froide (Refsgaard, J.Cet al, 1995). Leurs puissances sont également moins élevées, bien que parfois, à la suite d'averses torrentielles, elles peuvent atteindre des niveaux sans précédent après de fortes pluies en période de crues, ce qui conduit à des inondations brutales.

L'étude n'est menée que sur les chroniques de l'automne (septembre, octobre et novembre). Par conséquent, elle limite l'analyse aux précipitations d'un type torrentielle, qui sont généralement caractérisées par une densité élevée et une faible humectation des bassins versants.

Après l'indépendance, la forêt algérienne a certes connu une légère accalmie, les surfaces brûlées ayant diminué par rapport à la période coloniale, mais pendant certaines années néfastes, notamment en 1997, la forêt de notre bassin a été exposée à de grands incendies, plus de 1732 hectares. (Fig.79).



**FIGURE 79: LES GRANDS FEUX DES FORETS JUILLET 1997 DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED EL GOURZI IMAGES SATELLITAIRE ETM+**

Dans cette optique nous allons essayer :

- D'évaluer le changement d'occupation de sol par l'utilisation de la télédétection pour voir l'effet sur la réponse hydrologique du bassin versant en période d'inondations.
- D'examiner le modèle d'estimation des crues pour la région d'étude utilisé par les services d'hydrologie de l'état.
- Proposer un modèle d'estimation des débits de pointe et les hydrogrammes des crues basées sur les précipitations et les changements d'occupation de sols.

### III.1 Matériels et méthodes :

Nous avons utilisé :

- Les mesures hydro-climatologiques
- Les supports cartographiques du milieu hydrologique
- Les cartes topographiques de nouveau découpage couvrant complètement la zone

d'étude :

1/Batna Est 1/50000.

2/ Batna Ouest 1/50000.

- Modèle numérique du terrain.

- Deux images Landsat TM (Thematic Mapper) et ETM<sup>+</sup> (Enhanced Thematic Mapper Plus), ont été téléchargées depuis le site de l'USGS, les bandes TM, le 19 Août 1984 et ETM<sup>+</sup> le 06 Aout 1999, ré-projetée automatiquement à la projection WGS 84 Universal Transverse Mercator (UTM) zone 31 Nord, Le numéro des scènes sont comme suit : Chemin (Path) 194, Ligne (Row)035. Les caractéristiques des satellites Landsat sont regroupées dans le tableau63.

**TABLEAU 55: CARACTERISTIQUES DES IMAGES SATELLITES LANDSAT**

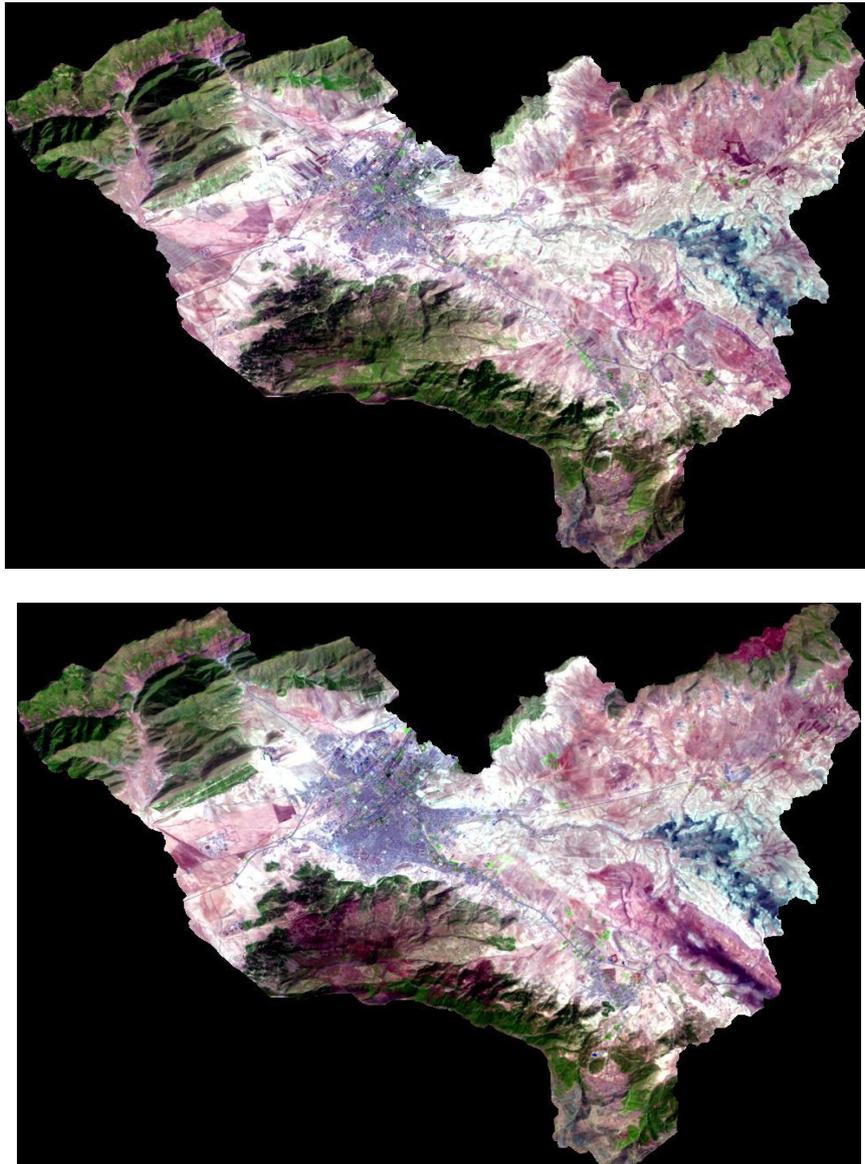
| Date d'acquisition | Azimute      | Élévation   | SAT       | Projection           | Nombre de canaux et résolution |
|--------------------|--------------|-------------|-----------|----------------------|--------------------------------|
| 2/09/1984          | 130.49699746 | 51.59540055 | Landsat_5 | UTM wgs84<br>zone 31 | 7 de 30m                       |
| 4/09/1999          | 138.99201501 | 54.62583583 | Landsat_7 | UTM wgs84<br>zone 31 | 7 de 30m et 1panc<br>de 15m    |

Le choix d'images satellitaires coïncide avec une couverture nuageuse minimale, et Végétale très faible pour minimiser les confusions avec le forêt.

### III.1.1 Détection des changements d'occupations du sol :

La méthode adoptée de classifications basé sur deux scènes de date différente (Mas, 2000 ; Lu et al, 2004), elle assigne d'abord les classes et détermine les changements du sol qui nous permet de fournir l'information détaillée du changement et de réaliser des cartes de changement localisés (Yaun et al, 2005).

Par une composition colorée des canaux 5- 4- 3, (Webster G et al, 2014), apparaissent en vert plus ou moins sombre les surfaces des forêts, les sols nus en blanc et pourpre claire et foncé, les surfaces urbanisées en gris, bleu claire et bleu foncé. (Fig.80).



**FIGURE 80: COMPOSITIONS COLOREES DES BANDES 5-4-3 DES IMAGES SATELLITAIRE TM ET ETM+ 1984 ET 1999**

Les méthodes des classifications des images se divisent en deux grands groupes : les méthodes de classification automatique et les méthodes de classification dirigée (Caloz et Collet, 2001), (Mather, 2004).

Le choix de la méthode de classification dirigée qui dépend fortement des connaissances à priori sur la zone d'étude pour identifier et définir les classes. Par une homogénéisation d'échantillons sélectionnés de l'image représente de différents types d'occupation de sol (classes thématiques). Ces échantillons forment un ensemble de données ou parcelles d'apprentissage du regroupement en classes spectrales de tous les pixels à l'objet présentant des propriétés spectrales similaires à celles des échantillons (Ximenes, 2005).

Le procédé du maximum de vraisemblance a été appliqué aux images de composition colorée (fig.80) résulte des cartes thématiques qui seront validés par une matrice de confusion qui contient deux indices (globale et kappa)

### III.1.2 L'estimation des hydrogrammes de crue :

#### III.1.2.1 Hydrogrammes de crue calculés par les services Hydrologiques :

##### III.1.2.1.1 Le débit de pointe :

Pour estimer un hydrogramme d'une crue, il faut déterminer le débit de pointe (débit max instantané) par la Méthode de Turraza; où la fréquence du débit de pointe est égale à celle de la pluie maximale en temps de concentration :

$$Q_{\max f\%} = \frac{C.Ptcf\%.S}{3,6tc}$$

$Q_{\max f\%}$  : Débit maximal instantané de la crue de fréquence  $f\%$  ( $m^3/s$ ).

$S$  : Surface de bassin versant en  $Km^2$ .

$C$  : Coefficient de ruissellement du bassin par la crue considérée (pour la même fréquence). Tableau 62 :

**TABLEAU 56: VALEUR DE COEFFICIENT DE RUISSellement D'APRES LA SOGREAH 1986**

| Périodes | Fréquences | Coefficient de ruissellement |
|----------|------------|------------------------------|
| 2        | 0.5        | 0.3                          |
| 10       | 0.9        | 0.6                          |
| 100      | 0.99       | 0.6                          |
| 1000     | 0.999      | 0.8                          |

Nous pouvons utiliser les valeurs de C proposées par Sogreah, en fonction de la récurrence.

$P_{tc}f\%$  : Hauteur totale maximale de précipitation correspond au temps de concentration du bassin de fréquence donnée.

$$P_{tc}f\% = P_{j \max} f\% \left( \frac{tc}{24} \right)^b \text{ O\grave{u} :}$$

$P_{tc}f\%$  : Hauteur totale maximale de précipitation correspond au temps de concentration du bassin pour une fréquence donnée.

$tc$  : Temps de concentration par heurs en préféré la formule de Giandotti :

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5Lp}{0.8\sqrt{\bar{H}} - H_{min}}$$

Où :

**Tc**: Temps de concentration (heures).

**Lp**: Longueur du talweg principale (km).

**S**: Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

$\bar{H}$ : Altitude moyenne du bassin versant (m).

**H<sub>min</sub>** : Altitude minimale du bassin versant (m).

$b$  : Exposant climatique de body

$P_{j \max} f\%$  : Pluie journalière maximale fréquentielle ; qui peut être calculée selon l'ajustement statistique des données de pluies journalières par la loi de Gumbel (Gumbel, 1958) :

$$F(x) = e^{-e^{-u}}$$

Où :

$u$  : désigne la variable réduite de Gumbel.

Droite de régression :

$$P_{j \max} f = \frac{1}{\alpha} u + x_0$$

Où :

$$\frac{1}{\alpha} = 0,780\delta$$

$\delta$  : Ecart type des  $P_{j_{\max}}$

$$x_0 = \bar{x} - (0,577 \frac{1}{\alpha})$$

$\bar{x}$  : La moyenne des  $P_{j_{\max}}$

### III.1.2.1.2 L'hydrogramme unitaire de Sokolovski :

L'hydrogramme unitaire de Sokolovski, est d'usage très courant dans les services d'hydrologie Algériennes. Elle permet de calculer l'hydrogramme théorique des crues recensées,

Les hydrogrammes observés :

1- la crue de 13 septembre 1982

2- la crue de 22 août 1999

Cette méthode repose sur deux équations paraboliques permettant de tracer respectivement la montée de la crue et sa décrue (Voskresensky, 1967) :

$$\text{Equation de montée : } Q_{tm} = Q \max \left( \frac{t}{tm} \right)^2$$

$$\text{Equation de décrue : } Q_{td} = Q \max \left[ \frac{(td - t)}{td} \right]^3$$

Le cas des crues d'averses, la méthode suppose :  $tm = tc$  et  $td = Ctm$

Où : le coefficient C est tabulé en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant : la décrue relative à un bassin perméable et boisé est plus lente,

Les petits cours d'eau et les vallées dans les bassins versants dénudés et faiblement perméables : C entre 2 et 2,5.

### III.1.2.2 Le modèle SCS du Curve Number (CN) :

Le modèle SCS, développé par le US Soil Conservation Service en 1972, également connu sous le nom de modèle complexe de la couverture hydrologique du sol, a été largement utilisé à l'échelle internationale pour la gestion des ressources en eau, la modélisation des eaux pluviales urbaines et l'estimation du ruissellement (Hawkins, 1993; Greene et Cruise, 1995; Mishra et al., 2005; Tsihrintzis et Hamid, 1997; Lewis et al., 2000; Sharma et al., 2001; Chandrmohan et Durbude, 2001; Sharma et Kumar, 2002; He, 2003) en raison de sa polyvalence. Elle a également été introduite et appliquée par certains chercheurs en Chine car elle donne des résultats toujours utiles (Pan, 1996 ; Liu et al.2005 ; Jin et al. 2003).

Étant donné que les principaux paramètres d'entrée du modèle SCS sont l'utilisation des terres, le type de sol, les pentes du terrain, etc. Le modèle est potentiellement compatible aux données de télédétection et peut refléter l'impact des activités humaines sur le rendement du ruissellement. Le modèle SCS peut être exprimé comme suit :

Excès de précipitations,  $P_e$ , donné par:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{où } P \text{ est le total des précipitations accumulées au temps } t$$

$I_a$  est la perte initiale et  $S$  le potentiel maximum de rétention.

On a par ailleurs la relation empirique suivante :  $I_a = 0.2 S$

On obtient donc :

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Or le potentiel  $S$  et les caractéristiques du bassin versant sont reliés par le nombre de courbe CN par :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

CN peut être défini à partir du tableau 63 suivant :

TABLEAU 57: NUMERO DE COURBE CN PAR SCS

| Composés hydrologiques de la couverture du sol et numéros associés de courbe pour des conditions moyennes d'une aire de drainage |                                   |                   |                            |     |     |     |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| Usage du terrain ou couverture   | Traitement du sol ou pratique     | État hydrologique | Sol du groupe hydrologique |     |     |     |
|  |                                   |                   | A                          | B   | C   | D   |
| Jachère  | Lignes droites                    | Mauvais           | 77                         | 86  | 91  | 94  |
| Cultures en lignes   | Lignes droites                    | Mauvais           | 72                         | 81  | 88  | 91  |
|  | Lignes droites                    | Bon               | 67                         | 78  | 85  | 89  |
|  | En courbes de niveau              | Mauvais           | 70                         | 79  | 84  | 88  |
|  | En courbes de niveau              | Bon               | 65                         | 75  | 82  | 86  |
|  | En courbes de niveau et terrasses | Mauvais           | 66                         | 74  | 80  | 82  |
| Céréales   | Lignes droites                    | Mauvais           | 65                         | 76  | 84  | 88  |
|  | Lignes droites                    | Bon               | 63                         | 75  | 83  | 87  |
|  | En courbes de niveau              | Mauvais           | 63                         | 74  | 82  | 85  |
|  | En courbes de niveau              | Bon               | 61                         | 73  | 81  | 84  |
|  | En courbes de niveau et terrasses | Mauvais           | 61                         | 72  | 79  | 82  |
|  | En courbes de niveau et terrasses | Bon               | 59                         | 70  | 78  | 81  |
| Cultures denses de légumineuses ou prairie en rotation   | Lignes droites                    | Mauvais           | 66                         | 77  | 85  | 89  |
|  | Lignes droites                    | Bon               | 58                         | 72  | 81  | 83  |
|  | En courbes de niveau              | Mauvais           | 64                         | 75  | 83  | 85  |
|  | En courbes de niveau              | Bon               | 55                         | 69  | 78  | 83  |
|  | En courbes de niveau et terrasses | Mauvais           | 63                         | 73  | 80  | 83  |
|  | En courbes de niveau et terrasses | Bon               | 51                         | 67  | 76  | 80  |
| Pâturage naturel ou parcours   | Naturel                           | Mauvais           | 69                         | 79  | 86  | 89  |
|  | Naturel                           | Moyen             | 49                         | 69  | 79  | 84  |
|  | Naturel                           | Bon               | 39                         | 61  | 7   | 80  |
|  | En terrasses                      | Mauvais           | 47                         | 67  | 81  | 88  |
|  | En terrasses                      | Moyen             | 25                         | 59  | 75  | 83  |
|  | En terrasses                      | Bon               | 6                          | 35  | 70  | 79  |
| Prairie (permanent)  |                                   | Bon               | 30                         | 58  | 71  | 78  |
| Forêt  |                                   | Mauvais           | 45                         | 66  | 77  | 83  |
|  |                                   | Moyen             | 36                         | 60  | 73  | 79  |
|  |                                   | Bon               | 25                         | 55  | 70  | 77  |
| Bâtiments  |                                   | -----             | 59                         | 74  | 82  | 86  |
| Pistes poussiéreuses   |                                   | -----             | 72                         | 82  | 87  | 89  |
| Surface dure   |                                   | -----             | 74                         | 84  | 90  | 92  |
| Surfaces imperméables  |                                   | -----             | 100                        | 100 | 100 | 100 |
| Surfaces d'eau (étang, lac, etc.)  |                                   | -----             | 100                        | 100 | 100 | 100 |

Pour un bassin versant composé de différents types de sols, on peut aussi établir un CN composite par moyenne pondérée :

$$CN_{comp} = \frac{\sum_i A_i CN_i}{\sum_i A_i} \quad \text{où } i \text{ représente l'indice associé à la subdivision du bassin en sous-}$$

bassins de type de sol uniforme,  $A_i$  est l'aire de la subdivision  $i$ .

### III.1.3 Évaluation des hydrogrammes :

Pour mieux visualiser la corrélation entre les valeurs observées et les valeurs calculées, on a adopté le critère d'évaluation des hydrogrammes de Nash ((Nash, J.E., et al 1970, Soualmia, A. et al 2014) donnée par la formule suivante

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_c^t)}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \overline{Q_o})}$$

$Q_o$  : Débit observé

$Q_c$  : Débit calculé

$\overline{Q_o}$  : Débit moyen observé

Le critère de Nash permet de juger l'importance de la différence entre les valeurs observées et les valeurs calculées, de domaine]  $-\infty, 1$ ], on estime que la simulation est acceptable lorsque le Nash est supérieur à 70% (Nash, J.E., et al 1970).

### III.2 Résultats et discussions :

#### III.2.1 Analyse des changements d'occupation des sols :

L'indice de kappa obtenu est de 0.9856 en 1984 et de 0.9747 en 1999. Ce qui reflète un accord parfait sur les échantillons de contrôle. L'étude de la matrice de confusion (Tableaux 64 et 65) donne les résultats de classification satisfaisante.

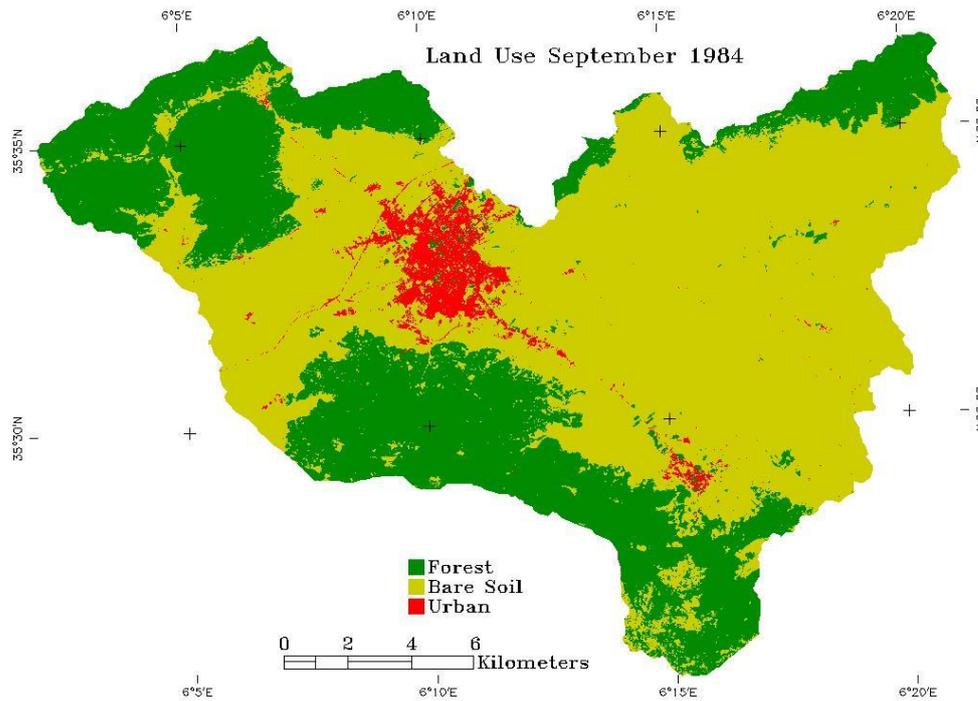
On observe des confusions façonnées entre les classes d'un même faciès entre sol nu et zone urbanisée.

**TABLEAU 58: MATRICE DE CONFUSION POUR LA CLASSIFICATION 1984**

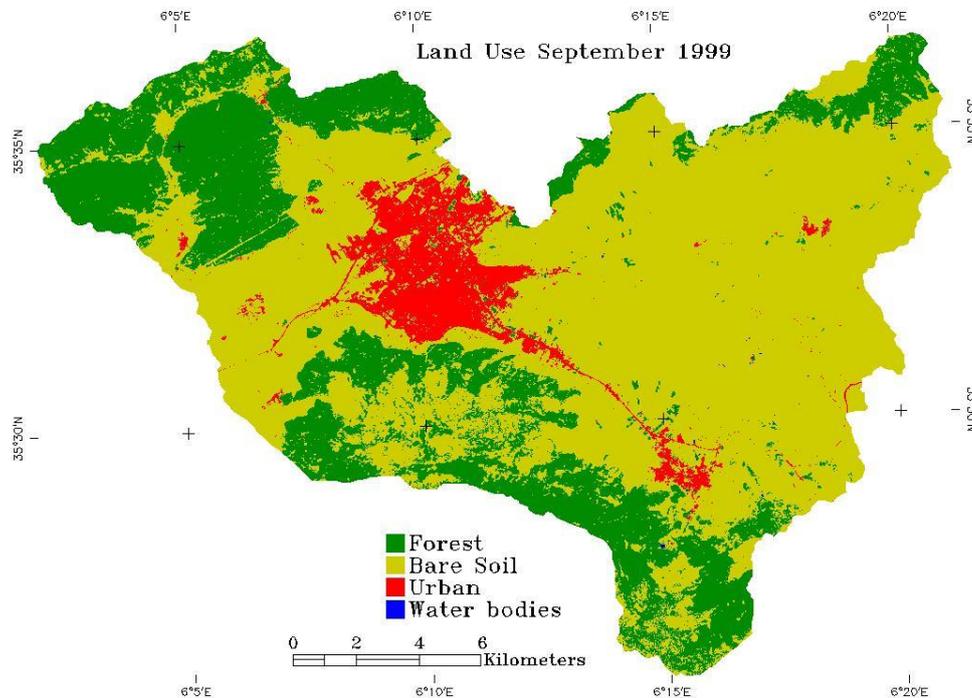
| Classes     | Sol nu | Zone Urbain | Foret | Total |
|-------------|--------|-------------|-------|-------|
| Sol nu      | 18775  | 8           | 0     | 18783 |
| Zone Urbain | 67     | 592         | 0     | 659   |
| Foret       | 28     | 0           | 3609  | 3637  |
| Total       | 18870  | 600         | 3609  | 23079 |

**TABLEAU 59: MATRICE DE CONFUSION POUR LA CLASSIFICATION 1999**

| Class       | Sol nu | Zone Urbain | Foret | Total |
|-------------|--------|-------------|-------|-------|
| Sol nu      | 7402   | 49          | 18    | 7469  |
| Zone Urbain | 2      | 2550        | 0     | 2552  |
| Foret       | 130    | 1           | 3264  | 3395  |
| Total       | 7534   | 2600        | 3282  | 13416 |

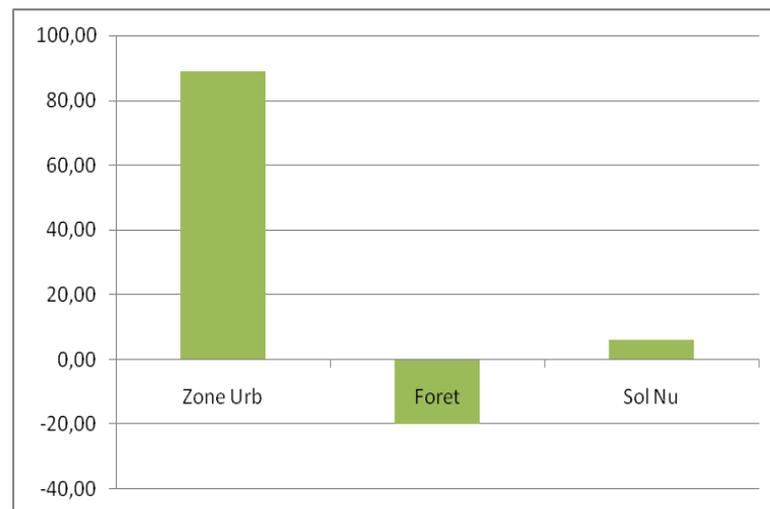


**FIGURE 81: CLASSIFICATION DE CHANGEMENT D'OCCUPATION DE SOL SUR LA BASE DES IMAGES SATELLITAIRE TM 1984**



**FIGURE 82: CLASSIFICATION DE CHANGEMENT D'OCCUPATION DE SOL SUR LA BASE DES IMAGES SATELLITAIRE ETM+ 1999**

Les changements d'occupation de sol dans l'ensemble du bassin versant d'Oued El Gourzi montrent une variation considérable durant la période entre 1984 et 1999, le bassin versant a connu un grand changement d'occupation de sol particulièrement: la forêt, la zone urbanisée et sol nue (fig. 81, 82). Cela s'exprime par la croissance urbaine à un taux de 88.96% (fig.83) sur une surface de 21.41km<sup>2</sup> qui a été soustraite de 11.33km<sup>2</sup> en 1984(fig.84), la dégradation de la forêt qui occupe en premier lieu une surface de 111km<sup>2</sup> soit 35.15% mais ce pourcentage a diminué à 28.10% en 1999(fig. 83et 84), la surface des terres nues a aussi connu une tendance croissante légère de 3.80%, soit de 06 km<sup>2</sup> (fig.84), mais la (fig.83) montre clairement une variation spatiale importante, c'est-à-dire qu'il y a une transformation. L'urbanisation occupe le sol nu et le sol nu occupe la forêt. La raison de ce changement global se traduit par l'insécurité dans la décennie noire. La forêt a été fortement dégradée par les incendies humains, et la plupart des habitats ruraux ont déménagé à Batna en raison de l'insécurité, ou pour améliorer leur mode de vie; En recherchant un emploi, notamment dans le domaine de l'agriculture.



**FIGURE 83: POURCENTAGE DE CHANGEMENT D'OCCUPATION DE SOL DURANT LA PERIODE DE 1984 A 1999**

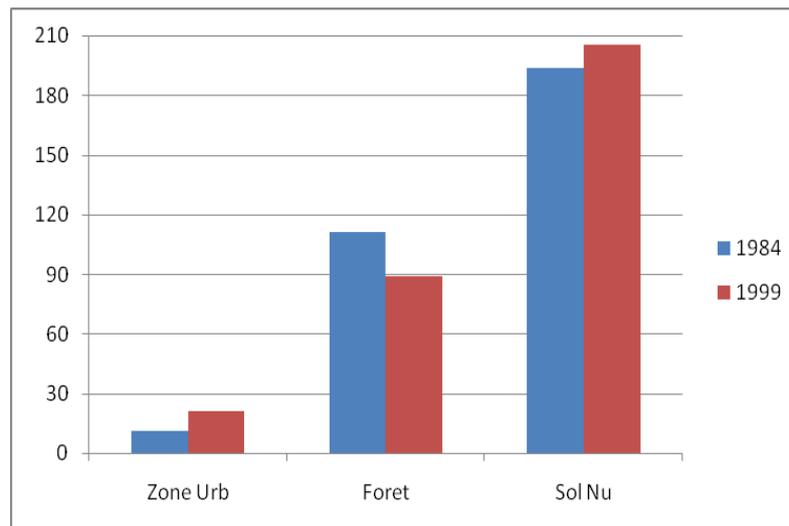
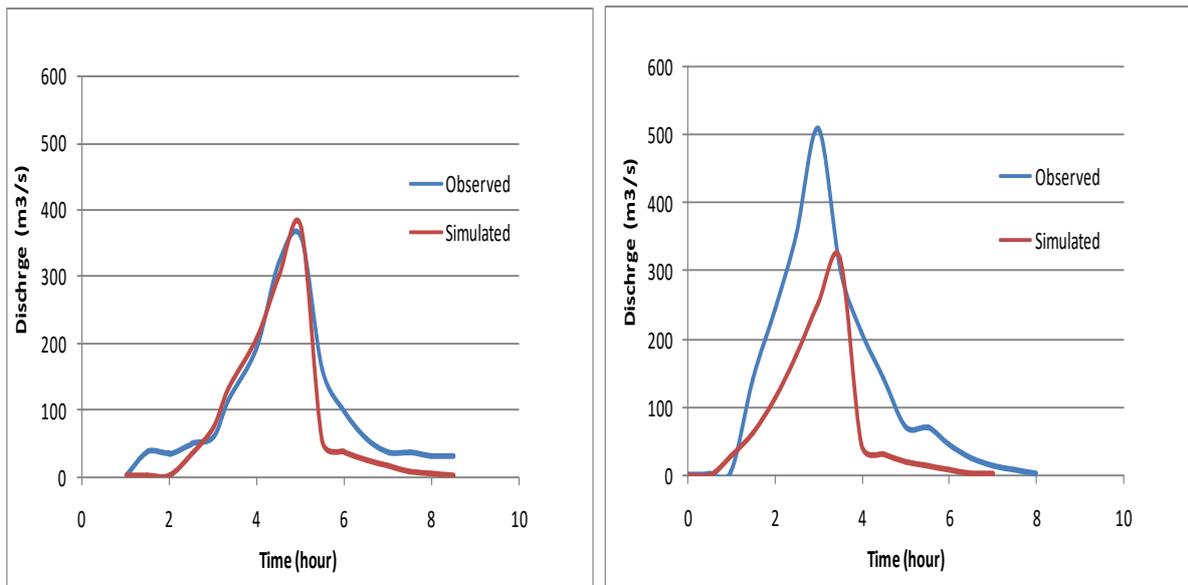


FIGURE 84: SURFACE D'OCCUPATION DE SOL EN 1984 ET 1999

### III.2.2 Analyse de la réponse hydrologique :

La réponse hydrologique est influencée par l'effet combiné de plusieurs paramètres, tels que ceux liés aux conditions climatiques du milieu (la pluviosité) et la morphologie du bassin versant (forme, dimension, altimétrie, orientation des versant), la structure du réseau hydrographique (extension, dimension, propriétés hydrauliques), l'état antécédent d'humidité des sols, et les paramètres physiques du bassin (nature des sols, couverture végétale).

Après avoir étudié l'occupation de sol entre 1982 et 1999, nous avons observé qu'il y avait un grand changement dans la forêt et l'extension du périmètre urbain. Sur cette base, nous avons deux crues plus importantes après et avant les changements, d'où les crues plus fréquentes de la saison chaude au début et à la fin de la saison; Plus précisément, fin août et septembre, qui a un caractère d'une forte gravité, du fait de la forte intensité des averses orageuses, pendant une courte période (4 à 6 heures) et de l'absence de couvert végétal, nous avons donc calculé les hydrogrammes théoriques correspondants aux formules empiriques agréées par les services hydrologiques en Algérie.



**FIGURE 85: LES HYDROGRAMMES DES CRUES OBSERVER ET CALCULER PAR TURRAZA (CRUE DU 13 SEPTEMBRE 1982), B (CRUE DU 22 AOUT 1997)**

### III.2.2.1 La crue du 13 septembre 1982 :

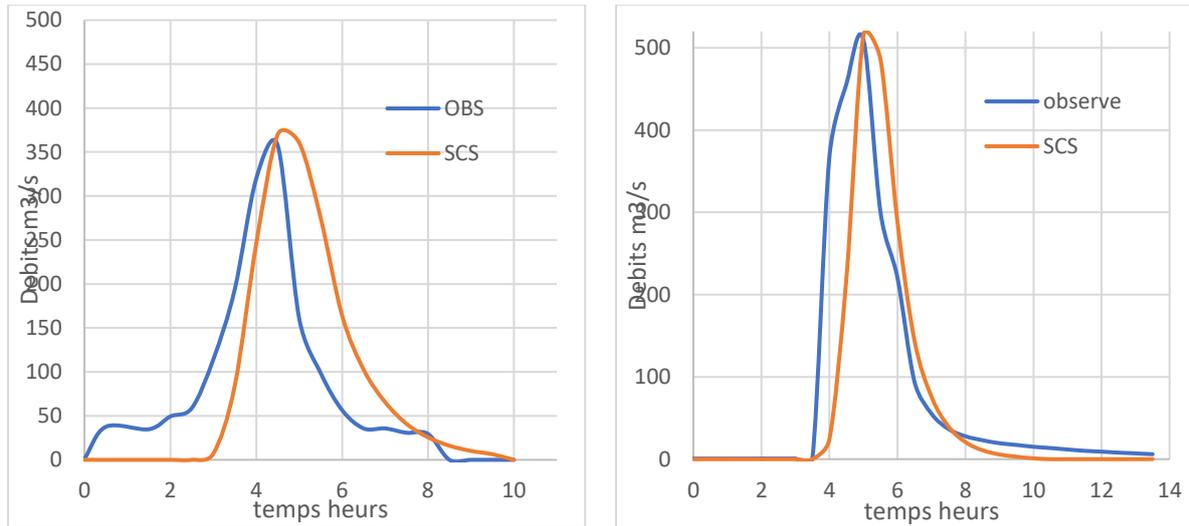
Cette crue présente un hydrogramme unitaire en relation avec des pluies à forte intensité. Le pic de l'hydrogramme est 357 m<sup>3</sup>/s faits suite à une averse de 72 mm en 4 heures. L'ajustement statistique de la distribution par la loi de Gumbel, la fréquence de cette averse est 58 ans (tab.68). Après l'estimation théorique du débit maximale instantané de l'averse précédant par la méthode de Turraza et la méthode de SCS, le volume est de 373.64 m<sup>3</sup>/s (Trarza) et 369,92 m<sup>3</sup>/s (SCS).Ce résultat est proche au débit observé avec une erreur de 4.45%. La figure 85 montre clairement l'identique des deux hydrogrammes observés et calculés par la méthode de Sokolovski. On estime que la simulation est acceptable lorsque le Nash est supérieur à 70% (Nash, J.E., et al 1970). Dans notre cas, le critère de Nash est supérieur à 86% pour les deux méthodes.

### III.2.2.2 La crue du 22 Août 1997 :

Les mêmes caractéristiques des pluies, dans ce cas un volume de 61mm nous donne un débit instantané de 510m<sup>3</sup>/s, par l'ajustement statistique de la distribution par la loi de Gumbel; l'occurrence de cette averse est 21 ans (tableau68).Après l'estimation théorique du débit maximal instantané de cette averse par la méthode Turraza et SCS, on obtient un volume de 316.56 m<sup>3</sup>/s (Turraza) et 515,11 m<sup>3</sup>/s (SCS).

Pour la méthode de Turraza, le résultat est loin du débit observé avec une erreur de 61.1%. La figure 85 montre nettement que l'hydrogramme observé n'est pas conforme à l'hydrogramme calculé par la méthode de Sokolovski, dont le critère de Nash est égal à 40 %.

Pour la méthode de SCS, le résultat est complètement identique au débit observé avec une erreur inférieure de 3%. La figure 86 montre clairement l'identité des deux hydrogrammes observés et calculés par la méthode de SCS. On estime que la simulation est acceptable lorsque le Nash est supérieur à 70% (Nash, J.E., et al 1970). Dans notre cas, le critère de Nash est supérieur à 88% pour cette méthode.



**FIGURE 86: LES HYDROGRAMMES DES CRUES OBSERVER ET CALCULER PAR SCS (CRUE DU 13 SEPTEMBRE 1982), B (CRUE DU 22 AOUT 1997)**

Les deux équations de simulation des crues étaient différentes, ce qui a montré que l'effet de l'utilisation des terres et du changement de couverture terrestre sur les débits max instantanés est lié à la caractéristique des précipitations. L'occupation de sol qui a de l'effet sur les débits de points dérivés des précipitations en septembre 1982 que celui d'août 1997.

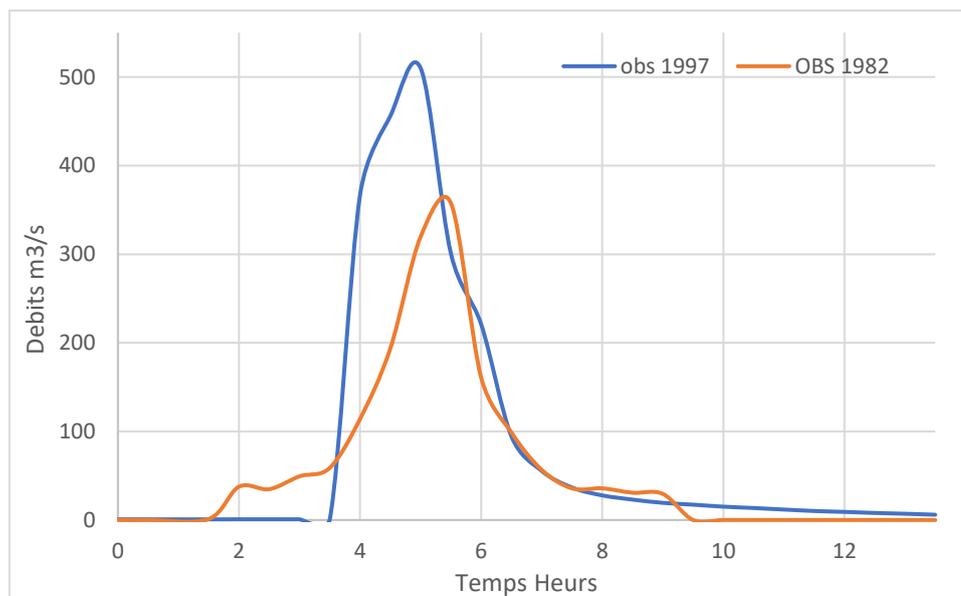
**TABLEAU 60: ESTIMATION DES PERIODES DE RETOUR DES DEBITS DE POINTE AVENT ET APPRET LES CHANGEMENTS**

|                              |        |        | 22 Aout       |        | 13SEP         |        |        |
|------------------------------|--------|--------|---------------|--------|---------------|--------|--------|
|                              |        |        | 1999          |        | 1982          |        |        |
| F fréquences                 | 0,9    | 0,95   | <b>0,953</b>  | 0,98   | <b>0,983</b>  | 0,99   | 0,999  |
| T période de retour<br>(ans) | 10     | 20     | <b>21,11</b>  | 50     | <b>58,37</b>  | 100    | 1000   |
| U Variable réduite           | 2,25   | 3,00   | <b>3,03</b>   | 3,90   | <b>4,06</b>   | 4,55   | 6,90   |
| Pjmax (mm)                   | 52,74  | 60,73  | <b>61,00</b>  | 70,32  | <b>72,00</b>  | 77,24  | 102,27 |
| Ptc (mm)                     | 34,86  | 40,14  | <b>40,31</b>  | 46,47  | <b>47,58</b>  | 51,05  | 67,59  |
| Qmaxturraza (m3/s)           | 273,70 | 315,15 | <b>316,56</b> | 364,90 | <b>373,64</b> | 400,82 | 530,70 |
| Qmax SCS (m3/s)              |        |        | <b>515,11</b> |        | <b>369,92</b> |        |        |
| Qmax Observer (m3/s)         |        |        | <b>510,00</b> |        | <b>357,00</b> |        |        |

### III.2.3 L'impact des changements d'occupation des sols sur l'inondation :

En comparant les deux crues précédentes dans le bassin versant d'Oued el Gourzi, on distingue :

L'intensité des pluies abondantes, donne un faible débit instantané, en cas de crue de septembre 1982, mais le débit instantané est important malgré des précipitations inférieures aux premières pluies d'août 1997. Cela signifie que des pluies fréquentes pendant 20 ans donnent un débit instantané important par rapport aux pluies répétées depuis 58 ans : Une augmentation de plus de 42%. Au cours des deux périodes de crue, l'utilisation des terres a augmenté le débit d'eau et le comportement hydrologique est devenu très impulsif. Cette irrationalité peut se refléter dans le changement d'utilisation des terres dans le bassin versant d'Oued el Gourzi pendant la période (1984-1999) à travers laquelle on peut distinguer deux changements majeurs qui ont un effet direct ou indirect. :



**FIGURE 87: LES HYDROGRAMMES DES CRUES OBSERVER (LA CRUE DU 13 SEPTEMBRE 1982, CRUE DU 22 AOUT 1997)**

L'expansion urbaine ainsi que la croissance de la population et son désir de plus de «civilisation» ont réduit la perméabilité des surfaces terrestres et, par conséquent, le temps de concentration des crues (Fig. 87), en l'absence d'atténuation. Solutions dans la conception des systèmes de drainage urbain (Ranzi R. et al, 2008), une augmentation des surfaces imperméables par l'urbanisation peut conduire aux impacts hydrologiques suivants (1) réduction de l'infiltration; (2) Augmentation du ruissellement de surface; (3) Augmentation

des vitesses d'écoulement dans les zones urbaines en raison d'une rugosité de surface réduite et (4) d'un débit de pointe. (Webster J et al. 2014)

Plusieurs études sur des bassins versants en feu (Scott et Van Wake, 1990; Scott, 1997; DeBano, 2000) ont montré que la réponse du bassin versant, quel que soit le pas de temps étudié (annuel, mensuel, quotidien, immédiat), augmente au cours de la première année après l'incendie. Ce changement est ensuite atténué la deuxième année pour restaurer la propriété d'origine. Le taux de ruissellement et le pic de crue sont ajustés en fonction de la taille du bassin. Plus le bassin est petit, plus l'influence du feu sur la réponse hydrologique est grande. En conséquence, le pic d'écoulement peut augmenter considérablement de 45 à 600% (Anderson et al. 1976) dans les grands bassins versants (Nasseri, 1988) de 5 à 700% dans le petit bassin.

L'influence de la forêt sur le rendement en eau d'un bassin versant est tenue pour acquis: la forêt consomme généralement plus d'eau qu'un autre type de couvert végétal, de telle sorte que le déboisement (les faux de forêts) a pour effet d'augmenter la production d'écoulement et réduise le temp de concentration d'un bassin versant (Papathanasiou. C et al, 2015), donc le déboisement est toujours suivi d'une augmentation du volume des débits du bassin versant. L'effet des forêts sur les crues semble être mineur, dans la mesure où toutes les expérimentations qui font intervenir le déboisement montrent un accroissement des pics de crue (Vazken. A et al, 2004. Blume et al. 2007 et Willems, 2009)).

### **Conclusion**

Après avoir étudié l'impact de l'occupation de sol sur la réponse hydrologique du bassin versant d'oued el Gourzi, situé dans le versant nord du massif de l'Aurès, à partir de l'imagerie satellitaire, Landsat ETM + et TM à une résolution de 30 m, pour deux périodes différentes, (1982-1999), nous sommes passés à la classification de l'occupation de sol de la manière la plus probable.

Nous avons constaté qu'il y a un changement distinct pour chaque type d'occupation de sol. Celui-ci prend la forme d'une augmentation de surface urbanisée importante estimée à 88%, et la dégradation de la surface de la couverture forestière par les feux des forêts et d'autres processus pouvant atteindre 20%. Cette évolution diachronique dans le mode d'occupation du sol a eu des implications pour les processus dynamiques, en particulier pour les systèmes hydrologiques. En effet l'étude des hydrogrammes des crues montre une variation remarquable dans les valeurs des débits instantanées entre les deux périodes. Une augmentation, estimée à 61% pour une valeur de la précipitation journalière maximale plus faible pour la seconde période (61 mm) par rapport à la première (72 mm).

Les résultats de cette analyse spatiale indiquent clairement l'impact des changements dans l'état d'occupation du sol sur la modification de l'aléa hydrologique qui génère des risques de dommages importants dans les zones urbaines très vulnérables.

## *Conclusion générale*

## Conclusion générale

Les paramètres physiques sont indispensables pour toute étude des risques naturels. La zone d'étude est caractérisée par une topographie favorable aux risques d'inondations et autres phénomènes tels que les feux de forêts. Elle est caractérisée par une forme dépressive qui occupe les altitudes inférieures à 1200m. Les pentes inférieures à 3%, constituent environ 30% de la zone d'étude. En général, les pentes dominantes occupent la catégorie moyenne à la catégorie forte. L'impluvium de la ville de Batna est alimenté par quatre Oueds dont l'oued el Gourzi, le cours d'eau principal qui draine ses eaux vers chott de Gadain.

Le Bassin Versant de l'oued el Gourzi est doté de couverture végétale riche composée essentiellement de forêts, maquis, parcours et un reboisement avec un taux de recouvrement végétal estimé à 35%. La zone d'étude est influencée par un climat semi-aride caractérisé par des précipitations orageuses qui génèrent des crues durant l'automne, l'hiver et le printemps. Par ailleurs, l'été est la saison la plus sèche à cause de la température très élevée, l'humidité relativement basse et le vent sec très dominant.

La ville de Batna connaît une évolution (extension) très importante vers les piémonts et les montagnes. De plus, les enjeux socio-économiques se multiplient, ayant pour conséquence un milieu vulnérable. Cette situation semble être très favorable aux risques d'inondations et mêmes des feux de forêts.

L'analyse statistique des feux de forêts a montré que l'été est la saison la plus favorable aux feux. L'année 2004 a enregistré un feu de forêt de 1000 ha, alors que l'année 2001 a connu 16 foyers de feu. La température et les vents sont les facteurs climatiques qui ont une influence directe sur les feux de forêts, la vitesse des vents critique est de l'ordre de 10 m/s et la température de 33°C permettant le déclenchement des feux.

La répartition spatiotemporelle des incendies a montré que plusieurs endroits sont touchés de manière aléatoire, imprévue, et hasardeuse avec des différentes formes selon les caractéristiques de la végétation, la topographie et les conditions climatiques. L'analyse précise de la situation des feux de forêts a montré que les facteurs anthropiques jouent un rôle prépondérant, car ils sont à l'origine du déclenchement des incendies de forêt dans 80 % à 90 % des cas. Ils sont regroupés dans en cinq catégories : les causes accidentelles, les imprudences, les travaux agricoles et forestiers, la malveillance et les loisirs. Par ailleurs, les

conséquences des feux dans la région se scindent des conséquences directes et indirectes. Ils sont très coûteux en termes d'impact économique et environnemental.

L'analyse multicritère dans le bassin versant d'Oued El Gourzi a permis de faire un zonage de risque de feux de forêts de façon précise.

Cette étude a montré que les inondations constituent le risque le plus répandu dans la zone d'étude. Par ailleurs, les pluies torrentielles sont la source principale des crues destructives. L'analyse statistique des pluies et les débits maximaux observés dans la station hydrométrique de la zone d'étude a permis de déterminer les remarques suivantes : La station de Tazoult a enregistré une valeur de  $P_{jmax}$  centennale de l'ordre de 161,59 mm, tandis que la valeur minimale centennale s'est évaluée à la station de Batna à 72,47 mm. Par ailleurs, le débit centennal calculé par la méthode de Turraza est de l'ordre 576.48 m<sup>3</sup>/s et 520.85 m<sup>3</sup>/s par la méthode SCS-CN. L'étude des hydrogrammes des crues a été réalisée par deux méthodes : Sokolovski et SCS-CN ; les résultats de la méthode SCS-CN ont permis d'élaborer une carte des zones inondable au niveau de la ville de Batna à l'aide de la géomatique (HAC RAS et HAC GeoRas).

L'utilisation des images satellites Landsat ETM + et TM dont la résolution est de 30 m, qui couvrent deux périodes différentes, (1982-1999), a permis de procéder à une classification d'occupation de sol par la méthode du maximum de vraisemblance. De plus, nous avons constaté qu'il y'a un changement radical dans chaque type d'occupation de sol. Celui-ci prend la forme d'une augmentation de surface urbaine avec 88%, suivi par une régression de la surface de la couverture forestière sous l'effet des feux des forêts par 20%.

Cette évolution diachronique dans le mode d'occupation du sol s'est répercutée sur les processus dynamiques notamment sur les régimes hydrologiques. En effet l'étude des hydrogrammes des crues montre une variation remarquable dans les valeurs des débits instantanées entre les deux périodes. Une augmentation estimée à 61% pour une valeur de la précipitation journalière maximale plus faible de la seconde période (61 mm) par rapport à la première (72 mm).

Les résultats de cette analyse spatiale indiquent clairement l'impact des changements dans l'état d'occupation du sol sur la modification de l'aléa hydrologique générateur de risques très dommageables en milieu urbain hautement vulnérable. Par ailleurs, ces mutations spatiales rendent également les modèles adoptés par les services hydrologiques pour l'estimation des hydrogrammes des crues et les débits obsolètes et inutiles car ils ne prennent

pas en considération les changements d'occupation des sols. Alors, il devient nécessaire de revisiter ces modèles par la modification des paramètres et leur articulation spatiale. Les modèles doivent être efficaces et capables de reproduire fidèlement la réalité sur le terrain.

# *Bibliographie*

## **Bibliographie**

- Aguini F. (1999). Contribution a l'étude hydrologique de la vallée d'oued El Abiod (w.de Batna). Université de Batna.
- Akaike H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans Autom Control* 19 :716–723
- Ali. F, Lakhouaja. E, Sadiki. A, Chaaouan.J. 2012. SIG, Télédétection et évaluation du risque d'incendie de forêts « Exemple du massif forestier Khezana (Province de CHAOUENE, Maroc). *Papeles de Geografía* n° 55-56pp. 37-48
- Amini, A., Ali, T., Ghazali, A., Aziz, A., Akib, S., 2011. Impacts of land-use change on streamflows in the Damansara Watershed, Malaysia. *Arab. J. Sci. Eng.* 36 (5), 713–720. <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-011-0075-3>.
- Ammari M., 2011. Etude de la dimension fractale du front dans un système désordonné binaire. Application aux feux de forêt. Thèse Magister. Univ Oran. Algérie, 90 p.
- Anderson HW, Hoover MD, Reinhart KG., (1976). Forests and water: effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply. Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. G. T. R. PSW-018. U.S. Department of Agriculture, Berkeley. 115
- Annani. Med, Bourara M. (2000). Étude paléogéographique et technique des environs de Batna, université de Constantine.
- Assali. F, M Alaoui. H, Rouchdi. M, Badraoui M. 2016. Modélisation Et Cartographie Du Risque D'éclosion D'incendie De Forêt Dans Le Nord-Ouest Du Maroc (Région De Chefchaouen-Ouazzane). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 71 (2), 111-128.
- Bagnouls F, Gaussen G. (1953). Période de sécheresse et végétation. *Les Comptes rendus de l'Académie des sciences* 236:1076–1077
- Behloul L. (2004). crues et inondations en Algérie. Rapport ANRH.
- Boudrissa N, Cheraitia H, Halimi L (2017) Modelling maximum daily yearly rainfall in northern Algeria using generalized extreme value distributions from 1936 to 2009. *Meteorol Appl* 24 :114–119
- Bousaffa A. Benslimane R, (1997). Contribution à l'étude hydrologique de la région de Batna (Tazoult - Ain touta), université de Constantine.
- Bravard, J.P., Petit F. (1997). *Les cours d'eau*, Armand Colin.
- Buishand TA, de Haan L, Zhou C (2008) On spatial extremes: with application to a rainfall problem. *Ann Appl Stat* 2(2) :624–642

- Burnham KP, Anderson DR (2002) Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach, 2nd edn. Springer, New York
- Caloz R., et Collet C., (2001) Précis de Télédétection, Traitements numériques d'images de télédétection, Presses de l'Université de Québec, Agence Universitaire de la Francophonie, vol. 3 pp 386.
- Caloz R., et Pointet A., (2003) Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance : synthèse et cas d'étude, Télédétection, Vol. 3, n° 2-3-4, pp 311-322.
- Caloz R., et Puech C., (1996) Hydrologie et imagerie satellitaire, in « Précis de Télédétection, Vol. 2, Applications thématiques », UREF/AUPELF
- Carreau J, Neppel L, Arnaud P, Cantet P. (2013). Extreme rainfall analysis at ungauged sites in the South of France: comparison of three approaches. J Soc Fr Stat 154(2):119–138
- Carrega . P and Jeronimo.N, 2007. “Risque Météorologique d’Incendie de Forêt et Méthodes de Spatialisation pour une Cartographie a Fine Echelle,” Actes du XXème Colloque International de l’AIC, Tunis, p. 7.
- Carrega . P, 1988, “Une Formule Améliorée pour l’Estimation des Risques d’Incendie de Forêt dans les Alpes,” Revue d’Analyse Spatiale, Quantitative et Appliquée, No. 24, pp. 165-171
- Carrega . P, 1991, “A Meteorological Index of Forest Fire Hazard in Mediterranean France,” International Journal of Wildland Fire, Vol. 1, No. 2, pp. 79-86.
- Carrega . P, 2008. “Le Risque d’Incendies de Forêt en Région Méditerranéenne: Compréhension et Evolution, Montpellier, France,
- CEMAGREF, (1989). Guide technique du forestier méditerranéen Français, protection des forêts contre les incendies, volume II, France, Fiches 5 et 8.
- Chandler, CP, Cheney, P., Thomas, L., Trabaud, Williams D. (1983). Incendie en foresterie vol. 2. New York: Wiley, p. 231–248.
- CHEIKH S. KHAIR F.(2013). Délimitation des zones inondables par l’utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et HEC GEORAS cas du centre « Ain Jemaa ». Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Maroc
- Chen, Y., Xu, Y., Yin, Y., (2009). Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. Quat. Int. 208, 121–128.
- Cohen J., (1960) A coefficient of agreement for nominal scales, Educational and

Psychological Measurement, Vol. 20, n°1, pp 37-46.

- Coles S (2001) An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, New York
- COLIN P.Y. & JAPPIOT M., (2001) - Politiques de prévention et de réhabilitation en réponse aux origines des incendies de forêt. Exemple de quatre pays du bassin méditerranéen (Chypre, Maroc, Syrie, Tunisie). Info DFCI, Bulletin du centre de Documentation Forêt Méditerranéenne et Incendie, CEMAGREF, 47, 1-5.
- Collins, M.J., 2009. Evidence for changing flood risk in New England since the late 20<sup>th</sup> century. J. Am. Water Resour. Assoc. 45 (2), 279–290.
- Congalton R., G., (1988) A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, n° 5, pp 593-600.
- Congalton R., G., (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, Remote Sensing of Environment, Vol. 37, pp 35-46.
- Cote M. (1983). L'espace Algérien, Les prémices d'un Aménagement, OPU.
- Countryman. C.M, (1972). The fire environment concept. USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, General Technical Report PSW-7, (Berkeley, CA).
- Crisci A, Gozzini B, Meneguzzo F, Pagliara S, Maracchi G. (2002). Extreme rainfall in a changing climate: regional analysis and hydrological implications in Tuscan. Hydrol Process 16 :1261–1279
- Dagonne and J. M. Castex, 1992, "Gestion des Espaces Forestiers et Sub-Forestiers en Zones Rouges. L'exemple de Saint-Césaire-sur-Siagne (Alpes-Maritimes, France)," Finisterra, Vol. 27, No. 53-54, pp. 141-166.
- DAGORNE, Y.D et al. (1994). Protection des forêts contre les incendies & Système d'information géographique : Application à la commune d'Auribeau sur Siagne (Alpes Maritimes). Revue forêt méditerranéenne t. XV, n°4, octobre.
- DeBano, LF., (2000). The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review. J Hydrol 231–232 :195–206
- Drouet. J. Ch. 1973. Les feux de forêts, en région méditerranéenne. Théorie de propagation et moyens de lutte efficaces. Méditerranée vol12 pp. 29-53.
- Duchoufour P. (1968). L'évaluation des sols, essai sur la dynamique des profils. Masson et cu éditeurs, 120, Boulevard saint-germain, Paris Vie,

- El Adlouni S, Ouarda TBMJ, Zhang X, Roy R, Bobee B (2007) Generalized maximum likelihood estimators for the nonstationary generalized extreme value distribution. *Water Resour Res* 43: W03410
- Elise Beck. (2006). Approche multi-risques en milieu urbain. Le cas des risques sismique et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin). Strasbourg I
- Ender M, Ma T (2004) Extreme value modeling of precipitation in case studies for China. *Int J Sci Innov Math Res* 2(1):23–36
- FAO, 2007 - Situation des forêts du monde (synthèse mondiale). Partie 1 : progrès vers la gestion durable des forêts. pp. 4-13 & 64-72. [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAO. 2001. Protection des forêts contre l'incendie Fiches techniques pour les pays du bassin méditerranée. FAO Forestry Paper n° 36. Rome.
- Fojstng E., (1999) Contribution de la Morphologie mathématique à la cartographie de l'occupation du sol à partir d'image SPOT (Région de l'extrême Nord-Cameroun). Rapport de doctoral en télédétection, Réseau télédétection, AUPELF - UREF, p. 91.
- Fox, D.M., Witz, E., Blanc, V., Soulié, C., Penalver-Navarro, M., Dervieux, A., 2012. A case study of land cover change (1950–2003) and runoff in a Mediterranean catchment. *Appl. Geogr.* 32 (2), 810–821.
- Gary W. Brunner HEC-RAS, 2010. River Analysis System Hydraulic Reference Manual, US ARMY CORPS OF ENGINEERS HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER.
- Gilleland E, Katz R (2016) extRemes 2.0: an extreme value analysis package in R. *J Stat Soft* 72:8
- Girard M., C., et Girard C., M., (1999) Traitement des données de télédétection, Dunod, pp 530
- Graham, R.T., Jain, T.B., and Harvey, A.E. 2000. Fuel: logs, sticks, needles, duff, and much more. In: Neuenschwander, Leon F.; Ryan, Kevin C. *Crossing the Millennium: Integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management*, Joint fire science conference and workshop. Boise, ID. Spokane, WA : International Association of WildlandFire. 189-194
- Greco J, 1996, l'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie, Alger.
- Guettouche. M S, Derias. A. 2013, Modelling of Environment Vulnerability to Forests Fires and Assessment by GIS Application on the Forests of Djelfa (Algeria). *Journal of Geographic Information System*, 5, 24-32

- Guettouche. M S, Derias. A, Boutiba. M, Bounif. M A, Guendouz. M, Boudella. A. 2011. A Fire Risk Modelling and Spatialization by GIS Application on the Forest of Bouzareah Clump, Algiers (Algeria). *Journal of Geographic Information System*, 3, 254-265
- Guide de laboratoire HEC-RAS Version 3.1.1, 2005, Université du Québec École de technologie supérieure.
- Hare W. (2003). Assessment of knowledge on impacts of climate change— contribution to the specification of art. 2 of the UNF-CCC. *WissenschaftlicherBeirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen*
- HCEFLCD, (2004). Rapport annuel sur les incendies de forêts, Division d'Équipement et de la Protection des Forêts, Rabat, Maroc, 20 pp.
- Hoang K., H., Bernier M., et Villeneuve J., P., (2008) Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière câu (viêt-nam). *Essai sur une approche diachronique. Télédétection*, vol. 8, n° 4, pp 227-236.
- Hurkmans, R.T.W.L., Terink, W., Uijlenhoet, R., Moors, E.J., Troch, P.A., Verburg, P.H., 2009. Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin. *Water Resour. Res.* 45 (6), W06405
- Jinkang. D, Li. Q, Hanyi. R, Tianhui. Z, Dapeng. Z, Youpeng. X, Chong-Yu. X, (2012). Assessing the Effects of Urbanization on Annual Runoff and Flood Events Using an Integrated Hydrological Modeling System for Qinhuai River Basin, China. *Journal of Hydrology* s 464–465: 127–139
- Khalid Omar Murtaza and Shakil A., Romshoo (2014) Determining the Suitability and Accuracy of Various Statistical Algorithms for Satellite Data Classification. *International journal of geomatics and geosciences*, Vol. 4, n° 4, pp 585-599.
- Koutsoyiannis D, Baloutsos G. (2000). Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences. *Nat Hazards* 22 :29–48
- Koutsoyiannis D. (2004). Statistics of extreme and estimation of extreme rainfall II: empirical investigation of long rainfall records. *Hydrol Sci J* 4 :591–610
- Laborde, J.P. (2003). Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie.
- Lakhouaja, H. Sadiki, A. Chaouan, J. 2012. SIG, Télédétection et évaluation du risque d'incendie de forêts «Exemple du massif forestier Khezana (Province de CHAOUENE, Maroc). *Papeles de Geografía* , 55-56, pp. 37-48
- Leclerc M, Ouarda T (2007) Non-stationary regional flood frequency analysis at

ungauged sites. *J Hydrol* 343 :254–265

- Li-Ge C, Jun Z, Bu-Da S, Jian-Qing Z, Gemmer M (2013) Probability distribution and projected trends of daily precipitation in China. *Adv Climate Change Res* 4(3):153–159
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. *Remote Sensing and Digital Image Interpretation*, 4th ed.; Wiley: New York, NY, USA, 2000; p. 724.
- Liu X, Kang S, Liu D, 2005. SCS model based on geographic information and its application to simulate rainfall-runoff relationship at typical small watershed level in Loess Plateau. *Transaction of the CSAE*, 21(5): 93–97. (in Chinese)
- Lu, D.; Weng, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *Int. J. Remote Sens.* 2007, 28, 823–870.
- Margerit. J, 1998. *Modélisation et Simulations Numériques de la Propagation de Feux de Forêts*. Physics, Computer Science
- Martin BOUDOU. (2015). *Approche multidisciplinaire pour la caractérisation d'inondations remarquables Enseignements tirés de neuf événements en France (1910-2010) Tome 1 : Manuscrit*. Université Paul Valéry – Montpellier III
- Matheron G., (1963) Principles of geostatistics. *Economic Geology*.vol. 58 n°.8, pp 1246-1266.
- MEDDOUR-SAHAR, O, BOUISSET, C, 2013, Les grands incendies de forêt en Algérie : problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques, *Méditerranée*, 121 | 2013, 33-40.
- Meddour-Sahar, R. Meddour and A. Derridj, 2008, “Analyse des Feux de Forêts en Algérie sur le Temps Long 1876-2007,” les Notes d’analyse du CIHEAM, n 39,
- Milly PCD, Betancourt J, Falkenmark M, Hirsch RM, Kundzewicz ZW, Lettenmaier DP, ----Stouffer RJ (2008) Stationarity is dead: Whither water management? *Science* 319 :573–574
- Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles. *J. Hydrol.* 1970, 10, 282–290
- Nasser I., (1988). Frequency of floods from burned chaparral watershed. *Proceeding of the symposium on fire and watershed mnagement*. G. T. R. PSW-109. Berkeley, California, USDA (Forest Service)
- Ngailo TJ, Reuder J, Rutalebwa E, Nyimvua S, Mesquita MDS (2016). Modelling of extreme maximum rainfall using extreme value theory for Tanzania. *Int J Sci Innov Math Res* 4(3):34–45

- O’Gorman PA. (2015). Precipitation extremes under climate change. *Curr Clim Change Rep* 1:49–59
- Ouahiba M.S, R MEDDOUR, A Derridj. (2010). Les facteurs favorables aux incendies de forêts en région méditerranéenne. *Revue Campus* N°17
- Panagoulia D, Economou P, Caroni C. (2014). Stationary and nonstationary generalized extreme value modelling of extreme precipitation over a mountainous area under climate change. *Environmetrics* 25 :29–43
- Papathanasiou .C et al 2015. Hydrological modelling for flood forecasting: Calibrating the post-fire initial conditions, doi: 10.1016 / j. jhydrol.2015.07.038
- R Core Team (2019) R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna. <http://www.rproject.org/index.html>
- RAMADE F., (1997), Conservation des écosystèmes méditerranéens : enjeux et prospective, Plan Bleu, fascicule no 3, Ed. Economica, PNUE, Paris, 189 p.
- Refsgaard, J.C.; Storm, B.; Refsgaard, A. (1995). Validation and applicability of distributed hydrological models. In *Modelling and Management of Sustainable Basin-Scale Water Resource Systems*; IAHS Publ.: Oxfordshire, UK, No. 231, pp. 387–397.
- Reiss RD, Thomas M. (2007). *Statistical analysis of extreme values with applications to insurance, finance, hydrology and other fields*, 3rd edn. Birkhauser, Basel
- Roa CR. (1973). *Linear statistical inference and its applications*, 2nd edn. Wiley, New York.
- Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., and Cushon, G.H. (2001). Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of WildlandFire* 10 : 381-387.
- Schwarz GE (1978) Estimating the dimension of a model. *Ann Stat* 6:461–464
- Scott DF. (1997). The contrasting effects of wildfire and clearfelling on the hydrology of a small catchment. Wiley, Chichester, UK
- Sefouhi L., Kalla M., Aouragh L., 2010. Etude pour une gestion durable des déchets ménagers de la ville de Batna (Algérie), Déchets, Sciences et Techniques (DST) Volume 58
- Shaleen J, Lall U. (2001). Floods in a changing climate: does the past represent the future? *Water Resour Res* 37:3193–3205.
- Sienz F, Schneidereit A, Blender R, Fraedrich K, Lunkeit F. (2010). Extreme value statistics for North Atlantic cyclones. *Tellus A* 62: 347–360. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00449.x>
- Silvia del Carmen MOSQUERA MACHADO. (2002). Analyse multi-aléas et

risques naturels dans le département du Chocó (nord-ouest de la Colombie). Genève

- TIR Elhadj. (2015). Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt. Département d'Ecologie et Environnement  
UNIVERSITE TLEMCEN

- Touati Wahiba. (2014). L'incohérence de la dynamique périurbaine entre les sollicitations urbanistique et la nécessité de transition équilibrée ville compagne. -Cas de la ville de Batna-. UNIVERSITE HADJ LAKHDAR -BATNA-

- Wang, R., Kalin, L., 2011. Modelling effects of land use/cover changes under limited data. *Ecohydrology* 4, 265–276.

- Webster G et al, 2014. Hydrological Impacts of Urbanization of Two Catchments in Harare, -Zimbabwe, *Remote Sens.* 2014, 6, 12544-12574; doi:10.3390/rs61212544

- Webster R., Oliver M., L., (2001) *Geostatistics for environmental scientists*. New York: John Wiley & Sons, pp 271.

- Xia J, Wang G S, Ye A Z, 2005. A distributed monthly water balance model for analyzing impacts of land cover change on flow regimes. *Pedosphere*, 15(6): 761–767.

- Ximenes M., C., Duhautois L., Fouque C., et Broyer J., (2005) Application de la télédétection à l'étude des zones humides, Identification des prairies, des roselières, des peupleraies et des gravières, pp 134.

- Xu, Y., Xu, C., Gao, X., Luo, Y., 2009. Projected changes in temperature and precipitation extremes over the Yangtze River Basin of China in the 21st century. *Quat. Int.* 208 (1–2), 44–52.

## **Résumé :**

Le bassin versant de l'oued El Gourzi englobe l'ensemble des éléments physiques, climatiques et hydrologiques pouvant contribuer à l'apparition et à l'évolution des risques naturels tels que les inondations destructives et les incendies de forêt. Pour cela, nous avons procédé à l'étude de l'interaction entre le changement de l'occupation des sols et la réponse hydrologique. La présente recherche s'est appuyée sur une approche cartographique renforcée par un support de données numériques pour montrer l'ampleur et la distribution spatiale et temporelle des inondations et des feux de forêts.

Les résultats de cette analyse spatio-temporelle indiquent clairement l'impact accéléré des feux de forêts et leurs effets sur la modification de l'aléa hydrologique générant des crues en milieu urbain hautement vulnérable. Il est donc nécessaire de mieux choisir les modèles de l'estimation des risques les plus adaptables aux conditions du terrain dans le but de mettre à la disposition des décideurs les meilleurs moyens de gestion des risques.

**Mots clés :** les risques naturels, les inondations, les feux de forêts, les interactions, BV Oued El Gourzi.

## **المخلص:**

يشتمل الحوض التجميحي لواد القرزي على جميع العناصر الفيزيائية والمناخية والهيدرولوجية التي قد تساهم في ظهور وتفاقم الأخطار الطبيعية مثل الفيضانات وحرائق الغابات من جهة، والتفاعل بين التغير في استخدام الأراضي والاستجابة الهيدرولوجية من جهة أخرى ولإظهار التوزيع المكاني والزمني للفيضانات وحرائق الغابات اعتمدنا على المقاربة الخرائطية والرقمية.

تشير نتائج التحليل المكاني والزمني إلى أثر حرائق الغابات وتأثيرها على تسارع وتفاقم الفيضانات في المناطق الحضرية الهشة. لذلك من الضروري اختيار نماذج تقدير المخاطر الأكثر قابلية للتكيف مع الظروف الميدانية على نحو أفضل من أجل وضع وسائل أنجع لإدارة وتسيير المخاطر.

**الكلمات المفتاحية:** الأخطار الطبيعية، لفيضانات، حرائق الغابات، لتفاعلات، لحوض التجميحي لواد القرزي.

## **Abstract**

The Oued El Gourzi watershed includes all the physical, climatic and hydrological elements that can contribute to the appearance and evolution of natural risks such as floods and forest fires.

To achieve this objective, we have studied the interaction between land use change and the hydrological response in order to show the extent and the spatial and temporal distribution of floods and forest fires by adopting a cartographic approach reinforced by a digital data medium.

The results of the spatio-temporal analysis clearly indicate the accelerated impact of forest fires and their effects on the modification of hydrological risks generating floods in highly vulnerable urban areas.

Therefore, it is necessary to better choose the risk estimation models most adaptable to field conditions to put in place the best means of risk management by engineers and decision-makers.

**Keywords:** natural hazards, floods, forest fires, interactions, BV Oued El Gourzi