



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



**Université de Batna 2 – Mostefa Ben Boulaid -**

Faculté/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 : Dynamique des milieux  
physiques et risques naturels**

**Sous le thème :**

**(Dynamique fluviale et risques associés  
dans le massif des Aurès)**

**Présentée par :  
Khentouche Adel.**

**Devant le jury composé de :**

- |                                   |            |                        |            |
|-----------------------------------|------------|------------------------|------------|
| • Kalla Mehdi                     | Professeur | Université de Batna2.  | Président  |
| • Dridi Hadda                     | Professeur | Université de Batna2.  | Rapporteur |
| • Guettouche M <sup>ed</sup> Saïd | Professeur | Université USTHB-Alger | Examineur  |
| • Boutiba Makhoulf                | Professeur | Université USTHB-Alger | Examineur  |
| • Chibane Brahim                  | Professeur | Université USTHB-Alger | Examineur  |
| • Bouhatta Rabah                  | MCA        | Université de Batna2   | Examineur  |

**2020/2021**

## *DÉDICACE*

*Je dédie ce modeste travail à ma mère, mon père, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et tous mes respects pour toute son aide, son affection et son sacrifice. A mes frères et sœurs : Warda, Ali, Nabil, Riadh, Naoual, Tarek, Abir.*

*A ma petite famille particulièrement ma femme comme simple témoignage de ma reconnaissance, pour l'immense effort qu'elle a fourni le long de mes études.*

*Mes enfants : Abd El Rahman, Loudjain, Issraa et Selsabile.*

*A tous ceux qu'un jour profitera de ce travail.*

## **Remerciements**

*A la fin de ce travail j'adresse mes sincères remerciements à mon Dieu qui m'a guidé dans mes travaux pour aboutir à ces résultats. Il est temps pour moi d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont apporté aides et conseils durant la réalisation de ce travail en particulier Mme Dridi Hadda pour m'avoir suivi et encadré efficacement pendant ces années, sa disponibilité de tous les jours et ses nombreux et fructueux conseils ont fortement contribué à créer l'excellence des conditions de travail. Je tiens aussi à remercier le professeur Kalla Mehdi, Qui a fortement contribué dans l'enrichissement de la partie des écoulements.*

*Mes remerciements vont s'adresser aux membres de jury d'avoir accepté et juger ce travail :*

*Mr. Mohamed Saïd Guettouche, professeur à l'université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene – Alger ;*

*Mr. Makhlouf BOUTIBA, professeur à l'université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene – Alger ;*

*Mr. Chibane Brahim, professeur à l'université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene – Alger ;*

*Mr. Bouhatta Rabah, maitre de conférences A à l'université Mostefa Ben Boulaid – Batna 2.*

*Je tiens aussi à remercier les institutions qui m'ont fourni par les données nécessaires pour l'élaboration de ce travail (ANRH, ONM, ANBT). Je ne peux jamais oublier l'aide de mes collègues Gouas.M, Bella N. Ouezen N. Daouaji AA, De même je suis très reconnaissant a toute personne, qui de près ou de loin ayant généreusement contribué à l'élaboration de ce travail. Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié pour tous.*

# Table des matières

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Problématique.....</b>	<b>3</b>
<i>Plan du travail.....</i>	<i>3</i>

## *Partie 01*

### Chapitre1

### Caractéristique physiques

<b>I.1.Situation et limites : .....</b>	<b>5</b>
<b>I.2. Géologie des Aurès : .....</b>	<b>6</b>
I.2.1. Mouvements Tectoniques : .....	6
I.2.1.1. <i>Mouvements éocènes.....</i>	<i>6</i>
I.2.1.2. <i>Mouvements oligocènes : .....</i>	<i>6</i>
I.2.1.3. <i>Mouvements miocènes : .....</i>	<i>7</i>
I.2.1.4. <i>Mouvements récents : .....</i>	<i>7</i>
I.2.2. Synthèse structurale : .....	7
I.2.3. Stratigraphie : .....	8
I.2.3.1. Trias : .....	9
I.2.3.2. Jurassique : .....	9
I.2.3.3. <i>Crétacé : .....</i>	<i>9</i>
I.2.3.4. <i>Paléogène : .....</i>	<i>9</i>
I.2.3.5. <i>Néogène : .....</i>	<i>9</i>
I.2.3.6. <i>Quaternaire.....</i>	<i>9</i>
<b>I.3. Les sols : .....</b>	<b>11</b>
I.3.1. Les sols alluviaux basiques : .....	11
I.3.2. Les sols insaturés humifères : .....	11
I.3. 3.Les sols salins- halomorphes : .....	11
I.3. 4.Les sols calcaires humifères : .....	11
I.3. 5.Les sols éoliens d’ablation : .....	12
I.3. 6. Les sols éoliens d’accumulation : .....	12
I.3. 7. Les sols calciques : .....	12
<b>I.4. Altitudes : .....</b>	<b>12</b>
<b>I.5.Pentes : .....</b>	<b>13</b>
<b>I.6. Hydrographie et unités fluviales : .....</b>	<b>15</b>
I.6.1. Oueds.....	15
I.6.1.1. <i>Oued L’Hai .....</i>	<i>15</i>
I.6. 1.2. <i>Oued Abdi : .....</i>	<i>15</i>
I.6.1.3. <i>Oued El Abiod : .....</i>	<i>15</i>
I.6.1.4. <i>Oued El Arab : .....</i>	<i>15</i>
I.6. 1.5. <i>Oued Chemora : .....</i>	<i>15</i>
<b>I.7. Végétation : .....</b>	<b>16</b>
I.7. 1. Étage subhumide .....	16
I.7.1 .1. <i>Étage subhumide de haute montagne : .....</i>	<i>16</i>
I.7.1.2. <i>Étage subhumide supérieure à hiver froid (2200 - 2000) : .....</i>	<i>16</i>
I.7.1.3. <i>Étage subhumide inférieure à hiver froid : .....</i>	<i>16</i>
I.7. 2. Étage semi-aride : .....	16
I.7. 2.1. <i>Étage semi-aride supérieure à hiver frais : .....</i>	<i>16</i>

1.7.2.2. <i>Étage semi-aride inférieure à hiver tempéré</i> :	17
1.7.3. <i>Étage aride</i> :	17
1.7.3.1. <i>Étage aride à hiver frais</i> :	17
1.7.3.2. <i>Étage aride inférieur</i> :	17
<b>Conclusion</b> .....	18

## Chapitre II

## Etude Climatique

<b>Chapitre II : Etude Climatique</b> .....	5
<b>II.1. Données climatiques</b> :	19
II.1.1. Les Températures :	19
II.1.2. Les précipitations .....	21
II.1.2.2. Les variations annuelles des pluies :	23
II.1.2.3. <i>Données et méthodes</i> :	23
II.1.2.3.1. Test de Pettitt (1979) :	24
II.1.2.3.2. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian .....	24
II.1.2.3.3. Variable U de Buishand.....	25
II.1.2.3.4. Segmentation d'Hubert.....	25
II.1.2.3.5. Calcul des variations moyennes .....	26
II.1.2.3.6. Calcul de déficit (ou excédent).....	28
II.1.2.3.7. Indice Pluvial.....	28
II.1.2.3.8. Répartition moyenne mensuelle des précipitations :	33
II.1.2.3.9. Répartition moyenne Saisonnière des précipitations :	36
II.1.3. Indices climatiques.....	36
II.1.3.1. Diagramme Ombro thermique de Gausсен :	37
II.1.3.2. <i>Diagramme d'Emberger</i> :	38
II.1.4. L'Humidité relative :	39
II.1.5. Les vents :	40
II.1.6. Evaporation.....	40
<b>CONCLUSION</b> .....	42

## *Partie 02*

## Chapitre I

## Morphodynamique

<b>I.1.Morpho dynamique héritée.</b> .....	43
I.1.1. Les glacis :	43
I.1.2. Coulées d'éboulis :	44
I.1.3. Grez :	44
I.1.4. Les Torrents :	45
I.1.5. Les Terrasses :	46
I.1.5.1. <i>La terrasse 1</i> :	46
I.1.5.2. <i>Terrasse 2</i> :	47
I.1.5.3. <i>Terrasse 3</i> .....	47
I.1.5.4 <i>La sédimentation fluviale</i> .....	47
I.1.5.4.1. Stratification fluviales :	47
I.1.6. Cône terrasse :	48
I.1.7. Les dépôts travertineux :	48
I.1.8. Chute des pierres :	48
I.1.9. Solifluxions :	49
I.1.10. Accumulations sableuses et limoneuses :	49
I.1.11. Croutes :	49
I.1.11.1. <i>Les croutes gypseuses : se distinguent en trois groupes</i> :.....	49
I.1.11.2. <i>Les croutes Calcaires</i> :	49

I.1.11.2.1. La croute zonaire .....	49
I.1.11.2.2. Les carapaces calcaires : .....	49
I.1.11.2.3. L'encrouement diffus et Les formations pulvérulentes : .....	50
<b>I.2. Morpho dynamique actuelle.....</b>	<b>52</b>
I.2.1. Formes liées à la pente .....	52
I.2.1.1. <i>Erosion hydrique linéaire</i> .....	52
I.2.1.1.1. L'érosion en rigoles : .....	52
I.2.1.1.2. L'érosion en ravines.....	52
I.2.1.1.3. Ravinement généralisé (Badlands) : .....	53
I.2.1.2. <i>Mouvements de masses actives</i> .....	53
I.2.1.2.1. Les glissements lents (Creep) : .....	53
I.2.1.2.2. Les glissements en planche : .....	54
I.2.1.2.3. Les glissements rotationnels : .....	54
I.2.1.2.4. Les coulées boueuses : .....	54
I.2.2. Formes liées à la Dynamique de l'oued : .....	54
I.2. 2.1. <i>Unités Élémentaires fluviatiles (Morphologie des lits)</i> .....	54
I.2. 2.1.1. Lit mineur : .....	54
I.2. 2.1.2. Lit moyen : .....	54
I.2. 2.1.3. lit majeur.....	55
I.2. 2.2. <i>Erosion latérale et verticale des oueds et formation des méandres</i> .....	55
I.2. 2.2.1. Le sapement des berges : .....	55
I.2. 2.2.2. Effondrement et glissement des berges : .....	56
I.2. 2.3. <i>Sédimentations fluviatiles</i> .....	56
I.2. 2.3.1. Les bancs sédimentaires : .....	56
I.2. 2.4. <i>Evolution de la dynamique érosive des Oueds</i> .....	57
I.2. 2.4.1. Oued Labiod : .....	57
I.2. 2.4.2. Oued Chemora : .....	58
I.2. 2.4.3. Oued El Arab .....	59
I.2. 2.4.4. Oued Abdi : .....	61
I.2. 2.4.5. Oued Yabous .....	62
I.2. 2.4.6. Oued L'Hai .....	64

## **Chapitre II**

## **Etude Morphométrique**

<b>II. Morphométrie.....</b>	<b>67</b>
<b>II.1. Les paramètres géométriques :.....</b>	<b>67</b>
II.1.1. Superficie et périmètre : .....	67
II.1.2. Indice de compacité de Gravelius : .....	67
II.1.3. le rectangle équivalent : .....	67
<b>II.2. Paramètres hypsométriques : .....</b>	<b>68</b>
II.2.1. La courbe hypsométrique : .....	68
<b>II.3. Les indices de pente : .....</b>	<b>68</b>
<b>II.4. Les paramètres morpo métriques du réseau hydrographique : .....</b>	<b>69</b>
II.4.1. Densité de drainage : .....	69
II.4.2. Rapport de confluence Rc: .....	70
II.4.3. Rapport de longueur Rl: .....	70
II.4.4. Le coefficient de torrentialité Ct: .....	70
II. 4. 5. Temps de concentration : .....	70
II. 4. 6. La vitesse d'écoulement : .....	71
<b>II.5. Analyse des Caractéristiques Morphométriques des bassins : .....</b>	<b>71</b>
II.5.1. Bassin versant d'Oued L'Haï : .....	71
II.5.2. Bassin Versant de l'oued Labiod : .....	72
II.5.3. Bassin versant d'oued El Areb : .....	73
II.5. 4. Bassin versant de Chemora : .....	74

<b>III. Modélisation et Analyse Hydrologique.....</b>	<b>78</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>78</b>
<b>III .1 . Données hydrologiques : .....</b>	<b>78</b>
<b>III .2. Ajustement à une loi de E J, Gumbel. ....</b>	<b>78</b>
III .2.2. Modèles d'ajustements .....	80
<b>III .3. Variations Annuels des débits : .....</b>	<b>83</b>
III .3. 1. Coefficient d'hydraulicité : .....	87
III .3.2. Débit spécifique.....	88
III .3.3. Coefficient de variation des débits.....	88
<b>III .4. Variations mensuelles des débits.....</b>	<b>89</b>
III .4.1. Coefficient mensuel des débits .....	90
<b>III .5. Variations saisonnières des débits : .....</b>	<b>91</b>
<b>III .6. Lamé d'eau écoulée : .....</b>	<b>92</b>
III .6.1. Le coefficient d'écoulement .....	93
<b>III .7. Corrélations entre certains paramètres hydrologiques .....</b>	<b>94</b>
<b>III.8. Pluies journalières maximales :.....</b>	<b>99</b>
III.8.1. Estimation des Pluies journalières maximales Fréquentielles .....	100
<b>III.9. Débits journaliers instantanés maximaux .....</b>	<b>101</b>
III.9.1. Estimations des débits maximaux fréquentiels .....	102
III.9.1.1. Formule de Turazza.....	102
<b>III.10. Les crues.....</b>	<b>103</b>
III.10.1. Les crues d'orage : .....	103
III.10.2. Les fortes crues généralisées.....	103
III.10.3. Estimations des crues : .....	109
III.10.4. La puissance des crues : .....	109

## *Partie 03*

<b>I. Transport Solide .....</b>	<b>112</b>
<b>I.1. Transport Solides en suspension .....</b>	<b>112</b>
I.1.1. Etablissement de régressions entre débits solides et débits liquides : .....	113
<b>I.2.Evaluation et Cartographie de l'érosion dans le massif des Aurès .....</b>	<b>116</b>
I.2.1.1. Indices utilisés : .....	117
I.2.1.1.1. Fournier (1960) .....	117
I.2.1.1.2. L'indice de Fournier modifié : .....	117
I.2.1.1.3. L'Indice de concentration des pluies (ICP) : .....	118
I.2.2. Cartographie : .....	119
I.2.2.1. Indice d'érosivité de fournier (IF) .....	120
I.2.2.2. Indice d'érosivité des pluies d'Arnoldus (IFA) : .....	122

I.2.2.3. <i>Corrélation entre IF et IFA</i> : .....	122
<b>I.3. Estimation du transport solide spécifique</b> : .....	123
I.3.1. Formules empiriques : .....	123
I.3.1.1. <i>Formule de Taxeront (1960)</i> .....	123
I.3.1.2. <i>Formule de SOGREAH (1969)</i> .....	124
I.3.1.3. <i>Formule basée sur la bathymétrie</i> .....	124
I.3.1.3.1. Formule générale .....	124
I.3.2. Transport solide spécifique annuel et saisonnier : .....	125
<b>I.4. Analyse spatiale de l'érosion</b> : .....	126

## Chapitre II

## Gestion des Risques associés

<b>II. Gestion des risques</b> .....	129
<b>II.1. Réalité Socioéconomique et risques</b> : .....	129
II.1.1. Population : .....	129
II.1.2. Densité et taux d'accroissement .....	130
II.1.3. Activités principales de la population du massif .....	131
II.1.4. Education. ....	131
II.1.5. Santé .....	132
II.1.6. Protection civile. ....	133
<b>II.2. Risques des Inondations</b> : .....	134
II.2.1. Outils de gestion des risques .....	134
II.2.1.1. <i>Plan d'organisation des secours</i> .....	134
II.2.1.1.1. Plan d'action du plan orsec de commune .....	135
II.2.2. Dégâts causés par les crues .....	135
II.2.2.1. <i>Fréquence de la Crue de 03-04 Mai 2006</i> : .....	136
II.2.2.2. Analyse de L'hydro gramme de crue .....	136
II.2.3. Définition de la Zone inondable et gestion de l'inondation. ....	137
II.2.4. Zonage et gestion de l'inondation dans la vallée d'Oued L'Abiod (partie amont) : .....	138
II.2.5. Gestion de l'Inondations dans la ville de Bouhmama. ....	138
II.2.6. Zonage de l'aléa inondation dans certaines vallées du massif : .....	139
<b>II.3. Envasement</b> : .....	140
II.3.1. Barrages du massif : .....	141
II.3.1.1. <i>Foum El Gherza</i> : .....	141
II.3. 1.2. <i>Le barrage de Babar</i> : .....	141
II.3. 1.3. <i>Le barrage de Foum El Gueiss</i> : .....	141
II.3. 1.4. <i>Barrage fontaine des gazelles</i> .....	142
II.3. 1.5. <i>Barrage de Koudiet M'douar</i> .....	142
II.3.2. Situation actuelle de l'envasement de quelques barrages .....	142
II.3.3. Evaluation de l'envasement par des méthodes empiriques : .....	144
II.3.3.1. <i>Evaluation de l'envasement dans le barrage de Foum E l'gherza par la méthode</i> ..	144
II.3.3.1.1. Données et Méthodes de l'application : .....	144
II.3.3.1.2. Résultat de calcul .....	145
II.3.3.1.3. Comparaison entre L'envasement mesuré et observé .....	146
II.3.3.1.4. Facteurs influent sur l'envasement .....	147
II.3.3.1.5. Vérification des résultats .....	148
<i>barrages dans les conditions similaires</i> . ....	150
II.3.3.2. <i>Calcul de L'Envasement dans le Barrage F. des Gazelles</i> .....	150
II.3.3.3. <i>Calcul de l'envasement par la Formule de W. Burn (1955) dans certains barrages</i>	151
II.3.3.4. <i>Gestion de l'envasement</i> : .....	153
II.3.3.4.1. Reboisements et implantation des seuils .....	153
II.3.3.4.2. Réalisation de bassins de décantation : .....	154

II.3.3.4.3. Le Curage .....	154
II.3.3.4.3.1. Le curage par pompage/dilution : .....	154
II.3.3.4.3.2 le curage mécanique : .....	154
II.3.3.4.4 La surélévation de la digue .....	154
II.3.3.4.5. La technique des obstacles émergés .....	154
<b>Conclusion générale</b> .....	157
Références bibliographiques.....	160
Annexes des tableaux.....	170
Annexes des photos.....	195
Annexes des Figures.....	200

## Liste des Figures

<i>Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.</i>	5
<i>Figure 2 : position de la zone d'étude par rapport aux bassins versants Algériens.</i>	6
<i>Figure 3: Schéma Structural des Aurès (Guiraud,1973).</i>	8
<i>Figure 4 : Géologie de la zone d'étude</i>	11
<i>Figure 5: carte des altitudes des Aurès.</i>	13
<i>Figure 6: carte de pentes des Aurès.</i>	14
<i>Figure 7 : Réseau Hydrographique de la zone d'étude.</i>	16
<i>Figure 8: Moyennes mensuelles des températures de la zone d'étude (2005-2014).</i>	20
<i>Figure 9: Localisation des stations pluviométriques.</i>	24
<i>Figure 10: Isohyètes de la phase 1974-1991</i>	31
<i>Figure 11: Isohyètes de la phase (1992-2009).</i>	31
<i>Figure 12: Variation des précipitations selon l'altitude.</i>	33
<i>Figure 13: Répartition moyenne mensuelle des précipitations (1974-2010).</i>	35
<i>Figure 14 : Répartition moyenne mensuelle des précipitations (1975-2010).</i>	36
<i>Figure 15: Diagramme Ombrothermique de Gaussen (Station de Batna)</i>	37
<i>Figure 16: Diagramme Ombrothermique de Gaussen (Station de Biskra)</i>	37
<i>Figure 17: Diagramme Ombrothermique de Gaussen (Station de Khenchela).</i>	37
<i>Figure 18: Zone d'étude, Climagramme d'Emberger.</i>	39
<i>Figure 19: Humidité relative moyenne mensuelle (Stations du massif)</i>	39
<i>Figure 20 : Vitesse moyenne mensuelle des vents sur le massif.</i>	40
<i>Figure 21: Moyenne mensuelle de l'évaporation sur les Stations du massif.</i>	41
<i>Figure 22 : Évolution de l'érosion latérale à Oued labiod (2002 et 2017).</i>	57
<i>Figure 23: Effondrement et sapement des berges.</i>	58
<i>Figure 24 : Évolution du méandre entre 2002 et 2018</i>	58
<i>Figure 25: Migration du chenal d'écoulement</i>	59
<i>Figure 26: Dynamique d'Oued El Arab.</i>	60
<i>Figure 27: Evolution d'Erosion latérale (Oued Tagoust).</i>	62
<i>Figure 28: Évolution faible de l'érosion latérale et des bancs médianes (partie avale).</i>	63
<i>Figure 29 : Évolution très faible de l'érosion latérale d'Oued yabous</i>	63
<i>Figure 30 : Évolution de l'érosion latérale (Oued Lhai).</i>	64
<i>Figure 31: les vallées Oued L'Hai et Oued Abdi</i>	72
<i>Figure 32: Bassin versant d'Oued Labiod</i>	73
<i>Figure 33: Bassin versant d'Oued Al Arab.</i>	74
<i>Figure 34 : Bassin versant de l'oued Chemora.</i>	75
<i>Figure 35: Bassin versant de l'Oued Yabous.</i>	76
<i>Figure 36: Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel</i>	81
<i>Figure 37 : Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel</i>	81
<i>Figure 38 : Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel</i>	82
<i>Figure 39 : Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel</i>	82
<i>Figure 40: Ajustement des débits à une loi de Gumbel.</i>	83
<i>Figure 41: Ajustement des débits à une loi de Gumbel.</i>	83
<i>Figure 42 : Variations des débits annuels.</i>	86
<i>Figure 43: Coefficients de l'hydraulicité des cours d'eau du massif.</i>	87
<i>Figure 44: Variations du module spécifique dans les cours d'eau du Massif.</i>	88
<i>Figure 45 : Variations mensuelles des débits (Stations des Aurès).</i>	89

<i>Figure 46: Coefficients mensuels des débits .....</i>	<i>90</i>
<i>Figure 47: Variations des débits saisonniers des cours d'eau du massif.....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 48: Variations annuelles de la lame d'eau écoulée. ....</i>	<i>92</i>
<i>Figure 49: Variations Annuelles des coefficients de l'écoulement. ....</i>	<i>93</i>
<i>Figure 50:Corrélation entre la pluie et la lame d'eau écoulée.....</i>	<i>94</i>
<i>Figure 51:Corrélation entre la pluie et la lame d'eau écoulée.....</i>	<i>95</i>
<i>Figure 52:Corrélation entre la pluie et la lame d'eau écoulée.....</i>	<i>95</i>
<i>Figure 53:Corrélation entre le Débit et la pluie.....</i>	<i>96</i>
<i>Figure 54:Corrélation entre le Débit et la pluie.....</i>	<i>96</i>
<i>Figure 55:Corrélation entre le Débit et la pluie.....</i>	<i>97</i>
<i>Figure 56: Corrélation entre le Coefficient d'écoulement et la pluie .....</i>	<i>97</i>
<i>Figure 57: Corrélation entre le Coefficient d'écoulement et la pluie .....</i>	<i>98</i>
<i>Figure 58: Corrélation entre le Coefficient d'écoulement et la pluie .....</i>	<i>98</i>
<i>Figure 59: Relation entre le Coefficient d'écoulement et la surface.....</i>	<i>99</i>
<i>Figure 60: pluies journalières maximales observées sur le massif. ....</i>	<i>99</i>
<i>Figure 61: pluies journalières maximales fréquentielles estimées.....</i>	<i>100</i>
<i>Figure 62: Débits Maximaux Instantanés des vallées étudiées.....</i>	<i>101</i>
<i>Figure 63 : Hydrogramme de crue du (06-09 mai1989) à la Station de Timgad.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 64 : Hydrogramme de crue de (26-27-28mai1989) à la Station de yabous. ....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 65:Crues enregistrées dans la vallée d'Oued L'Hai à la station d'El Kantara. ....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 66 : Crues enregistrées dans la vallée d'Oued Abdi à la station de Djemora. ....</i>	<i>106</i>
<i>Figure 67 : Crues enregistrées dans la vallée d'Oued Chemora à la station de Timgad. ....</i>	<i>107</i>
<i>Figure 68: Hydro gramme de la crue du (03-07septembre 1972) aux stations de la zone d'étude. ....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 69 : Estimations des débits maximums fréquentiels de crues.....</i>	<i>109</i>
<i>Figure 70: Puissance de la crue de quelques oueds de la zone d'étude.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 71:Relation débit solide -débit liquide. ....</i>	<i>114</i>
<i>Figure 72: Relation débit solide -débit liquide. ....</i>	<i>114</i>
<i>Figure 73 : Relation Saisonnière entre le débit solide et le débit liquide .....</i>	<i>115</i>
<i>Figure 74: Relation Saisonnière entre le débit solide et le débit liquide .....</i>	<i>115</i>
<i>Figure 75: Carte de répartition spatiale de l'indice de Fournier (IF) .....</i>	<i>121</i>
<i>Figure 76: Carte de répartition spatiale de l'indice d'Arnoldus (IFA).....</i>	<i>122</i>
<i>Figure 77 : Corrélation entre l'indice d'Arnoldus (IFA) et l'indice de Fournier (IF) .....</i>	<i>123</i>
<i>Figure 78: Répartition spatiale de l'érosion.....</i>	<i>127</i>
<i>Figure 79 : Population de la zone d'étude. ....</i>	<i>130</i>
<i>Figure 80 : Densité de la population dans la zone d'étude.....</i>	<i>131</i>
<i>Figure 81: Nombre d'établissements scolaires.....</i>	<i>132</i>
<i>Figure 82 : Nombre d'établissements Sanitaires par commune.....</i>	<i>132</i>
<i>Figure 83: Nombre d'unités et d'ambulances de la protection civile.....</i>	<i>133</i>
<i>Figure 84: Hydro gramme de Crue de 03/04/05Mai2006.....</i>	<i>137</i>
<i>Figure 85: Zone inondable et Lutte contre l'inondation de l'oued Inoughissen.....</i>	<i>138</i>
<i>Figure 86:Protection de la ville de Bouhmama contre les inondations .....</i>	<i>139</i>
<i>Figure 87:Carte d'alea inondation de la zone d'étude .....</i>	<i>140</i>
<i>Figure 88: l'état de l'envasement en 2004 dans certains barrages du massif .....</i>	<i>143</i>
<i>Figure 89: Évolutions de l'envasement calculé .....</i>	<i>146</i>
<i>Figure 90: Comparaison de l'envasement mesuré et calculé.....</i>	<i>146</i>
<i>Figure 91: Evolution de l'envasement du Barrage F.des gazelles. ....</i>	<i>151</i>
<i>Figure 92: Ajustement des pluies journalières maximales selon la loi de Gumbel.....</i>	<i>200</i>
<i>Figure 93: Ajustement statistique des PJ max a une loi de Gumbel.....</i>	<i>200</i>
<i>Figure 94:Ajustement statistique des PJ max a une loi de Gumbel.....</i>	<i>201</i>

<i>Figure 95: Ajustement statistique des PJ max par la loi de Gumbel.....</i>	<i>201</i>
<i>Figure 96 : Ajustement statistique des PJ max par la loi de Gumbel .....</i>	<i>202</i>
<i>Figure 97:Pluies journalières maximales fréquentielles .....</i>	<i>202</i>
<i>Figure 98: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel .....</i>	<i>203</i>
<i>Figure 99: Ajustement des débits Annuels a une loi de Gumbel.....</i>	<i>203</i>
<i>Figure 100: Ajustement des débits a une loi de Gumbel.....</i>	<i>203</i>
<i>Figure 101: Ajustement des débits a une loi de Gumbel (Station M'Chouneche).....</i>	<i>204</i>
<i>Figure 102: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel .....</i>	<i>204</i>
<i>Figure 103: Ajustement des débits max a une loi de Gumbel .....</i>	<i>204</i>
<i>Figure 104 : Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel.....</i>	<i>205</i>
<i>Figure 105 : Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel.....</i>	<i>205</i>
<i>Figure 106: Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel Station de Reboa. ....</i>	<i>206</i>
<i>Figure 107: Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel (Station M'Chouneche).....</i>	<i>206</i>
<i>Figure 108: Débits journalières maximums fréquentiels (station yabous). ....</i>	<i>207</i>
<i>Figure 109 : Ajustement des Débits maximaux selon la loi de Gumbel.....</i>	<i>207</i>

### *Liste des Tableaux*

<i>Tableau 1: Subdivisions de quaternaire. ....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 2: Les stations météorologiques référentielles étudiées (2005-2014). ....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 3: Moyennes Mensuelles des Températures (2005-2014) .....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 4: Fluctuations thermiques des trois stations étudiées. ....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 5: Application des Testes statistiques .....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 6: Résultats de Calcul de l'indice pluvial (1993-2009).....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 7: Résultats de calcul de l'indice pluvial (1972-1992).....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 8: Distribution des précipitations selon les altitudes (1974-2010) .....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 9: Moyennes Mensuelles des précipitations (1974-2010). ....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 10 : le quotient pluviométrique des trois stations étudiées .....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 11: Humidité relative moyenne mensuelle (2005-2014).....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 12: Moyenne mensuelle des vitesses du vent (2005-2014).....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 13: Moyenne mensuelle de l'évaporation sur les Stations du massif.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 14: Formes d'érosion hydrique Application des lignes d'écoulement.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 15: Variations de l'érosion latérale (Oued L'Hai). ....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 16 : Classification des reliefs selon l'OROSTOM .....</i>	<i>69</i>
<i>Tableau 17: Caractéristiques morpho métriques des bassins versants du massif.....</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 18: Caractéristiques du réseau hydrométrique .....</i>	<i>78</i>
<i>Tableau 19: Variations des débits Annuels : Vallées de versant méridional des Aurès. ....</i>	<i>84</i>
<i>Tableau 20: Variations des débits Annuels : Vallées du versant Septentrional.....</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 21: Variations des écoulements saisonniers. ....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 22: Ajustement des débits journaliers maximaux à la loi de Gumbel.....</i>	<i>102</i>
<i>Tableau 23: Débits de crue journaliers observés .....</i>	<i>104</i>
<i>Tableau 24 : Modèles de régression ajustés annuelles et par saisons. (Oued Labiod). ....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 25: Modèles de régression ajustés annuelles et par saisons (Oued Chemora). ....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 26 Classification de l'érosivité (d'après Fournier1960). ....</i>	<i>117</i>

<i>Tableau 27: Classification de l'érosivité (selon Arnoldus1980).</i> .....	118
<i>Tableau 28 : Classification de l'indice de concentration des précipitations</i> .....	119
<i>Tableau 29: Résultats de calculs de l'érosivité des pluies.</i> .....	120
<i>Tableau 30: Estimations du Transport solide spécifique saisonnière</i> .....	125
<i>Tableau 31 : Bassins versants étudiés : calcul des transports solides spécifiques</i> .....	126
<i>Tableau 32: Statistiques de population du Massif</i> .....	129
<i>Tableau 33: Pourcentage de la population active par secteur d'activité.</i> .....	131
<i>Tableau 34: Hydro gramme de crue de 03/04 mai 2006.</i> .....	136
<i>Tableau 35: l'etat de l'alluvionement de certains barrages du massif</i> .....	143
<i>Tableau 36 : Evolution de l'envasement calculé du barrage (1967-2009).</i> .....	145
<i>Tableau 37: Résultats de calcule de l'érosion spécifique</i> .....	147
<i>Tableau 38: Comparaisons des données observées et calculées.</i> .....	147
<i>Tableau 39: Calcul de l'indice de Nash.</i> .....	148
<i>Tableau 40: Phases et prédiction de l'envasement dans la cuvette</i> .....	149
<i>Tableau 41:Estimation de l'envasement du barrage F.des gazelles.</i> .....	150
<i>Tableau 42:Estimation de l'envasement dans les barrages du massif par la formule</i> .....	152
<i>Tableau 43:Méthode double Cumul station yabous (1974-2010).</i> .....	170
<i>Tableau 44: Bassin versant D'oued Chemora : Caractéristiques hypsométriques.</i> .....	171
<i>Tableau 45:Hypsométrie du Bassin versant d'Oued Yabous.</i> .....	171
<i>Tableau 46: Hypsométrie du Bassin versant d'Oued Lhai.</i> .....	172
<i>Tableau 47: Hypsométrie du Bassin versant d'Oued Labiod</i> .....	172
<i>Tableau 48:hypsométrie du Bassin versant d'Oued Abdi.</i> .....	173
<i>Tableau 49: Pluies journalières maximales</i> .....	174
<i>Tableau 50: Estimation des pluies journalières maximales Fréquentielles.</i> .....	174
<i>Tableau 51: Variations interannuelles des précipitations des bassins versants du massif.</i> .....	175
<i>Tableau 52: Variations annuelles de la lame d'eau écoulée dans les vallées des Aurès.</i> .....	176
<i>Tableau 53: Variations annuelles des débits spécifiques dans les vallées des Aurès.</i> .....	177
<i>Tableau 54: Variations mensuelles des débits dans les stations des cours d'eau du massif.</i> .....	178
<i>Tableau 55: Coefficients moyens des débits dans les stations hydrométriques du massif.</i> .....	178
<i>Tableau 56: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel</i> .....	179
<i>Tableau 57: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel</i> .....	180
<i>Tableau 58 : Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel</i> .....	181
<i>Tableau 59:Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel</i> .....	182
<i>Tableau 60: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel</i> .....	183
<i>Tableau 61: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel</i> .....	184
<i>Tableau 62: Variations de l'hydraulicité des cours d'eau du massif.</i> .....	185
<i>Tableau 63: Coefficients de l'écoulement des Bassins versants étudiée</i> .....	186
<i>Tableau 64: Ajustement des Débits maximaux selon la loi de Gumbel</i> .....	187
<i>Tableau 65: Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel.</i> .....	189
<i>Tableau 66: Ajustement des débits maximaux a une loi de Gumbel.</i> .....	192
<i>Tableau 67: Ajustement des Débits maximaux a une loi de Gumbel.</i> .....	193
<i>Tableau 68:Transport solide Annuel dans l'Oued Chemora et l'O. Labiod.</i> .....	194

### *Liste des photos*

<i>Photo 1: Glacis Cône sur versant sud de Dj Tanout.....</i>	<i>44</i>
<i>Photo 2 : Coulée de Géléfracts Dj Berdoun (Valée d'Oued Labiod).....</i>	<i>45</i>
<i>Photo 3 : Cône de déjection de Dj Kef Medouar (vallée d'Oued Mellegue) .....</i>	<i>45</i>
<i>Photo 4 : Système fluviatile (Cônes, terrasses, glacis).....</i>	<i>46</i>
<i>Photo 5 : Chute d'éboulis sur le versant Sud de Dj Chélia.....</i>	<i>48</i>
<i>Photo 6 : Intercalation de la Morpho dynamique Héritée et actuelle d'Oued Lasker.....</i>	<i>50</i>
<i>Photo 7 : Ravinement généralisé sur le versant sud de Chélia.....</i>	<i>53</i>
<i>Photo 8 : Glissement de Tzoukt déclenché dans une solifluxion ancienne .....</i>	<i>54</i>
<i>Photo 9 : Dynamique érosive de l'oued Laskeur .....</i>	<i>56</i>
<i>Photo10 : Dynamique de l'écoulement et érosion régressive (Oued AL Arab) .....</i>	<i>60</i>
<i>Photo 11 : Matériaux alluviaux hétérométriques (Oued El Arab).....</i>	<i>61</i>
<i>Photo 12 : Usure dans les grés (rive gauche de l'Oued l'Hai).....</i>	<i>65</i>
<i>Photo13 : Ecoulement nivale dans le domaine Karstique (Réseau hydrographique développé sur les calcaires de l'aptien de Hifekhsith, Monts de Timechtaouine) .....</i>	<i>195</i>
<i>Photo 14 : Ravin développé sur les marnes et les grés du miocène (Issoukssar).....</i>	<i>195</i>
<i>Photo 15 : Effondrement et sapent des berges (Oued Al Arab).....</i>	<i>196</i>
<i>Photo 16 : Oued Al Askeur : Formations alluviaux-colluviales affectée.....</i>	<i>196</i>
<i>Photo 17 : Banc sédimentaire latéral composé de cailloutis et de limons (Oued Al Azreg).....</i>	<i>197</i>
<i>Photo 18 : Ecoulement torrentielle (Oued Yabous).....</i>	<i>197</i>
<i>Photo19 : Densité végétale Autours du barrage d'eau de Tagharist.....</i>	<i>198</i>
<i>Photo 20 : Erosion latérale et sapement des berges sur la rive droite d'Oued Reboa .....</i>	<i>198</i>
<i>Photo 21 : Evolution de l'érosion par ravinement sur les marnes de Cénomanién .....</i>	<i>199</i>
<i>Photo 22 : Erosion par ravinement sur le versant nord de Chélia .....</i>	<i>199</i>

## *Introduction Générale*

La dynamique des oueds conduit aux variations du système fluvial, Ce système physique énergétique transporte les matériaux enlevés par l'érosion vers l'aval, sous l'effet de la pente.

La grande diversité morphologique des oueds dépend du climat, de la géologie et du relief. Quand le débit liquide baisse et/ ou la pente diminue, le cours d'eau perd de l'énergie et dépose les matériaux transportés (P. Hubert et H. Bendjoudi., 2002).

Le profil d'équilibre de l'oued est atteint quand il existe un équilibre entre les matériaux arrachés des lits et ceux qui arrivent. Par ailleurs, la combinaison de ces paramètres régit la puissance spécifique du cours d'eau et caractérise sa dynamique (S. Chave, 2002). Il est admis que les mécanismes physiques organisent la dynamique fluviale, tandis que la morphologie des cours d'eau et son évolution spatio-temporelle, contrôlent, la dynamique des écosystèmes (H. Piégay, S. Stroffek, 2000 ; V. Laurent, 2003).

Les études qui ont été menées sur la dynamique fluviale dans le massif dans le cadre géomorphologique sont très limitées. Les recherches géomorphologiques sur les Aurès. (J.L. Ballais, 1981) reste le seul document qui décrit la dynamique dans sa dimension paléogénique (Système morpho dynamique fluvial hérité).

Dans ce présent travail nous essayerons de mettre en évidence l'action de chaque oued dans son système hydrologique avec les conséquences associées. Cette étude de dynamique fluviale vise l'identification et l'analyse des risques associées telle que l'érosion, l'envasement des barrages, inondations et trouver des moyens de préservation de l'espace exposé à ce type de dégradation.

L'étude de la dynamique fluviale est devenue essentielle dans de nombreux domaines de l'étude des processus d'érosion et de sédimentation dans les retenues ainsi dans les études des crues (Arnaud-Fassetta G, 1999).

Les bassins versants de l'Algérie, sont caractérisés par de fortes dégradations spécifiques dépassant 500 t/km<sup>2</sup>/an (B. Remini, 2004) ; L'érosion par ravinement représente plus de 50 % de l'apport solide annuel, est considérée comme la forme d'érosion la plus grave en Algérie (A.M. Demak, 1982).

Le massif des Aurès est l'une des zones vulnérables à l'action érosive de la pluie et du ruissellement, dans ces zones semi-arides, caractérisées par des précipitations très irrégulières souvent intenses, les facteurs climatiques ont une influence capitale sur les pertes des sols, il est important de signaler l'irrégularité des pertes en terres à l'échelle annuelle, quels que soient les interventions. C'est au début de l'automne et pendant l'hiver qu'on observe l'érosivité maximale.

Les terrains couverts sont relativement protégés, malgré la présence de fortes pentes. Cette stabilité est interprétée par la densité du couvert végétal notamment sur le versant nord du Chélia et djébel boutlarmin. Ces observations montrent l'intérêt du rôle prépondérant de la couverture dense.

Le versant septentrional présente un espace très touché par les différentes formes de l'érosion. Cette activité érosive s'observe particulièrement sur Dj Tanout et sur le versant sud de l'Ahmar khedou. L'influence de la pente est indiscutable, Elle se développe une érosion

agressive sur les versants les plus raides notamment les terrains reposants sur les marnes grises, les argiles rouges, et les apports alluviaux-colluviales de certaines plaines quaternaires.

Pour bien arriver à déterminer les facteurs agissant sur l'écoulement il reste indispensable de réserver une grande partie à l'étude Morphométrique.

Le souci de la modélisation est de mettre à la disposition des aménageurs ou bien des ingénieurs un outil « simple » permettant l'estimation ou la prévision des paramètres hydroclimatiques pour une étude d'aménagement désirée, pour cela nous avons réalisé une série de modélisations simples entre plusieurs facteurs hydrologiques.

L'érosion hydrique est un phénomène naturel qui a érodé la surface de l'écorce terrestre au cours de l'histoire géologique (S. Wang et al., 1993).

Nous, nous intéressons dans cette partie d'estimer le transport solide spécifique a différentes échelles selon des méthodes variées (modélisations, formules empiriques, mesures sur terrains, photométrie), dans quelques bassins versants du massif, Qui sont caractérisées inégalement dans l'ampleur d'érosion hydrique.

L'analyse du bilan qui règle le processus ruissellement-transport solide montre de bonnes relations, notamment entre la lame d'eau écoulée et la quantité de charge solide transportée, par ailleurs Pour comprendre la dynamique sédimentaire dans certains bassins versants, on s'est basé sur l'exploitation de données de prélèvements instantanés des débits liquides et des concentrations des sédiments transportés en suspension dans le cours d'eau. Les résultats obtenus montrent que la dégradation spécifique moyenne annuelle est comprise entre 120 et 500 t/ km<sup>2</sup>/an. Cette valeur est comparable à celles trouvées pour d'autres régions à régime hydrologique similaire. L'analyse de l'évolution de la concentration des sédiments dans le cours d'eau et la quantification du flux de sédiments ont montré que l'apport sédimentaire se fait essentiellement pendant les crues. On distingue alors, trois périodes d'érosion active, la première, intense en hiver, les deux autres au printemps et en automne relativement moyenne à faible.

Divers types d'activités humaines, exploitations forestières, construction des bâtiments tendent à modifier les phénomènes d'érosion, en l'accélégrant souvent de façon importante (H. F. L. Williams and al.,2008) sous l'impact des pluies, et du transport des particules de sol de leur emplacement initial par l'eau.

Il est important de travailler sur plusieurs axes de recherches afin de quantifier l'érosion de façon pratique et acceptable. Pour atteindre ce but nous essayerons étudier les axes suivants :

Identification des formes de l'érosion.

Etude de l'érosivité des pluies.

Evaluation des quantités enlevées, par plusieurs méthodes.

Zonage de l'érosion : Cette érosion participe fortement à la diminution des capacités de stockage dans les barrages par l'accumulation des sédiments.

L'Algérie perd annuellement une capacité totale de stockage des eaux estimées à 40 milliards de m<sup>3</sup> (B. Remini, 2009). L'alluvionnement des barrages, le comblement des lits d'oueds sont répandus dans le paysage Auresien. La vitesse de colmatage des ouvrages d'art est variable d'un barrage à un autre selon l'intensité de l'érosion (B. Touibia et al., 2003)

Le choix également s'est porté sur l'étude de transport solide qui est largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner des pertes des terres irréversibles et une diminution de capacité de stockage des barrages (B. Remini, 2004).

Dans le cadre de cette étude, cette partie consiste à établir une quantification de l'envasement dans certains barrages du massif, par une estimation de la dégradation temporelle du volume d'envasement, à partir de formules semi-empiriques, tenant compte des levés bathymétriques dans le temps.

Cette partie qui concerne les risques associés à la dynamique des oueds sera présentée comme suit :

- \* Evaluation de l'envasement des barrages par différentes méthodes de calcul.
- \* Gestion de l'envasement.

Cette partie s'intéresse également à la problématique des inondations qui constituent un risque majeur. Elles constituent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en provoquant environ 20 000 victimes par an (N. Simona et L. Cédric, 2007).

Le risque d'inondation n'est pas le même sur les différents bassins exposés puisque ni l'aléa ni la vulnérabilité sont les mêmes ; les crues surviennent de manière plutôt lente sur les bassins allongés alors qu'elles se produisent de façon extrêmement rapide sur les bassins pentus dont la surface est circulaire, par la mobilisation rapide des eaux de l'écoulement.

Au final on essaiera de délimiter les zones exposées aux risques d'inondations.

### ***Problématique :***

Les études qui ont été réalisées dans le massif sur la dynamique fluviale restent très limitées et s'inclinent vers l'aspect statistique. Dans ce travail on essaiera a priori de mettre cette dynamique fluviale dans sa dimension géomorphologique puis hydro climatique en se basant sur des approches et méthodes propices (hydro géomorphologique, hydro climatique, et géostatistique).

La démarche commence par l'analyse de l'espace physique est les facteurs hérités ou récents régissant cette dynamique pour arriver à déterminer les conséquences associées et les solutions possibles

### ***Plan du travail***

Le travail présent est partagé en trois parties :

La première partie est consacrée à l'analyse physio graphique de la zone d'étude, en débutant par la présentation des caractéristiques physiques de la zone d'étude et en terminant par une analyse détaillée de l'état climatique, cette partie évoque l'histoire géologique et géomorphologique de la zone et l'évolution des différentes unités hydrographiques (oueds) ainsi les caractéristiques du milieu qui pourraient exercer une influence sur la dynamique des oueds. En bref la première partie expose les résultats principaux du cadre physiographique pour cette étude.

Deuxième partie : La deuxième partie est consacrée à l'analyse approfondie de tous les facteurs et mécanismes entrant dans la dynamique des oueds suivant des approches et méthodes variées (géomorphologiques, géostatistiques, hydrologiques). Elle contient les chapitres suivants :

Ch1 : Analyse morpho dynamique : ce chapitre sera basé sur l'analyse détaillée des formes héritées et récentes résultant de l'activité de l'écoulement (processus lié à l'eau et ceux attachées largement aux pentes).

Le choix méthodologique est porté sur une approche diachronique qui tient compte des moyens disponibles et adaptables (photogrammétrie), accompagnés de mesures et sorties de terrain.

Ch2 : Morphométrie et Caractéristiques des bassins : ce chapitre a pour objectif savoir la contribution des caractéristiques hypsométriques et hydrographiques dans la dynamique des oueds.

Ch 3 : Analyse et modélisation hydrologiques : Adopter une modélisation statistique simple reliant les variables et paramètres qui régissent le phénomène de l'écoulement. (Pluies, débits, écoulements).

Troisième partie : Cette partie est scindée en deux chapitres :

Chapitre 01 : l'objectif principal de ce chapitre est la détermination des mécanismes de l'érosion et de transport solide

Chapitre 2 : a pour but la gestion et l'évaluation des risques associés à la dynamique fluviale, La quantification des risques sera basée sur des méthodes empiriques efficaces et la gestion repose sur les propositions et les recommandations adaptables à la dynamique du milieu.

Ce travail est organisé et réalisé selon les trois étapes suivantes :

-La Collecte des données : a été élaboré selon l'enquête, le questionnaire, l'observation et a travers les différentes visites aux sociétés, services techniques, bureaux d'études, laboratoires et bibliothèques.

- Traitement et Analyse des données recueillis. (Statistiques, tableaux, cartes, photos, levées).

- Réalisation et rédaction finale de la thèse.

**PARTIE : 01**

## ***Chapitre I : Caractéristiques physiques***

### I.1.Situation et limites :

Les vallées de l'Aurès sont situées à l'Est de l'Atlas saharien entre 35° 30'et 34°70' de latitude Nord et de 5°46' et 7°20' de longitude Est. La zone d'étude se place à la charnière des grands ensembles qui constituent l'Atlas saharien Algéro- Tunisien (M. cote ,2003). L'espace Aurèsien s'étende au nord de Batna à Khenchela, au sud s'étende de Khengat sidi-Naji jusqu'à Biskra.

Les vallées de la zone d'étude sont entourées par trois grands bassins hydrologiques qui sont respectivement le Bassin de chott Melghir qui contient le point de l'altitude le plus bas de l'Algérie, chott Hodna et hauts plateaux constantinois.

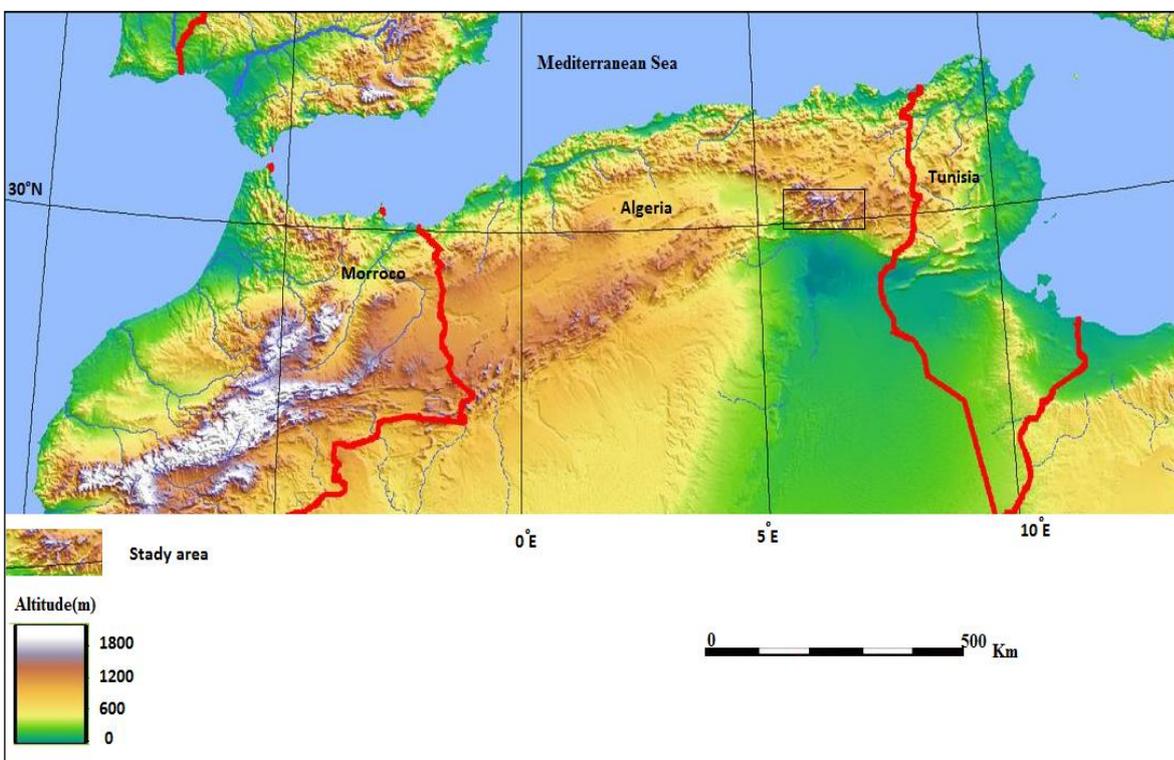
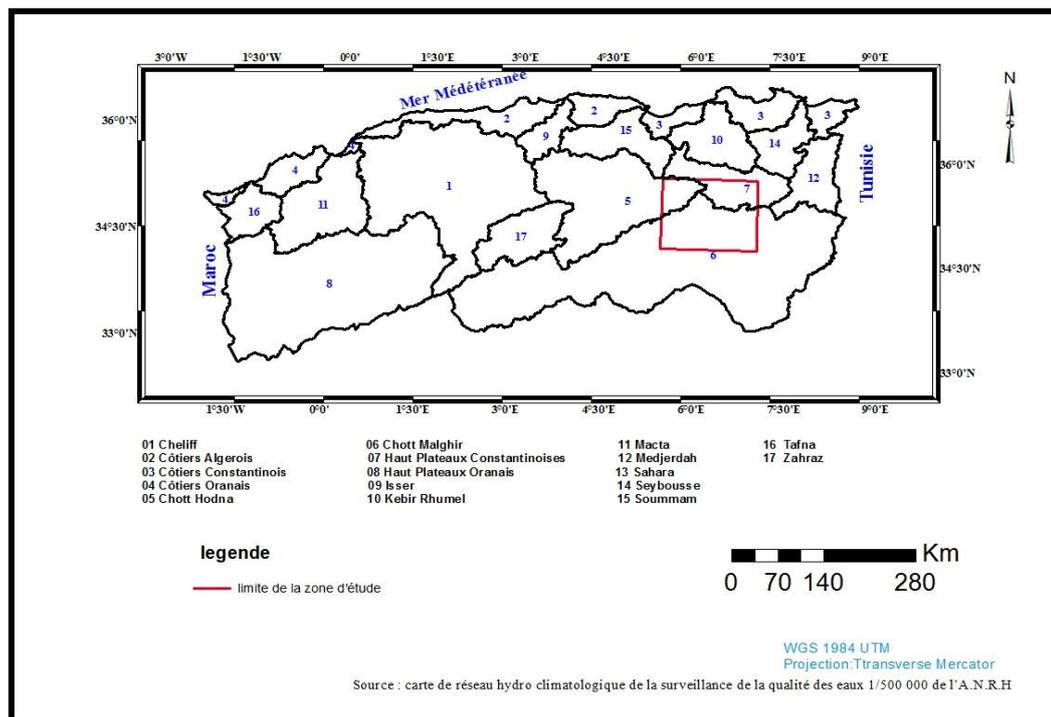


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.



**Figure 2 : position de la zone d'étude par rapport aux bassins versants Algériens.**

## I.2. Géologie des Aurès :

D'après l'étude de R. Lafitte (1939) : les facteurs géologiques, tectoniques et paléogéographiques ont donnés à la zone d'étude du triac inférieur au lutétien sa forme actuelle.

### I.2.1. Mouvements Tectoniques :

#### I.2.1.1. Mouvements éocènes

Des mouvements de subsidences avaient abaissés la surface des Aurès d'environ de 6000m. Après le Lutétien des mouvements énergiques et des failles importantes disloquèrent la zone d'étude (Lafitte ,1939 ; Guiraud, 1990).

Ces accidents ont placé le jurassique et le lutétien sur le même plan horizontal

Ce type de mouvements est caractérisé par des plis coffrés (N. Kazitani, 1986).

Ils affectèrent en fait, toute la zone d'étude et l'Atlas Saharien.

#### I.2.1.2. Mouvements oligocènes :

A travers l'oligocène, ce relief du massif fut évolué par des mouvements tectoniques, qui amenèrent le façonnement de réseau hydrographique principal, l'abaissement du massif , qui commença a la transgression miocène et engendra la sédimentation du cours inférieure des oueds par des couches continentales aquitaniennes ensuite la mer envahit toute la zone périphérique de la zone d'étude, cette étape distensive oligo- miocène est postérieure à la déformation fini Eocène et donne des grabens (N. Kazitani,1986) .

#### I.2.1.3. Mouvements miocènes :

Après la régression de la mer, les oueds se positionnèrent sur l'emplacement des anciennes vallées, où elles s'enfoncèrent, formant un réseau cataclinal que l'on voit actuellement, à la périphérie du massif, puis elles traversant en largeur les plis crétacés et donnant une structure surimposée, avec oueds subséquentes.

Le relief actuel est le produit d'une phase de plissements principaux venant après le lutétien par ailleurs les poudings du pliocène indique une nouvelle surrection accompagnée des plissements affectant les bordures nord-ouest et sud du massif.

Au final on peut dire que le Néogène supérieure et dans le Pliocène et après la transgression Burdigalien des plissements se sont produits.

#### I.2.1.4. Mouvements récents :

Le mouvement récent revient probablement à l'âge du quaternaire à Gafsa d'abord, Vaufrey a prouvé l'existence de plissements acheuléens-moustériens tandis qu'au Maroc J. Bourcart (1958) a montré que le quaternaire avait été porté à plus de 200m d'altitude au nord d'Agadir et s'enfonçait au-dessus du niveau de la mer au sud de cette localité dans la présence d'une phase d'une flexure ayant jouée pendant le quaternaire. En Algérie et plus particulièrement certains auteurs parlent de la présence de ces mouvements mais dans des endroits restreint et bien localisés ; dans le massif, la matrice d'un glacis du quaternaire moyenne, se trouve orientée dans le sens inverse de l'écoulement (contre pente) avec un décalage de quelques mètre rejet de faille observé à Ouled Ousif (Bouhmama), cette observation est bien confirmée dans certains endroits de l'Algérie.

Des travaux paléo magnétiques (M. Derder et al., 2018) avaient déjà montré l'existence de rotations horaires significatives de blocs tectoniques dans le bassin néogène du Cheliff, Et a la Mitidja d'âge Mio-PlioQuaternaire.

H. Dridi et M. Kalla (1994 ,2008 ,2011) ont montrés que ces mouvements ascensionnels s'étendent au moins jusqu'à la fin du Plio-quaternaire dans la région de Tébessa et Nememcha en expliquant l'importance de l'usage des indices morphologiques dans la détermination de ces mouvements.

De son côté C. Benabbas (2006) a montré l'effet de ce mouvement plio-quaternaire sur les formes du quaternaires.

### **I.2.2. Synthèse structurale :**

Le caractère principal du massif apparait dans l'importance de ses plissements ; ainsi la différence d'altitude des couches entre l'anticlinal du mont de dj El Azreg et la dépression de Ghassira, qui arrive 6000m.

Selon certains Auteurs, la déformation de la pénélaine des hautes plaines constantinoises sous l'effet des mouvements de la fin de l'oligocène a engendré un réseau hydrographique essentiellement conséquent.

Une nouvelle phase d'abaissement relative se produit, la mer envahit la région, recouvrant parfois l'ancienne surface d'érosion continentale, puis, la mer se retire définitivement ; les nouveaux cours d'eau se superposent à l'ancien réseau, le nouveau réseau hydrographique s'installe, cette couverture ayant été rapidement enlevée par l'érosion. Il est a

noter qu'actuellement, en ces points se trouve un réseau hydrographique inadapté à la structure.

Au quaternaire, le début de pléistocène moyen indique des déformations importantes. (R. Coque et A. Jauzen., 1965). Au Maroc, les travaux de Goubert (1962) ont montré la présence d'une légère discordance à la hauteur du glacis de l'Amerien.

Cette observation est bien réaffirmée par R. Raynal (1961).

Dans les Aurès, la tectonique au cours du quaternaire est caractérisée par une subsidence de la fosse Sud Auresienne, et une orogénèse qui facilite l'évolution des oueds.

La figure 3. Représente les grands axes structuraux de la zone d'étude

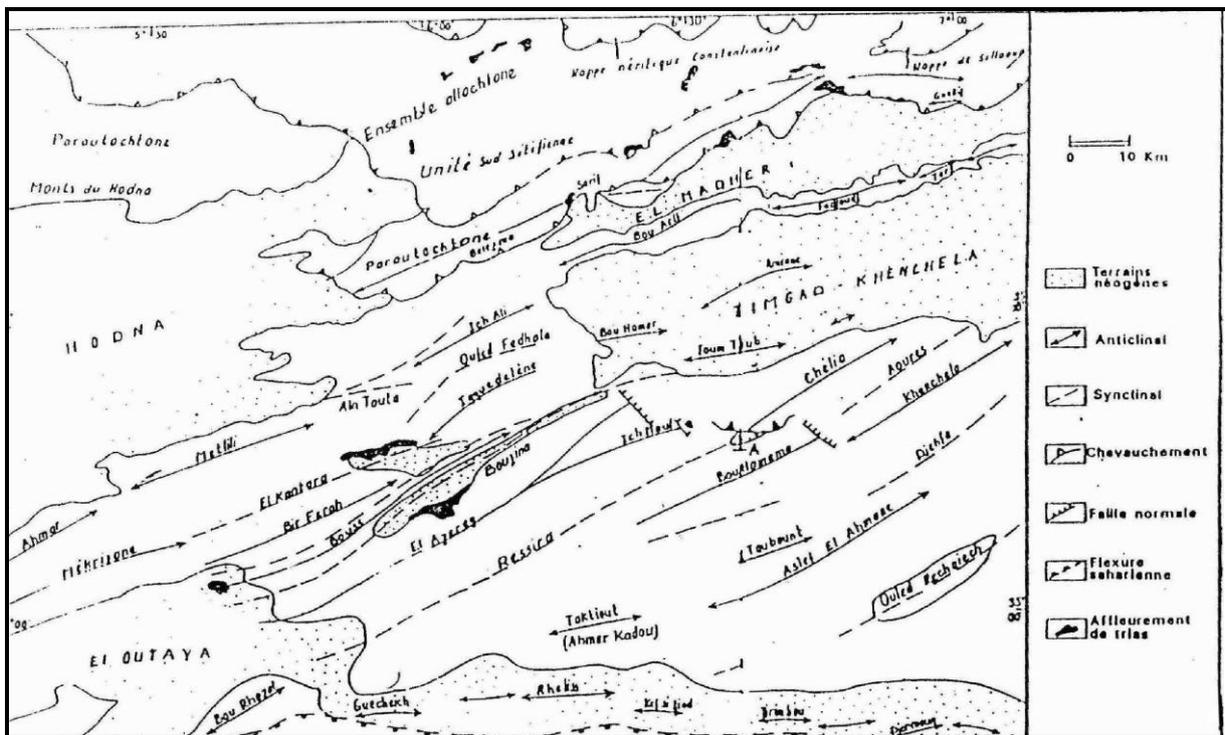


Figure 3: Schéma Structural des Aurès (Guiraud,1973).

### I.2.3. Stratigraphie :

D'après les travaux de R. Laffitte (1939) la région de l'Aurès présente six niveaux géologiques riches en Marno- Calcaire.

Les couches les plus anciennes sont attribuées au Trias tandis que les plus récents appartiennent au Quaternaire qui comble les vallées.

### **I.2.3.1. Trias :**

Formé essentiellement de marnes gypseuses, d'anhydride, des sables, d'argiles et parfois de dolomies notons que les affleurements de Trias sont toujours en position anormale ou le long de failles (M. Herkat, 1992).

### **I.2.3.2. Jurassique :**

Le Jurassiques renferme les calcaires, les calcaires argileux et des intercalations des marnes jaunes et rouges.

D'après Bureau, (1986) l'épaisseur totale des dépôts Jurassique dans les différentes parties de la région peut être évaluée à 2000m.

Cet étage affleure à Dj Azreg qui est formée d'énorme masse de dolomies.

Le jurassique affleure également à Dj Boumerzeg sous alternance de calcaires et marnes (Y. Billion ,1972) .

### **I.2.3.3. Crétacé :**

Les couches de Crétacé sont largement développées dans la périphérie de la zone d'étude, ainsi que cet étage est caractérisé par un faciès marno-calcaire qui dépasse 3000m d'épaisseur (M. Herkat, 1999), et un faciès gypseux à la base de la série du Crétacé inférieure dont l'épaisseur pourrait atteindre 2000 m (S. Guellal et M. Megartsi, 1972).

### **I.2.3.4. Paléogène :**

Les dépôts de Paléogène sont développés surtout dans la zone synclinale (vallée). Ils sont constitués par des calcaires et des marnes et contiennent parfois des gypses, vers le sommet du Paléogène on peut observer l'apparition des sables, des conglomérats et des brèches. Le Paléogène est caractérisé par une grande amplitude des déplacements verticaux qui peuvent atteindre 2000 m.

### **I.2.3.5. Néogène :**

On le trouve dans la partie centrale de l'Aurès ; le Néogène est représenté par les conglomérats de Miocène qui est remplacé vers le Sud par des formations de calcaires, marne et gypse, les conglomérats et les assises calcaires marneux sont surmontées par des formations continentales qui soulignent une étape bien caractéristique du développement du relief et une phase intense de plissements. L'épaisseur de Néogène peut atteindre 250 à 300m.

### **I.2.3.6. Quaternaire :**

Les formations de quaternaire sont développés essentiellement dans la partie bordière de la zone d'étude et dans les vallées. (A.J. Roche, 1961).

Elles sont représentées par des argiles sableuses, des accumulations de débris et de galets de différentes roches.

Au cours du quaternaire les variations cycliques du climat ont contribué à l'élaboration des glaciais étagées, ces dépôts discordant sur toutes les formations antérieures (Y. Bellion, 1980)

I.2.3.6.1. Corrélations stratigraphiques du quaternaire proposées par certains auteurs

Le tableau n°1 présente les divisions du quaternaire et ces dates relatives

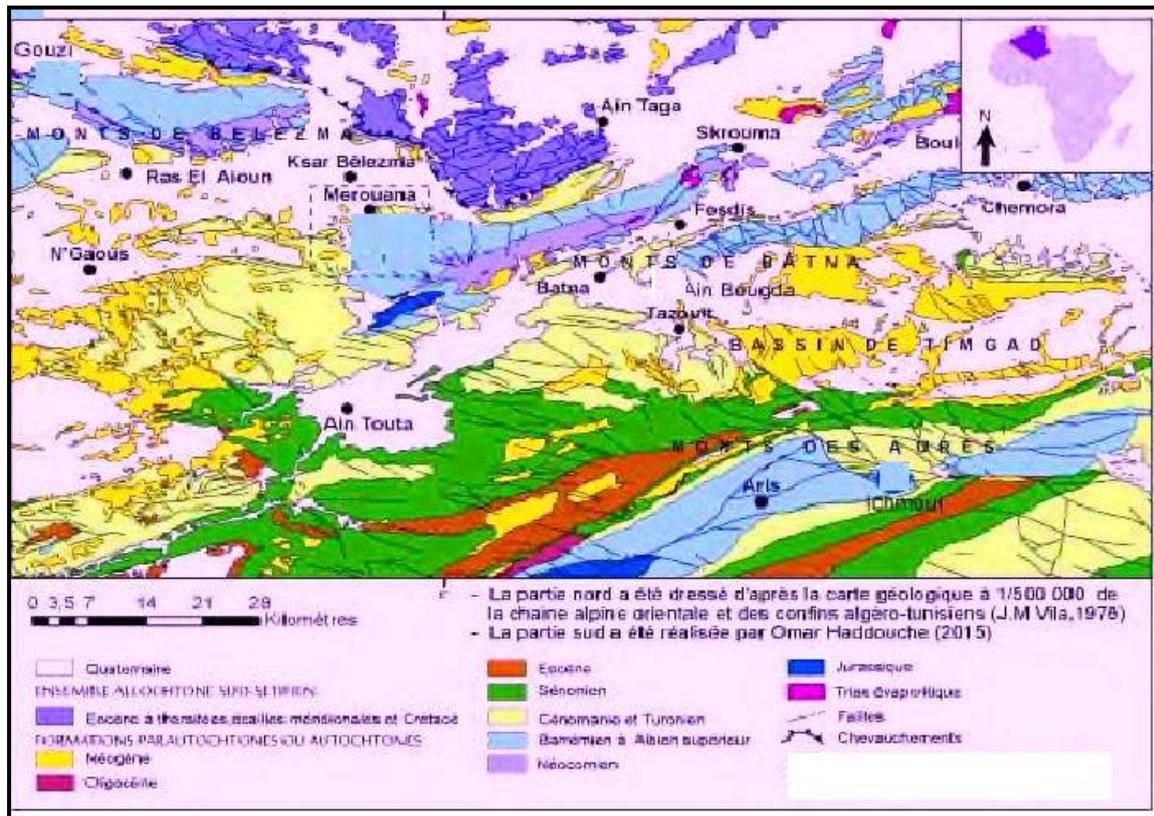
Tableau 1: Subdivisions de quaternaire.

ERE	Classification utilisée			Cuvette de Hodna	Piémont méridional Aurès J.L. Ballais, J Gabot,	Age
Quaternaire Récent	Q <sup>6c</sup>	Actuel	Sabkha	Dunes sableuses Chottes	Cône de déjection grossier (Pléistocène Supérieur)	6000
	Q <sup>6c</sup>	Rharbien		Croute gypseuse et lamelles		
	Q <sup>ba</sup>	Capsien		Cendrière Escargotière, localement.		
	Q <sup>5b</sup>	Soltanien II	Lacs	Passées hydro -morphes, sables, Argiles, Travertins	Passées hydro morphes, sables, Argiles, Travertins (Pléistocène moyen)	11000
	Q <sup>5a</sup>	Soltanien I		Remplissage alluviale a conglomérat de base	Croute gypseuse localement alluvions Conglomérat de Base (pléistocène moyen)	18000
Quaternaire Moyen	Q <sup>4</sup>	Tensiftien		Croute calcaire zonée, encroutement calcaro-gypseux, glacis couvert a matériel très grossier	Encroutement gypso- calcaireux Encroutement calcaro- gypseux Glacis couvert a matériel très grossier Glacis (3)	23000
	Q <sup>3</sup>	Amérien		Croute calcaire Zonée calcaire- gypseux glacis couvert a matériel très grossier	Encroutement calcaro- gypseux Glacis couvert a matériel très grossier Glacis (4)	500000 800000
	Q <sup>2</sup>	Salétien	Cuvette fermée	Croute calcaire zonée encroutement calcaire-gypseux glacis couvert a matériel très grossier	Encroutement gypso- calcaireux Encroutement calcaro- gypseux Glacis couvert a matériel très grossier, carapace ferrugineuse Glacis (5)	
Quaternaire Ancien	Q <sup>1</sup>	Moulouyen		Dalle calcaire conglomérat saumonée surmontant localement des argiles sableuses rasées	Croute gypseuse polygonale encroutement calcaro- gypseux Glacis couvert a matériel très grossier, carapace ferrugineuse Glacis (6)	1,6MA

J. Gabot, R. Guiraud, (1985) J L. Ballais (1981).

L'examen du tableau ci-dessus a donné une vision globale sur les observations du quaternaire dans certaines zones en Algérie en fonction du milieu de dépôt et la forme de précipitation du calcaire qui semble très intéressant dans la connaissance , l'identification et la datation des formes , dans le massif J.L.Ballais (1981) discuta sur la dominance des subdivisions récentes et moyennes notamment le Rharbien, le Capsien et le Soltanien , il avait considéré que les formations du quaternaire dans le massif jeunes.

Les terrains géologiques des Aurès sont représentés sur la Figure 4.



**Figure 4 : Géologie de la zone d'étude**

### I.3. Les sols :

L'examen de la carte des sols de l'Algérie de R, Jaseix-Bellon (1938) (feuille Biskra et Tébessa ) a montré les types suivants :

#### I.3.1. Les sols alluviaux basiques :

Ils se caractérisent par une charge caillouteuse considérable avec une texture équilibrée sablo- limono-argileuse et un pH légèrement alcalin.

#### I.3.2. Les sols insaturés humifères :

Se trouvent essentiellement sur les altitudes pentues, ils offrent une texture limono-sablo- argileuse.

#### I.3.3. Les sols salins- halomorphes :

Ils présentent une structure moins favorable, compacte et moins aérée ce qui les rend asphyxiant, leur mise en valeur demande la maîtrise et la connaissance de la salinité.

#### I.3.4. Les sols calcaires humifères :

Ces sols se situent au niveau des montagnes sous couvert forestier. Ils se distinguent par une charge caillouteuse élevée (cailloux et pierres) rendant le travail du sol difficile sous la forêt, Ces contraintes sont partiellement composées par la nature de l'horizon C les racines des arbres pénètrent facilement.

**I.3. 5. Les sols éoliens d'ablation :**

Ils se caractérisent par une faible profondeur, une charge caillouteuse élevée et une structure moins favorable, compactes et moins aérée ce qui les rend asphyxiants.

**I.3. 6. Les sols éoliens d'accumulation :**

Ce sont des sols peu évolués qui reposent sur un substrat altéré et se localisent sur des formations sableuses fixées.

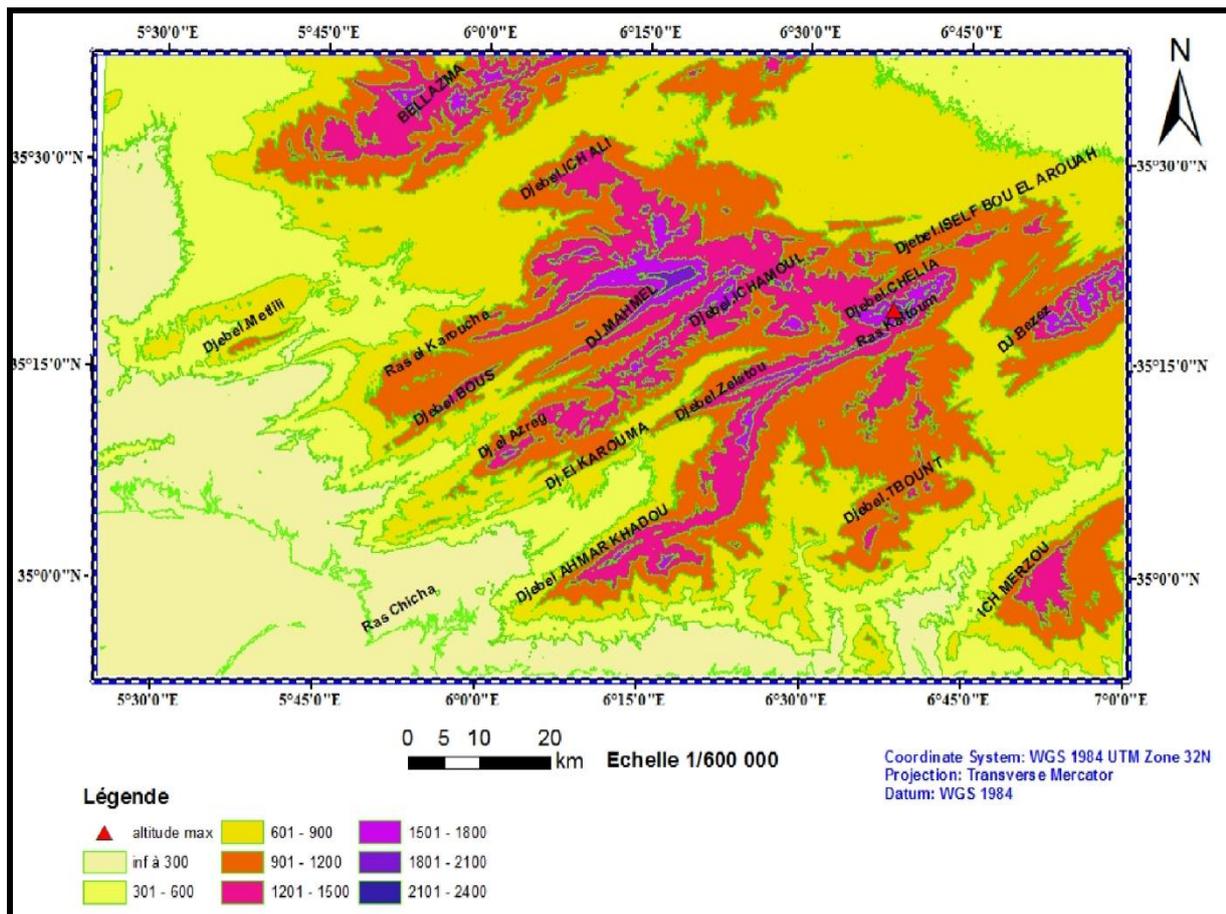
**I.3. 7. Les sols calciques :**

Ce sont les sols assez profonds saturés à plus de 90% par du calcium, le pH est supérieur à 6.8 et leur structure est grenue.

**I.4. Altitudes :**

Les sommets s'avèrent pointus, les altitudes les plus importantes sont : Dj Chélia 2328m, Mehmel 2214m. Dj Boutleghmine, 2178m (Fig 5). Les valeurs des altitudes les plus faibles s'inscrivent dans les plaines et particulièrement quand 'on avance vers le sud du massif, le relief agit non seulement sur les précipitations, mais aussi sur l'écoulement est donc beaucoup moins fort en montagne qu'en plaine (Guilcher, 1979). Par ailleurs, la morphologie du lit fluvial exerce une influence sur l'hydrologie du cours d'eau, notamment par des variables hydrauliques qui décrivent le lit majeur (plaine d'inondation).

L'examen de la figure 5 a montré que les altitudes les plus élevées se trouvent au milieu de la zone d'étude, tandis que les altitudes les plus faibles entourent toute la zone d'étude et caractérisent notamment les plaines.

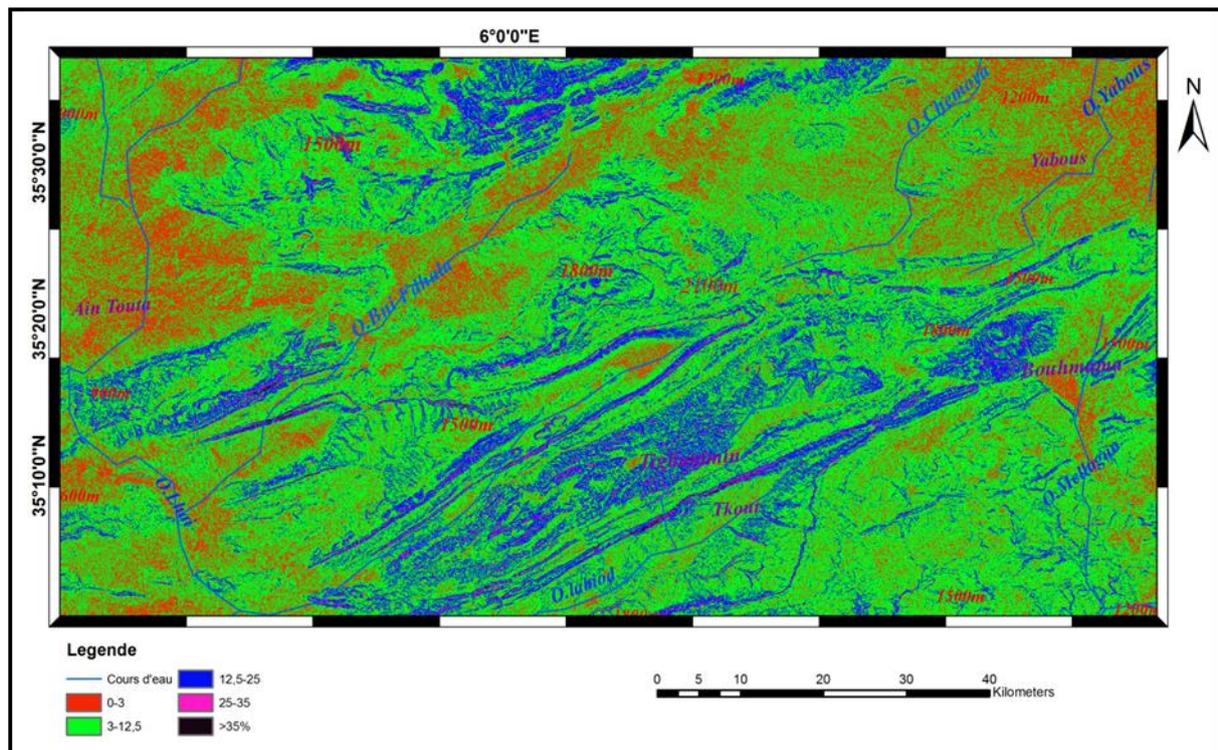


**Figure 5: carte des altitudes des Aurès.**

**I.5.Pentes :**

Tous les auteurs considèrent que le rôle de la pente est capital dans la genèse et l'accélération des phénomènes liés à la dynamique des oueds.

La figure ci-dessous présente les différentes aires des pentes dans la zone d'étude.



**Figure 6: carte de pentes des Aurès.**

L'analyse de l'écoulement et certains phénomènes hydrologiques et géomorphologique exige la connaissance approfondie de la pente par ailleurs et en vue d'interpréter la contribution de la pente dans le bilan érosive et l'accélération de certains phénomènes liés à l'eau comme les inondations et l'envasement des barrages.

Les pentes sont réparties inégalement sur le massif en cinq classes :

- \* 0-3 % : pente faible, caractérise les plaines, glacis, terrasses alluviales et replats structuraux. Cette classe est représentée par une sensibilité faible à l'érosion. Elle correspond à des secteurs situés principalement dans la partie aval de chaque bassin versant et représente 25,5 % de la superficie totale.

- \* 03-12,5 % : pente moyenne, qui caractérise les piémonts, collines et offre une sensibilité moyenne à l'érosion. Elle occupe 27,5 % de la superficie de la zone d'étude.

- \* 12,5-25 % : pente forte, qui correspond à une zone mixte regroupant le haut des piémonts et Cette catégorie de pentes fortes renferme les terrains a sensibilité forte à l'érosion. Elle recouvre une superficie de 27 %.

- \* > 25-35 % : pente très forte, qui représente un relief accidenté comporte essentiellement les corniches, les escarpements rocheux. Cette classe est déterminée par une sensibilité très forte à l'érosion et représente 16% de la superficie totale du bassin versant (fig.6).

- \* > 35 cette classe occupe les sommets les plus élevés avec un pourcentage de 4 %.

Cette répartition de pentes donne une image claire sur l'état de l'écoulement et les zones sensibles à l'érosion.

## **I.6. Hydrographie et unités fluviales :**

Le réseau hydrographique dans la zone d'étude est caractérisé par un drainage endoréique et temporaire, les Oueds qui suivent la structure sont rares et l'action érosive des oueds s'avère très varié.

L'écoulement est nettement variable entre les cours d'eaux méridionaux et ceux septentrionaux et semble très attaché à la pluviométrie.

La zone d'étude est alimentée par un réseau hydrographique riche qui prend deux sens différents :

Oued Chemora et oued Yabous se dirigent vers le nord alors qu'Oued l'haï, Oued Abdi, Oued El Abiod et Oued El Arab leurs écoulement est vers le sud.

### **I.6.1. Oueds**

#### **I.6.1.1. Oued L'Hai**

Cet Oued vient de la chaîne montagneuse du Bellezma et traverse les formations argilo-marneuses de la plaine de Ain Touta pour rencontrer oued Fdhala, ce trajet long dure quelques kilomètres pour former oued El Kantara puis oued Biskra.

#### **I.6. 1.2. Oued Abdi :**

Une vallée allongée qui se d'écoule du dj Mahmel est alimenté par oued Bouzina et Oued Nara.

#### **I.6.1.3. Oued El Abiod :**

Prend sa source des monts de Chelia, (2328 m). Cet Oued est alimenté dans sa partie amont par les eaux d'oued Tadjernit est oued médina, dans cette partie l'écoulement est permanent mais avec un débit faible par ailleurs, la partie aval comporte essentiellement Oued Chenaoura, et oued Tkout.

#### **I.6.1.4. Oued El Arab :**

Oued El Arab commence par une forme d'éventail dans sa partie amont et regroupe de nombreux affluents, les plus importants sont oued el Azreg, oued Djarir et oued Mellague.

Le lit majeur de cet oued devient très vaste dans sa partie aval et reçoit un débit très important.

#### **I.6. 1.5. Oued Chemora :**

Prend son début au milieu des formations calcaires et marno- calcaires, il est caractérisé par la mobilisation rapide des eaux pendant les crues, de plus sa forme ramassée.

Le bassin versant d'oued Chemora est doté de plusieurs sources dont la plus connue est celle de Theniet El Cherchar, le réseau hydrographique présente un écoulement nord et mobilise les eaux d'oued Reboa, oued soulez et oued Timgad.

Le réseau hydrographique du massif est représenté sur la (figure7).

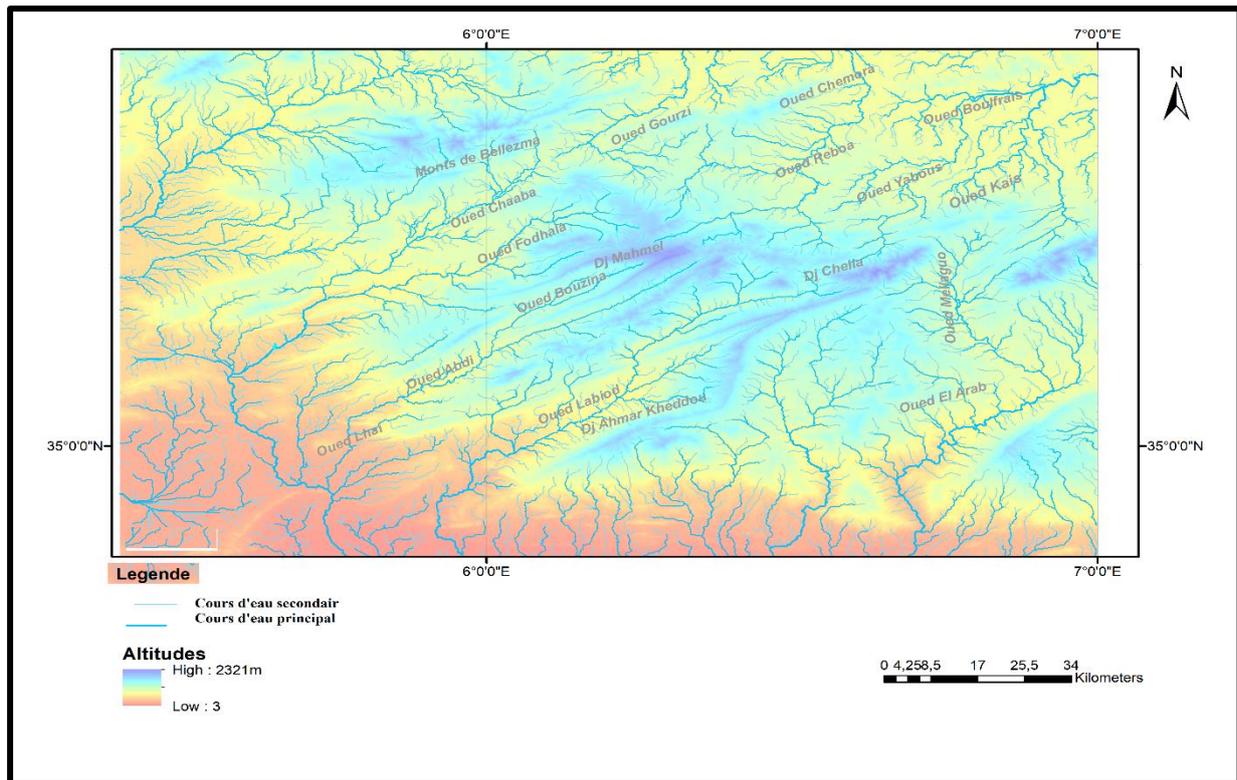


Figure 7 : Réseau Hydrographique de la zone d'étude.

## I.7. Végétation :

Le couvert végétal est l'un des facteurs physiques qui peut avoir une influence directe sur l'écoulement fluvial, plus le couvert végétal est dense plus l'action érosive des pluies diminue. Dans la zone d'étude et selon Quezel (1963) et Schönenberger (1970), la végétation de la zone d'étude est caractérisée par les étages suivants :

### I.7. 1. Étage subhumide

#### I.7.1 .1. Étage subhumide de haute montagne :

L'étage asylvatique renferme les formations sommitales de Dj Chélia et Ichemoul qui résistent la neige, c'est le cas de certaines espèces ligneuses et herbacées.

#### I.7.1.2. Étage subhumide supérieure à hiver froid (2200 - 2000) :

Cet étage est caractérisé par la dominance du Cèdre et renferme essentiellement Taxus Baccta et Rhamnus Alpina comme espèces typiques sur l'exposition sud.

#### I.7.1.3. Étage subhumide inférieure à hiver froid :

Selon Abdessamad (1984), cet étage est caractérisé essentiellement par la présence des espèces suivantes :

*Crataegus Laciniata*, *Berberis Hispanica* et *Junipereus Oxycerus Rufecens*.

Le chêne vert se trouve généralement avec *Ampelodesma Mauritanicum* sur les endroits chauds, on peut noter également la présence de *Sidérites Ochroleuca*, *Bromus Erectus*, le Romarin et le Globulaire.

### I.7. 2. Étage semi-aride :

#### I.7. 2.1. Étage semi-aride supérieure à hiver frais :

Selon Schöenberger (1990) Cet étage est dominé par le Pin d'Alep, le Chêne vert toujours présent dans la pinède mais son recouvrement devient faible, le Genévrier oxycèdre également se trouve à coté de Junipreus Phoenicea dans certaines stations.

I.7.2.2. Étage semi-aride inférieure à hiver tempéré :

Cet étage qui s'étende sur 1100 m et 1200 regroupe essentiellement Pistacia Lentiscus et Olea Europaea, cependant le chêne vert disparaît totalement de cet étage (Beghami, 2013).

**I.7.3. Étage aride :**

I.7.3.1. Étage aride à hiver frais :

Est dominé par Caractérisé par une Junipéraie claire, cet étage comporte principalement Diplotaxisharra et Stira Parviflora (Quezel ,1963).

**I.7.3.2. Étage aride inférieur :**

La végétation de cet étage est dominée par Salsola Vermiculata et Zizyphos.

## Conclusion

Les reliefs de l'Aurès se caractérisent par des alignements Sud-Ouest - Nord-Est où gros anticlinaux et larges synclinaux perchés se succèdent. C'est là où s'élève le plus haut massif de l'Est algérien, Djebel Chélia (2 328 m) .

Les structures plissées dessinent le paysage de l'Aurès, La dépression du Chott Melghir, constitue une zone d'affaissement « la fosse Sud-Aurasienne » où de vastes dépôts sédimentaires dus à l'érosion se sont accumulés dans la cuvette et où l'endoréisme s'est installé avec les épisodes climatiques secs du Quaternaire.

Le relief actuel résulte donc d'une phase de plissements principaux qui se situent immédiatement après le lutétien, les poudings épaisses de pliocène indiquent une nouvelle surrection accompagnée des plissements affectant les bordures nord-ouest et sud du massif. Nouveaux plis formés des précédentes, des phases de mouvement épirogénique ont affectées le massif à la fin de l'oligocène, d'abord puis au miocène et surtout immédiatement avant et après le miocène, une nouvelle phase éloigne les bassins continentaux du nord et sud du massif, à la périphérie du massif des mouvements épirogénique fut de porter les cimes de l'Aurès a plus de 2000m.

La structure et la lithologie contribuent à construire et orienter les modèles géomorphologiques et la dynamique des oueds.

Au final on peut dire que la structure facilite l'action érosive des cours d'eau.

Les altitudes sont les stades de l'érosion physico chimique et la source d'une grande partie de matériaux transportés vers les cours d'eau ; Les sommets des versants nord de Dj Berdoun- Larhan, Dj El Mahmel mobilisent a travers les torrents des quantités de matériaux hétérométriques très importantes.

Les pentes les plus importantes (plus de 12%) et qui couvrent environs (75%) de la superficie de la zone d'étude accélèrent tous les phénomènes associés aux écoulements (ravinement, érosion régressive, sapement des berges, etc...).

En général la conjonction de plusieurs facteurs endogènes et exogènes trace la dynamique de chaque oued.

La répartition de la végétation sur le massif reste étroitement liée à la pluviométrie.et bien contrôlée par l'altitude et l'exposition, En effet, la densité végétale s'accroît sur le nord que le sud et décroît dès qu'on avance vers les piémonts, les plaines et les zones sahariennes.

La forêt et les maquis denses se développent sur les altitudes les plus importantes alors que les maquis clairs occupant généralement les piedmonts et notamment les versants méridionaux.

Dans l'ensemble les versants septentrionaux sont bien boisés et bien protégés que les versants méridionaux. Mais, toute la zone Auresienne n'est pas à l'abri de l'érosion accélérée.

## **Chapitre II : Etude Climatique**

## II. Etude du Climat

### Introduction :

Les facteurs climatiques associés aux paramètres physiques comme l'altitude, la géologie, le couvert végétale, la pente exercent un effet capital sur le régime des écoulements.

Pour mettre en évidence les corrélations existantes entre le climat et l'écoulement d'une part et l'érosion d'autre part, nous nous sommes basés sur l'exploitation des données recueillies des différentes stations sur des périodes plus au moins étendues. Cette étude climatique est considérée comme un support pour l'étude des écoulements et de transport solide.

### II.1. Données climatiques :

Pour caractériser le climat de la région, nous avons utilisées les données climatiques émanant de 3 stations météorologiques référentielles : Ain Skhouna (Batna), Biskra et El Hama (Khenchela), et On a choisi ces trois stations qui sont les seules qui peuvent fournir des données sur tous les éléments climatiques relativement sans lacunes et localisées dans les extrémités de l'Aurès ce qui permet de couvrir toute la zone d'étude et présenter l'état climatique de façon pratique. et pour plus de détails ; Nous avons exploitées également les données de 32 stations dans le but de tracer un schéma précise et exacte sur la dynamique spatial des pluies.

La localisation des trois stations référentielles est présentée sur (le Tableau. 2).

Tableau 2: Les stations météorologiques référentielles étudiées (2005-2014).

Stations	Altitude (M)	Coordonnées	Durée D'observation
Batna	825	35°44' Nord, 06°21' Est.	2005-20014
Biskra	100	34°51' Nord, 05°43' Est.	2005-20014
El Hama	987.4	35°28' Nord ,07°05' Est	2005-20014

Source : ONM Constantine.

#### II.1.1. Les Températures :

La température est l'une des paramètres essentiels qui caractérisent le climat de chaque région, les valeurs de températures prélevées suivant les trois stations précédentes sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 3: Moyennes Mensuelles des Températures (2005-2014)

Mois	T	Ja	F	M	Av	M	J	Jt	Ao	S	O	N	D
Biskra	T Min	6,7	7,6	11,5	15,3	19,6	24,7	28,3	27,8	23,0	18,3	11,7	7,9
	T Moy	11,8	12,9	17,3	21,3	26,0	31,2	34,9	34,1	28,8	23,7	16,6	12,4
	T Max	17,6	18,6	23,3	27,6	32,2	37,7	41,5	40,5	34,7	29,6	22,2	17,8
Batna	T Min	0,2	0,7	3,4	6,4	9,5	14,3	17,7	17,2	14,3	10,0	4,7	1,1
	T Moy	5,9	6,5	10,0	13,9	18,1	23,3	27,4	26,4	21,8	17,0	11,0	6,6
	T Max	12,5	12,9	17,0	21,2	26,2	32,1	36,6	35,5	29,6	24,7	17,8	12,9
Khenchela	T Min	1,8	1,9	4,6	7,7	11,1	15,6	18,9	18,6	15,3	11,6	6,4	2,8
	T Moy	6,4	6,6	10,1	13,9	18,1	23,2	27,0	26,3	21,4	17,2	11,3	7,2
	T Max	11,2	11,5	15,6	20,0	24,9	30,6	35,0	34,0	28,1	23,2	16,5	11,9

Source : ONM Constantine

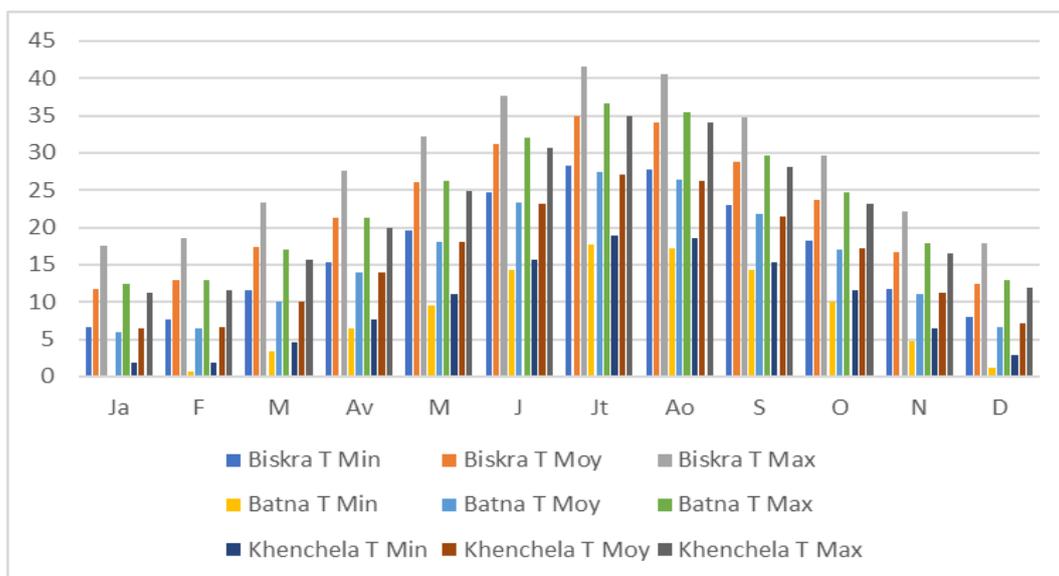


Figure 8: Moyennes mensuelles des températures de la zone d'étude (2005-2014).

Les caractéristiques thermiques sont reportées sur le (Tableau 4).

Tableau 4: Fluctuations thermiques des trois stations étudiées.

Station	Ain Skhouna	Biskra	El Hama
Le mois le plus froid	Janvier	Janvier	Janvier
Température Moyenne	0.2	6.7	1.8
Le mois le plus chaud	Juillet	Juillet	Juillet
Températures moyennes	36.6	41.5	35

D'après les données de Tableau. 4, nous constatons que le mois de Janvier constitue le mois le plus froid avec une température moyenne qui varie entre 0.2°C et 6.7°C. Le mois de juillet est le mois le plus chaud avec une Température moyenne compris entre 35°C et 41.5°C.

### II.1.2. Les précipitations

La pluviométrie est définie comme l'ensemble des eaux météorologiques recueillies par un bassin versant ou une surface bien déterminée.

Toute analyse hydrologique par des méthodes statiques exige que les séries soient homogènes et dépourvues d'erreurs systématiques notamment quand il s'agit des séries pluviométriques.

Le Contrôle de l'homogénéité de la série (Correction des données et comblement des lacunes) est nécessaire voir indispensable pour contrôler les échantillons pluviométriques (Wang JF& AL 2014). On utilise souvent, la méthode de double cumule des données.

Cette méthode consiste à prendre un échantillon chronologique des données d'observations qui seront présentés comme suit :

En abscisses, on porte les totaux annuels pluviométriques cumulés de la station de base et en ordonnées les totaux annuels de la station à vérifier ; Si les points forment un alignement tout à fait parfait. On conclura que les deux séries sont homogènes, dans le cas contraire, où on obtiendra plusieurs segments de droites avec différentes pentes, cela signifie que l'une des stations présente erreur systématique, il faudrait le corriger en utilisant le rapport :

$$R = \frac{m^-}{m} \quad (1)$$

Où :

R= Le coefficient de la pente.

$m^-$  : La pente de la courbe cumulée à corriger.

$m$  : la pente de la courbe cumulée référentielle. Avec :

$$m^- = \frac{p^- \text{ decassure de station a corriger}}{P \text{ decassure de station referentielle}} \quad (2)$$

$$m = \frac{p^- \text{ anneesestationacorrager}}{p^- \text{ anneesestationreferentielle}} \quad (3)$$

$\sum x$  de station de référence

$\sum y$  de station dépendante

Les stations Batna, Biskra et Khenchela sont les stations référentielles dans le massif, la présence des lacunes exige une méthode concordant au comblement des lacunes, notre choix est focalisé sur la corrélation linéaire.

Calcul des paramètres :

$$Y = a x + b \quad (4)$$

Y : précipitation de la station a corrigé.

X : précipitation de la station référentielle.

Avec :

$$a = \frac{\sum_i^n x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (6)$$

Ou :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (7)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (8)$$

Coefficient de corrélation : r

$$r = \frac{n \sum_i^n x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\sum x_i^2 - \left(\frac{\sum x_i}{n}\right)^2} \sqrt{\sum y_i^2 - \left(\frac{\sum y_i}{n}\right)^2}} \quad (9)$$

n = nombre des couples d'observation (xi, yi)

### II.1.2.2. Les variations annuelles des pluies :

La connaissance des variations spatio temporelles des pluies, est nécessaire pour identifier le comportement pluvial et hydrique de la zone d'étude et les conséquences possibles (aléas et risques associées).

En Algérie les précipitations sont caractérisées par une variabilité spatio-temporelle très marquante (M. Meddi et J. Hubert., 2000).

La tranche de pluie annuelle décroît à mesure que l'on avance vers des latitudes méridionales. Elles tombent à moins de 100 mm au sud de l'atlas saharien, cette valeur étant habituellement considérée comme marquant le début du désert. A la décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest (P. Hubert et H. Bendjoudi., 2002).

Le massif des Aurès, qui constitue une unité physique distinct et imposante par son étendue en ampleur, n'échappe ni à ces influences quant à la répartition spatiale des précipitations ni aux influences issues de changements globaux. Ces dernières sont animées par une augmentation des Températures à l'échelle planétaire (M. Talibi ,1995).

La perception de cette augmentation thermique reste difficile à l'échelle d'un massif montagneux et les gradients thermiques sont moins évidents que les gradients pluviométriques.

Le massif se trouve a la croisée de désert de sud et les hautes plateaux du nord ce qui donne a l'espace étudiée un comportement fonctionnelle climatique nettement varié, contrôlé par l'effet des facteurs géographiques. (A. Mebarki, 1982).

### II.1.2.3. Données et méthodes :

La zone d'étude est confrontée à de très sérieux problèmes de manque d'eau, ainsi que les précipitations sont caractérisés par une distribution spatiale et temporelle très irrégulière d'une station à une autre.

L'objectif de cette étude climatique vise à caractériser la dynamique de la pluviométrie et la sècheresse au massif des Aurès à travers la recherche des ruptures et de tendances dans les séries chronologiques.

Les données proviennent des deux organismes responsables du réseau pluviométrique en Algérie, à savoir l'Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH) et l'Office nationale de météorologie (ONM).

Un grand nombre de postes pluviométriques a été retenu (Fig.9), afin de constituer une base de données annuelle la plus complète et la plus représentative possible de la zone d'étude. Les stations sont bien réparties dans la zone d'étude, et rigoureusement critiquées par des méthodes statistiques le test de double cumule pour l'homogénéisation des données et le comblement des lacunes a été élaboré par la régression multiple, quelques corrélations sont nécessaires pour déterminer les facteurs régissant le comportement des pluies comme l'altitude.

Nous avons procédé à une analyse des données pluviométriques annuelles basée sur des tests statistiques ; Test de corrélation sur le rang pour vérifier le caractère aléatoire des séries chronologiques (Wang J and al 2016) et les tests de rupture (Test de Pettitt, Hubert,

Buishand et Lee et Heghinian), tout en utilisant le logiciel Khronostate à un niveau de signification de 95 % et 99%.

La figure.9 présente l’emplacement des stations utilisées dans cette étude

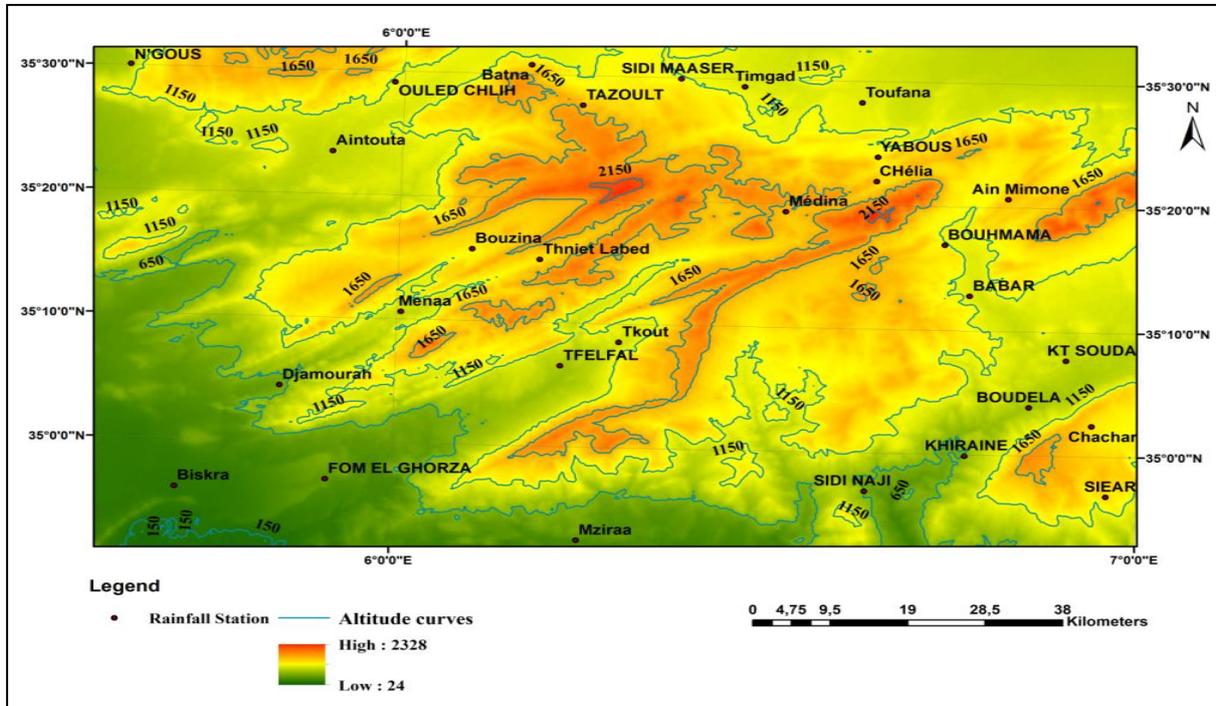


Figure 9: Localisation des stations pluviométriques

II.1.2.3.1. Test de Pettitt (1979) :

Ce test selon Pettitt, se range dans la classe des tests non-paramétriques testant l’hypothèse  $H_0$  face à l’hypothèse alternative  $H_a$  .

L’application du teste exige pour tout instant  $t$  compris entre 1 et  $N$ , que les séries chronologiques  $(X_i)_{i=1 \text{ à } t}$  et  $t+1 \text{ à } N$  reviennent à la même population.

$U_t, N$  est définie par :

$$U_t, n = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \tag{10}$$

Où  $D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j)$ , avec  $\text{sgn}(X) = 1$  si  $X > 0$ ,  $0$  si  $X= 0$  et  $-1$  si  $X < 0$ .

« Au cas où l’hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l’instant  $t$  définissant le maximum en valeur absolue de la variable  $U_t, N$ . » (Pettitt ,1979) .

II.1.2.3.2. Méthode bayésienne de Lee et Heghinian

La loi bayésienne de Lee et Heghinian (1977) interprète l’hypothèse d’un changement dans la valeur de la moyenne de la série. Elle se découle d'une approche paramétrique dont l'application sur une série exige une distribution gaussienne.

L’équation s’écrite de la manière suivante :

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & I = 1, \dots, t \\ \mu + \sigma + \varepsilon_i & I = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \quad (11)$$

Où :

$\mu$  : est définie comme la moyenne et  $\sigma^2$  est la variance.

$\tau$  et  $\delta$  représentent respectivement la position de la rupture dans le temps et l'amplitude du changement sur la moyenne.

« Cette expression mathématique exprime la probabilité que la rupture se produise au moment  $\tau$  dans une série ». (Lee et Heghinian, 1977) .

#### II.1.2.3.3. Variable U de Buishand

« Selon Buishand (1982 ,1984) cette équation est très proche de celle de Lee et Heghinian.

Elle tient compte une distribution uniforme pour la position du point de rupture  $t$  ».

Cette statistique U de Buishand est déterminé par :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} S_k / D_x}{n(n+1)} \quad (12)$$

$$S_k = \sum_{t=1}^k [X_i] - \bar{X} \quad (13)$$

Où :

$k = 1, \dots, N$  et  $D_x$  exprime l'écart type de la série.

Si  $H_0$  est rejetée, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par cette formule. En plus, la variable  $S_k$ , selon cet Auteur s'adapte avec une distribution normale de moyenne nulle.

#### II.1.2.3.4. Segmentation d'Hubert

L'idée générale de la conception de ce teste vient de la répartition de la série en  $m$  segments (Hubert et al., 1989).

Où :  $m > 1$  et la moyenne de chaque segment doit être différente de la moyenne du segment(s) voisin.

Cette procédure est définie de la manière suivante.

Pour la série  $X_i$ ,  $i = i_1, i_2$  avec  $i_1 \geq 1$  et  $i_2 \leq N$ .

A partir d'une classification en segments, On détermine :

-  $I_k$ ,  $K = 1, 2, \dots, m$

-  $N_k = I_k - I_{k-1}$

$$X_K = \frac{\sum_{i=i_{(k-1)}+1}^{i=i_k} X_i}{N_K} \quad (14)$$

$$Dm = \sum_{K=1}^{K=M} d_K \tag{15}$$

$$D_k = \sum_{i=i_{(k-1)}+1}^{I=I_K} ([X_i - \bar{X}_k])^2 \tag{16}$$

Les moyennes de deux segments contigus doivent être significativement différentes, par conséquent l'application de la loi de Scheffé devient nécessaire (Dagnelie, 2013).

II.1.2.3.5. Calcul des variations moyennes

$$D = \left[ \left( \frac{\bar{X}_j}{\bar{X}_i} \right) - 1 \right] \times 100 \tag{17}$$

Où D est le déficit pluviométrique,  $\bar{X}_j$  représente la moyenne après la rupture et  $\bar{X}_i$  est la moyenne avant la rupture.

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux 2 et 3 et 5

Tableau 5: Application des Testes statistiques

station	Période	Segmentation (Aubert)					Buishand H <sub>0</sub>	Pettitt Année	Lee et Heghinian Année
		Début	Fin	MoyAv	Moya	D			
Chélia	1974-2009	1974 1993	1992 2009	476,365	404,7	403,7	Rejetée	1992	1992
Yabous	1974-2009	1974 1993	1992 2009	424,405	346,5 3	345,5 3	Rejetée	1992	1992
Toufana	1974-2009	1974 1992	1991 2009	421,52	342,6 6	341,6 6	Rejetée	1991	1991
Bouhmama	1974-2009	1974 1993	1992 2009	460,37	389,9 2	388,9 2	Rejetée	1992	1992
Medina	1974-2009	1974 1993	1992 2009	414,98	355,1	354,1	Rejetée	1992	1992
Timgade	1974-2009	1974 1993	1992 2009	334,805	269,7 7	268,7 7	rejetée	1992	1992
Babar	1974-2009	1974 1992	1991 2009	370,3	264,6 3	263,6 3	rejetée	1991	1991
A. Mimoun	1974-2009	1974 1992	1991 2009	374,705	277,7 6	276,7 6	rejetée	1991	1991
Sidi Maanceur	1974-2009	1974 1992	1991 2009	281,825	199,6 2	198,6 2	rejetée	1991	1991
Kheiran	1974-2009	1974 1993	1992 2009	245,575	180,8 7	179,8 7	rejetée	1992	1992
Tkout	1974-2009	1974 1992	1991 2009	255,075	185,2 8	184,2 8	rejetée	1991	1991
F. El gherza	1974-2009	1974 1992	1991 2009	68,14	44,58	43,58	rejetée	1991	1991
A. Touta	1974-2009	1974 1992	1991 2009	289,89	228,2 5	227,2 5	rejetée	1991	1991
Biskra	1974-2009	1974 1992	1991 2009	112,54	81,67	80,67	rejetée	1991	1991
Bouzina	1974-2009	1974 1992	1991 2009	240,605	177,5 5	176,5 5	rejetée	1991	1991
Mena	1974-2009	1974 1992	1991 2009	271,84	215	214	rejetée	1991	1991
Tifelfel	1974-2009	1974 1992	1991 2009	209,175	167,8 6	166,8 6	rejetée	1991	1991
Batna	1974-2009	1974 1992	1991 2009	357,945	260,4 2	259,4 2	rejetée	1991	1991
Chechar	1974-2009	1974 1992	1991 2009	234,615	164,6 8	163,6 8	rejetée	1991	1991
Djemoura	1974-2009	1974 1992	1991 2009	129,115	98,57	97,57	rejetée	1991	1991
Mziraa	1974-2009	1974 1994	1993 2009	46,975	33,71	32,71	rejetée	1992	1993
Khanguet .S.N	1974-2009	1974 1992	1991 2009	48,375	29,21	28,21	rejetée	1991	1991
Th. Labed	1974-2009	1974 1992	1991 2009	268,55	195,3 3	194,3 3	rejetée	1992	1991
Doucen	1974-2009	1974 1992	1991 2009	62,19	45,14	44,14	rejetée	1991	1991
Merouana	1974-2009	1974 1992	1991 2009	289,99	205,5 1	204,5 1	rejetée	1991	1991
Tazoult	1974-2009	1974 1992	1991 2009	310,89	231,4 1	230,4 1	rejetée	1991	1991
Ktef.Souda	1974-2009	1974 1992	1991 2009	147,5	110,8 4	109,8 4	rejetée	1991	1991
Boudela	1974-2009	1974 1992	1991 2009	202,63	156,2	155,2	rejetée	1991	1991
O. Chlih	1974-2009	1974 1992	1991 2009	298,885	220,2 7	219,2 7	rejetée	1991	1991
N'gaous	1974-2009	1974 1992	1991 2009	245,41	300,6 7	299,6 7	rejetée	1991	1991
A. Beida	1974-2009	1974 1992	1991 2009	271,785	219,9 7	218,9 7	rejetée	1991	1991

Au niveau de toute notre zone d'étude et pour l'ensemble des tests, la rupture s'est produite durant les Années 1991 et 1992 pour la plupart des postes pluviométriques.

Cette rupture détermine deux phases distinctes, la première est dominée par les influences humides dont l'écart entre les moyennes arrivent pour certains stations 100mm, alors que l'écart dans la deuxième phase présentes des valeurs faibles ce qui montre l'influence des tendances pluviales sèches.

#### II.1.2.3.6. Calcul de déficit (ou excédent)

Le déficit est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$D = M_{ap} - M_{av} / M_{av} \quad (18)$$

D : Déficit

M<sub>av</sub>: moyens avant la rupture

M<sub>ap</sub>: moyens après la rupture

L'application des différents tests a montré la présence de deux phases pluviales La première phase pluviale caractérisée par un comportement humide tandis que la deuxième apparait déficitaire.

Les déficits pluviométriques au cours de cette période sont considérables et importants pour l'ensemble des stations, par exemple la station de Siar à enregistrée un déficit de plus de 39%. Seulement la station de N'gaous qui présente un excédent (22,52%)

Les stations situées sur des altitudes plus élevées dont l'exposition est nord, enregistrent des déficits inférieurs à 20%. (Tab.5).

Au final, on peut dire que la zone atteste une décroissance aigue dans les quantités des pluies au cours de la série chronologique et notamment après 1991.cette situation va produire un régime d'écoulement probablement varié entre les deux phases.

#### II.1.2.3.7. Indice Pluvial

Pour enrichir cette étude et mieux doter a notre étude plus d'arguments, on a calculé L'indice pluviale défini, comme une variable centrée réduite (P.J. Lamb, 1982) :

$$IPS_a = (P_a - P_m) / \sigma_p \quad (19)$$

Où

IPS<sub>a</sub> est l'indice de pluie standardisé de l'année a,

P<sub>a</sub>: la pluviométrie de l'année a, P<sub>m</sub> la pluviométrie annuelle moyenne sur la période de référence (1974-2009).

σ<sub>p</sub> : l'écart-type de la pluviométrie sur la même période de référence.

Cet indice traduit un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence. Il met également en évidence l'intensité du déficit ou de

L'excès pluviométrique (A. Medjerab, 1998 ; J.A. Hevesti et al., 1992) le déficit pluviométrique correspond à la différence entre la pluie d'une année donnée et la normale sur une période longue (dans notre cas 36 ans).

Les tests statistiques de détection des ruptures sont présentés sur les Tableaux 6 et 7.

Tableau 6: Résultats de Calcul de l'indice pluvial (1993-2009)

STATION	> 2- Extrêmement Sec	de-1,5 a-1,99 Très sec	de-1,0 a -1.49 Modérément sec	De 0,99 a 0,99 Proche de la normale	de1,0 a 1,49 Modérément Humide	De 1,5 a1, 99 Très Humide	< 2,0 Extrêmement humide
S. Naji		1	5	25	4		1
Babar			6	23	6		1
Tkout	1	1	5	22	5	1	1
Tifelfel			10	18	6	1	1
F. Gherza		1	4	23	5	1	2
Medina	1	1	5	23	5		1
Chelia		1	6	21	5	3	
Timgad	1	1	2	25	4	1	2
Tazoult		3	1	24	5	3	
S.Manser		2	5	23	4	2	
Siar			4	26		6	
O. Chlih		2	3	21	9	1	
N'Gaous			5	23	6	1	1
Merouana			6	23	4	3	
A. Mimoun	1	2	5	21	4	3	
K. Souda			3	27		5	1
Boudela		2	4	23	5	2	
Kheiran			6	24	3	1	2
Bouhmama	1	1	3	24	6	1	
Chechar			6	24	4		2
Th. Abed		3	3	23	4	2	1
Batna		3	4	22	7		
Doucen		1	1	29	1	2	2
Bouzina		1	5	26	1	1	2
Mena		2	5	22	2	2	3
Djamoura			4	25	5		2
Biskra			8	22	3	3	
Yabous		1	5	24	3	3	
A. Touta		2	5	22	4	3	
A. Bida		2	7	23	2	2	
Mziraa	1	2	3	23	5	1	1
Toufana		2	5	23	5	1	

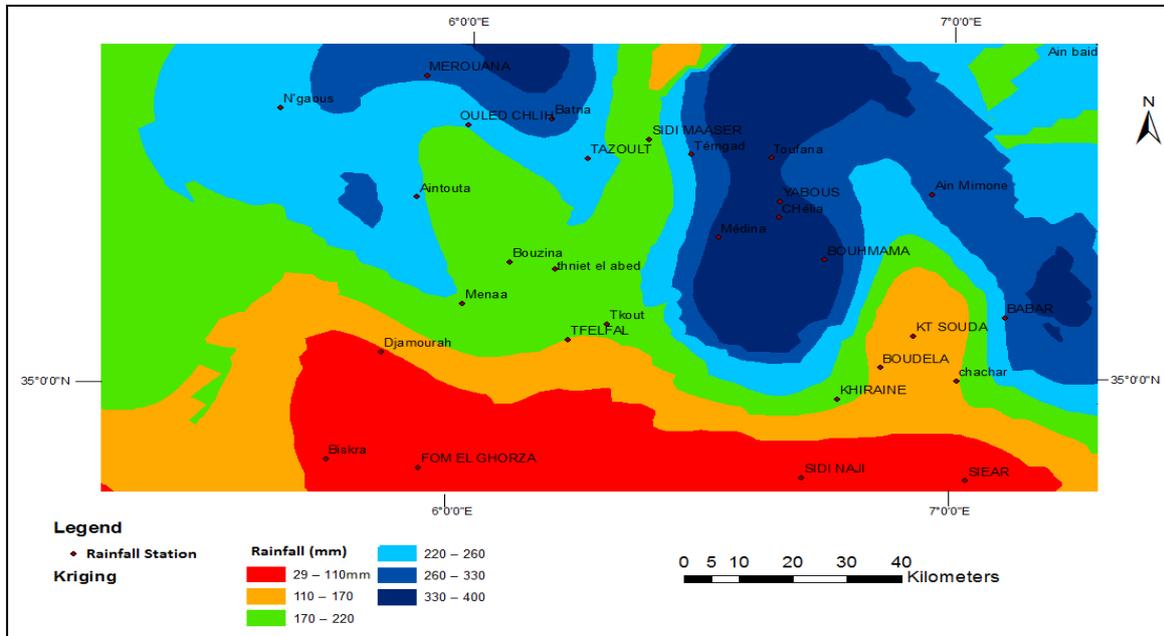
Tableau 7: Résultats de calcul de l'indice pluvial (1972-1992)

Station	> 2- Extrêmement Sec	de-1,5a-1,99 Très Sec	-1,0 a -1.49 Modérément Sec	De -0,99 a 0,99 Proche de la normale	de1, 0 à 1,49 Modérément Humide	de1, 5 à 1,99 Très Humide	< 2,0 Extrêmement Humide
S. Naji				13	4		1
Babar				11	6		1
Tkout				11	4	2	1
Tfelfal			1	11	4	1	1
F. Igherza				10	5	1	2
Médina			1	12	4	1	
Chélia			1	15	2		
Timgad			1	11	4	1	1
Tazoult				10	6	2	
S. Manser				13	3	2	
Siar				12	1	5	
O. Chlih				9	8	1	
N'gaous			3	15			
Merouana				11	4	3	
A. Mimoun				11	4	3	
K. souda				12		5	1
Boudela				11	5	2	
Kheiran				13	3	1	1
Bouhmama				11	6	1	
Chahar				12	3	1	2
Th. Abed				15	4	2	1
Batna				12	5	1	
Doucen		1		13	1	1	2
Bouzina				14	1	1	2
Mena		1	1	11	1	1	3
Djamoura				11	5		2
Biskra				13	2	3	
Yabous			1	13	2	2	
A. Touta				11	4	3	
A. Bida				13	2	3	
Mziraa				12	4	1	1
Toufana				12	5	1	

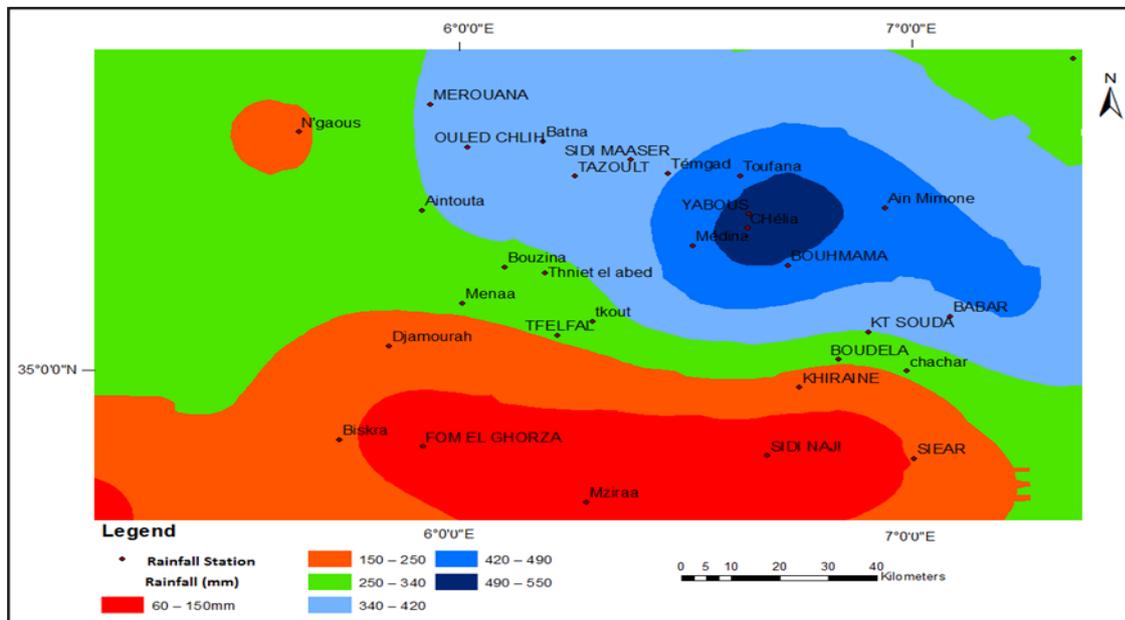
Les valeurs de l'indice pluvial demeurent centrées sur la catégorie « proche de la normale ». Par ailleurs, la fréquence des années varie de (18 à 29 ans), soit environ de (51 à 82%) pour la période (1974 - 2009), Notons que les stations de la zone aride et semi-aride ont enregistrées des fréquences faibles, alors que les classes (moyennement humide, modérément sec) renferment un nombre d'années relativement équilibré.

Pour la période (1974-1991) il est constaté que les valeurs de l'indice pluviel se situent dans l'intervalle (0-2) qui traduit la dominance des effets humides, en revanche, la phase (1992-2009) montre nettement le déplacement vers les effets secs (Fig.11).

La distribution spatiale des pluies annuelles a été élaborée a partir des résultats d'application de la segmentation d 'Hubert :



**Figure 10: Isohyètes de la phase1974-1991**



**Figure 11: Isohyètes de la phase (1992-2009).**

L'examen de la figure10 a montré l'irrégularité dans la distribution des pluies entre le nord et le sud, avec un écart significatif qui commence à s'élargir dès qu'on avance

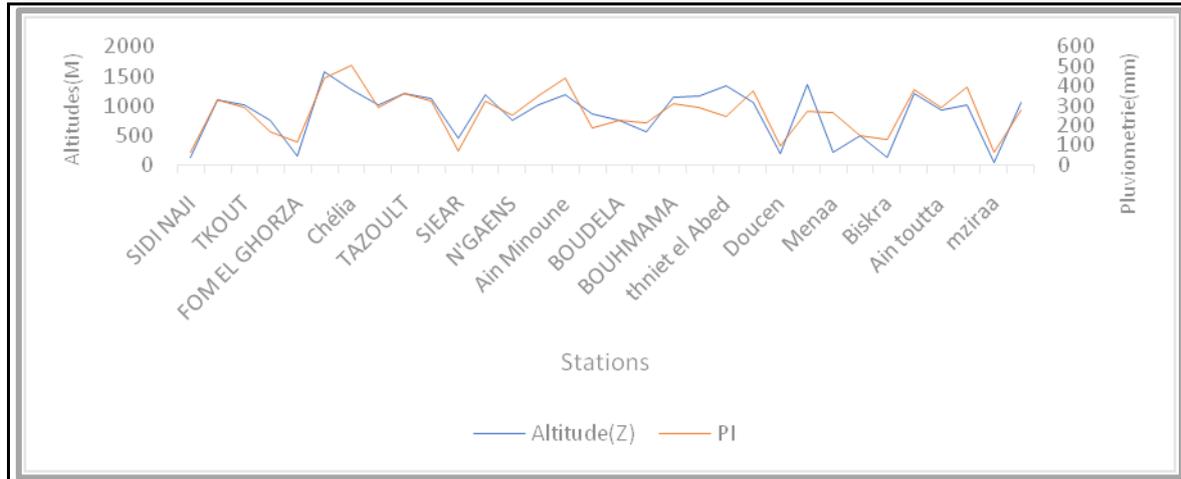
vers les stations du sud. Cette observation est interprétée par l'effet de l'altitude (Fig.11).

La figure.11 met en exergue une baisse remarquable de la pluviométrie dans le massif des Aurès au cours de la période étudiée. Cette baisse est marquée par une forte extension en surface des zones à pluviométrie de 29 et 110 mm

Nous constatons clairement qu'entre la station d'Ichemoul qui reçoit en moyenne 455mm et celle de Doucen qui enregistre 94,2mm l'écart est de 400mm, cette différenciation trouve son explication dans l'effet orographique des reliefs, en revanche les quantités minimales enregistrées caractérisent les basses altitudes à orientation méridionale, toute chose étant, par ailleurs, égale les altitudes.

Tableau 8: Distribution des précipitations selon les altitudes (1974-2010)

N	Station	Altitude (m)	PI (mm)
1	Sidi Naji	120	60,81
2	Babar	1100	333,01
3	Tkout	998	293,52
4	Tfelfal	740	162,83
5	Fom El Ghorza	140	112,08
6	Médina	1570	445,31
7	Chélia	1260,0	507,86
8	Timgad	1000	291,88
9	Tazoult	1200	365,92
10	Sidi Manser	1112,0	323,66
11	SIEAR	450	67,03
12	Ouled Chlih	1180	322,46
13	N'Gaous	750	250,48
14	Merouana	1000	348,13
15	Ain Minoune	1180	443,56
16	KT Souda	845	186,18
17	Boudela	740	222,27
18	Khirane	560	210,05
19	Bouhmama	1140	308,03
20	Chahar	1165	287,91
21	Th. Abed	1330	247,84
22	Batna	1040	378,63
32	Doucen	180	94,2
24	Bouzina	1350	270
25	Mena	213,25	263,4
26	Djamourah	485	146,25
27	Biskra	120	123,2
28	Yabous	1200	382,45
29	Ain Touta	917	288,76
30	Ain Bida	1004	395
31	Mziraa	32	60,52
32	Toufana	1040	275,6



**Figure 12: Variation des précipitations selon l'altitude.**

L'étude de la rupture à permis de situer un changement de régime pluviométrique au cours de la série, de même l'étude statistique des ruptures à permis d'observer deux phases :

La première phase est dominée par des influences humides alors que la deuxième phase présente des tendances sèches, il est a noter que le nombre d'années sèches a augmenté dans la deuxième période (1993-2009) de 1 à 3 fois, pour chaque station. Ainsi que, la pluviométrie est distribuée de manière inégale sur la région et sa répartition géographique devient contrôlée essentiellement par l'altitude.

Les résultats obtenus nous amènent à valider l'hypothèse de changement climatique et plus spécifiquement l'installation d'un déficit pluviométrique dans notre zone étudiée.

II.1.2.3.8. Répartition moyenne mensuelle des précipitations :

Il y a une variabilité importante dans la pluviosité mensuelle pour toutes les stations surtout entre les stations du Nord et du Sud dans la zone d'étude.

Le tableau 9 présente les variations mensuelles des pluies dans la période (1974/1975-2009/2010).

Tableau 9: Moyennes Mensuelles des précipitations (1974-2010).

	Sept	oct.	Nov	déc.	Jan	fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juill.	Aout
Djemoura	12,69	12,29	17,16	13,99	18,73	17,27	12,21	18,35	14,60	4,82	0,88	4,68
Foum L'Gherza	10,84	10,83	15,83	9,03	12,92	10,88	13,82	11,26	8,01	4,31	0,69	3,68
Doucen	15,72	8,91	8,38	10,39	8,27	6,33	10,59	8,51	6,38	7,71	0,95	2,29
Tifelfel	22,5	16,1	14,4	13,2	12,1	15,3	13,3	17,0	14,0	8,9	4,0	13,0
Tkout	38,03	27,29	26,25	25,02	20,38	23,37	25,90	26,22	29,65	20,87	9,69	21,45
Babar	40,53	32,06	28,46	23,47	22,27	25,18	35,59	29,67	36,79	22,15	14,46	22,38
Yabous	39,02	25,61	38,14	33,79	33,16	30,53	46,14	38,58	45,28	22,02	10,57	19,62
Boudela	25,84	24,44	21,43	15,41	14,28	15,65	26,06	25,37	26,63	11,82	6,04	9,30
Kheirane	28,65	24,27	25,33	12,65	14,23	15,25	21,20	19,24	24,85	12,76	4,26	7,35
Kh s. Nadji	8,62	11,04	5,78	4,67	8,03	4,06	2,97	5,58	6,01	1,60	0,26	2,21
Batna	43,43	28,75	35,11	37,35	35,08	29,99	39,53	41,28	40,08	22,98	9,01	16,04
Ouled Chlih	36,89	26,70	33,70	37,15	30,17	28,85	32,97	33,38	31,08	12,79	5,06	13,71
Merouana	32,87	29,70	30,18	39,76	31,63	28,49	40,78	41,55	42,25	17,30	4,45	9,17
N'gaous	31,67	27,31	23,33	23,41	23,41	19,70	26,30	30,17	24,97	9,73	3,23	7,24
Tazoult	36,36	28,98	36,69	34,34	37,05	31,69	39,14	40,43	39,96	19,58	5,14	16,56
S Mancer	31,66	22,78	29,71	30,59	38,24	26,01	33,72	34,75	34,27	20,94	7,16	13,84
Bouhmama	41,92	32,08	38,66	36,84	36,65	32,65	43,04	36,00	41,89	26,27	13,91	28,11
Medina	47,93	35,90	42,49	43,41	37,87	32,33	44,90	41,51	46,87	27,23	13,34	31,53
Chelia	45,98	33,26	48,31	50,17	53,57	40,40	61,76	46,40	54,33	30,11	13,15	30,43
Toufana	32,70	22,11	22,28	23,65	26,42	20,13	30,03	28,93	35,84	16,27	5,56	11,67
Ain Mimoune	37,27	35,78	40,55	40,70	38,27	36,77	55,08	44,13	50,65	23,45	13,74	27,17
Mena	34,9	27,0	26,9	30,6	21,5	22,0	28,9	22,5	22,6	12,1	3,8	10,7
Bouzina	41,8	35,0	30,3	25,9	39,1	26,3	29,4	31,7	28,2	17,3	5,0	11,9
Th Abed	40,0	23,6	20,4	23,9	16,9	21,5	26,4	25,8	20,9	12,6	4,5	11,4
Siar	6,38	9,55	8,53	4,27	5,62	6,79	6,99	7,57	4,45	4,47	1,57	0,83
Chechar	39,66	26,73	32,14	16,60	21,56	22,48	31,07	29,86	26,00	17,95	12,33	11,52
Ktef souda	29,07	19,28	15,93	13,67	11,77	14,44	12,15	19,14	19,22	12,97	12,58	5,97
Mziraa	7,44	4,62	4,24	4,89	8,87	9,08	8,37	3,59	2,38	3,52	0,33	0,30
Timgad	33,80	22,99	22,32	24,18	25,84	20,93	31,37	33,57	38,59	13,90	9,43	14,98

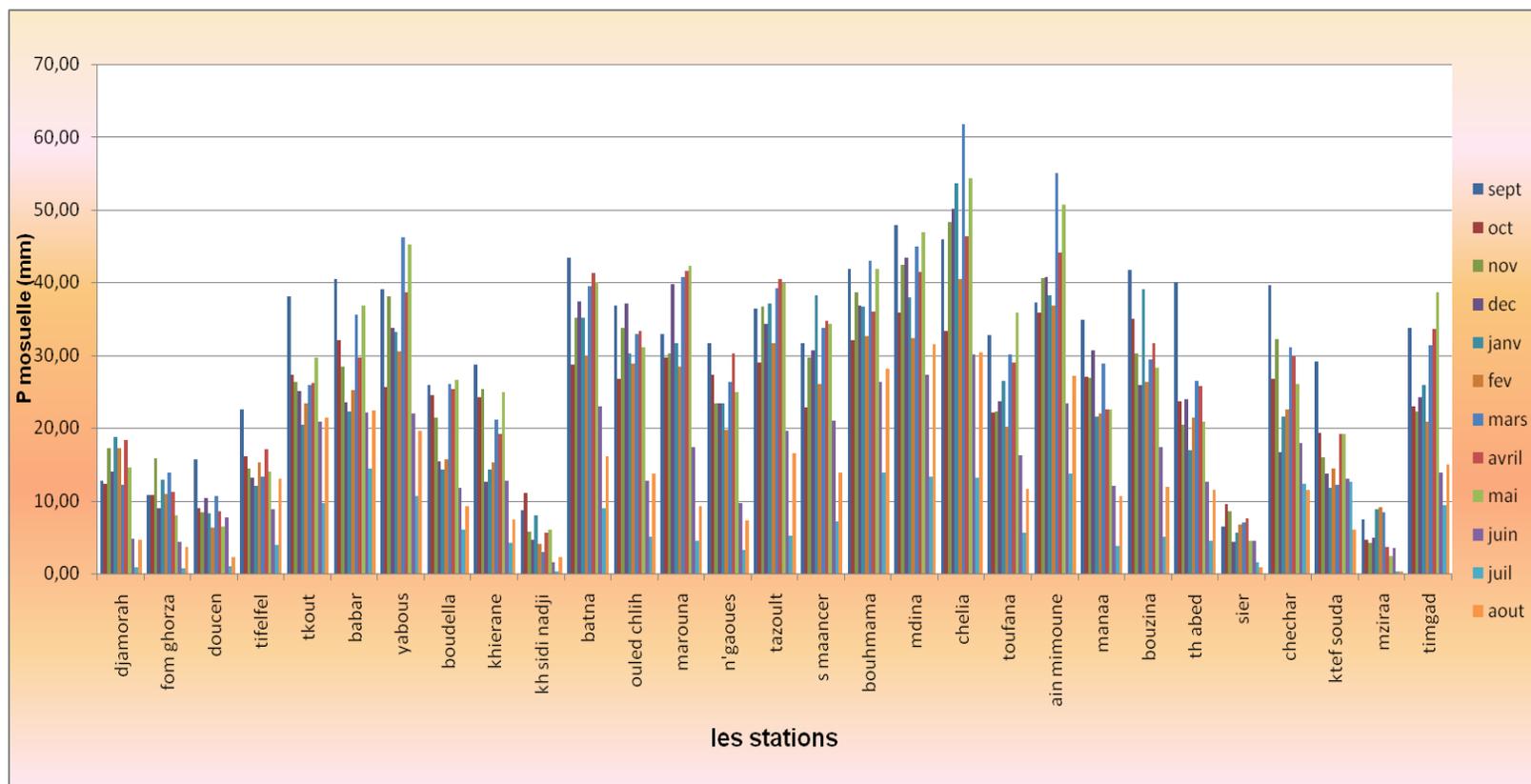


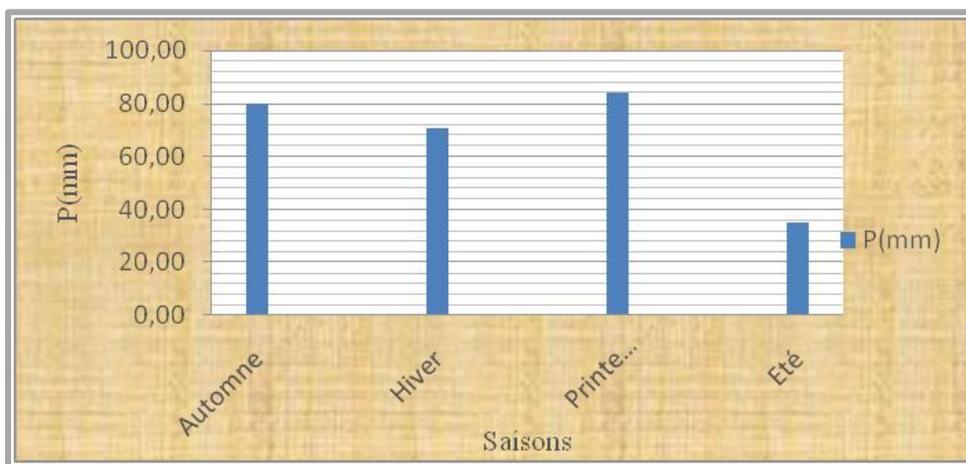
Figure 13: Répartition moyenne mensuelle des précipitations (1974-2010)

Le tableau 9 et la figure13, montrent l'importance de la quantité de pluie reçue au mois de septembre pour l'ensemble des stations. Par ailleurs, la valeur maximale de la pluie mensuelle est de l'ordre de 47mm et enregistrée à la station de Chelia, tandis que le mois de juillet reçoit les quantités minimales, ainsi que la valeur la plus faible de la pluie est observée dans la station de khanguet sidi Nadji (0,26mm), Cette observation exprime nettement l'influence du gradient altitudinale.

II.1.2.3.9. Répartition moyenne Saisonnière des précipitations :

L'étude de la pluviométrie saisonnière est nécessaire pour comprendre la genèse et l'accélération de certains phénomènes érosifs.

La figure 14, présente les quantités de pluie de chaque saison :



**Figure 14 : Répartition moyenne mensuelle des précipitations (1975-2010)**

La distribution saisonnière des précipitations montre que le maximum saisonnier (Fig.14) se situe au printemps (82mm) suivi par un maximum secondaire (68mm) à l'Automne, l'été (26mm) étant la saison la plus sèche. En outre l'hiver est lui aussi relativement pluvieux avec (64 mm) en moyenne.

Tous les chercheurs insistent sur la contribution efficace de la tranche saisonnière précipitée dans les phénomènes liés à l'écoulement (A. Mebarki, 2004 ; B. Touati, 2010).

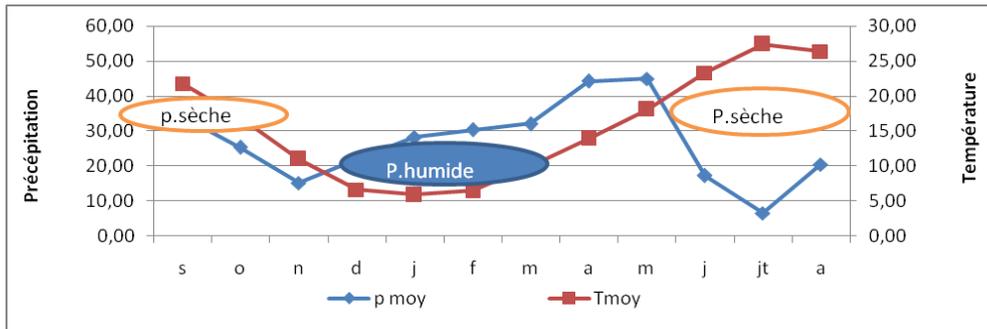
**II.1.3. Indices climatiques**

De nombreux indices climatiques sont proposés, les plus courants sont basés essentiellement sur la température et la pluie, c'est le cas du quotient pluviométrique d'Emberger (Emberger, 1930, 1955 ; Sauvage, 1963) et de l'indice Xérothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) qui sont les plus utilisés.

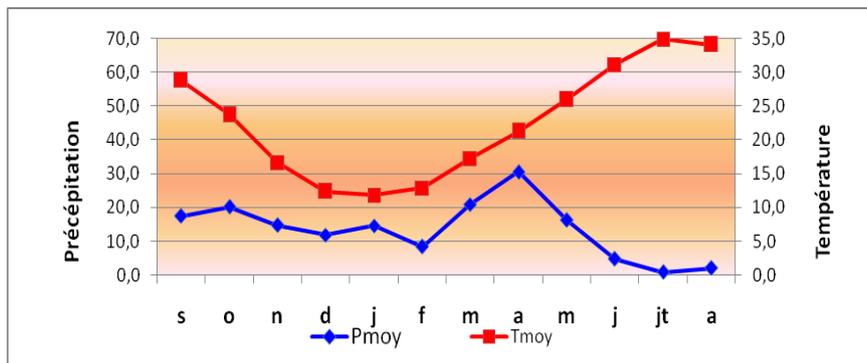
**II.1.3.1. Diagramme Ombro thermique de Gausson :**

Pour Gausson ; un mois sec est un mois ou le total mensuel des précipitations exprimé (mm) est égale ou inférieur ou double de la température moyenne mensuelle exprimée en degré (C°).

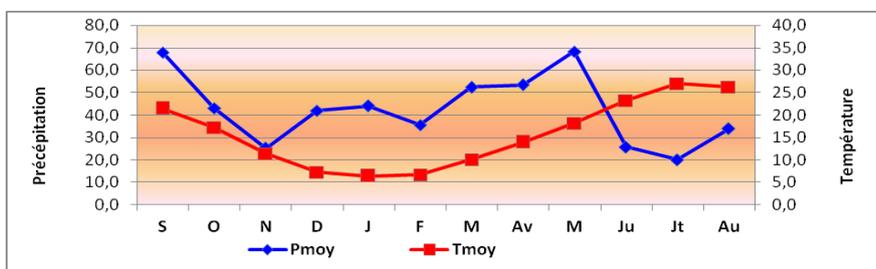
Le diagramme a été établi en associant la moyenne mensuelle des pluies et les températures de chaque station.



**Figure 15: Diagramme Ombrothermique de Gausson (Station de Batna)**



**Figure 16: Diagramme Ombrothermique de Gausson (Station de Biskra)**



**Figure 17: Diagramme Ombrothermique de Gausson (Station de Khenchela)**

En général la période sèche s'étale du mois de juin à Aout pour les trois stations alors que la période humide compte de 7 à 9 mois de Septembre à Mai. (Fig.16).

La quantité mensuelle maximale de pluie est observée sur la station de Khenchela (70mm) au mois du mai (étage semi-aride frais), alors que les minimums de précipitations s’observent sur la station de Biskra (étage aride).

II.1.3.2. Diagramme d’Emberger :

L’indice d’Emberger prend en compte les précipitations annuelles P, la moyenne des maximas de température du mois le plus chaud (M en °C) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m en °C).

Ce quotient est défini par la formule :

$$Q = 3.43 \times \frac{P}{M-m} \quad (20)$$

Q : quotient pluviométrique

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

M : température moyenne maximum (C°) du mois le plus chaud

m : température moyenne minimum (C°) du mois le plus froid

Tableau 10 : le quotient pluviométrique des trois stations étudiées

Q(quotient pluviométrique)	Batna	Khenchela	Biskra
	30,26	52,81	16,04

Pour l’ensemble des stations climatiques, les valeurs de ce quotient sont placées dans un climat semi-aride puis elles passent de cet étage aux vastes espaces désertiques sahariens. Il est noté qu’une diminution et irrégularité accrue de la pluviosité qui s’étale sur plusieurs points de la zone d’étude accompagnée d’augmentation des températures et de la longueur des périodes de sécheresse.

La figure ci-dessous présente l’étage climatique de chaque station référentielle :

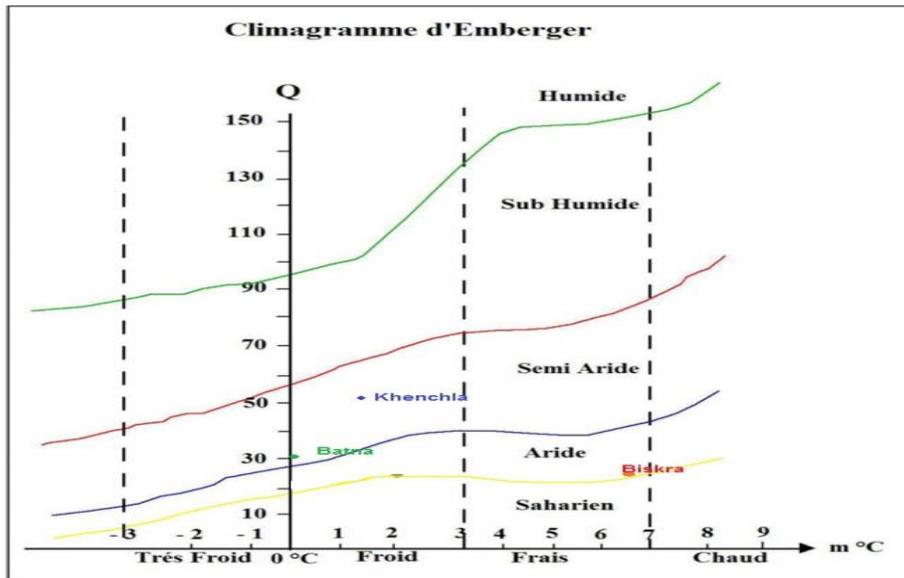


Figure 18: Zone d'étude, Climagramme d'Emberger.

II.1.4. L'Humidité relative :

Elle représente le rapport entre la partielle de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation a la même température ; les données de l'humidité des trois stations sont portées sur le tableau suivant :

Tableau 11: Humidité relative moyenne mensuelle (2005-2014)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Batna	72,5	68,2	60,5	61,2	58	47,8	40,8	44,7	57,8	61,7	66,2	73,4
Beskra	56,6	50,7	46,6	41,5	35	29,5	26,9	30,3	41,2	47,1	54,6	60,1
Khenchela	71,2	68,9	61,2	62,1	58	48,8	42,8	46,7	57,8	61,6	65,1	72,1

Source : ONM Constantine.

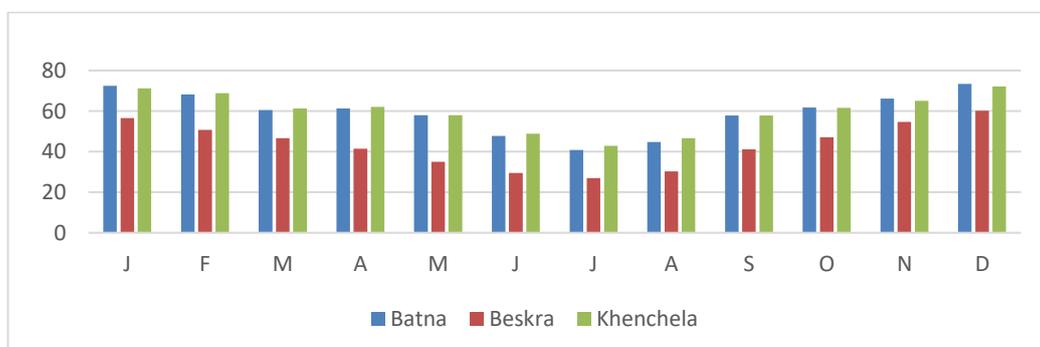


Figure 19: Humidité relative moyenne mensuelle (Stations du massif)

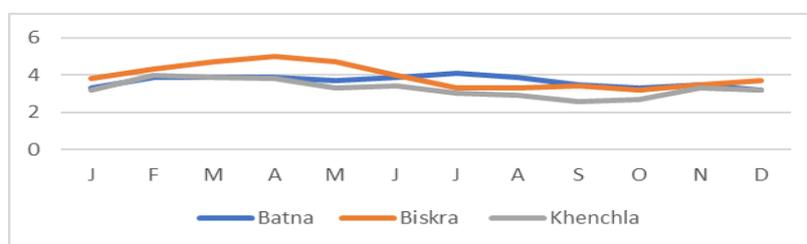
Dans l'ensemble le mois le plus humide est le mois de décembre pour les trois stations Batna (73,4%), Khenchela (72,1%) et Biskra (60,1%), Tandisque le mois le plus sec est le mois de Juillet.

**II.1.5. Les vents :**

Tableau 12: Moyenne mensuelle des vitesses du vent (2005-2014)

Mois/station	J	F	M	A	M	Ju	J	A	S	O	N	D
Batna	3,3	3,9	3,9	3,9	3,7	3,9	4,1	3,9	3,5	3,3	3,5	3,2
Biskra	3,8	4,3	4,7	5,0	4,7	4,0	3,3	3,3	3,4	3,2	3,5	3,7
Khenchela	3,2	4,0	3,9	3,8	3,3	3,4	3,0	2,9	2,6	2,7	3,3	3,2

Source : ONM Constantine.



**Figure 20 : Vitesse moyenne mensuelle des vents sur le massif.**

Les variations mensuelles des directions et des vitesses des vents découlent de la circulation générale de l'atmosphère dans la zone intertropicale. Les vitesses moyennes mensuelles des vents au niveau de Batna entre 2,7 et 4,1 m/s, avec une moyenne de 3,6 m/s. Quant à la station de Biskra, les vents ont des vitesses qui fluctuent entre 3,2 et 5 m/s, avec une moyenne de 3,9 m/s (tableau 12).

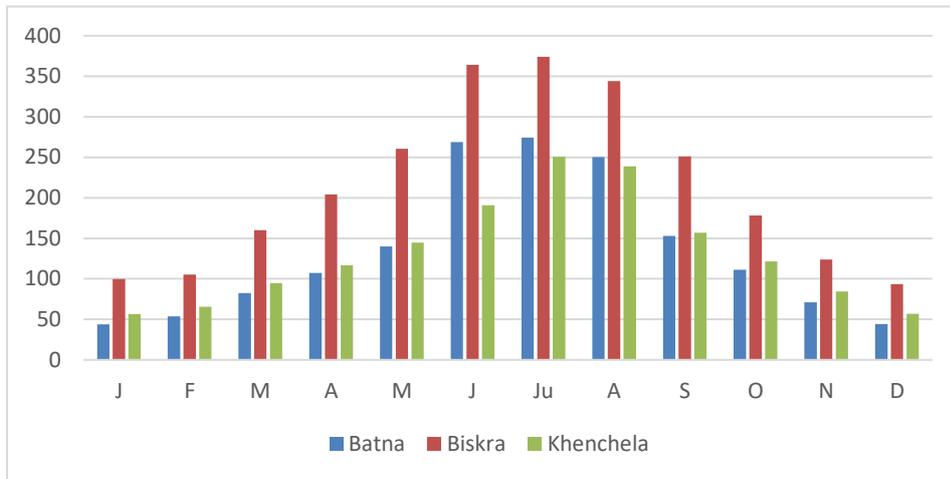
La station de Khenchela donne la moyenne la plus faible (3,2m/s). En général les vents sont plus forts à Biskra que à Batna et Khenchela.

**II.1.6. Evaporation**

Tableau 13: Moyenne mensuelle de l'évaporation sur les Stations du massif.

Evaporation	J	F	M	A	M	J	Ju	A	S	O	N	D
EN (mm)												
BATNA	44	53,6	82,5	107,3	140	268,7	274,5	250,2	153,1	111,1	70,9	44,1
BISKRA	99,6	105,3	160	204,3	260,4	364,3	374,1	344,1	251	178,1	123,7	93,3
KHENCHELA	56,4	65,4	94,7	116,9	144,7	190,6	250,6	238,7	156,9	121,3	84,4	57

Source : ONM Batna.



**Figure 21: Moyenne mensuelle de l'évaporation sur les Stations du massif.**

L'examen de la figure 21 a permis de dégager les observations suivantes :

Pour l'ensemble des stations, les valeurs de l'évaporation les plus élevées s'observent durant l'été au mois de Juillet avec Biskra (364,3mm), Batna (268,7mm) et Khenchela (260,6mm). Il est à constater que le mois de janvier a enregistré les quantités les plus faibles Batna (44mm), Khenchela (56,4mm), alors que la station de Biskra a marqué sa valeur minimale pendant le mois de décembre (93,3mm).

## CONCLUSION

L'une des caractéristiques principales de la pluviométrie, dans notre région, est sa grande variabilité interannuelle, saisonnière et mensuelle.

Les pluies annuelles se regroupent dans deux catégories variées selon la rupture observée en 1991, la première commence en 1974 et se termine en 1991 caractérisée par des effets humides tans dis que la deuxième phase est relativement sèche.

A l'échelle saisonnier, la zone d'étude se caractérise par des saisons thermiques qui semblent bien contrastées ; la saison chaude débute de Mai et s'étale a Octobre tandis que la saison froide commence de Novembre et atteint Avril et inscrit les quantités de la pluviométrie la plus importante.

La répartition mensuelle des pluies indique que la pluviosité se concentre dans les mois qui coïncident avec l'automne, par contre la sécheresse correspond avec la saison d'été. L'interprétation statistiques et graphiques nous a permis de saisir des variations et des répartitions spatiales de l'écoulement variées Généralement les Aurès connaissent une grande concentration des précipitations au cours des périodes printanières (mars, avril et mai) et automnales (septembre, octobre et novembre).

Le vent souffle pendant l'Automne et l'hiver, et la fin de l'Eté avec des vitesses significatives. L'analyse détaillée des certains paramètres climatiques montre que le climat de la zone d'étude est dominé par un climat de type semi-aride à hiver froid au Nord et aride au Sud

Les vents chargés de pluies viennent de Nord-Ouest après avoir perdu une grande partie de l'humidité sur l'atlas tellien, ils soufflent pendant l'Automne et l'hiver et une partie de printemps.

Le sirocco est un vent sec et chaud provoque une augmentation notable de la température et une chute brutale de l'humidité atmosphérique. Il peut s'observer à toutes les périodes de l'année cependant son maximum de fréquence se situe en juillet et son minimum en décembre et janvier.

## **PARTIE : 02**

## ***Chapitre I : Analyse Morphodynamique***

## **Introduction**

L'étude géomorphologique est nécessaire pour identifier les différents types d'affleurements et risques par l'analyse détaillée des mécanismes et les processus engendrant les différentes formes.

Ce chapitre est très intéressant dans la connaissance et le diagnostic de l'évolution des formes érosives, notamment l'érosion latérale. Pour cela nous avons entamé une approche diachronique qui tient compte de nombreuses photos de différents âges (périodes), et nous essayons de tenir compte des formes et des facteurs de la morpho dynamique et notamment la morpho dynamique fluviale qui servira à notre étude.

### **I.1.Morpho dynamique héritée.**

Dans la zone d'étude on peut recenser les trois types de glacis qui sont :

- les glacis d'érosion qui s'étendent essentiellement sur les altitudes moyennes.
- Les glacis couverts et les glacis d'accumulation sont très répandus sur le versant sud , ils se reposent généralement sur les roches meubles.

« Notons que les intercalations des roches cohérentes ne constituent pas un obstacle à la formation des glacis » (Ballais and Cohen ,1981).

#### **I.1.1. Les glacis :**

Y. Bellion (1986) a recensé six niveaux de glacis dans les monts de Bellezma, à quelques kilomètres de cette chaîne montagneuse vers l'Est se trouve le massif des Aurès, Qui offre le même nombre de niveaux de glacis (J.L. Ballais, 1981).

Ces formations sont variées et bien distinguées l'une de l'autre et contrôlées par plusieurs agents morphologiques, tectoniques, et climatiques.

Glacis 1 : en général est postérieur à l'Épipaléolithique il appartient pratiquement au capsien, ce glacis (terrasse), présente un matériel relativement lité.

Glacis 2 : glacis d'érosion couvert est dépourvue de croûte et d'encroûtement calcaires.

« La fin de l'élaboration du glacis 2 est marquée par un gel efficace, Une période de forte activité éolienne en rapport avec un accroissement de l'aridité, se place avant la construction de la terrasse 1 ». (J.L. Ballais 1981).

Glacis 3 : est un glacis d'accumulation, composé de croûte feuilletée, de limons et des argiles. Photo (01).

Selon R. Guiraud (1975) Ce glacis fait partie du quaternaire moyen du massif. Par ailleurs, La partie inférieure de cette formation comporte des galets roulés, ce niveau est antérieur au paléolithique supérieur.

Glacis 4 : est un glacis ancien constitue un cône, l'exemple le plus clair apparaît sur le versant sud de Chélia, présente une croûte gypseuse très développée (Photo.1).

Le niveau 5 : j'ai observé ce dépôt sur le versant sud de Dj Tanout dans la partie amont d'oued El Arab, est constitué d'une dalle calcaire à la surface et des éléments émoussés de grande taille (photo 3).

« Le glacis 6 se présente sous forme de buttes, constitué dans sa partie inférieure d'encroûtement calcaire pulvérulent, de croute zonée. Cependant la partie supérieure de ce glacis est formé de galets et blocs énormes » .

Il est à noter que la croute du piémont sud reste moins épaisse que celle du piémont nord.

Certains Auteurs : Marre A. Y., Quinifi. Y (1981) ; A. Ruellan (1967) pensent que les formes aux matériaux grossiers et à croute calcaire très importante pourraient être rattachées au Moulouyen.

La croute du glacis 4 contient un apport éolien par rapport à l'Amérien du Maroc (J. Boulaine, 1957). Ce glacis se caractérise par un climat relativement froid (R. Coque et A. Jauzen, 1965).



**Photo 1: Glacis Cône sur versant sud de Dj Tanout.**

(Latitude :35°17'3.32"N, Longitude : 6°44'21.45"E).

### **I.1.2. Coulées d'éboulis :**

Occupent les altitudes moyennes et élevées, caractérisant toutes les roches dures.

La gélér fraction, la tectonique et la morphologie des versants sont les agents responsables de la genèse et l'évolution de ce dépôt du versant, qui semble très développé dans l'Ahmar khedou et sur Dj Berdoune (Photo 2) .

### **I.1.3. Grez :**

Cette formation est très développée sur le versant nord du Dj Mahmel, et sur le sud-Ouest de Chelia, elle est également sur le Nord Est de Dj Berdoune entre 1700 et 2300m sous les Corniches gréso-calcaireux du barrémien et s'est déposée sur les calcaires du maestrichtien mais sur des surfaces très limitées. Il apparaît très claire que cette formation est nettement liée au froid , elle contient des éléments lités, anguleux et occupent généralement les pentes moyennes, entre 45 et 65% et sur les plus fortes pentes (supérieur à 65%) notamment dans les vallées étroites (Photo 2).



**Photo 2 : Coulée de Géléfracts Dj Berdoun (Valée d'Oued Labiod).**  
(Latitude : 35°16'31.99"N, Longitude : 6°32'38.11"E)

#### **I.1.4. Les Torrents :**

Ce sont des chenaux temporaires, existant dans les régions montagneuses, leur débit est très important en cas de pluies torrentielles.

Les cônes se localisent essentiellement sur les grandes vallées étroites, les plus développées. Ils apparaissent nombreux dans la vallée d'Oued Abdi, Oued labiod et sur la partie amont de Oued El Arab, sur 1400 m d'altitude (Photo3).



**Photo 3 : Cône de déjection de Dj Kef Medouar (vallée d'Oued Mellegue)**  
(Latitude :35°17'59.92"N, Longitude 6°42'49.69"E)

### I.1.5. Les Terrasses :

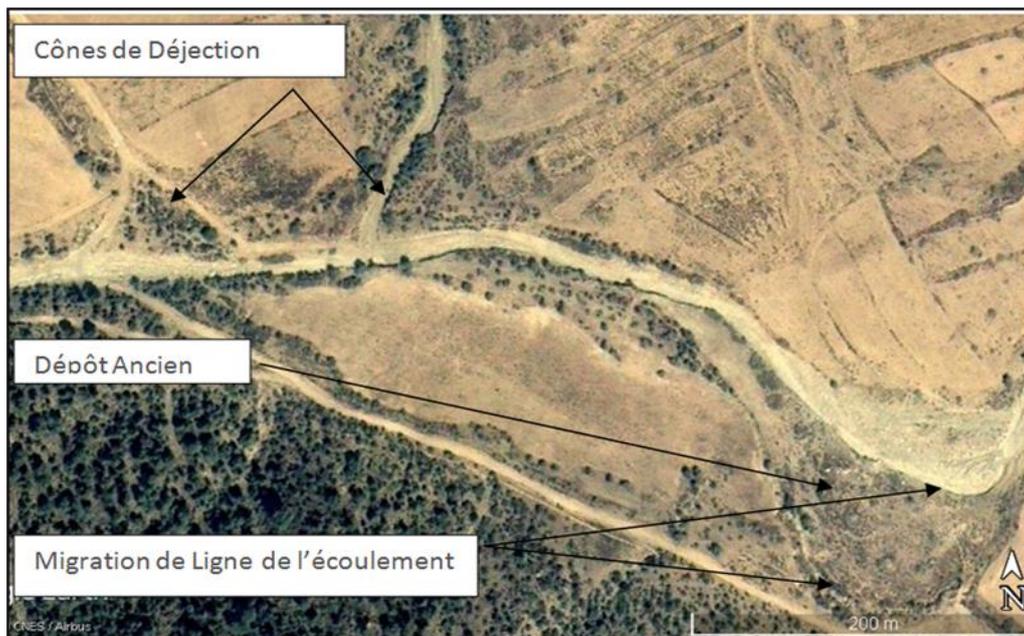
Une terrasse se forme chaque fois que le cours d'eau s'encaisse dans ses propres alluvions (reprise d'érosion): la surface du lit majeur est alors suspendue au-dessus du cours d'eau. Si le phénomène se reproduit à plusieurs reprises, on a formation de terrasses étagées ou emboîtées généralement la terrasse la plus basse est toujours la plus récente.

Une terrasse apparaît chaque fois que les rivières s'encaissent dans leurs propres alluvions la surface de l'ancien lit majeur est alors suspendue au-dessus du fleuve généralement les terrasses de la zone d'étude sont peu évoluées, le plus souvent incomplètes et se développent sur des roches et des pentes variées.

Des recherches sur certains oueds du massif ont permis de montrer qu'il s'est formé quatre niveaux de terrasses (J.L. Ballais et al. 1979 ; Y. Bellion, 1986 ; R. Guiraud ,1976)

#### I.1.5. 1. La terrasse 1 :

On constate ce type essentiellement sur les oueds principaux, elle est constituée de galets très semblables au lit mineur actuel (Photo4).



**Photo 4 : Système fluviale (Cônes, terrasses, glacis).**

(Latitude : 35°17'0.06"N, Longitude : 6°44'25.12"E)

Les matériaux de cette terrasse semblent bien stratifiés, la partie inférieure est formée de l'argile, de blocs et de galets émoussés, cependant la partie supérieure est dominée par une matrice argilo-limoneuse, de graviers et de galets sub anguleux.

#### I.1.5.2. Terrasse 2 :

C'est la terrasse inférieure de l'oued labiod et de l'oued el -Arab, l'épaisseur de cette terrasse est comprise entre 3 et 4m. (Ballais et al. 1979). J'ai observé cette terrasse sur la rive gauche de l'Oued Al Azreg aux environs de Bouzouamel à l'altitude de 850 m ; caractérisée par deux niveaux humifères séparés par des limons bruns, sables très fins, sa partie inférieure présente un lit de 40cm composé de Cailloux très compacts et encroutés.

#### I.1.5.3. Terrasse 3 :

« Peu développée, généralement appartient au pléistocène moyen » (R. Laffite, 1939). Il est à noter que la genèse des terrasses dans la zone d'étude est largement liée aux phénomènes de l'antécédence et de la surimposition, Où la surimposition correspond au déblaiement progressif d'une couverture meuble par érosion alors que l'antécédence représente le résultat de l'enfoncement d'un réseau engendré par remontée progressive du substrat. Ces deux phénomènes donnent naissance à des cours d'eau peu adaptés à la structure. J'ai remarqué sur la rive gauche d'oued El Azreg ce dépôt fluviatile peu développé.

#### I.1.5.4 La sédimentation fluviatile :

Le cours d'eau commence à transporter les matériaux enlevés par l'érosion, par ailleurs, pendant cette trajectoire le courant d'eau dispose d'énergie et puissance capable de traverser les différentes formations vulnérables, quand la vitesse et l'énergie du courant augmentent les matériaux se transportent facilement mais de façon facultative.

Les dépôts fluviaux sont appelés « Alluvions » comme les limons, sables, graviers, galets, c'est une formation détritique, qui se trouve le long de l'oued prend une forme bien cimentée, l'évolution de chaque cours d'eau passe par trois stades :

La période de jeunesse ou le cours d'eau n'a pas atteint son profil d'équilibre, l'érosion latérale est faible, et le creusement du lit apparaît très rapidement. Par ailleurs, le stade de maturité, c'est la phase dont le cours d'eau exécute son profil d'équilibre et où l'ablation latérale passe à l'érosion verticale, alors que dans la phase de la vieillesse le cours d'eau produit une large plaine inondable.

##### I.1.5.4. 1. Stratification fluviales :

La stratification est liée à plusieurs facteurs lithologiques et climatiques. Nous pouvons citer les types observables dans la zone d'étude :

Stratification en auge, inclinées, droites et entrecroisées.

La formation des terrasses fluviales est due à des variations de dynamique du cours d'eau. Cette dynamique dépend essentiellement de deux facteurs : la pente et le débit.

La formation des terrasses fluviales dépend également de la quantité de matériaux transportés par le cours d'eau et la dureté des roches sur lesquelles coule le cours d'eau.

Le climat froid à l'aide de la cryoclastie provoque une désagrégation des roches (surtout en milieu montagnard), produisant des débris qui se mobilisent par les cours d'eau constituant une couverture d'accumulation.

### **I.1.6. Cône terrasse :**

Apparaît très développé sur la rive droite de l'oued labiod près de la localité Taghit. Il est caractérisé par une matrice hétérogène et hétérométrique, Il se raccorde avec la basse terrasse. J'ai pu observer ce dépôt qui serait moins évolué sur la partie amont de la vallée d'oued El Arab. (Photo.4)

### **I.1.7. Les dépôts travertineux :**

J. Cohen et J.L. Ballais (1981) ont montré que la naissance de cette formation apparaît à la fin de l'Anapluvial Ou à la fin du catapluvial. En revanche, les croutes calcaires se forment au début, puis se déposent les travertins avant la mise en place de la croute gypseuse.

Certains auteurs distinguent Cinq phases arides au cours du quaternaire, ces phases indiquent une tendance à l'aridification croissante.

### **I.1.8. Chute des pierres :**

La cryoclastie et la tectonique jouent un rôle considérable dans la localisation, la concentration et la répartition spatio-temporelle des différentes formes des éboulements.

(R, Coque, 1962, J. Glaçon, 1967 J.L. Ballais, 1971, J.C. Bellion, 1972) attribuent les grandes ruptures au pléistocène supérieur dans le massif des Aurès. De plus, la plupart des monts calcaires et gréseux de la zone d'étude sont caractérisés par la présence d'éboulements et éboulis (col de Tizougaghin) .

La photo 5 représente un exemple très clair sur le phénomène chute des pierres.



**Photo 5 : Chute d'éboulis sur le versant Sud de Dj Chélia.**

(Latitude : 35°17'42.32"N, Longitude : 6°38'20.24"E)

Les blocs de quartzites et du calcaire du barrémien et de l'albien sont hétérométriques et occupent des distances considérables le paysage se répète de façon similaire dans plusieurs endroits.

### **I.1.9. Solifluxions :**

Il est très important de signaler la présence de solifluxions et de coulées boueuses, les plus développées attribuées au quaternaire moyen. Mais, elles restent limitées et très rattachées aux conditions locales. (Solifluxion et coulées de boue de Taoughlent, et de Ain Zatout).

La pluviosité et l'altitude intervient puissamment dans la répartition de nombreuses formations de froid comme les gréz et les génuflexions sur Idhmraoun (versant nord de Dj Berdoun).

### **I.1.10. Accumulations sableuses et limoneuses :**

Selon T. Vogt et J.L. Ballais (1981), les accumulations sableuses se trouvent largement sur le versant sud du massif alors que les dunes limoneuses caractérisent le versant nord.

### **I.1.11. Croutes :**

I.1.11.1. Les croutes gypseuses : se distinguent en trois groupes :

Certains auteurs pensent que le calcaire est apporté par le vent sous forme de poussière et qu'il est ensuite lessivé et accumulée en profondeur par les pluies ; Cette observation concerne les glacis 2 et 3 (J.L. Ballais, A. Marre, P. Rognon, 1997) .

L'augmentation du taux de gypse entraîne la diminution de la teneur en calcaire (Boyadgiev,1974 ; Djili et Daoud, 1999) .

Halitim (1986) a expliqué par ces études dans les zones arides d'Algérie, que le gypse est toujours postérieur à la calcite.

I.1.11.2. Les croutes Calcaires :

offrent un grand intérêt dans la reconstitution des conditions climatiques au cours du Quaternaire (N. Ghennam et al., 2016).

I.1.11.2.1. La croute zonaire :

D'après J. Durand (1963) l'épaisseur de cette croute arrive 10 cm, elle se trouve notamment sur les pentes moyennes. Elle s'est formée par accumulation calcaire au sein d'une nappe d'eau chargée de bicarbonate de calcium ruisselant en nappe.

I.1.11.2.2. Les carapaces calcaires :

R. Laffitte et al (1948) ont soulevés l'ancienneté de ces formations qui dataient au moins du tyrrhénien (Tensiftien du Maroc) .Alors que la genèse des carapaces calcaires due à un phénomène de remontée capillaire.

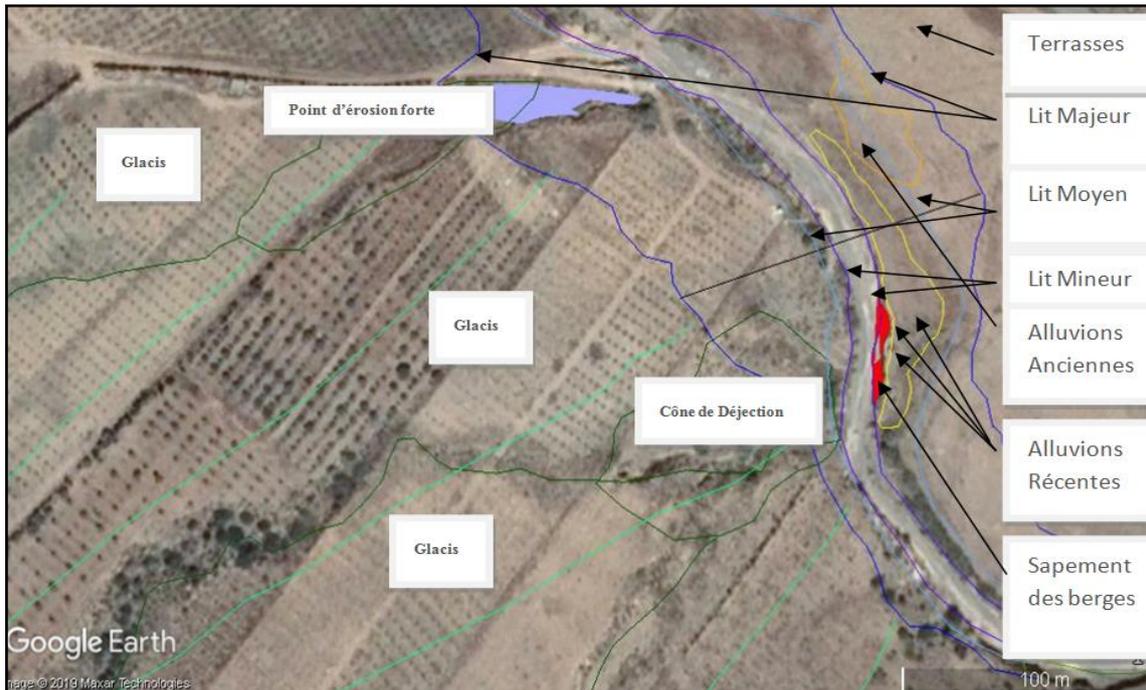
J'ai observé cette formation au niveau de la partie inferieur d'un glacis ancien prés la localité Ouled Oucif versant sud de Chélia.

I.1.11.2.3. L'encroutement diffus et Les formations pulvérulentes :

L'encroutement diffus ressemble le Gley (Halitim, 1986). Alors que les formations pulvérulentes sont très riches en calcaire et arrivent 30m d'épaisseur, très pauvre en éléments calstiques ; notons que ce type de formations caractérise les glacis 3 et 4

(J. Durand, 1953, J. Wilbert, 1962, J. Boulaine, 1957 Guiraud et J.L. Ballais. ,1975) .

J'ai pu observer ce type de formations alternées avec des argiles vertes et jaunes de 3,5 mètres d'épaisseur a Fedj Al kherj (Kimel).



**Photo 6 : Intercalation de la Morpho dynamique Héritée et actuelle d'Oued Lasker  
(Partie Amont de Oued El Areb.)**

## **Conclusion :**

La dynamique des oueds est un phénomène très attaché à l'agressivité du climat dominant et à la nature lithologique des terrains traversés par le réseau hydrographique.

L'apparition et la concentration des formes géomorphologiques dépendent des conditions hydro-climatiques, et morphologiques.

Nous avons observé que les terrasses les plus anciennes se trouvent essentiellement sur oued Labiod et oued El Arab, le long de cet oued se développe une terrasse formée de croute calcaire dans sa partie moyenne alors que sa partie basale est composée de galets et cailloutis très compactés, probablement appartient aux quaternaire ancien.

Un autre modèle se trouve sur oued Labiod relativement évolué, situé près de Tighanimine, Composé de matériaux émoussés, arrondis et volumineux. L'épaisseur des sédiments arrivent 20 mètres. Et se disposent sous formes de lits de différentes stratifications (En auge, entrecroisées).

J. L. Ballais, (1981) a recensé six niveaux de glacis sur le versant nord du massif et cinq sur le versant sud. Il est à noter que les oueds de la zone d'étude, dans l'ensemble se trouvent en position Cataclinal (conséquents) par rapport à la structure lithologique mais tous les cas existent notamment les oueds écoulant sur le versant sud du massif (Oued Tagernit et son affluent dans la localité Ighzer N'touchent s'écoule dans le sens inverse ou orthoclynal).

Dans le poljé d'El Mehmel se trouve une petite cuesta et présente les trois types d'écoulement à savoir le pendage des couches (Cataclinal, anaclinal et orthoclynal), les trois cas sont le résultat de la conjonction de plusieurs facteurs : tectoniques, lithologiques et hydrologiques. Chaque situation porte l'empreinte de l'antécédence ou de la surimposition.

Les sédiments les plus importants se trouvent dans la partie avale de Tighanimine à Mchounech le long de l'oued Labiod, l'épaisseur atteint 20 mètres, le dépôt est lité et présente une stratification rectiligne, incliné est parfois en auge, la matrice fine du dépôt est dominée par des limons, des sables et des argiles qui sont moins présentes. Voir la courbe cumulative (Annexe des figures). Les terrasses de l'amont sont moins développées et ne représentent aucun échagement ou emboîtement. La pente et la nature lithologique ne peuvent pas aider l'oued à s'enfoncer et pénétrer les roches facilement pour former des terrasses. Généralement l'épaisseur comprise entre 0,5m et 10m. Les versants de l'amont alimentent l'oued principal à travers ces affluents par un apport colluvial varié Hétérométrique et hétérogène (Photo4).

L'Oued El Arab atteste une dynamique nettement variée ce cours d'eau est le plus sinueux et constitué de plusieurs méandres formés sur terrains plats et fragiles (Marnes et Argiles), ce cours d'eau est alimenté par de nombreux torrents hérités et récents. Dans la partie amont d'oued El Arab une arboriculture intense qui s'installe et exerce un effet destructeur sur les rives et les berges de l'oued ; chaque année des quantités énormes qui disparaissent.

La dynamique d'oued El Hai partiellement ressemble à celle d'oued El Arab, en termes de nombre de méandres formés de même que l'enfoncement vertical et se développe rapidement Par rapport à l'évolution latérale.

Au final on peut dire que la dynamique fluviale la plus active caractérise oued Labiod, oued El Arab et oued El Hai, de même que cette morpho dynamique récente qui engendre des inondations et provoque l'alluvionnement de certains barrages n'est que la continuité de la morpho dynamique ancienne (héritée).

## I.2. Morpho dynamique actuelle

### I.2.1. Formes liées à la pente

La dynamique de l’oued est devenue essentielle dans de nombreux domaines de l’étude des processus d’érosion et la sédimentation des retenues ainsi que dans l’étude des crues.

La majorité des bassins versants de l’Algérie, est caractérisée par de fortes dégradations spécifiques, l’érosion par ravinement représente la forme d’érosion la plus grave qui donne des pertes spectaculaires.

Le massif des Aurès est l’une des zones vulnérables à l’action érosive de la pluie et du ruissellement, dans ces zones semi-arides, caractérisées par des précipitations très irrégulières, et orageuses, souvent intenses, qui favorisent l’érosion dans la présence de nombreux facteurs : pente, nature des roches et anthropisation.

E. Roose (1994) a proposé une classification pour l’érosion par ravinement (tableau 14).

Tableau 14: Formes d’érosion hydrique Application des lignes d’écoulement

Profondeur	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm quelques mètres de large	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

Source : E. Roose, 1994

#### I.2.1.1. Erosion hydrique linéaire

Les formes de l’érosion linéaire liée au ruissellement concentré sont nombreuses et variées :

L’érosion en griffes : Les griffes se présentent comme des stries parallèles a la pente, elles ont une largeur de 10 cm et moins de 10 cm de profondeur, (R. Mura, 1990).

Les griffes sont formées au niveau des jachères nues, (J. Greco, 1966 ; E. Roose, 1994).

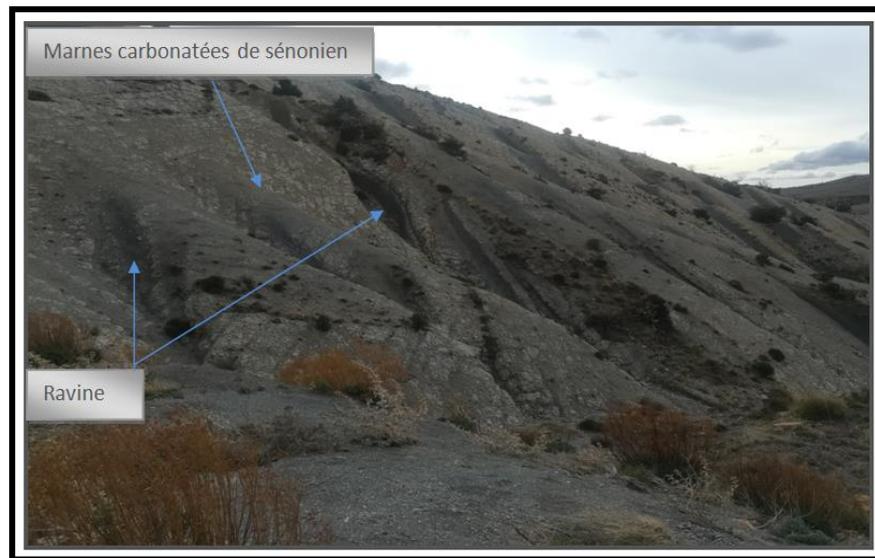
##### I.2.1.1.1. L’érosion en rigoles :

Est déterminée par une largeur comprise entre 20 et 30 cm, l’érosion en rigole se développe surtout lors des pluies torrentielles, par ailleurs elles peuvent évoluer en ravines voire même en ravins. (FAO, 1976).

##### I.2.1.1.2. L’érosion en ravines

Elle se développe dans le sens de la pente Où la profondeur minimale commence par 1m et arrive 3 mètres. Cependant la largeur atteint plusieurs mètres lorsque la longueur est très variable.

Selon la FAO, 1976. Les précipitations intenses dont la vitesse est supérieure à 60 cm/s sont capable de produire des ravines (Photo7).



**Photo 7 : Ravinement généralisé sur le versant sud de Chélia.**

(Latitude : 35°17'16.45"N, Longitude : 6°39'4.45"E).

#### I.2.1.1.3. Ravinement généralisé (Badlands) :

L'entrecroisement de ravins et de ravines, se présente comme forme organisée et hiérarchisée des chenaux. La pente apparaît forte et régulière, l'évolution du ravinement produit les bad-lands qui représentent par la suite le stade ultime. A l'échelle de la ravine.

Heusch et al (1982) ont estimé que 70% du transport solide vient des sapements des berges.

Cette formation engendrée par l'érosion diffus, Elle existe essentiellement sur un sol nu de couverture végétale faible et de lithologie meuble, dans la zone d'étude elle s'étend puissamment sur les versants formés de marnes grises. (Voir Annex des photos).

#### I.2.1.2. Mouvements de masses actives

Ce sont des déplacements de matériaux qui présentent souvent une évolution très avancée, ils sont fréquents dans le massif.

lorsque l'écoulement des matériaux atteint le point de plasticité les déplacement massifs apparaissent . La localité de Ain tin présente un modèle de solifluxions actifs très évolué et c'est développé sur une formation marneuse de cénomanien, le déclenchement de cette formation est favorisé par l'effet de l'anthropisation.

##### I.2.1.2.1. Les glissements lents (Creep) :

C'est un glissement plus au moins lent des couches superficielles, qui s'observe généralement sur les pentes fortes.

#### I.2.1.2.2. Les glissements en planche :

Ce sont des déplacements massifs des matériaux sur un plan horizontal compact.

#### I.2.1.2.3 Les glissements rotationnels :

Déplacement sous forme circulaire d'une masse relativement cohérente sur une pente forte

Sur l'axe routier Ichemoul-Chelia se trouve une série de glissements complexes (rotationnelles et en planche), cette forme de compartiments en escalier, apparait dans des formations argileuses marneuses, se développe dans la présence de certains facteurs : tectoniques, excès de l'eau et une forte anthropisation (Photo.8)



**Photo 8 : Glissement de Tzoukt déclenché dans une solifluxion**

(Latitude : 35°23'19.03"N, Longitude : 6°26'17.90"E)

#### I.2.1.2.4. Les coulées boueuses :

Quand la limite de liquidité est dépassée, un écoulement de matériaux boueux apparait et peut avoir une grande vitesse. Généralement les coulées boueuses sont caractérisées par une niche d'arrachement et une matrice hétérométrique.

### **I.2.2. Formes liées à la Dynamique de l'oued :**

#### I.2. 2.1. Unités Elémentaires fluviales (Morphologie des lits) :

Les écosystèmes hydrologiques (unités fluviales) sont constitués de :

##### I.2. 2.1.1. Lit mineur :

Partie du lit en eau pour des débits compris entre le débit d'étiage et le module (Espace occupée par l'eau et encadré par les rives.)

##### I.2. 2.1.2. Lit moyen :

Partie du lit en eau pour des débits compris entre le module et la crue de pointe, et constituée de bancs alluviaux peu ou pas végétalisés (J P. Bravard et Petit ,1997 ; ). Cet espace est souvent défini Comme une zone de stagnation de la charge alluviale.

### I.2. 2.1.3. lit majeur

Où lit d'inondation : partie de la plaine alluviale mise en eau lors de crues de fréquence moyenne à rare. Au sein de ce troisième type d'écosystème, il est parfois possible, pour des cours d'eau de rang supérieur, de distinguer des sous-systèmes, généralement constitués de formes relictuelles, témoins et indices de l'activité dynamique passée du cours d'eau, tels que les bras morts plus ou moins reliés au lit vif actuel. (Phot9. )

### I.2. 2.2. Erosion latérale et verticale des oueds et formation des méandres :

Il se produit dans les oueds une érosion latérale, conduisant à la formation d'une plaine alluviale. Ce type d'érosion apparaît quand le profil d'équilibre est pratiquement réalisé et que l'érosion verticale devient faible. Comme l'érosion latérale est fortement contrôlée par la nature des roches, la largeur de la plaine alluviale également se développe de façon faible dans les roches dures (D E. Walling and B W. Webb, 1987).

Selon J P. Bravard et Petit (1997) L'érosion des berges et la migration latérale du chenal vif dans de nombreux cours d'eau, s'effectuent selon un axe amont-aval, l'ensemble du mouvement étant appelé translation.

Le mécanisme de l'érosion latérale est lié principalement au développement des méandres (G. Brierley et K. Fryirs, 2005).

Les méandres se trouvent allongés sur l'oued, Ils sont des sinuosités très régulières qui s'inscrivent entre deux axes parallèles, chaque lobe convexo-concave succède au précédent avec une régularité parfaite, la sinuosité est très développée sur oued labiod dans sa partie amont et sur oued Teberdga mais très liée aux facteurs paléogéographiques. Alors que la sinuosité et l'évolution des méandres le long d'oued Chemora et ses affluents dépende de l'effet des conditions locaux récents.

Quand les méandres arrivent un certain rayon de sinuosité, ils se séparent naturellement sous l'effet des crues (R. Woodburn ,1949).

L'ampleur de la sinuosité est variable selon l'effet de certains paramètres hydrologiques, morphologiques et lithologiques.

Les formations lithologiques dures présentent des méandres encaissées, profondes avec une sinuosité très développées (Méandre principal de Ghoufi et Méandre de Teberdega).

Mes observations sur terrain m'avaient permis de dire que les méandres ancrés dans des formations tendres (argiles, marnes, alluvions), représentent l'image d'une dynamique érosive active dont les matériaux arrachés se déplacent sur des distances considérables (Oued l'Hai, oued Ichemoul et oued Chemora).

#### I.2. 2.2.1. Le sapement des berges :

Ce phénomène affecte beaucoup plus les berges verticales, dépourvues de la végétation, qui ont subi une dynamique importante, oued L'Hai présente un modèle de sapement très développé sur une longueur relativement continue de 20km qui commence par oued Chaaba et se termine environ de Ain Touta. Le sapement exerce son effet capital pendant la période hivernale et lors des crues ; Quand le débit du cours d'eau est important, l'accélération du sapement devient attachée à la nature lithologique des rives et de l'apport du cours d'eau en éléments constitutifs.

I.2. 2.2.2. Effondrement et glissement des berges :

Ce phénomène est très répandu sur la rive droite d'Oued El Arab. Les masses glissantes arrivent dans quelques cas 1,4 m<sup>2</sup>. Notamment les masses qui se détachent après saturation en eau et favorisées par la formation de l'encoche d'érosion et la présence de l'appel au vide après avoir été sapées à la base, leur forme verticale favorise le glissement et l'éboulement des matériaux de la partie haute de la berge ce phénomène d'appel au vide donne l'encoche d'érosion qui ressemble beaucoup plus l'encoche marine.

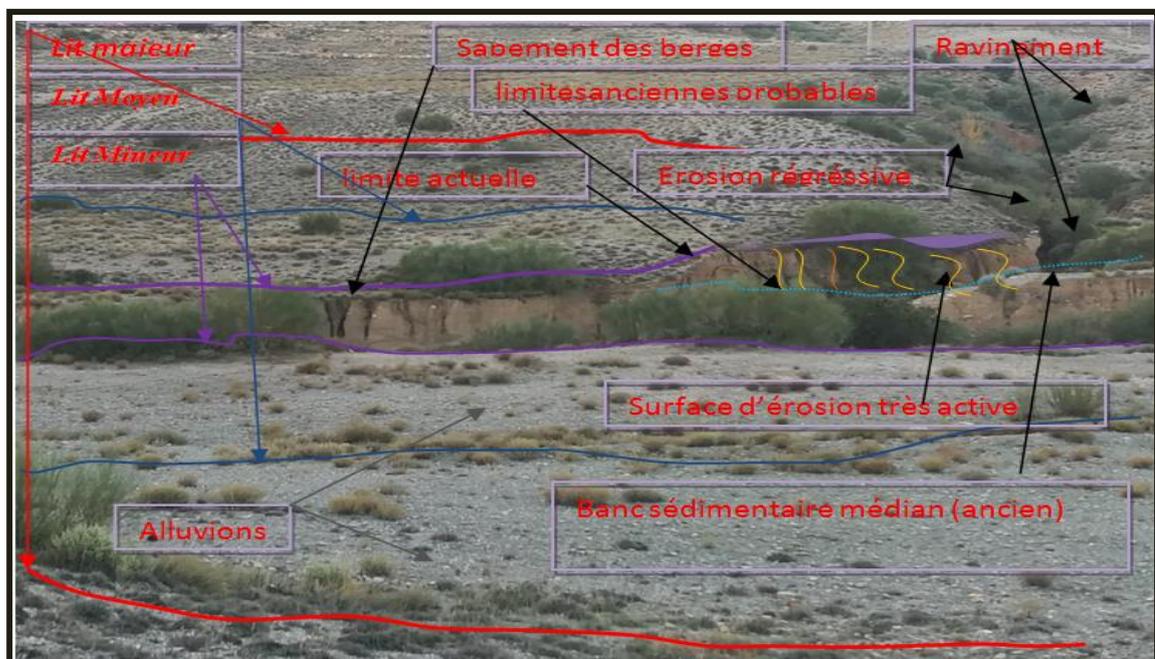
Ce type d'érosion est le stade ultime de l'érosion basale du cours d'eau, cette dynamique locale du cours d'eau disloque des quantités importantes. Plus la vitesse de l'érosion prend des valeurs importantes plus le courant est chargé en éléments abrasifs plus l'encoche se développe et les effondrements et les glissements se produisent. Voir l'Annex des photos (Photo 9, et 15).

Les visites répétitives sur terrain nous a permis d'observer des lignes et bandes de berges relativement stables, cette stabilité est due à plusieurs facteurs : lithologie résistante taux de recouvrement végétal important, et les aménagements rationnels.

I.2. 2.3. Sédimentations fluviales :

I.2. 2.3.1. Les bancs sédimentaires :

Ils sont contrôlés par le régime hydraulique du chenal, ce type de banc se trouve dans des endroits caractérisés soit par des embâcles, soit par un changement rapide d'orientation du cours d'eau, soit par une faible profondeur. On peut recenser quatre types principaux qui sont Les bancs de limons actifs, Les bancs de limons couverts, les bancs de galets, les bancs suspendus (Photo 9).



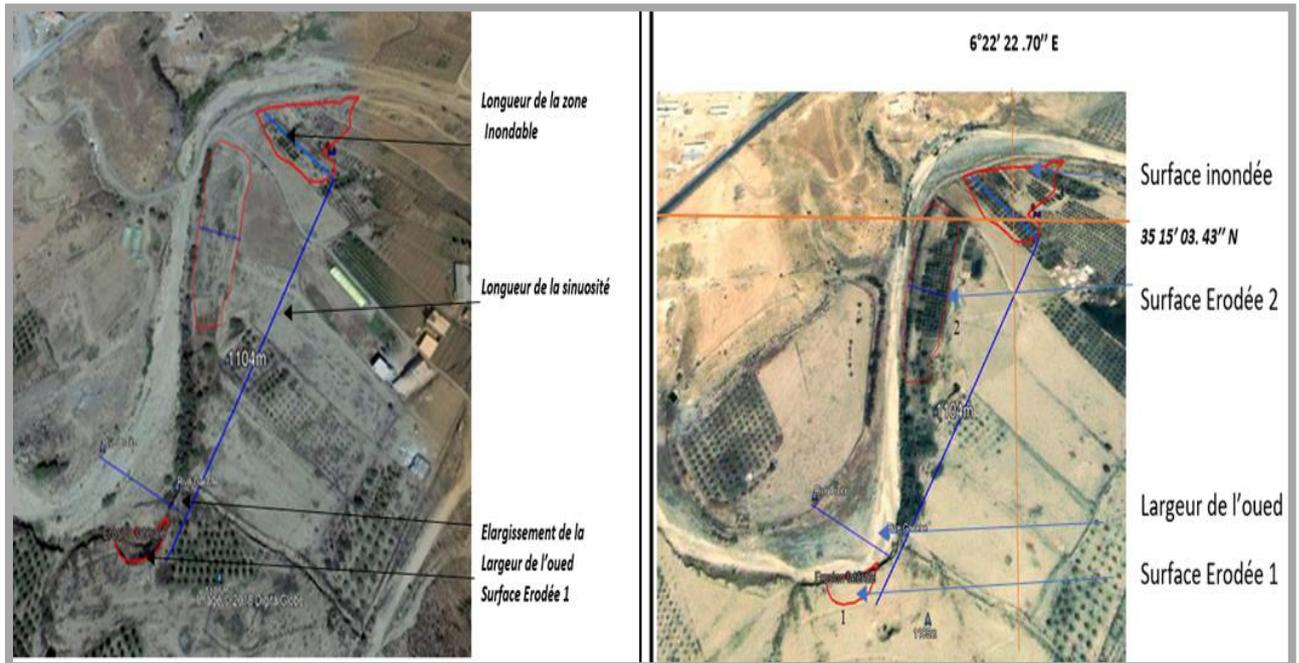
**Photo 9 : Dynamique érosive de l'oued Laskeur**

(Le régime fluvial est dominé par le caractère torrentiel, les lits de l'oued sont bien distincts).

I.2. 2.4. Evolution de la dynamique érosive des Oueds

Les figures et les photos, 21, 22,23 et 24 présentent l'évolution de l'érosion latérale et la surface érodée dans quelques points le long des oueds.

I.2. 2.4.1. Oued Labiod :

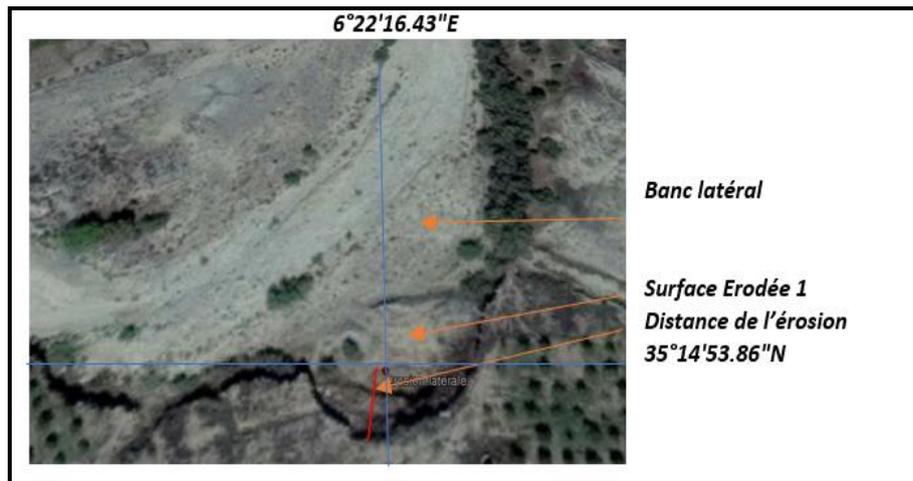


**Figure 22 : Évolution de l'érosion latérale à Oued labiod (2002 et 2017)**

L'examen de la figure 22 a montré que la rive droite a reculée avec une largeur comprise entre 5,15m et 9,5m pendant 15 ans, cette évolution latérale a engendré des surfaces d'érosion très importantes sur plusieurs points de l'oued estimées entre (15 et 450 m<sup>2</sup>).

Les superficies d'arboricultures enlevées (Fig22) étaient la conséquence de l'inondation généralisée de 2008 de certains oueds du massif.

Dans le lieu-dit El Houdjej, l'oued labiod reçoit les eaux de certains affluents et ravins pour exercer son effet érosif maximum sur les terrains marneux et alluviaux traversés, la sinuosité de l'oued est devenue très forte et sa largeur a augmentée par rapport à sa partie amont, alors que les bancs sédimentaires s'observent nombreux et très variables.



**Figure 23: Effondrement et sapement des berges.**

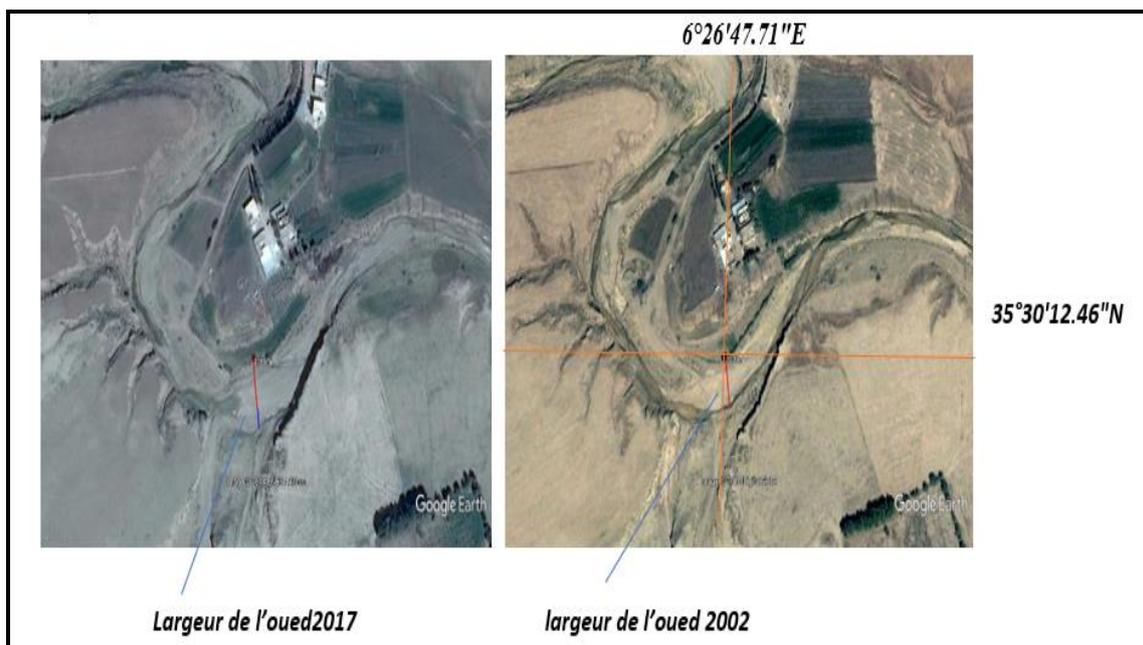
Le régime de l'écoulement est généralement turbulent sauf en quelques périodes pendant l'été, le printemps atteste une phase relativement calme.

Les versants les plus raides et le substrat rocheux facilitent la naissance des chutes et des cascades dans la partie amont de la vallée.

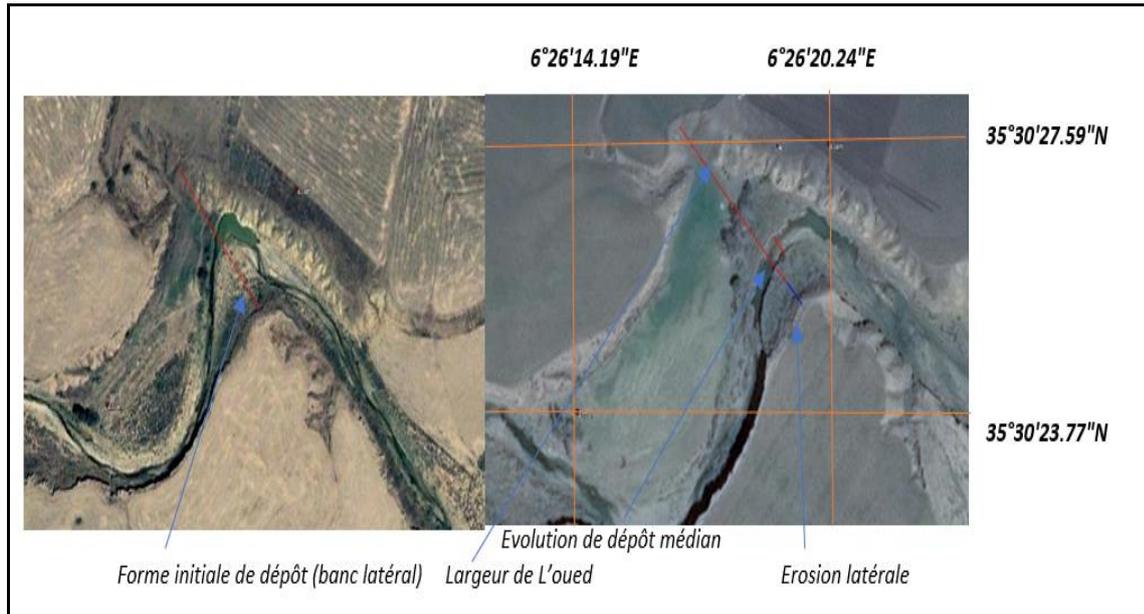
I.2. 2.4.2. Oued Chemora :

La Caractéristique principale de la dynamique de cet oued est l'évolution rapide de certaines formes:(Lits, bancs sédimentaires, terrasses)

Les deux figures suivantes expriment l'érosion latérale dans la vallée de l'oued Chemora



**Figure 24 : Évolution du méandre entre 2002 et 2018**



**Figure 25: Migration du chenal d'écoulement et mutation sur les bancs latéraux (Oued Chemora).**

L'Oued Reboa prend sa source de Dj Mehmel durant son long trajet rencontre plusieurs affluents pour former oued Chemora.

L'Oued Reboa dépose son apport solide de façon importante après avoir traversé les marnes et les argiles du plio-miocène, sur la rive droite d'oued Reboa et dans le lieu étudié (Fig.25).

Le cours d'eau a élargi son profil transversal avec 107,6m durant 15ans, Alors que sa largeur initiale était 99,27m.

La ligne des grandes vitesses prend un sens instable et variable selon certains facteurs (débit, nature lithologique et la pente du cours d'eau).

L'examen de la photographie et l'observation sur terrain (Fig25) ont montré que l'écoulement pendant 15ans avait érodé des surfaces moyennes estimées entre 100,89 m<sup>2</sup> et 200m<sup>2</sup> sur différents points.

Cette activité semble très rapide et probablement revient a la fragilité des formations marno-argileuses.

#### I.2. 2.4.3. Oued El Arab :

Cet oued est alimenté par plusieurs affluents, traverse des formations lithologiques variées, la partie amont est dominée par les calcaires, les grés et les marnes, Sa lithologie a une dominance des marnes, d'argiles et de vastes formations du quaternaire, ce qui matérialise l'écoulement par un apport sédimentaire riche, hétérométrique et hétérogène.

L'érosion latérale agit sur plusieurs points et se comporte différemment à savoir le type et les caractéristiques de l'écoulement (Photo10).



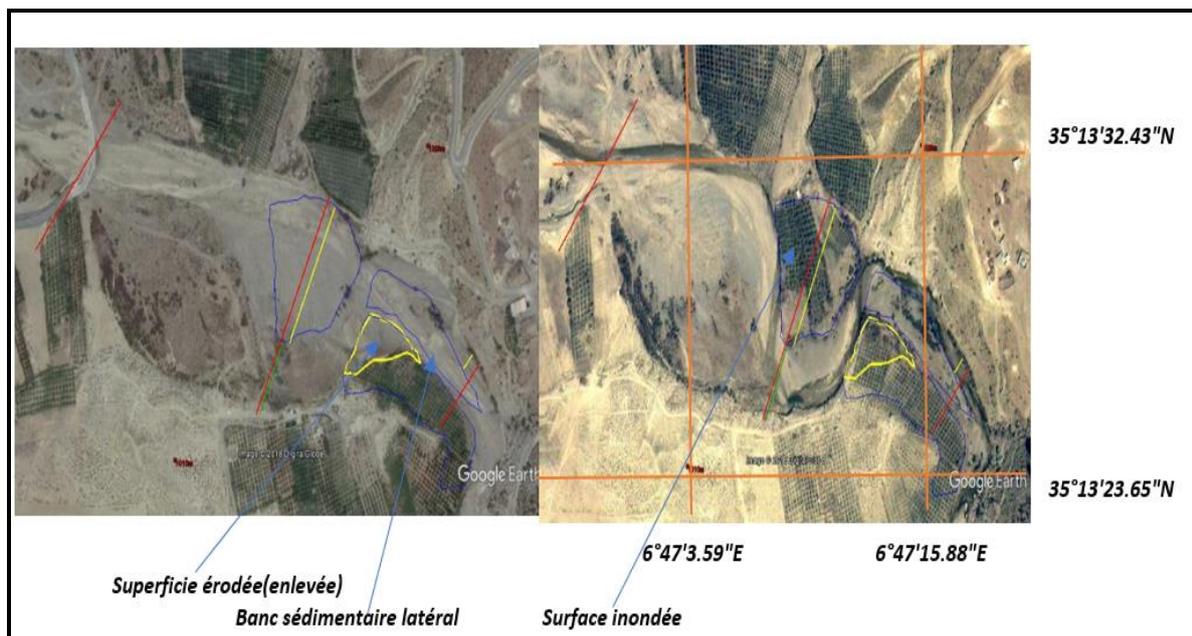
**Photo10 : Dynamique de l'écoulement et érosion régressive (Oued AL Arab)**

(Latitude : 35°13'32.33"N, Longitude : 6°47'32. 59"E).

La dynamique de l'érosion est très développée dans la partie avale. Par ailleurs, les eaux de certains oueds se rencontrent et obtiennent une force et énergie érosive forts capables de transporter, accumuler et éroder (Fig.26).

L'oued a élargi son lit dans quelques points (Fig.26) entre 0,5m et 8,39m dans une période de 11ans (2007-2018) ; Cette accélération de l'érosion n'est que la traduction de l'agressivité de l'écoulement favorisée par l'effet de certains facteurs hydrauliques (mobilisation rapide des eaux de certains cours d'eau et torrents) et lithologiques (alluvions du quaternaires, marnes grises de cénomaniennes) , par ailleurs l'érosion la plus faible s'observe lorsque l'écoulement traverse une lithologie résistante.

La figure suivante présente le comportement simultané de l'érosion et de l'inondation



**Figure 26: Dynamique d'Oued El Arab.**

La disparition d'une superficie d'arboriculture (en bleu) Fig (26) est le résultat de la crue de mai 2017 de  $250\text{m}^2/\text{s}$ .

La ligne des grandes vitesses poursuit son chemin et attaque les points les plus faibles dans la deuxième concavité de la rive droite pour enlever une autre superficie (en jaune) de  $300\text{m}^2$ .

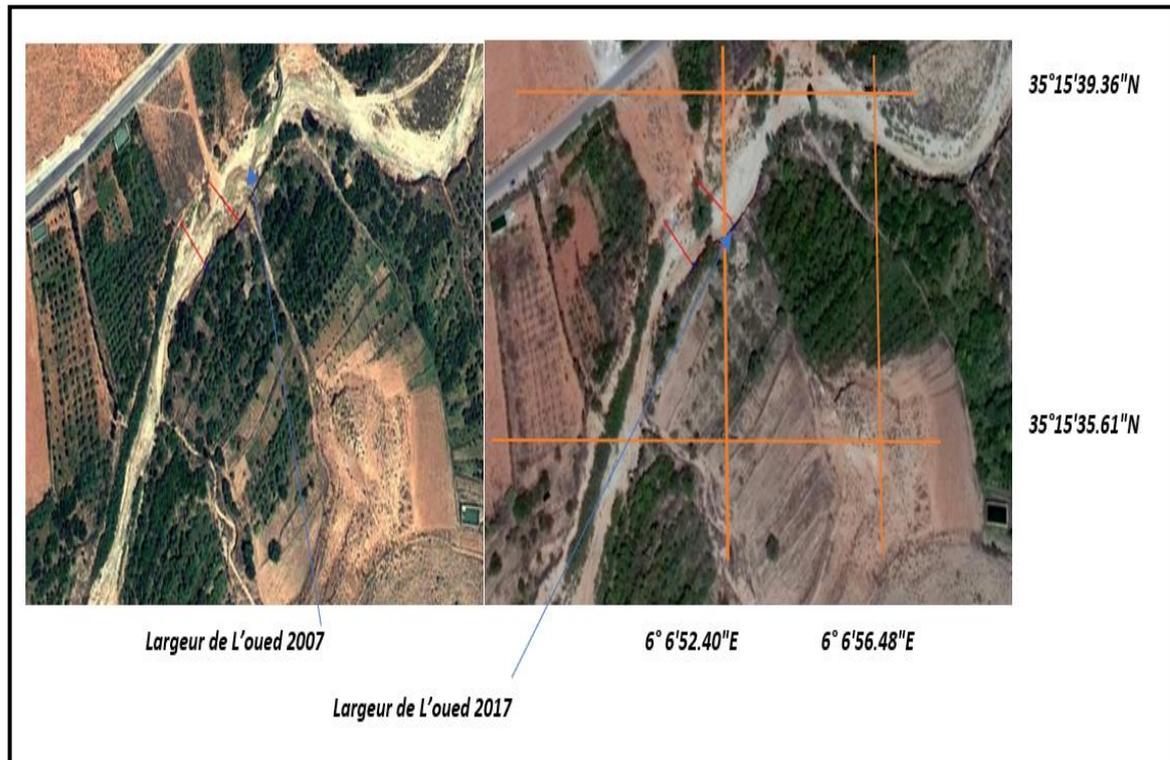
Les matériaux érodés et transportés sur des distances très longues (plus de 60km) se déposent dès que la capacité et la compétence du courant devient progressivement très faible (photo11). Il s'avère que cette vallée atteste une dynamique érosive très active.



**Photo 11 : Matériaux alluviaux hétérométriques (Oued El Arab)  
(Latitude :  $35^{\circ}15'22.24''\text{N}$ , Longitude :  $6^{\circ}46'25.72''\text{E}$ )**

#### I.2. 2.4.4. Oued Abdi :

Ce cours d'eau traverse un paysage montagneux formé de structure géologique compliquée puis une lithologie dure. Il présente une dynamique érosive faible par rapport les autres oueds en revanche, cette dynamique reste très proche de celle présentée par oued yabous. La figure ci-dessous explique l'évolution de l'érosion latérale sur un méandre.



**Figure 27: Evolution d'Erosion latérale (Oued Tagoust).**

Entre 2006 et 2018 (Fig. 27) l'oued n'a pas pu élargir son profil en largeur qu'avec quelques décimètres entre (0,12 et 1,99 m), cette faible évolution revient au développement de l'oued sur des formations résistantes.

Les terrasses sont peu développées, ne présentent aucun étagement, les méandres sont moins sinueux et Les bancs sédimentaires conservent relativement leurs formes.

#### I.2. 2.4.5. Oued Yabous :

Les figures suivantes représentent un model érosif typique qui fait apparaitre le rôle de la couverture végétale.

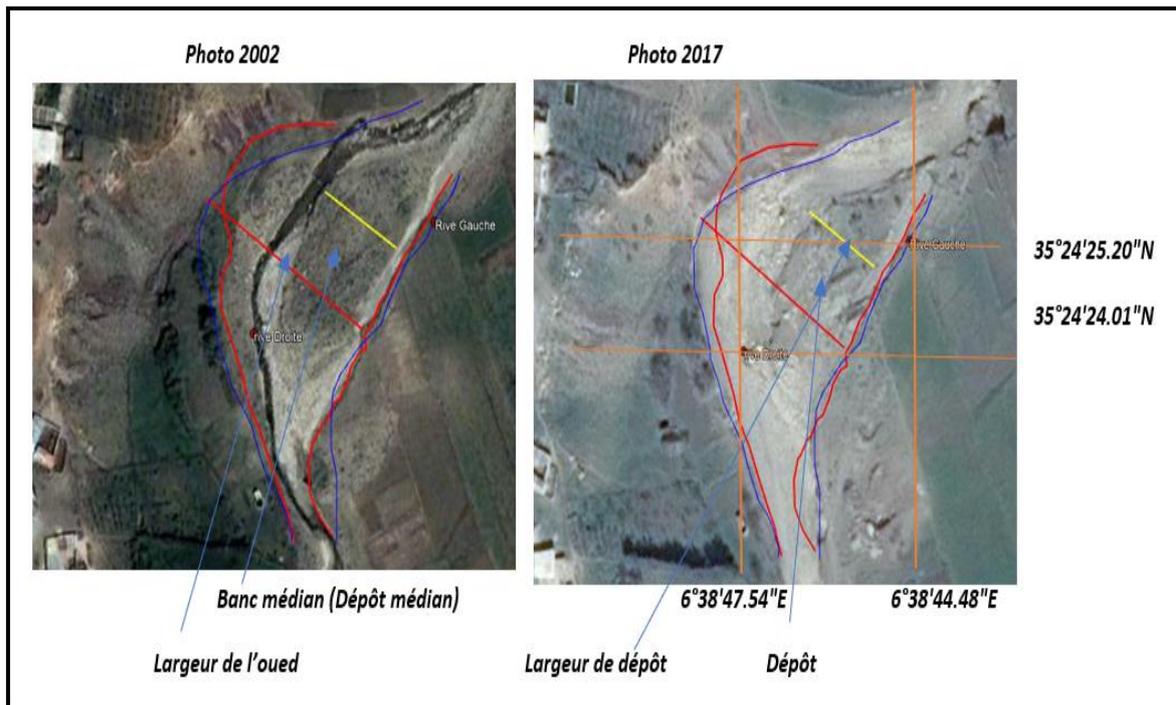


Figure 28: Évolution faible de l'érosion latérale et des bancs médianes (partie aval)

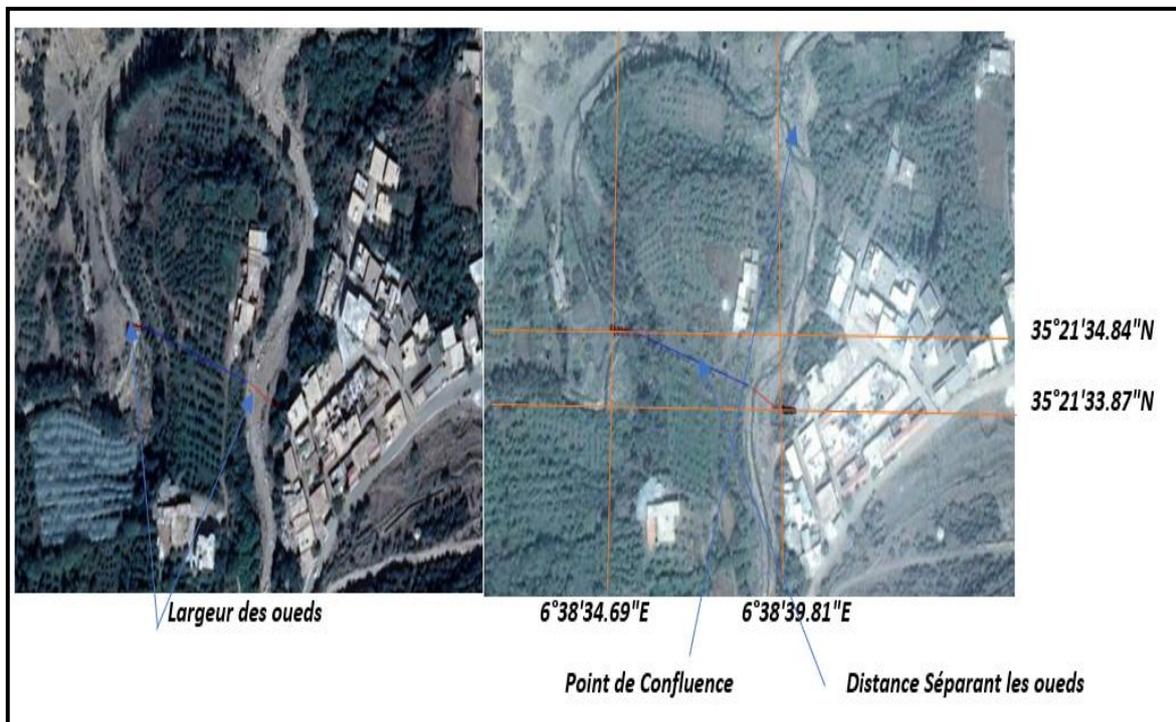
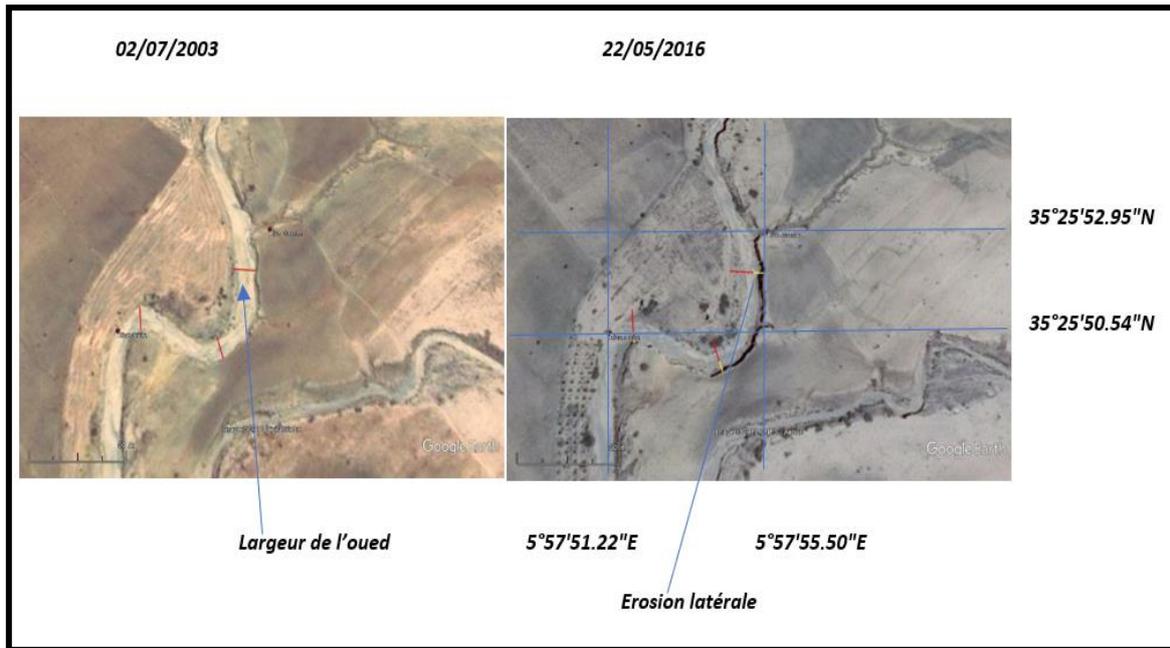


Figure 29 : Évolution très faible de l'érosion latérale d'Oued yabous

L’oued se trouve sur le versant nord du massif qui est plus arrosé et bien protégé par un couvert végétale dense et varié qui réduit l’activité érosive et la rend très limitée ; la figure suivante illustre l’évolution de l’érosion latérale sur certains points de l’oued dans la partie avale. Bien que le régime de l’écoulement soit torrentiel les berges se développent lentement et gardent relativement leur stabilité (le recul et la dégradation reste très faible entre 1m et 1,2m durant 15 ans) .

I.2. 2.4.6. Oued L’Hai



**Figure 30 : Évolution de l’érosion latérale (Oued Lhai).**

Le bassin de l’Oued l’Hai dans sa partie moyenne atteste une érosion forte caractérisée par l’importance du ravinement et de l’érosion latérale, l’oued prend une forme très sinueuse

Les argiles, les marnes et les alluvions aident l’écoulement a exercer un comportement érosif considérable, l’enfoncement et l’élargissement de l’oued ne cesse a se développer de façon très accélérée ainsi les matériaux enlevés se transportent et se déplacent rapidement pour atteindre les points les plus bas afin de se déposer.

L’analyse diachronique des deux photos satellitaires ainsi les calculs associés permettent d’estimer l’évolution de l’érosion latérale (Tableau 15).

Les résultats obtenus ont montré que l’élargissement moyenne est estimé entre 3, 40m et 5,08m, cet écart relativement significatif sera interprété par le rôle des formations lithologiques érodables de même la médiocrité du recouvrement végétal.

Tableau 15: Variations de l'érosion latérale (Oued L'Hai).

Largeur(L)	La <sub>1</sub>	La <sub>2</sub>	Lb <sub>1</sub>	Lb <sub>2</sub>	Lc <sub>1</sub>	Lc <sub>2</sub>
Evolution(m)	4,86	8,26	4,48	9,52	3,12	8,31

La tranche d'eau chargée de matériaux abrasifs érode les rives et les formations solides dans plusieurs points de façon agressive produisant des stries et des encoches (photo.12).



**Photo 12 : Usure dans les grés (rive gauche de l'Oued l'Hai).**

**Conclusion :**

La dynamique érosive des oueds est nettement variée, s'avère très développée et remarquable sur les oueds drainant ses eaux vers le sud, tandis que les oueds ayant un drainage vers le nord attestent une activité relativement faible et les résultats obtenus interprètent de façon claire cette différenciation.

L'élargissement des lits des oueds présente un écart de l'ordre de 1, 5 a 7 mètres entre les oueds des deux versants.

L'évolution latérale des lits des oueds arrive jusqu'à 6 mètres sur le versant nord alors que les oueds sur le versant sud offrent des valeurs varient entre 1,5 et 9 mètres en moyenne.

Oued Al Arab à côté d'oued labiod constituent un modèle d'érosion et de dynamique très développé caractérisée par l'intensité et la variété des formes de l'érosion telles que le sapement des berges, les effondrements et l'érosion régressive.

## **Chapitre II : Etude Morphométrique**

## II. Morphométrie

La morphométrie des bassins joue un rôle capital dans l'explication de certains phénomènes hydrologiques et géomorphologiques, telles que l'érosion, l'inondation et l'envasement des barrages. Chaque paramètre peut être décisif et limitant dans la dynamique fluviale ; ce qui demande une connaissance approfondie de chaque paramètre.

### II.1. Les paramètres géométriques :

#### II.1.1. Superficie et périmètre :

La superficie et le périmètre de chaque bassin versant sont mesurés à l'aide de l'arc gis.

#### II.1.2. Indice de compacité de Gravelius :

L'indice de compacité de Gravelius ; résulte de la comparaison du périmètre d'un bassin versant, à celui d'un cercle équivalent ayant même surface, C'est un indicateur sur l'aspect allongé ou ramassée du Bassin versant ces caractéristiques permettent d'évaluer la réponse hydrologique du bassin notamment en termes de temps de concentration.

$$K_C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (21)$$

Où P : périmètre du bassin versant en Km, S : surface du bassin versant en Km<sup>2</sup>

K<sub>c</sub> est proche de 1,12 => la forme du bassin versant est arrondie

K<sub>c</sub> > de 1,12 => la forme est allongée.

#### II.1.3. Le Rectangle équivalent :

Il est défini comme étant le rectangle de longueur L et largeur l, qui a la même superficie S, même périmètre P, même indice de compacité K<sub>C</sub> et même hypsométrie du bassin versant,

de sorte que les courbes de niveaux deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, et l'exutoire du bassin versant étant assimilé à l'un des petits cotés.

La longueur : est donnée par l'équation suivante :

$$L = \frac{K_C \sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (22)$$

La largeur :

$$l = \frac{K_C \sqrt{S}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (23)$$

## II.2. Paramètres hypsométriques :

Le relief joue un rôle primordial dans la détermination du comportement de certains phénomènes, la majorité des modèles estimant l'érosion tiennent compte les caractéristiques des altitudes,

### II.2.1. La courbe hypsométrique :

Cette courbe présente la répartition altimétrique en Km<sup>2</sup>, ou en pourcentage, de superficie totale du bassin versant, par tranche d'altitude. Elle permet d'estimer la répartition surfacique du bassin versant par rapport aux tranches d'altitudes où on observe l'altitude moyenne, l'altitude max et l'altitude min

Une variation altitudinale des précipitations et du couvert végétal, On peut y déduire le potentiel hydrique et les températures, comparé a la lithologie on peut évaluer le type et l'ampleur des processus

## II.3. Les indices de pente :

### II.3.1. L'indice de pente de M. ROCHE (IPR)

$$IPR = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{ai * di} = 1.42m \quad (24)$$

D'où :

L : Longueur de rectangle équivalent en (m)

di : dénivelée entre deux équivalents des courbes de niveau en (m)

ai : surface par tranche entre deux courbes de niveau en (%)

### II.3.2. Indice de pente globale Ig :

$$Ig = \frac{D}{L} \quad (25)$$

D'où :

D : la dénivelée entre la hauteur de 5 % et celle de 95 %.

L : la longueur du rectangle équivalent.

### II.3.3. Dénivelé spécifique DS :

C'est le produit de l'indice de pente globale, par la racine de la surface du bassin versant.

$$Ds=Ig\sqrt{S} \quad (26)$$

D'où :

Ig : indice de pente globale en (Km/m).

S : La surface du bassin versant en (Km<sup>2</sup>).

Tableau 16 : Classification des reliefs selon l'OROSTOM

R <sub>1</sub>	Relief très faible	D <sub>s</sub> < 10m
R <sub>2</sub>	Relief faible	10 < D <sub>s</sub> < 25m
R <sub>3</sub>	Relief assez faible	25 < D <sub>s</sub> < 50m
R <sub>4</sub>	Relief modéré	50 < D <sub>s</sub> < 100m
R <sub>5</sub>	Relief assez fort	100 < D <sub>s</sub> < 250m
R <sub>6</sub>	Relief fort	250 < D <sub>s</sub> < 500m
R <sub>7</sub>	Relief très fort	D <sub>s</sub> > 500m

#### II.4. Les paramètres morpho métriques du réseau hydrographique :

Les paramètres les plus utilisés et qui donnent une interprétation claire à la dynamique des bassins sont ; la densité de drainage, le rapport de confluence, et le rapport de longueur,

La classification des cours d'eau :

Le calcul des paramètres morpho métriques du réseau hydrographique, s'effectue à partir de la classification de SCHUM, qui définit un ordre (x+1) tout tronçon de cours d'eau formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre x.

##### II.4.1. Densité de drainage :

La densité de drainage, introduite par HORTON, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$Dd = \frac{\sum_{n=1}^x Lx}{S} \quad (27)$$

Avec :

L<sub>i</sub> : longueur des cours d'eau en (Km).

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

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie), et des caractéristiques topographiques du bassin versant, et dans une certaine mesure des conditions climatologiques.

#### II.4.2. Rapport de confluence RC :

Le calcul du rapport de confluence se fait par classement des cours d'eau, séparément pour chaque ordre, Rc est le rapport entre le nombre de talweg d'ordre (x), et le nombre de talwegs d'ordre (x+1), le rapport de confluence peut estimer directement la valeur moyenne de Rc, est considéré comme le coefficient angulaire de la droite ajustée à l'ensemble des points (Nx / x) tracé sur papier semi-logarithmique.

La formule de Rc est la suivante :

$$Rc = \frac{N_x}{N_{x+1}} \quad (28)$$

#### II.4.3. Rapport de longueur Rl:

C'est le quotient de longueur moyenne des cours d'ordre (x+1), par celle des cours d'eaux d'ordre x

$$Rl = \frac{L_{x+1}}{L_x} \quad (29)$$

#### II.4.4. Le coefficient de torrentialité $C_t$ :

Le coefficient est calculé pour avoir une idée sur la densité de drainage de l'ordre 1, ainsi il est noté que le facteur Fi multiplicatif de Dd indique l'érodibilité du bassin versant Ce coefficient est donné par l'équation de continuité :

$$C_t = Dd \cdot F_1 \quad (30)$$

$$F_1 = N_1/S \quad (31)$$

$F_1$  = la densité de talwegs d'ordre 1.

$S$  = surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

$N_1$  = le nombre de talwegs élémentaire d'ordre 1 suivant la classification de SCHUM.

#### II. 4. 5. Temps de concentration :

La détermination du temps de concentration a été achevée à l'aide de l'équation de Giandotti qui s'adapte le mieux avec les caractéristiques de l'écoulement dans les vallées du massif :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (32)$$

Où :

$T_c$  : temps de concentration (heures).

$L_p$  : longueur du talweg principal (Km)

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

H<sub>moy</sub> : altitude moyenne du bassin versant (m).

#### II. 4. 6. La vitesse d'écoulement :

C'est la vitesse moyenne de transfert des écoulements :

$$V = \frac{Lp}{Tc} \quad (33)$$

Avec :

Lp= longueur du talweg principal

Tc= temps de concentration

#### II.5. Analyse des Caractéristiques Morphométriques des bassins :

Les caractéristiques Morphométriques des bassins étudiées sont présentées sur les tableaux et les figures suivantes :

Tableau 17: Caractéristiques morpho métriques des bassins versants du massif.

Paramètres Morphométriques	Unité	O. Labiod	O. Abdi	O. L'Hai	O. Yabous	O. Chemora	O. El Arab
S	Km2	1300	595	1660	317,98	759	2085
P	Km	206	135	193	107,6	148	112
Hmax	M	2328	2321	2091	2300	2320	2236
Hmin	M	150	200	350	800	889	190
Hmoy	M	1081,3	1214	1039,83	1531,9	1270	1050
H50	M	1170	1170	980	1590		1541
L	Km	14,72	8,45	22,6	6,86		41
L	Km	88,72	78,7	73,43	46,26	35,08	13,89
Ig	m/Km	24,67	17,56	15,93	26,02	14	15
Ipr		1,075	1,77	0,51	0,19	1,4	0,46
Kc		1,59	1,9	1,32	1,67	1,5	1,29
Ct		13,26	21,96	19,47	5,93	26,7	36,4
Dd	Km/Km <sup>2</sup>	2,53	3,27	3,23	2,23	2,46	4,8
L	Km	85	25,3	85,5	23	65	123
Tc	Heures	10.84	4,7	14	4,46	13,3	8,45
Ds	m	889.48	455,44	649,04	500,72	433,2	280,3

##### II.5.1. Bassin versant d'Oued L'Hai :

Cette unité hydrographique est constituée de deux vallées orientées vers le sud-ouest :

Le bassin d'oued L'Hai est le plus vaste, est situé dans la partie Ouest du massif, occupe une superficie de 1660Km<sup>2</sup>, alimenté essentiellement par les eaux des oueds Fdhala et oued Chaaba. Oued Fdhala se découle des altitudes de l'Arba et traverse des terrains très pentus, composés de calcaire et de marne, se rencontre avec oued Chaaba pour former oued L'Hai. Oued Chaaba se découle des monts de Bellezma et pénètre des terrains fragiles de nature argilo-marneuses de la plaine de Ain Touta, ce bassin est limité de L'Est par une petite vallée d'une superficie de 672Km<sup>2</sup>, allongée, dite Oued Abdi qui prend naissance de Dj Mahmel (2100m), sa couverture lithologique est formée de l'alternance des calcaires et des marnes. L'hypsométrie et l'hydrographie des deux bassins sont représentées sur (la figure 34).

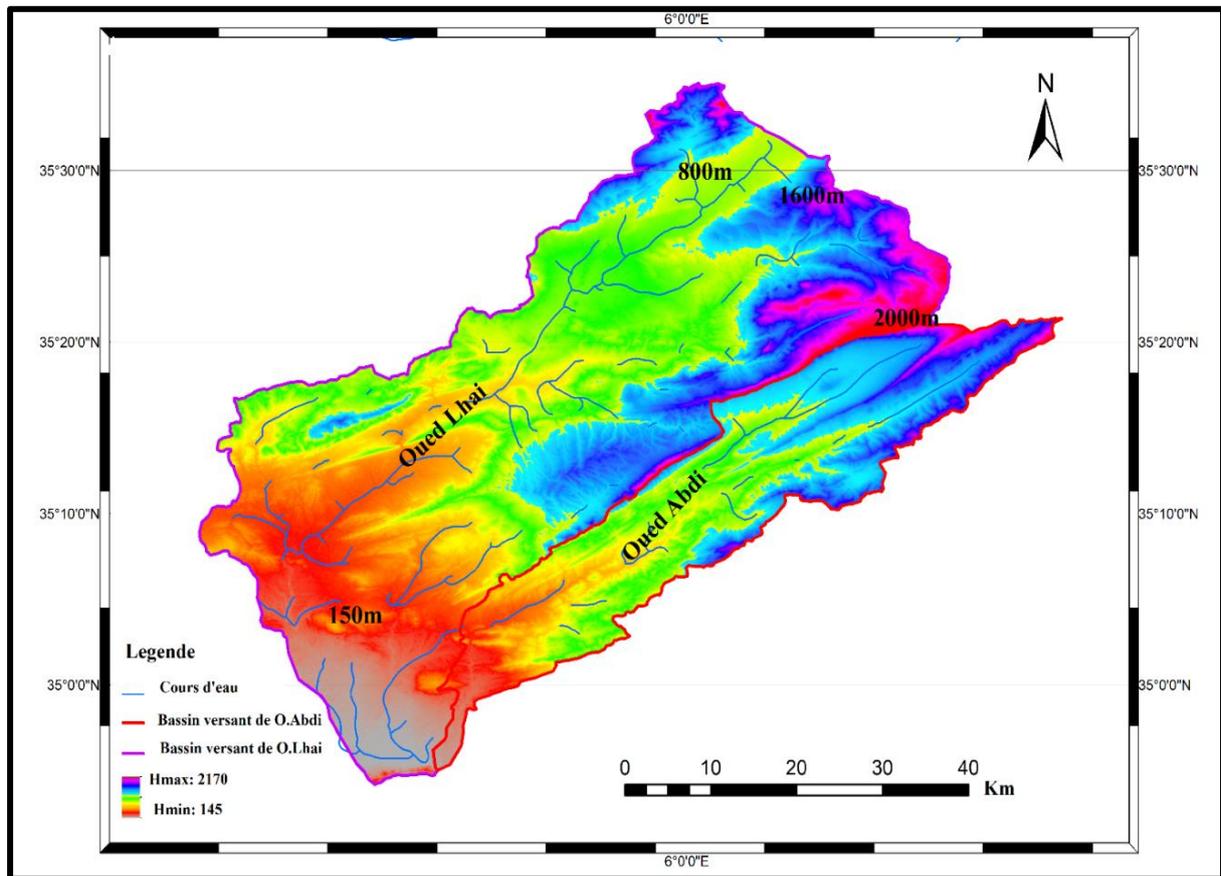
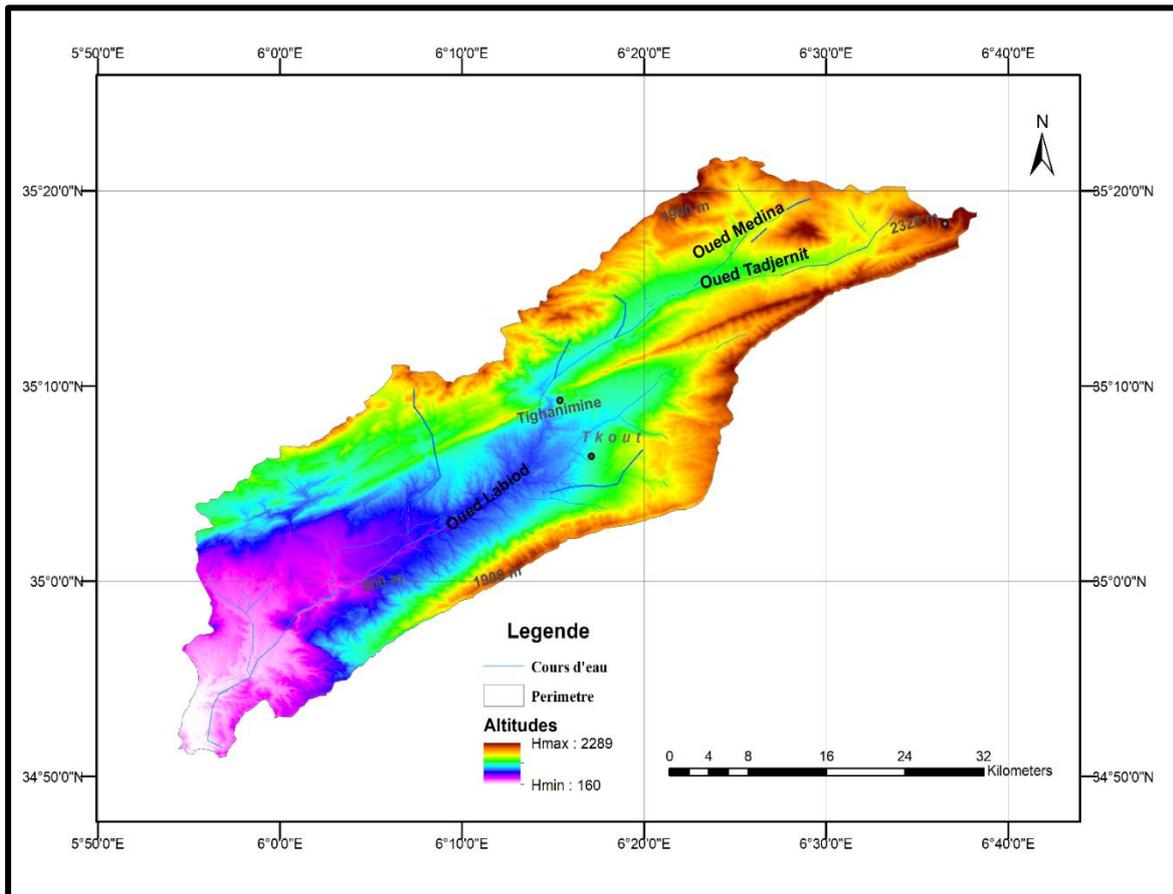


Figure 31: les vallées Oued L'Hai et Oued Abdi

### II.5.2. Bassin Versant de l'oued Labiod :

Ce bassin est caractérisé par un faciès lithologique très varié, une structure faillée des pentes fortes. Sa superficie est de l'ordre de 1300km<sup>2</sup> qui draine ses eaux vers chott Melghir le point le plus bas de l'Algérie. Cette vallée qui s'étend sur 85 km de longueur s'avère bien arrosée dans sa partie amont et regroupe toutes les conditions favorables à l'accélération de l'activité érosive.

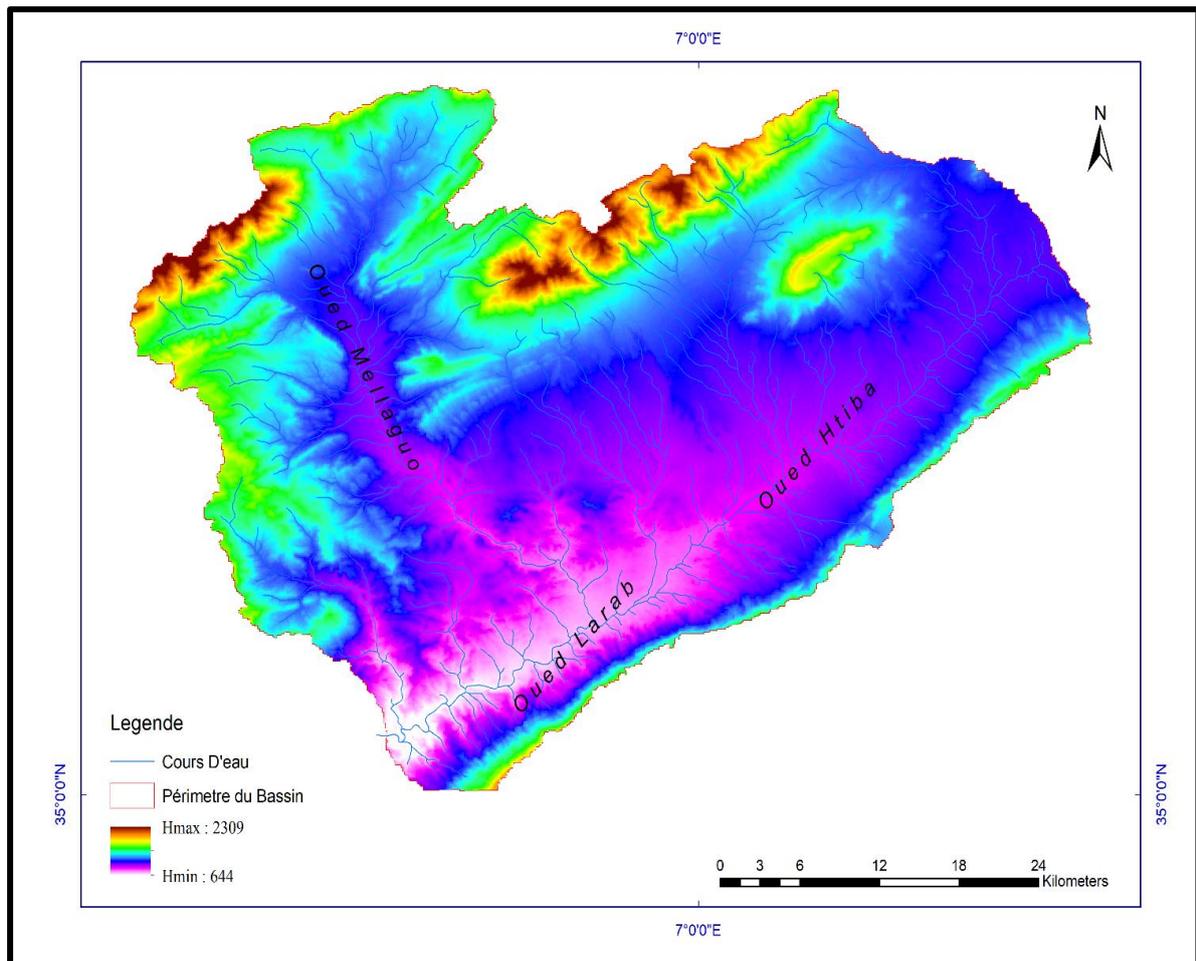


**Figure 32: Bassin versant d’Oued Labiod**

**II.5.3. Bassin versant d’oued El Areb :**

Ce bassin se situe dans la partie sud-ouest du massif, occupe une superficie de 2085,97Km<sup>2</sup>, sa forme en éventail est typique constitué de réseau hydrographique dense, alimenté par deux affluents importants qui sont Oued L’Htiba et Oued Mellague.

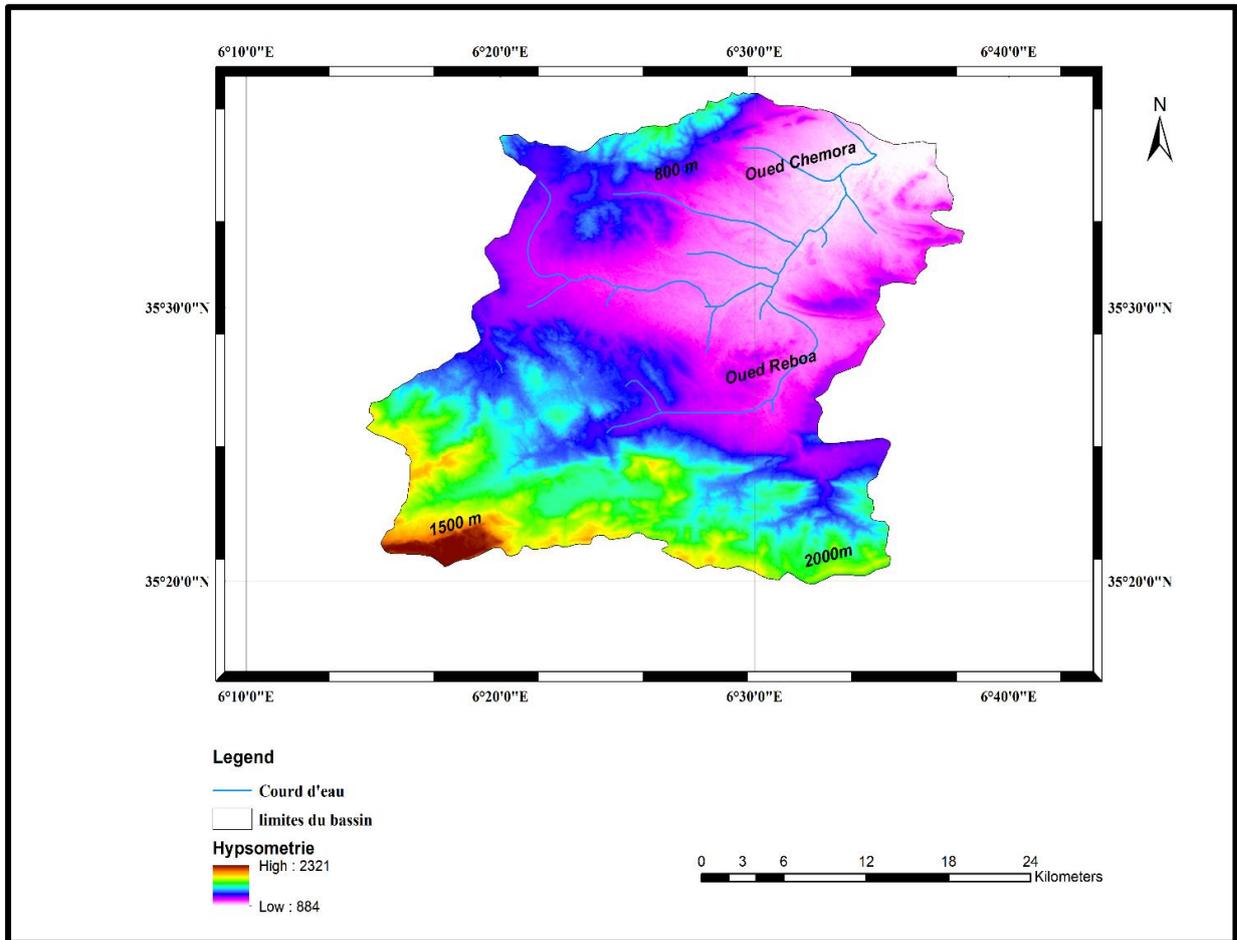
Sa partie amont est composé de formations lithologiques du quaternaire très érodables.



**Figure 33: Bassin versant d’Oued Al Arab.**

**II.5. 4.Bassin versant de Chemora :**

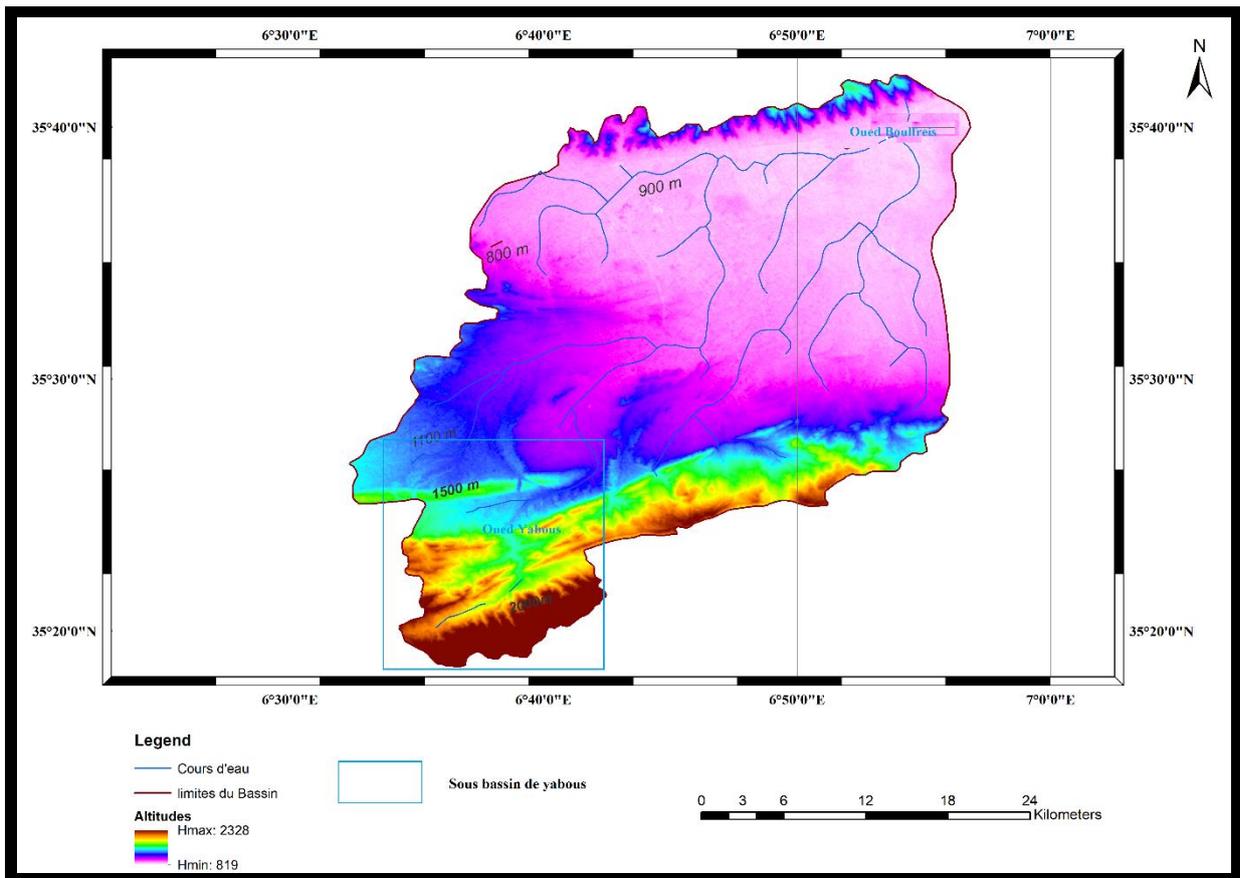
Il appartient au grand bassin des hauts plateaux constantinois, se situe sur le versant nord du massif, draine ces eaux vers les chotts et les Graats, occupe une superficie de 672,7 km<sup>2</sup>, constitué essentiellement de grés et de terrains argilo marneux très vulnérables, caractérisé essentiellement par une densité de drainage élevée par rapport aux autres bassins, il est de l’ordre de 4,06 Km/Km<sup>2</sup>. Ce qui contribue à intensifier l’érosion.



**Figure 34 : Bassin versant de l’oued Chemora**

**II.5. 5. Bassin versant de l’oued Yabous :**

Cette vallée se trouve sur le versant nord de la chaîne montagneuse de Chélia (2328m) est la plus arrosée en pluviométrie et bien boisée voire l’Annex (Photo19), s’étend sur 317,9Km<sup>2</sup>, présente un drainage vers le nord, les altitudes les plus élevées se trouvent dans la partie sud du bassin telles montrées sur la figure 34 et le tableau 17. Par ailleurs, Ce qui est remarquable dans cette vallée est le site sur lequel le barrage de Taghariste était construit et qui constitue un point de confluence de deux oueds caractérisés par un régime torrentiel capable de fournir de grandes quantités de sédiments et qui forme un danger sur la capacité de stockage du barrage et probablement sur sa sécurité.



**Figure 35: Sous Bassin versant d'Oued Yabous  
(Partie Amont de bassin versant d'Oued Boulfreiss)**

## Conclusion

Le résultat de comparaison de la morphométrie des bassins étudiés fait ressortir les remarques suivantes :

L'indice de compacité des bassins étudiés varie entre 1,29 (Bassin versant d'Oued El Arab) qui donne une forme d'éventail et 1,92 (Bassin versant d'Oued Abdi) très allongé les autres valeurs sont très rapprochées, les formes des bassins correspondants étant donc plus ou moins semblables.

En général, les bassins de la zone d'étude présentent, une forme assez ramassée, favorisant à priori, la mobilisation rapide des eaux de ruissellement, mais l'influence du relief est encore plus déterminante.

Le pouvoir érosif n'est pas être seulement à la forme du bassin mais plusieurs autres paramètres tel que la pente, la lithologie, le couvert végétal donc on doit dire ce qui donne à l'ensemble des bassins une dynamique d'écoulement à caractère torrentiel favorisant les processus d'érosion sur un terrain lithologiquement sensible.

Les valeurs de la dénivelée spécifique sont élevées et varient entre 250 et 600. Appartenant à la classe forte et très forte selon la classification de l'Orostrom. Par ailleurs

la disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affectés la région au cours des temps géologiques.

Les valeurs de densité de drainage obtenues sont comprises entre 2.23 km/km<sup>2</sup> (bassin versant d'Oued Yabous) et 4.8 km/km<sup>2</sup> (Bassin versant d'Oued El Arab).

Dans l'ensemble les plus petites valeurs correspondent aux plus petits bassins. Ces résultats indiquent que nos bassins versants sont en général différemment drainés alors que l'importance du drainage est dû principalement à la nature des formations qui constituent le bassin ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par ses pluies irrégulières et violentes.

Le (Tableau17) montre aussi que le temps de concentration des bassins est non seulement fonction de la surface mais aussi d'autres paramètres tels que la lithologie, la pluviométrie et le relief. En effet, deux bassins ayant la même superficie ne se comportent pas forcément de la même façon.

Les pentes au niveau de la zone d'étude sont en majorité fortes (Fig.6) 78% de la superficie a une pente supérieure à 12%. Cette classe de pente est localisée principalement au Nord et au Sud du massif correspondant à la zone montagneuse qui atteste une érosion intense notamment sur les terrains pentus reposant sur des formations érodables, les pentes s'adoucissent et oscillent entre 0 et 12% occupant 22% de la superficie du bassin en général c'est l'espace de la plaine et certains replats. de plus, le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plu dense. Cette influence de la forêt sur le régime des eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable (A. Bouanani, 2004). Le paysage végétal du massif des Aurès a été dégradé et défriché en montagne par les incendies et par un surpâturage endémique (Y. Beghami, 2012), Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion, Cette dégradation est inégale et se développe puissamment sur les versants méridionaux du massif.

## **Chapitre III : Modélisation et Analyse Hydrologique**

### III. Modélisation et Analyse Hydrologique.

#### Introduction

L'étude hydrologique, sera basée sur le traitement statistique des données hydrométriques, et mettra en lumière les aspects fondamentaux de l'écoulement et l'évaluation des apports liquides annuels, saisonniers, mensuels et des crues dans les sous-bassins concernés. L'étude des transports solides en suspension et modélisation, permettra d'évaluer les quantités des sédiments transportés par les oueds du massif et de préciser la dynamique érosive dans notre bassin et par conséquent d'en tirer des conclusions quant à l'envasement des ouvrages et la perte des sols. Nous tenterons d'établir quelques modèles analytiques et descriptifs pluie - débit, écoulement- pluie, basés sur une approche statistique d'analyse des chroniques de données et de corrélations simples. Ces modèles préciseront l'interrelation entre les différents paramètres hydrologiques.

#### III .1 . Données hydrologiques :

Les données disponibles nous ont conduits à élaborer une série de modèles et relations entre plusieurs paramètres telle que les débits, les pluies et le transport solide. Cette modélisation exige a priori la connaissance du comportement des paramètres hydrologiques sous certaines échelles.

Les caractéristiques des stations hydrologiques de la zone d'étude sont récapitulées dans le (tableau 18).

Tableau 18: Caractéristiques du réseau hydrométrique

Bassin	Sous bassin	Station	Code	Coordonnées Lambert (km)		Z(m)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Période d'observation
				X	Y			
Chott Melghir	EL Hai	El Kantara	061201	373,35	219,2	520	1170	1974-1996
	El Abiod	M'Chouneche	061502	800,40	186,2	295	1050	1974-2000
	EL Arab	Kh.S.Nadji	061801	866,20	179,2	190	2083	1973-1997
	Abdi	Djemoura						
Constantinois	Chemora	Chemora, Reboa.	070501	855,1	264,5	890	759	1969-1996
	Yabous	Yabous	O70601	854,1	260,5			1973-2000

Le réseau hydrométrique et les données d'observation des débits de la région d'étude comptent (6) stations de jaugeage réparties entre des sites différents. Chaque bassin est contrôlé par une station hydrométrique,

#### III .2. Ajustement à une loi de E J, Gumbel.

Le choix statistique dans notre zone d'étude est porté sur l'usage de la loi de (E J Gumbel,1958) qui s'ajuste le mieux avec les données hydrologiques disponibles qui présentent une variabilité importante (A. Mebarki, 2004).

La fonction de répartition de lois de Gumbel est :

$$f(x) = e^{-e^{-\frac{x-x_0}{\alpha}}} \quad (34)$$

Avec

$f(x)$  : la fréquence au non dépassement de la valeur de  $x$

$\alpha$  ,  $x_0$  : coefficient d'ajustement.

$x_0$  : le paramètre de position (mode)

$\alpha$  : est le paramètre d'échelle différent de zéro et positif appelé aussi «gradex».

Par un changement de variable  $u$ .

$$u = \frac{x-x_0}{\alpha}, \quad (35)$$

L'équation d'une droite qui représente la loi de Gumbel sur un papier à probabilité Gumbel s'écrit sous la forme suivante :

$$x = \frac{1}{\alpha}u + x_0 \quad (36)$$

La méthode des moments conduit à des estimations de calcul particulièrement simple et d'emploi très fréquent avec :

$$1/\alpha = 0.78 \sigma \quad (37)$$

$$x_0 = \bar{x} - 0.577/\alpha \quad (38)$$

L'intervalle de confiance nous permet d'explicitier l'importance des erreurs d'échantillonnage :

$$Q_x - h_1 S_x < Q_x < Q_x + h_2 S_x$$

$$h_1, h_2 = \frac{\frac{t\alpha}{\sqrt{N}} \sqrt{1 + 1.13tf + 1.1tf^2} \pm \frac{t\alpha^2}{N} \sqrt{1.1tf + 0.57}}{1 - 1.1\frac{t\alpha^2}{N}} \quad (39)$$

Le degré de confiance est de 95%  $\Rightarrow$  erreur  $\alpha = 5\%$

III .2.1. Test d'adéquation :

Il est important de savoir qu'on peut exclure la possibilité, que la loi choisie ne soit pas réellement représentative de la population. Une telle erreur est une erreur d'adéquation

On juge généralement l'adéquation d'une loi à un échantillon par le test de  $\chi^2$  (CHI2) ; variable aléatoire dont la distribution à été étudié par Pearson (A S. Rodríguez,2012)

les règles d'emploi sont les suivantes :

Le découpage des échantillons en K classes, d'égale probabilité théorique, avec un effectif théorique d'au moins 5 valeurs par classe.

Calcule de  $\chi^2$

$$\chi^2 = \frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}} \quad (40)$$

Avec :

$n_i$  : Effectif observé de la classe i.

$n_{pi}$  : Effectif théorique de la classe i.

Plus  $\chi^2$  approché que 0 plus l'ajustement est indicatif.

Calcul le nombre V de degré de liberté :

$$V = k - r - 1 \quad (41)$$

Avec :

k : nombre de classe choisie.

r : nombre de paramètre à partir des valeurs expérimentales, pour ajuster à la loi théorique.

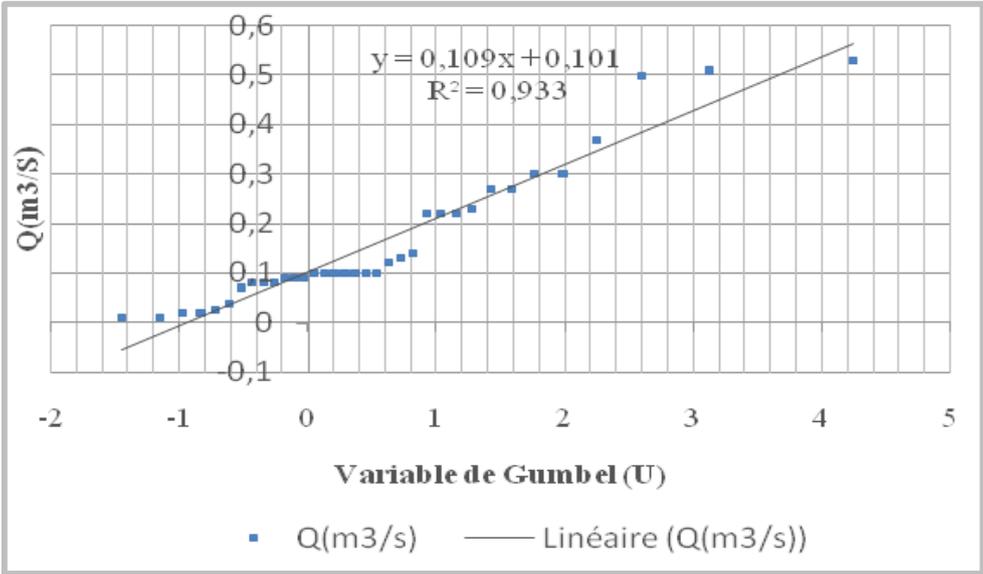
L'équation est admise si  $P(\chi^2) \geq \alpha$ .

$\alpha$  : Seuil du risque d'adéquation, choisi généralement égal à 0,05 ; il convient de choisir des découpages différents et de calculer  $\chi^2$  minimal.

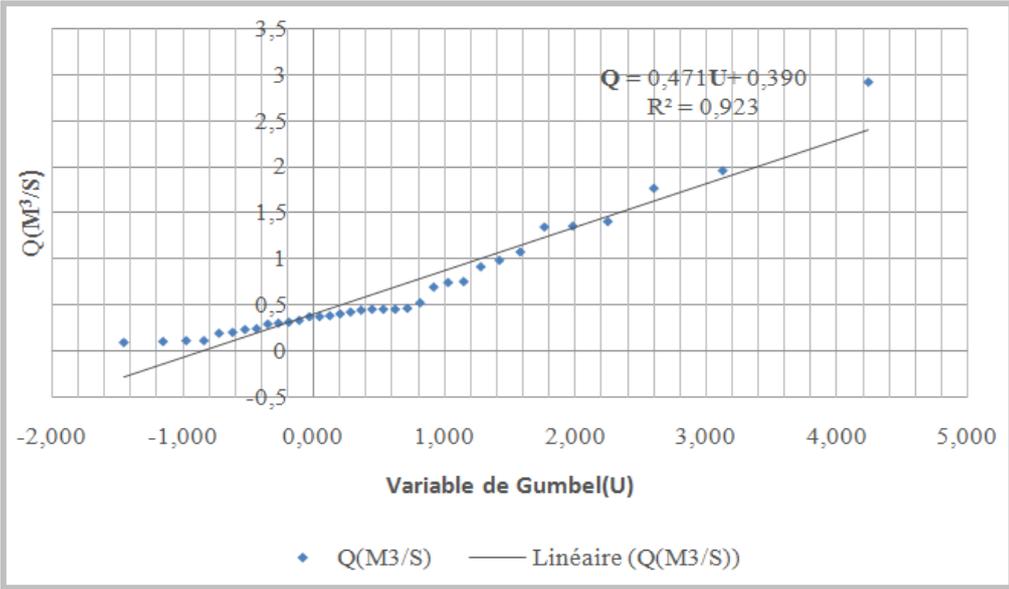
Selon le degré de liberté, le  $\chi^2$  calcule va être comparé avec  $\chi^2$  tabulé

**III .2.2. Modèles d'ajustements**

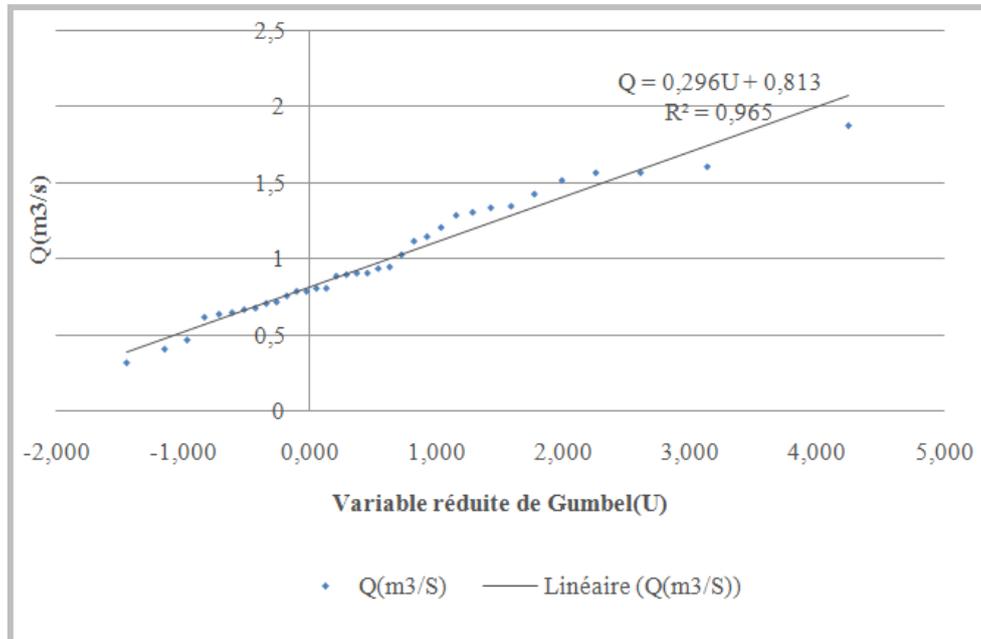
Les ajustements statistiques des débits à une loi de Gumbel sont illustrés sur les figures suivantes :



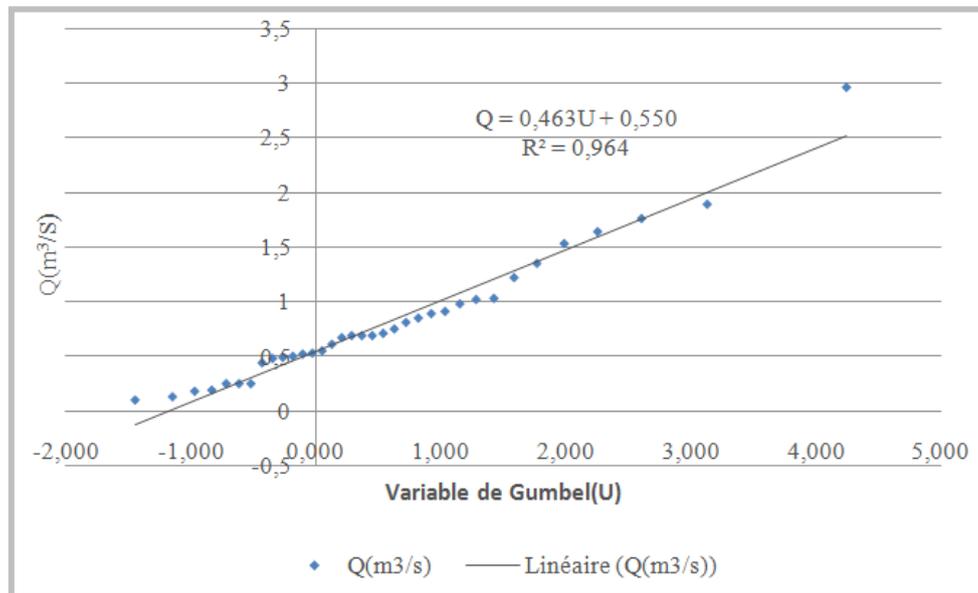
**Figure 36: Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel**  
(Station de Yabous)



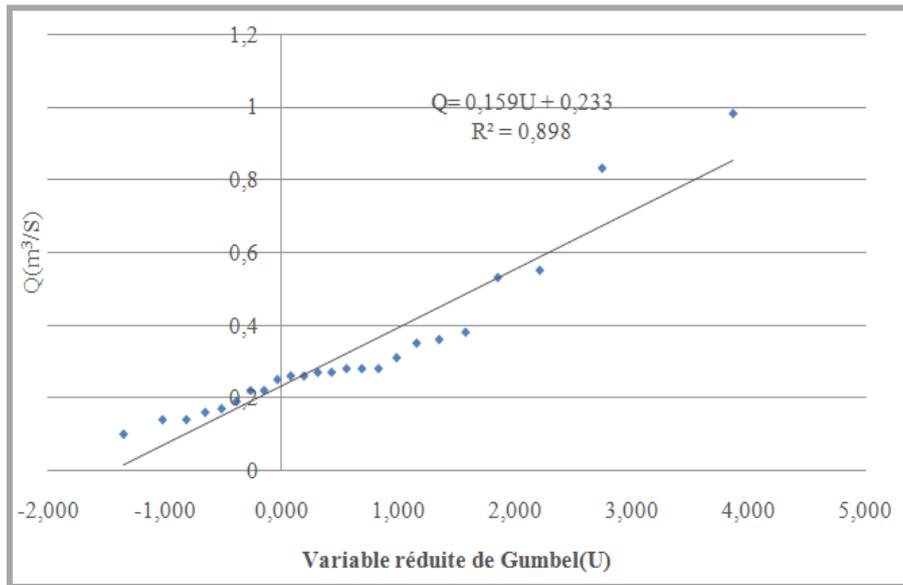
**Figure 37 : Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel**  
(Station : Chemora)



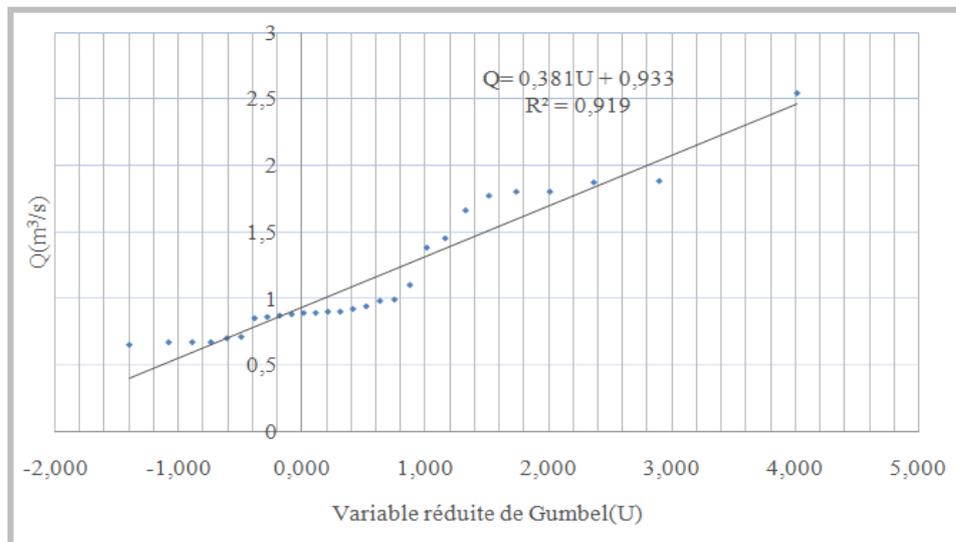
**Figure 38 : Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel**  
(Station : El Kantara)



**Figure 39 : Ajustement des débits annuels à une loi de Gumbel**  
(Station de M'Chounech)



**Figure 40: Ajustement des débits à une loi de Gumbel**  
(Station de Djemoura)



**Figure 41: Ajustement des débits à une loi de Gumbel**  
(Station de Sidi Nadji)

### III .3. Variations Annuels des débits :

Dans cette partie, nous allons essayer d'étudier les variations des écoulements à différentes échelles et les corrélations possibles entre les quelques paramètres hydrologiques des bassins étudiés.

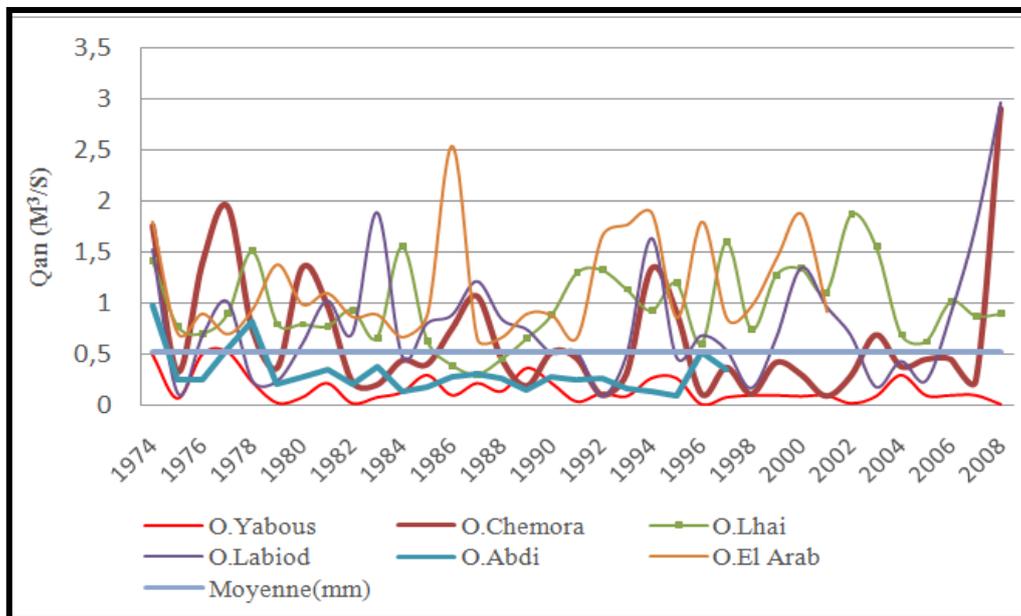
Les débits annuels sont regroupés dans les (tableaux 19 et 20) :

Tableau 19: Variations des débits Annuels : Vallées de versant méridional des Aurès.

BV	O. Yabous			O. Chemora		
	Année	Qan (M3/S)	P (mm)	Le (mm)	Qan (M3/S)	P (mm)
1974	0,5	329,93	18,25	1,76	222	73,13
1975	0,07	380,8	6,56	0,33	240	13,71
1976	0,51	513,93	30,54	1,4	130	58,17
1977	0,53	399,58	32,64	1,95	192	81,02
1978	0,23	248,43	23,19	0,74	230	30,75
1979	0,024	399,87	24,32	0,37	380	15,37
1980	0,08	589,07	17,9	1,35	392	56,09
1981	0,22	343,13	21,92	0,98	230	40,72
1982	0,02	170,7	2,01	0,23	230	9,56
1983	0,08	318,47	7,6	0,2	330	8,31
1984	0,13	348	13,41	0,44	230	18,28
1985	0,3	266,9	30,24	0,4	230	16,62
1986	0,1	453,77	19,45	0,75	230	31,16
1987	0,22	139,83	22,01	1,07	230	44,46
1988	0,14	353,13	14,12	0,45	350	18,70
1989	0,37	304,33	26,78	0,19	230	7,89
1990	0,22	349,3	21,4	0,52	270	21,61
1991	0,038	225,57	27,36	0,46	280	19,11
1992	0,12	300	11,51	0,1	270	4,15
1993	0,09	392,97	8,5	0,31	300	12,88
1994	0,27	555,97	27,1	1,34	230	55,68
1995	0,27	343,3	16,72	0,91	330	37,81
1996	0,01	441,73	16,25	0,11	330	4,57
1997	0,08	231,47	13,66	0,37	320	15,37
1998	0,1	272,2	10,37	0,11	230	4,57
1999	0,1	330,83	9,59	0,42	308	17,45
2000	0,09	455,03	19,51	0,3	230	12,46
2001	0,1	341,4	10,32	0,09	200	3,74
2002	0,02	300	11,95	0,29	224	12,05
2003	0,09	370,87	9,19	0,69	155	28,67
2004	0,3	248,8	22,47	0,38	230	15,79
2005	0,1	217,77	25,99	0,45	222	18,70
2006	0,1	272,27	14,62	0,45	230	18,70
2007	0,1	475,53	32,33	0,24	230	9,97
2008	0,01	597,4	10,8	2,91	324	120,91
Moy	0,16377	350,922	18,02	0,69	256,8	27,38
EcTy	0,14198	108,72	7,972382	1,76	58,51	25,61
CV	0,87	0,31	0,87	0,89	0,17	0,94

Tableau 20: Variations des débits Annuels : Vallées du versant Septentrional

BV	O. Lhai			O. Labiod			O. Abdi			O. El Arab		
Année	Qan (M3/S)	P(mm)	Le (mm)	Qan (M <sup>3</sup> /S)	P(mm)	Le (mm)	Qan (M3/S)	Le (mm)	P(mm)	Qan (M3/S)	P(mm)	Le (mm)
1974	1,42	212	26,98	1,53	139	37,12	0,98	51,94	260,95	1,8	353,68	27,23
1975	0,78	230	14,82	0,13	182	3,15	0,25	13,25	269,75	0,71	498,45	10,74
1976	0,71	120	13,49	0,69	252	16,74	0,26	13,78	317,05	0,9	301,33	13,61
1977	0,9	182	17,10	1,02	195	24,74	0,55	29,15	355,9	0,7	271,90	10,59
1978	1,51	220	28,69	0,25	190	6,06	0,83	43,99	219,55	0,94	355,38	14,22
1979	0,8	370	15,20	0,25	233	6,06	0,22	11,66	192,2	1,38	432,13	20,87
1980	0,8	382	15,20	0,61	249	14,80	0,28	14,84	244,45	0,99	317,65	14,97
1981	0,78	220	14,82	1,03	284	24,99	0,36	19,08	238,7	1,1	241,65	16,64
1982	0,94	220	17,86	0,71	164	17,22	0,22	11,66	399,85	0,87	309,73	13,16
1983	0,67	320	12,73	1,89	172	45,85	0,38	20,14	236,45	0,89	379,08	13,46
1984	1,56	220	29,64	0,49	275	11,89	0,14	7,42	231,45	0,67	234,53	10,13
1985	0,64	220	12,16	0,81	227	19,65	0,19	10,07	305,15	0,89	410,80	13,46
1986	0,4	220	7,60	0,89	214	21,59	0,28	14,84	276,6	2,54	197,75	38,42
1987	0,31	220	5,89	1,22	125	29,60	0,31	16,43	225,9	0,65	353,05	9,83
1988	0,46	340	8,74	0,85	187	20,62	0,27	14,31	310,65	0,67	287,93	10,13
1989	0,66	220	12,54	0,75	255	18,19	0,16	8,48	316,7	0,9	352,90	13,61
1990	0,89	260	16,91	0,52	230	12,61	0,28	14,84	260,15	0,88	261,63	13,31
1991	1,3	270	24,70	0,53	190	12,86	0,26	13,78	214,4	0,67	252,35	10,13
1992	1,33	260	25,27	0,1	243	2,43	0,27	14,31	267,8	1,66	393,70	25,11
1993	1,14	290	21,66	0,5	298	12,13	0,17	9,01	133,3	1,77	523,58	26,77
1994	0,93	220	17,67	1,64	228	39,78	0,14	7,42	209,25	1,88	320,03	28,44
1995	1,2	320	22,80	0,48	230	11,64	0,1	5,30	368,55	0,86	346,43	13,01
1996	0,61	320	11,59	0,69	234	16,74	0,53	28,09	326,25	1,8	247,63	27,23
1997	1,6	310	30,40	0,55	251	13,34	0,35	18,55	333,15	0,85	250,88	12,86
1998	0,75	220	14,25	0,18	165	4,37			262,15	0,98	348,70	14,82
1999	1,28	298	24,32	0,67	255	16,25			211,85	1,45	384,43	21,93
2000	1,34	220	25,46	1,35	223	32,75			167,45	1,87	349,48	28,28
2001	1,11	190	21,09	0,98	221	23,77			168,9	0,92	294,23	13,92
2002	1,87	214	35,53	0,69	209	16,74			167,5		346,93	
2003	1,56	145	29,64	0,19	177	4,61			383,1		194,80	
2004	0,7	220	13,30	0,44	160	10,67			249,15		272,90	
2005	0,63	212	11,97	0,25	142	6,06			300,9		335,13	
2006	1,02	220	19,38	0,91	249	22,08			275,5		468,48	
2007	0,88	220	16,72	1,76	411	42,69			271,47		494,95	
2008	0,9	314	17,10	2,96	275	71,81			97,72			
Moy	0,63	247	18,66	0,67	221	19,76	0,32417	17,18	259,13	0,65	334,83	17,39
EcTy	0,37	59,4	7,19	0,59	54,5	14,40	0,21044	11,15	69,30	0,22	83,30	7,53
CV	0,60	0,17	0,39	0,89	0,16	0,73	0,65	0,65	0,20	0,34	0,24	0,43



**Figure 42 : Variations des débits annuels.**

L'examen de l'historique ci-dessus permet de dégager les observations suivantes :  
 Pour oued l'Hai On peut déterminer deux phases différentes :

- la première commence en 1974 et se termine en 1990, Caractérisée par des valeurs moyennes a faible entre 0,1 et 2,91m<sup>3</sup>/s.
- la deuxième est dominée par une perturbation générale entre les valeurs.

L'année 1998 a enregistré un débit maximum de (2,91 m<sup>3</sup>/s) tandis que le débit le plus faible a été observé pendant l'année 1992.

La station de Mchounech implantée sur oued labiod a enregistré un débit maximum annuel de 2,96m<sup>3</sup>/s en 2008 et une valeur minimale de (0,1m<sup>3</sup>/s) en 1986.

Comparativement au bassin voisin d'oued l'Hai, il s'avère que le régime de l'écoulement est bi phasique dans la vallée d'oued l'Hai et monophasique sur oued labiod.

le bassin de l'oued Chemora qui se trouve sur le versant nord du massif présente un comportement monotone caractérisé par une forme nettement sinuose traduisant l'égalité en fréquences des années humides et sèches.

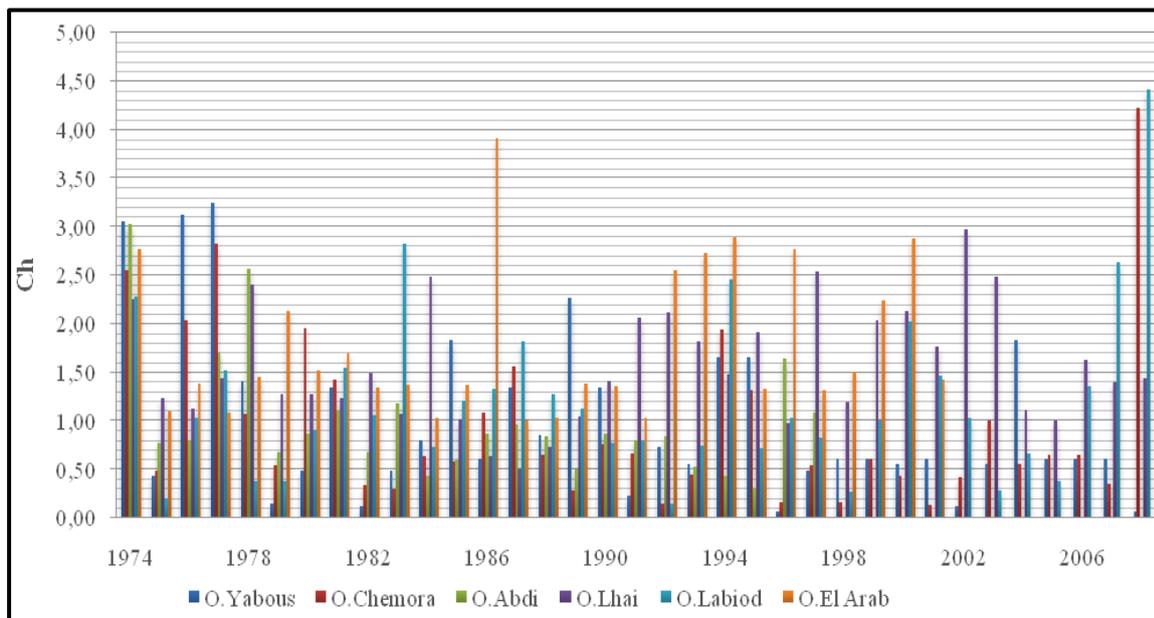
Les débits de l'oued El Arab s'organisent dans deux phases variées la première est caractérisée par un régime d'écoulement faible proche de la moyenne (0,5m<sup>3</sup>/s) s'étend entre 1974 et 1984.

La deuxième étape comporte des valeurs extrêmes supérieure à la moyenne traduisant un écoulement fort et une phase humide. le débit maximum est de l'ordre de 2,4m<sup>3</sup>/s alors que la valeur minimale du débit est (0,65m<sup>3</sup>/s), observé en 1987. En générale l'irrégularité est le caractère principal de l'écoulement dans les vallées du massif.

### III .3. 1. Coefficient d’hydraulicité :

Il est obtenu par le rapport, d’une année donnée dans la série prise, sur la moyenne des débits annuels de la série, selon la formule suivante :

$$Ch = Qi / Q_{moy} \quad (42)$$



**Figure 43: Coefficients de l’hydraulicité des cours d’eau du massif.**

Ce coefficient permet de déterminer la variabilité des débits, suivant les périodes humides (excédentaires) et les périodes sèches (déficitaires). Ces fluctuations hydrologiques traduisent plus ou moins fidèlement les fluctuations des hauteurs de précipitations annuelles reçues par les bassins, étudiés (A. Mebarki, 1982). Les figures 38 et 39 donnent un aperçu sur les variations annuelles des débits et de l’hydraulicité sur des périodes suffisantes.

Les années déficitaires pour oued labioud sont 15 années sur 34, elles se caractérisent par une hydraulicité inférieure à 1. cependant l’hydraulicité la plus élevée est observée durant l’année 2008 avec 4,42 par ailleurs, et sur le versant nord du massif, la station de Chemora marque sa valeur maximale de hydraulicité (4,22) en 2008 dont le nombre d’années humides reste faible (11).le nombre d’ années hydrologiques déficitaires atteint son maximum sur la station de Djemoura de oued Abdi (16 années sèches sur 23 ans). En général l’hydraulicité se range dans la catégorie faible à très faible. Elle traduit un régime complètement humide.

Dans bien des cas les valeurs extrêmes de l’hydraulicité coïncident avec l’abondance des crues et des pluies torrentielles maximales. (1974, 1994, 2008).

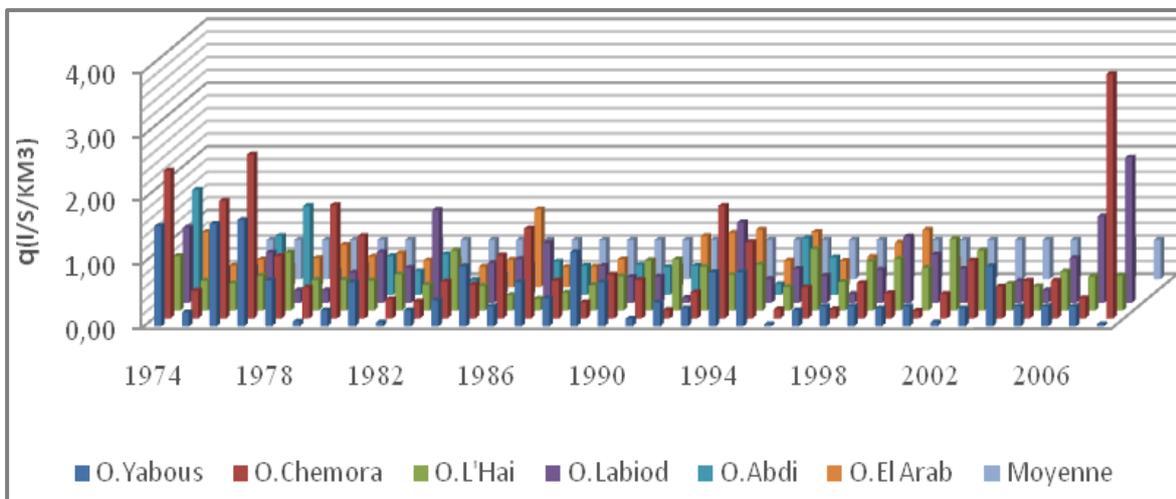
### III .3.2. Débit spécifique

Ce débit est rapporté à la surface du bassin versant qui permet d'étudier et de comparer l'hydrologie des bassins versants de superficies différentes.

le module spécifique (q) est donné par la formule suivante :

$$q \text{ (L/S/Km}^2\text{)} = E \text{ en (mm /an) /31,536.} \quad (43)$$

Les variations des débits spécifiques dans les cours d'eau de la zone d'étude sont illustrées sur la figure 44.



**Figure 44: Variations du module spécifique dans les cours d'eau du Massif.**

Les moyennes interannuelles des débits spécifiques des bassins étudiés permettent de dégager trois classes hydrologiques qui évoquent les différenciations physiographiques et climatiques du massif (Fig. 44). Le bassin de Chemora qui se trouve sur le versant méridional du massif, atteint son maximum en écoulement en 2008 avec (3,2 l/s/km<sup>2</sup>). Il reçoit annuellement une lame d'eau écoulée de 28mm. Il s'avère claire que les bassins du versant septentrional du massif ont un rendement moyen, compris entre 0,6 et 1,2 l/s/km<sup>2</sup>.

L'écoulement (mm) comprise entre 16,80 et 18 mm par an, sous cette classe se rangent Oued l'Hai et oued El Arab. Par ailleurs le minimum de rendement hydrologique est obtenu par les petits affluents montagneux alimentés par des petits bassins (O. yabous) dont la lame d'eau écoulée égale a (16mm).

La remarque essentielle que l'on obtienne de l'utilité de ce coefficient est sûrement la confirmation sur l'irrégularité et la variabilité du régime d'écoulement dans les cours d'eau du massif.

### III .3.3. Coefficient de variation des débits :

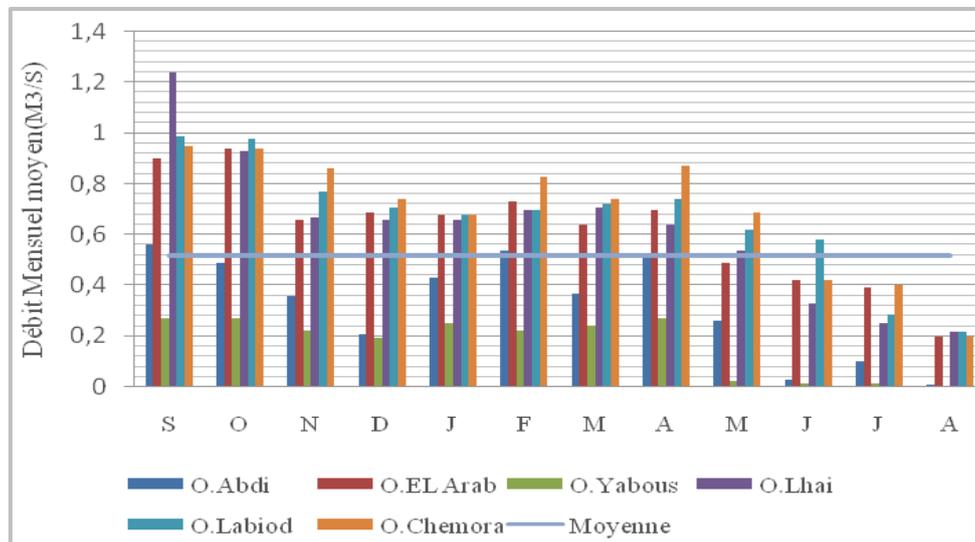
L'analyse de l'irrégularité interannuelle de l'écoulement, peut être complétée par le coefficient de variation (Tableaux18,19).

Le coefficient de variation est un paramètre statistique qui montre la dispersion des modules particuliers autour de la moyenne et utilisé pour comparer entre plusieurs bassins de différentes tailles. Les valeurs du coefficient de variation sont moyennes. Nous relevons les plus fortes valeurs au niveau des bassins du versant nord du massif (Chemora et de Yabous) dont les valeurs varient entre 0,89 à 0,94 en revanche, les valeurs moyennes de ce coefficient (0,60 et 0,85) s'observent sur les vallées du Sud- Ouest du massif. Elles sont inférieures à 0,43 dans les bassins versants de Sud-est. Les résultats obtenus font apparaître aussi, que la valeur de ce coefficient n'est pas toujours attaché a la grande superficie (le Bassin versant de yabous malgré sa petite superficie donne un coefficient très élevé (0,87). Cette variabilité dans l'ensemble est liée à l'alimentation essentiellement pluviale irrégulière des cours d'eau,

### III .4. Variations mensuelles des débits

L'analyse des débits moyens mensuels permet de mettre en évidence les régimes des cours d'eau et leurs variations inter annuelles ou inter saisonnières. L'interprétation de ces régimes peut être établie par divers critères statistiques.

Les chercheurs insistent sur la contribution majeure de l'apport mensuel des mois de l'automne et du printemps dans chaque action érosive décisive (Fig. 45).



**Figure 45 : Variations mensuelles des débits (Stations des Aurès).**

Pour l'ensemble des bassins les écoulements moyens mensuels les plus élevés s'observent entre septembre et avril, tout simplement c'est la période qui correspond avec la pluviométrie mensuelle la plus abondante (période des hautes eaux mensuelles), sur tous les oueds, le maximum moyen s'observe en septembre ou octobre.

Le débit mensuel maximum est observé sur la vallée d’oued L’Hai. (1,25 m<sup>3</sup>/s) alors que le minimum s’observe sur la vallée d’Oued Abdi (0,01m<sup>3</sup>/s).

Pour l’ensemble des stations, les mois de l’été se rangent dans la période des basses eaux avec des débits inférieurs a 0,5m<sup>3</sup>/s (Fig46).

**III .4.1. Coefficient mensuel des débits :**

Ce paramètre explique la contribution de l’apport mensuelle des débits dans la totalité de l’écoulement annuel, son expression mathématique est donnée par la formule suivante :

$$CMD = Q \text{ moy mensuel} / Q \text{ moy annuel} \tag{46}$$

Avec :

CMD : Coefficient Mensuel des Débits

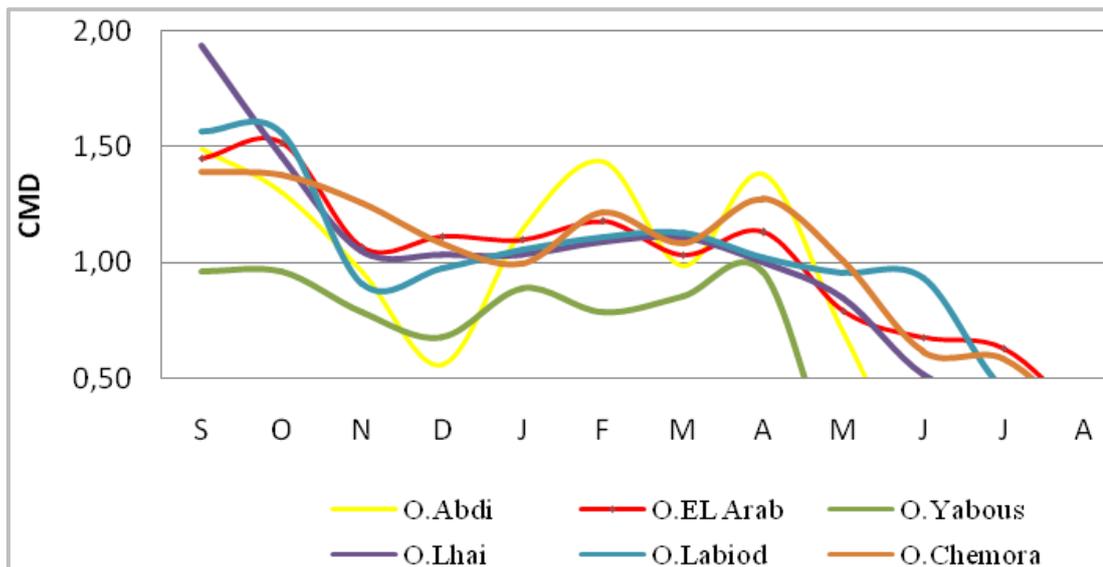
Q<sub>moy<sub>men</sub></sub> : Débit moyen mensuel (m<sup>3</sup>/s).

Q<sub>moy<sub>An</sub></sub> : Débit moyen annuel (m<sup>3</sup>/s).

Les valeurs de CMD expriment deux périodes variées :

La période des hautes eaux , (CMD > 1).

Une période des basses eaux , (CMD < 1).



**Figure 46: Coefficients mensuels des débits**

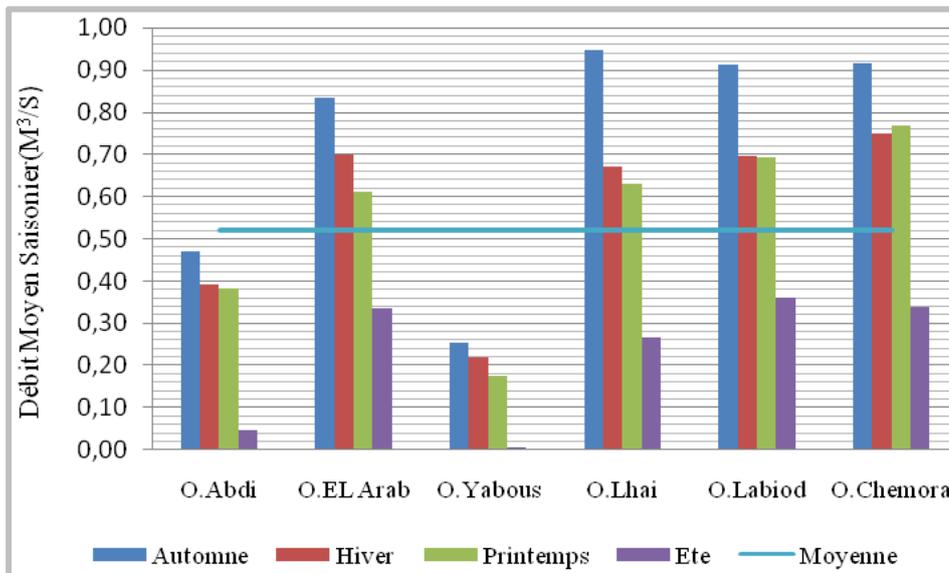
Il semble clair que le mois de septembre présente une concentration maximale estimée de 1,94 m<sup>3</sup>/s pour la vallée d’oued Lhai. Cependant, le mois d’Aout offre des valeurs relativement faibles, il apparait que le résultat obtenu n’est que l’effet de la baisse de la lame d’eau précipitée.

En général les valeurs supérieures à 1 qui traduisent la période des hautes eaux demeurent majoritaires est partagée entre l’Automne, le printemps et l’hiver (Fig.47).

**III .5. Variations saisonnières des débits :**

Tableau 21: Variations des écoulements saisonniers.

	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Annuel (M3/S)	ECTYPE	CV
O. Abdi	0,47	0,39	0,38	0,05	0,32	0,19	0,58
O. EL Arab	0,83	0,70	0,61	0,34	0,62	0,21	0,34
O. Yabous	0,25	0,22	0,18	0,01	0,16	0,11	0,67
O. Lhai	0,95	0,67	0,63	0,27	0,63	0,28	0,44
O. Labiod	0,91	0,70	0,69	0,36	0,67	0,23	0,34
O. Chemora	0,92	0,75	0,77	0,34	0,69	0,25	0,36



**Figure 47: Variations des débits saisonniers des cours d’eau du massif.**

La variabilité saisonnière des débits (Fig. 47) se découle exactement des résultats de calcul du Cv et de l’écart type pour les différentes stations et pour les différents mois de l’année. Le régime saisonnier est nettement variable, les coefficients de variation les plus élevés (0,67 et 0,58) correspondent avec les débits les plus faibles (0,16 et 0,32m<sup>3</sup>/s) ces petites valeurs entrecroisent avec les petits bassins (O. Yabous, O. Abdi), alors que les valeurs les plus faibles de ce coefficient (inferieur a 0,40) s’observent sur les grands bassins qui connaissent un écoulement important (plus de 0,60m<sup>3</sup>/s).

Oued yabous et oued Abdi présentent des débits saisonniers sous la moyenne, cette situation déficitaire est due à la faiblesse de la lame d’eau écoulee et probablement vient des conditions lithologiques défavorables (Infiltration forte).

Les écoulements les plus élevés pour toutes les stations s’observent pendant l’automne, l’hiver et le printemps. Tandis que les débits les plus faibles caractérisent l’été (Tab 19).

**III .6. Lame d’eau écoulée :**

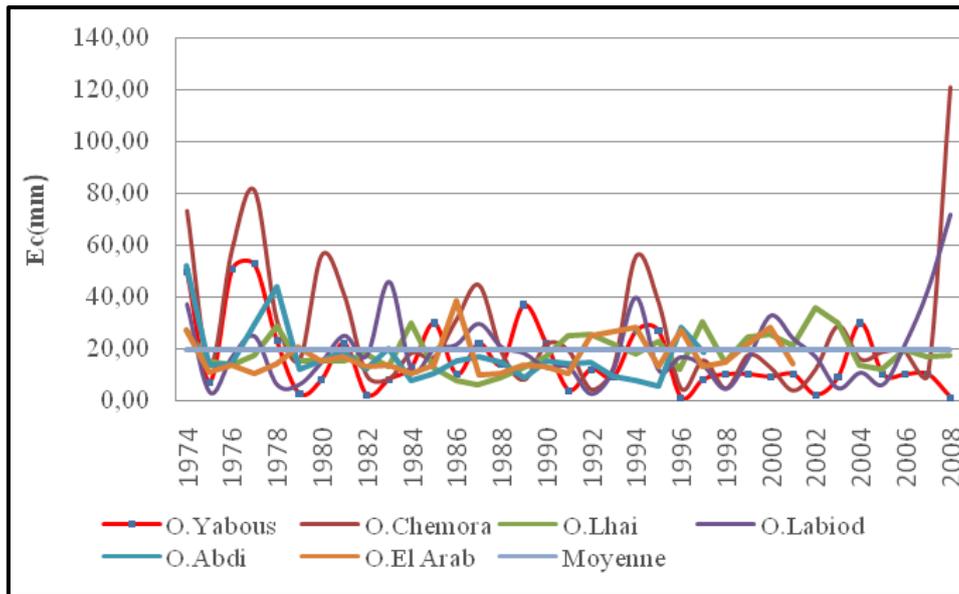
Le calcul de la lame d’eau écoulée est donné par la formule suivante :

$$Le=Q*31536/S, \tag{44}$$

Avec :

- Le : lame d’eau écoulé en (mm).
- S : surface du bassin versant en km<sup>2</sup>.
- T : nombre de seconde dans l’année.
- Q : Débit annuel moyen en (m<sup>3</sup>/s)

Les résultats de calcul de la lame d’eau sont représentés sur la figure 48.



**Figure 48: Variations annuelles de la lame d’eau écoulée.**

La tranche d’eau moyenne interannuelle écoulée varie de 18,66 mm (Bassin oued El Hai) à 19,76mm (Oued Labiod) sur le versant sud du massif. Par ailleurs, le versant nord offre des valeurs relativement élevées entre 18,02mm (Oued Chemora) et 27,38 mm sur oued Yabous (Tableau 20).

Les zones d'écoulement moyen, se sont donc réparties en fonction de la diversité des facteurs lithologiques, et climatiques. Les altitudes les plus élevées sont généralement les plus arrosés et les plus abondants en écoulement (Station d'Ichemoul).

En général le régime de l'écoulement est nettement irrégulier, l'écart entre les valeurs maximales et minimales reste très clair en 2002. Notons qu'oued Abdi a reçu une tranche d'écoulement de 5mm alors qu'oued El Hai a enregistré une lame d'eau écoulée estimée de 35 mm ; Il est a signaler que les valeurs extrêmes surviennent dans plusieurs stations. (Fig. 48).

**III .6.1. Le coefficient d'écoulement :**

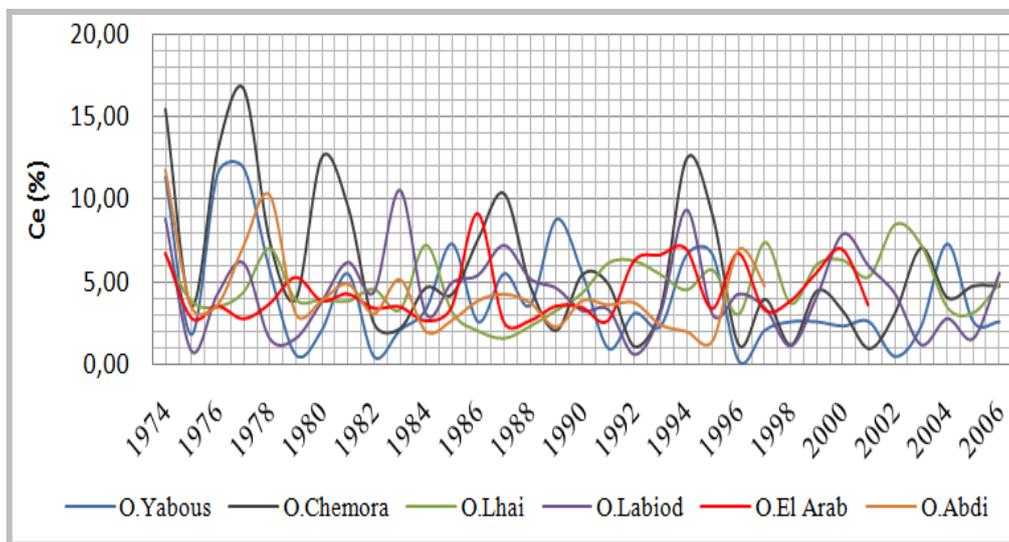
Le coefficient d'écoulement (Ce %) est le rapport de l'écoulement à la pluviométrie, est un élément qui explique au mieux les termes du bilan hydrologique

Définie par la formule suivante :

$$C (\%) = (E/P \times 100) \tag{45}$$

Ce paramètre explique la contribution de certains facteurs physico-géographiques, leur influence sur l'écoulement, et utilisé aussi à comparer des bassins d'étendues différentes (Fig.49).

Les variations interannuelles de ce coefficient sont représentées sur la figure ci-dessous :



**Figure 49: Variations Annuelles des coefficients de l'écoulement.**

C'est sur Oued Chemora que l'on obtient la valeur la plus élevée du coefficient d'écoulement (44,75%), tandis que la valeur la plus faible (0,17 %) est observée au niveau du bassin d'oued yabous et serait expliquée par l'effet de la surface.

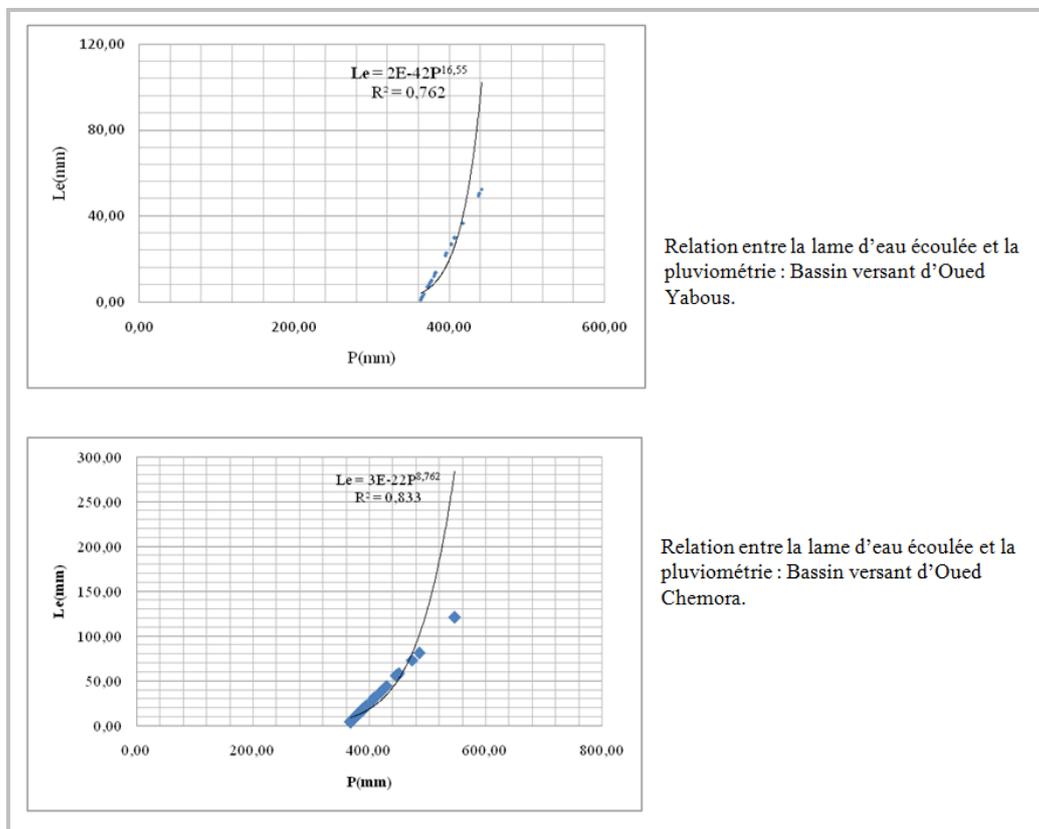
A Oued labiod, qui contrôle un bassin dominé à sa partie amont par des effets subhumides a semi-arides les valeurs de ces coefficients s’élèvent et assurent un écoulement considérable et regroupent plus de 12 valeurs qui dépassent 10%. (Fig. 49).

### III .7. Corrélations entre certains paramètres hydrologiques

La corrélation simple met en évidence la dépendance des événements entre eux pour des intervalles de temps, tenant compte le coefficient de corrélation comme un paramètre interprétant l’intensité de la relation entre les événements pour chaque bassin.

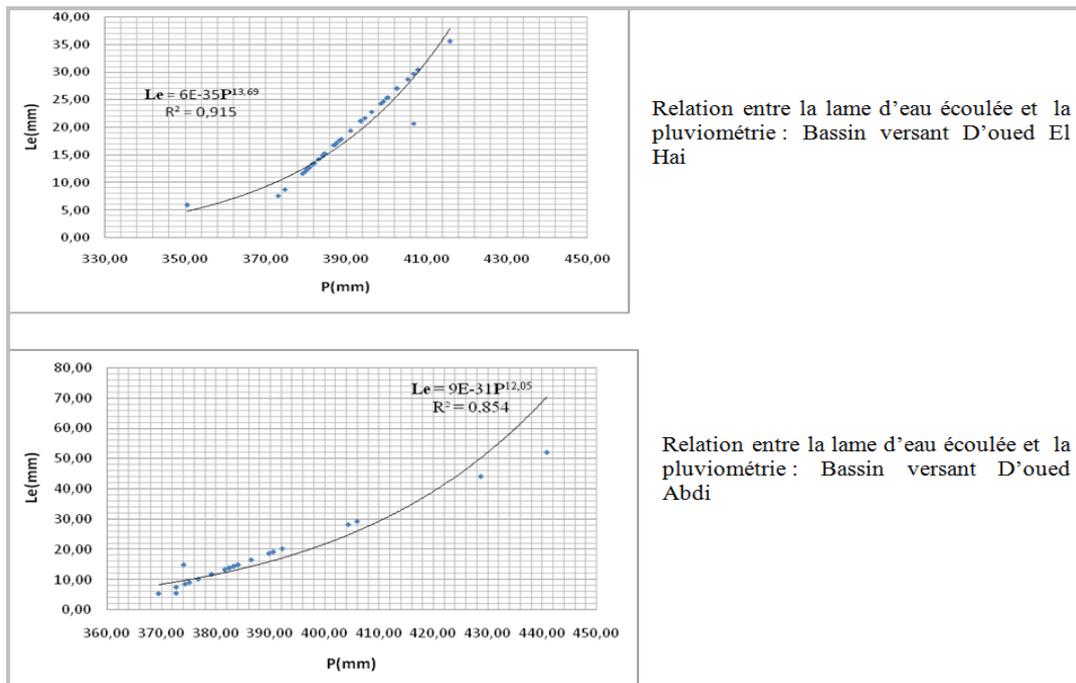
La modélisation des écoulements liquides et solides à l’échelle du bassin s’avère une étape incontournable pour les actions de l’aménagement des bassins versants.

Dans ce sens nous avons étudiés les relations possibles entre les différents paramètres hydrologiques (Lame d’eau- Pluie, Débit- Pluie). Comme le montre les figures ci-dessous :

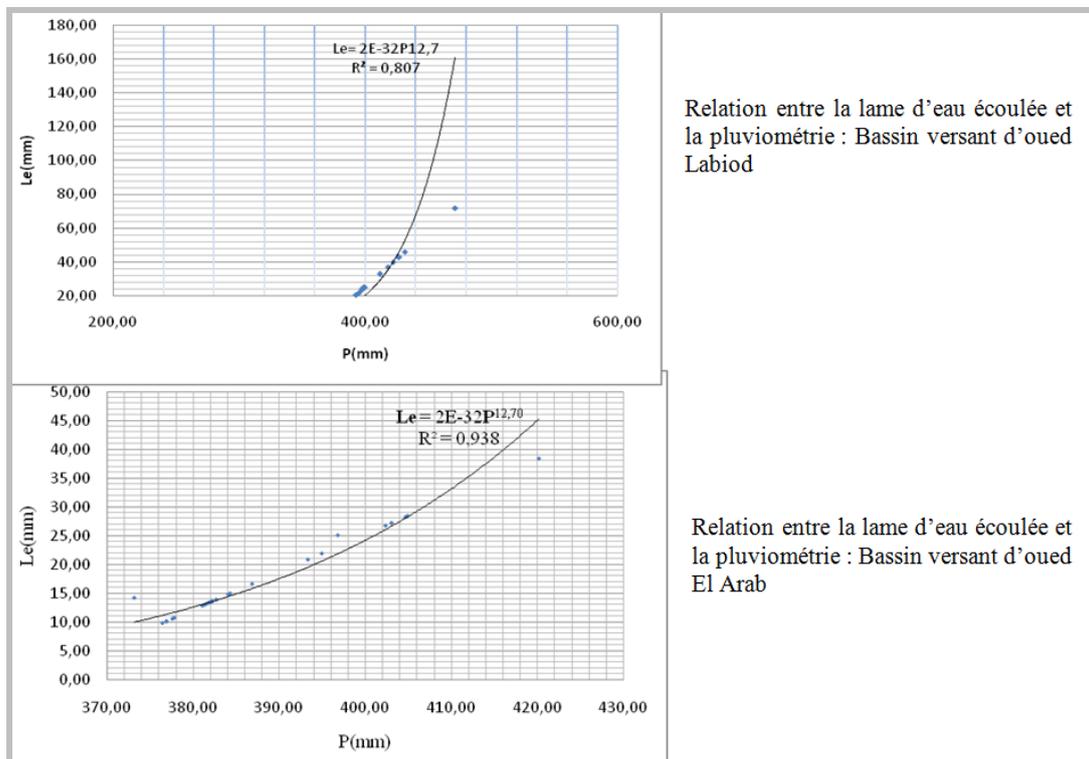


**Figure 50:Corrélation entre la pluie et la lame d’eau écoulée.**

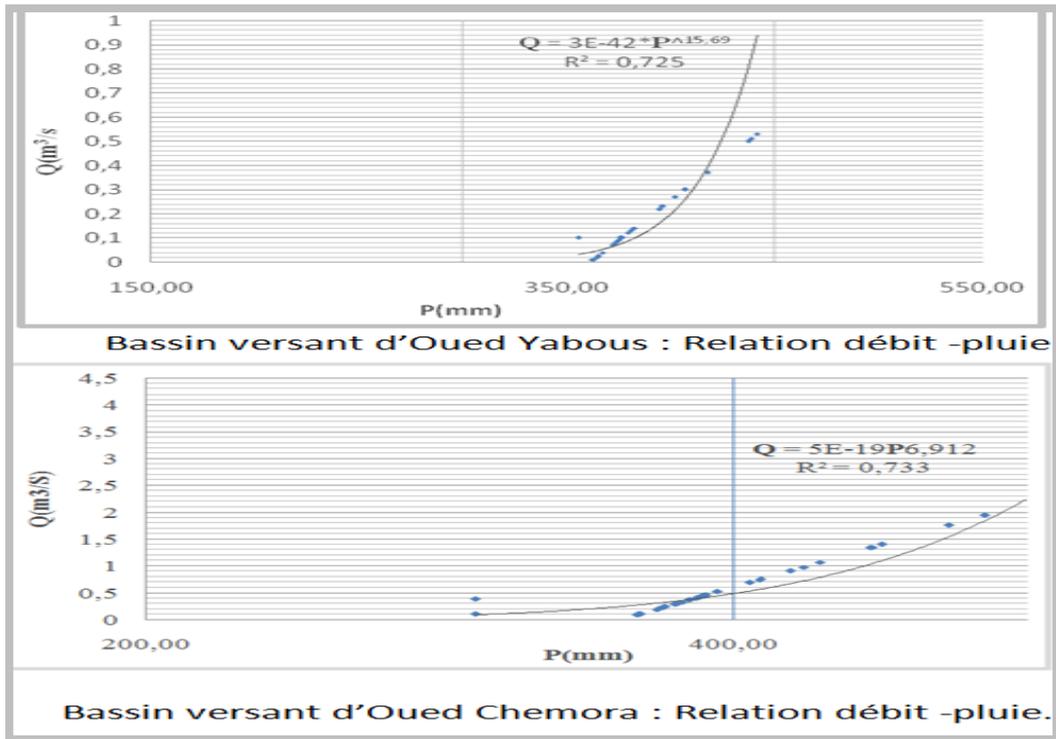
(Bassins versants : Yabous et Chemora)



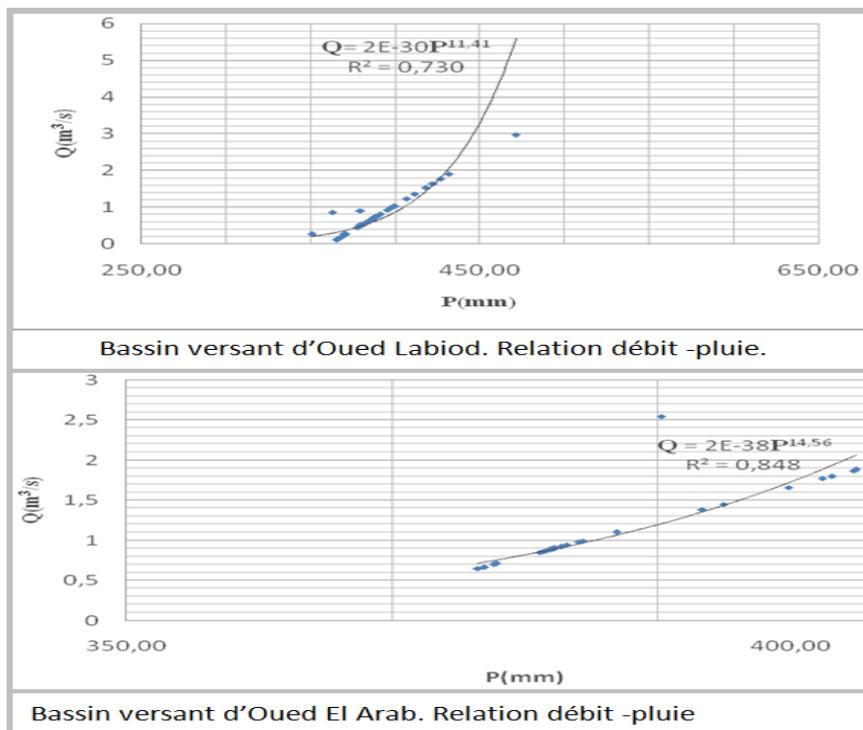
**Figure 51:Corrélation entre la pluie et la lame d'eau écoulée.**  
(Bassins versants : O. El Hai et O. Abdi)



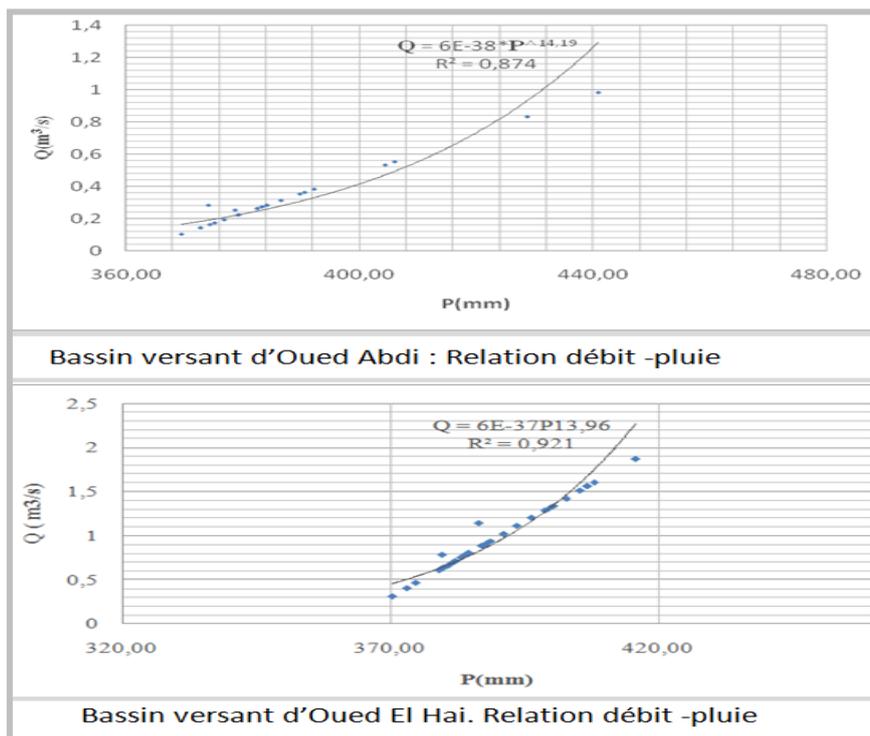
**Figure 52:Corrélation entre la pluie et la lame d'eau écoulée.**  
(Bassins versants : O. Labiod et O. El-Arab)



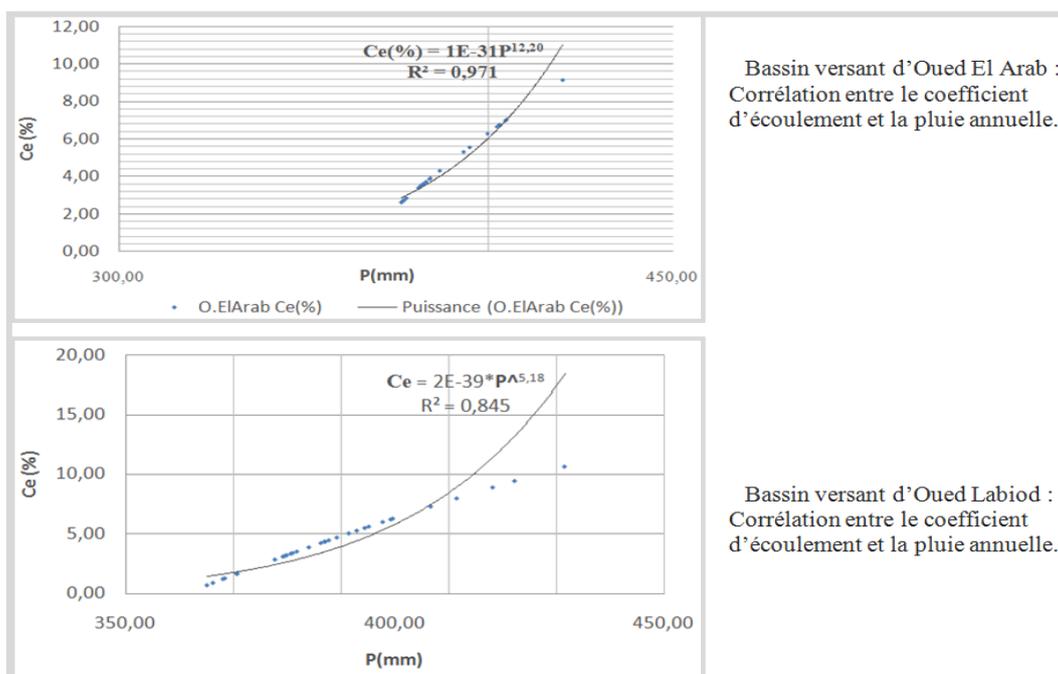
**Figure 53:Corrélation entre le Débit et la pluie**  
(Bassins versants : O. Yabous et O. Chemora)



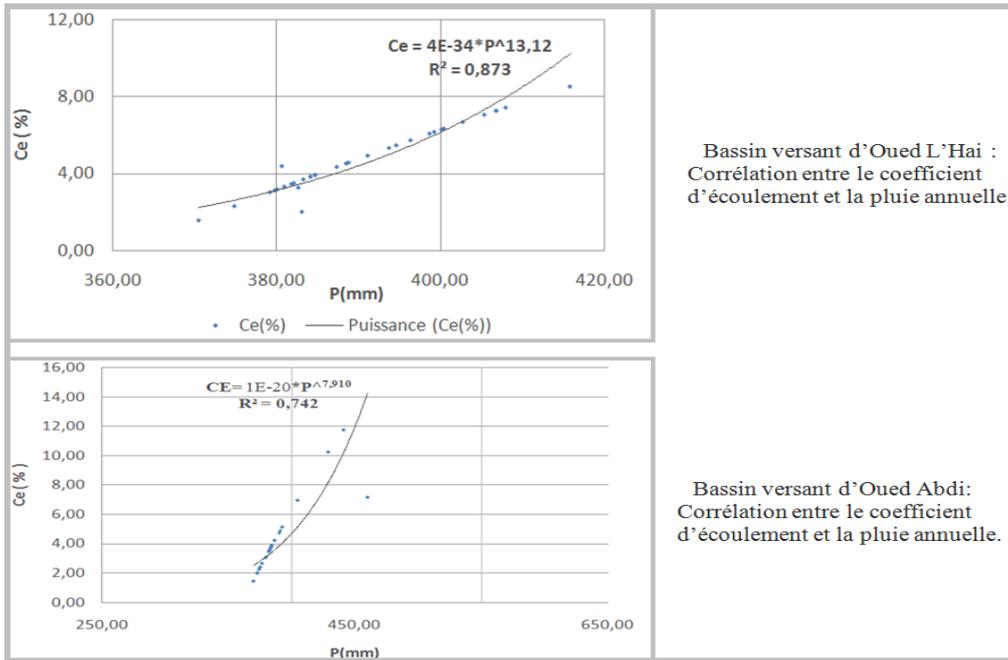
**Figure 54:Corrélation entre le Débit et la pluie**  
(Bassins versants : O. Labiod et O. Al Arab)



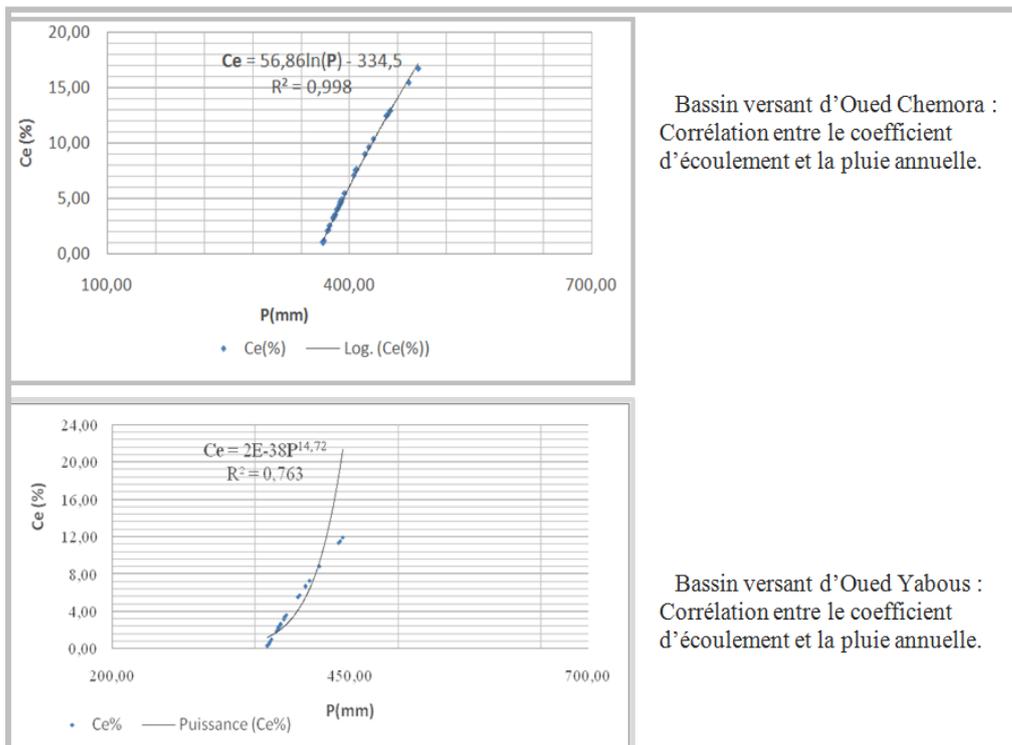
**Figure 55: Corrélation entre le Débit et la pluie**  
 (Bassins versants : O. El-Hai et O. Abdi)



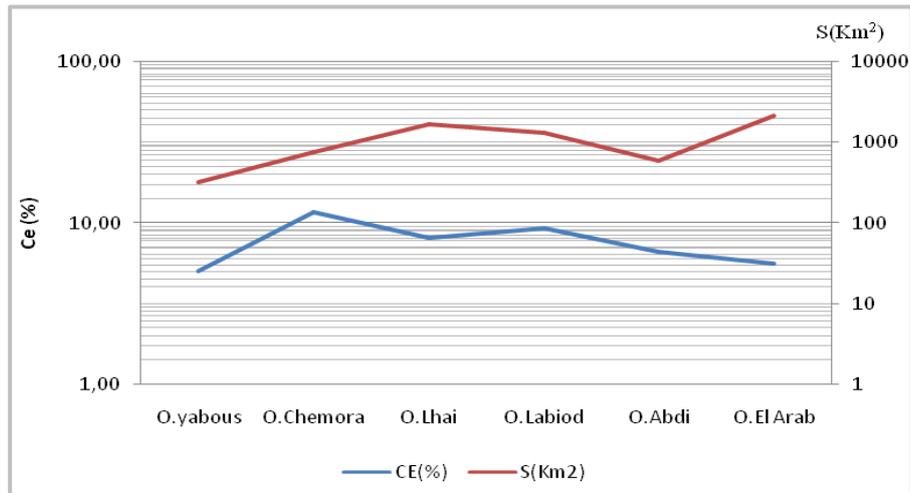
**Figure 56: Corrélation entre le Coefficient d'écoulement et la pluie**  
 (Bassins versants : O. El Arab et O. Labiod)



**Figure 57: Corrélation entre le Coefficient d'écoulement et la pluie**  
(Bassins versants : O. El Hai et O. Abdi)



**Figure 58: Corrélation entre le Coefficient d'écoulement et la pluie**  
(Bassins versants : O. Yabous et O. Chemora).



**Figure 59: Relation entre le Coefficient d'écoulement et la surface (Bassins versants étudiés)**

La figure 59 montre une bonne relation entre la surface des bassins et le coefficient de l'écoulement.

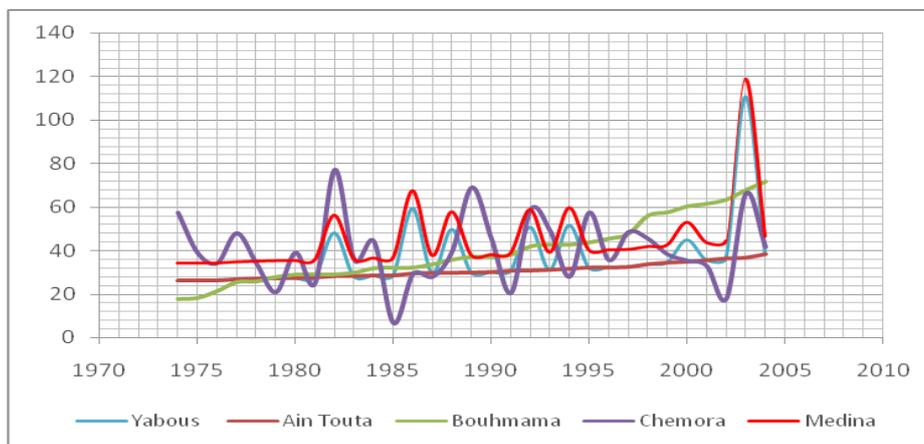
Cette corrélation reste relativement faible pour le bassin d'oued El Hai alors que pour l'ensemble des bassins la relation est très représentative.

Il convient de citer que A. Mebarki (2004) a trouvé que le carré de surface s'accorde bien avec le coefficient de l'écoulement.

### III.8. Pluies journalières maximales :

Les pluies concernées sont les pluies torrentielles ou les averses, selon certains hydrauliciens ce type de pluie reste capable de générer des inondations et de grandes pertes de sols, généralement cette pluviométrie est bien liée à des altitudes et à des saisons précises.

La distribution des pluies extrêmes sur le massif est illustrée sur (la figure 60)



**Figure 60: pluies journalières maximales observées sur le massif.**

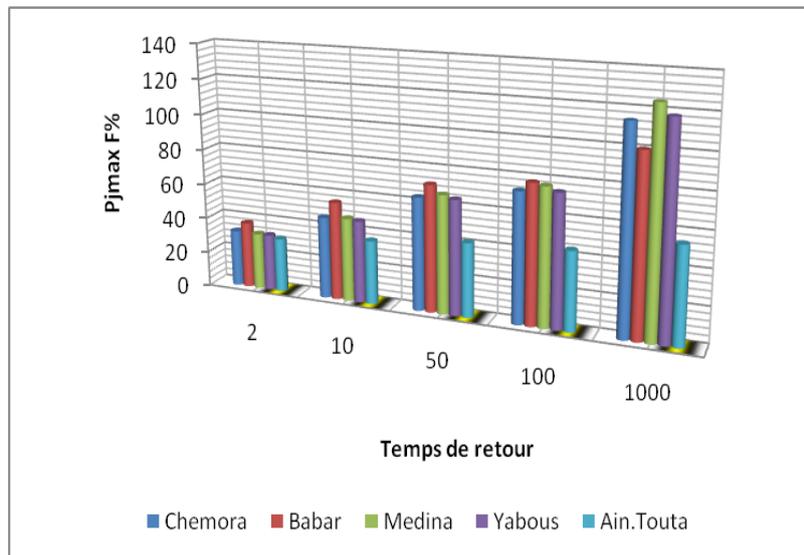
Les quantités maximales s’observent sur la station de médina (118mm), station de yabous (110mm). Alors que les valeurs minimales apparaissent sur la station de Ain Touta (Plus de 20 valeurs sont inférieure a 26mm).

Il apparait que les hauteurs les plus élevées correspondent avec les altitudes les plus importantes, médina (1570 m) Yabous (1200 m), (Fig. 60).

**III.8.1. Estimation des Pluies journalières maximales Fréquentielles :**

L’estimation des pluies fréquentielles est très importante dans la détermination des débits de projet alors que cette estimation offre un choix de prévision des pluies basé sur la fréquence et la durée voulues. A savoir un modèle mathématique adaptable aux comportements statistiques des pluies.

Le calcul des pluies journalières fréquentielles a été effectué Selon la loi de Sokolovski et nous a permis de réaliser la (figure 61) :



**Figure 61: pluies journalières maximales fréquentielles estimées.**

Les quantités de pluie extrême estimées sont irrégulières et nettement variées d’une station à une autre et a une période à une autre.

Au début les valeurs se rapprochent l’une des autres et ne dépassent pas (38 mm) à une durée de 2 ans. Bien que la durée augmente la pluie extrême s’accroît progressivement et atteint dans une durée de 100 ans environs de 70 a 80 mm sur l’ensemble des stations ; il est a noter que la station de Ain Touta a enregistré les pluies estimées les plus faibles.

Quant aux pluies millénaires maximales, elles s’observent sur les stations exposées au nord et qui se trouvent implantées sur des altitudes relativement élevées médina (122mm), yabous (118mm), Chemora, (116mm).

K. Body (1981) a proposé trois formules pour l’estimation des Pjmaxe en Algérie.

Cet Auteur a établi trois relations (46, 47, 48), qui déterminent les précipitations moyennes des pluies journalières maximales, à travers les bassins versants Algériens, ces relations sont :

$$\overline{P_{j\ max}} = 0,0525.\overline{P_{an}} + 18,6 \tag{46}$$

$$\overline{P_{j\ max}} = 0,088.\overline{P_{an}} + 9,2 \tag{47}$$

$$\overline{P_{j\ max}} = 0,233.\overline{P_{an}} + 6,1 \tag{48}$$

$\overline{P_{an}}$  = pluie annuelle moyenne en (mm).

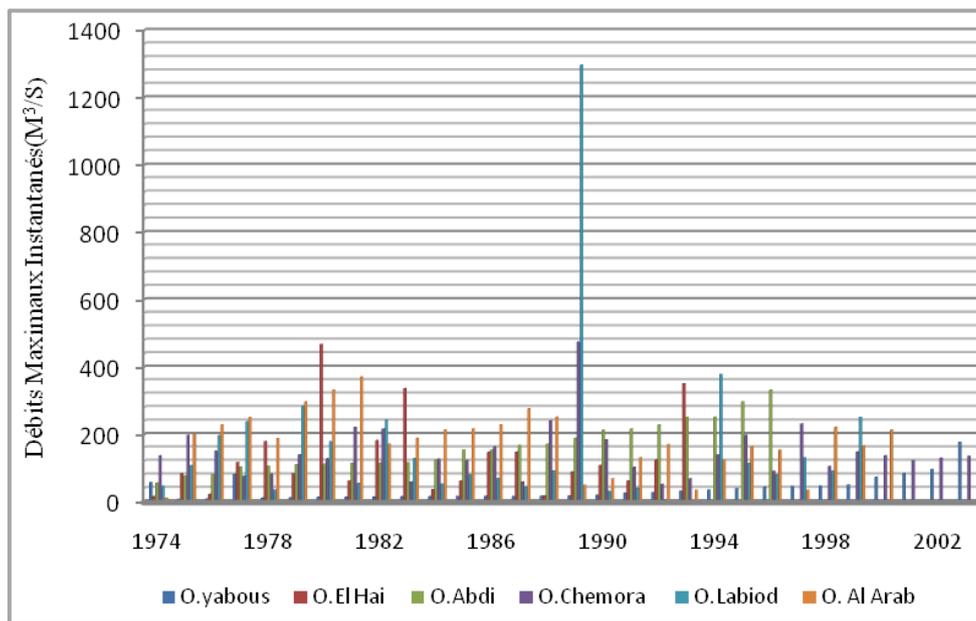
D’après SARVARY la relation (47), s’applique uniquement sur la partie Ouest en Algérie [Oran, Tafna, Macta et côtiers Ouest], Ce pendant tous les autres bassins s’adaptent à la relation I, sauf la partie centrale de Sahara.

L’ajustement des pluies journalières maximales va permettre l’estimation des pluies fréquentielles de courte durée.

### III.9. Débits journaliers instantanés maximaux

En général l’étude des débits maximaux instantanés à une utilité très importante dans la connaissance des variations des régimes hydrologiques.

Les débits maximums disponibles des bassins étudiés sont présentés sur la figure 62 :



**Figure 62: Débits Maximaux Instantanés des vallées étudiées**

Le régime des débits instantanés maximums est très varié d’une année à une autre et d’une station à une autre, dans l’ensemble (oued Chemora, oued El Hai et oued El Arab) qui donnent des débits très importants et beaucoup de valeurs extrêmes qui dépassent 100m<sup>3</sup>/s. Alors que l’oued yabous et oued Abdî donnent des débits relativement faibles. Il apparait que les petits bassins enregistrent les débits les plus faibles (effet de la superficie).

**III.9.1. Estimations des débits maximaux fréquentiels**

III.9.1.1. Formule de Turazza :

Considérée comme l’un des plus importants modèles pour l’estimation des débits maxims. Par ailleurs, la méthode rationnelle est le modèle empirique le plus universellement utilisé dans les calculs des réseaux d’assainissement urbain.

Cette équation est basée sur les pluies journalières maximales, la formule tient compte également le temps de concentration, la surface du bassin versant et le coefficient de l’écoulement.

$$Q_{MaxF\%} = \frac{C \cdot P_{tc} \cdot S}{3.6T_c} \tag{49}$$

C : Coefficient de ruissellement (0,70 – 0,90) sans unité.

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.

$$P_{TC} = PJ_{Max.F\%} \cdot \left(\frac{t_c}{24}\right)^b \tag{50}$$

Les résultats obtenus de l’application de cette loi dans quelques stations sont présentés dans une série des tableaux suivants.

Tableau 22: Ajustement des débits journaliers maximaux à la loi de Gumbel

	T(Années)	2,00	10,00	50,00	100,00	1000,00
	F(%)	0,50	0,90	0,98	0,99	1,00
Station	U	0,36	2,25	3,90	4,60	6,90
M'Chouneche	Q MaxF% (m <sup>3</sup> /s)	282,90	537,37	760,47	854,78	1166,43
Yabous		28,49	101,18	164,92	191,86	280,89
El Kantara		354,67	1112,94	1777,71	2058,75	2987,38
Djemoura		370,54	1085,14	1711,63	1976,48	2851,64
Babar		57,85	131,66	196,37	223,72	314,11
Timgade		22,81	39,37	53,90	60,04	80,33

Le débit de crue centenaire et millénaire, les plus élevés sont enregistrés sous bassin de l’oued El Hai (station Al Kantara) (Q<sub>100ans</sub> = 2058,75 m<sup>3</sup> /s) et (Q<sub>1000ans</sub> =2987,38 (m<sup>3</sup> /s), en raison de la grande superficie drainée par ce cours d’eau (1700Km<sup>2</sup>). De même pour le

bassin de l'oued Labiod d'une superficie de 1300 km<sup>2</sup> présente un débit relativement élevé ( $Q_{t_{100\text{ans}}}=854,78\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{t_{1000\text{ans}}}=1166,43\text{ m}^3/\text{s}$ ), ces valeurs expliquées par la nature de la lithologie imperméable et le couvert végétal assez dégradé tandis que la vallée de yabous présente les valeurs les plus faibles ( $Q_{100\text{ans}}=191\text{m}^3/\text{S}$ ,  $Q_{1000\text{ans}}=280,89\text{ m}^3/\text{S}$ ) en raison de sa petite superficie (312Km<sup>2</sup>).

### **III.10. Les crues**

Les crues sont des phénomènes naturels engendrées par les formes de précipitations (Simona et Cedric, 2007 ; Ducrocq, 2006).

Elles sont liées aux régimes hydrologiques et aux caractéristiques du bassin versant (JP. Bravard et al, 1997).

Certains bassins versants du massif, appartiennent au régime pluvial ou au régime nivo-pluvial on peut définir la crue comme augmentation importante du volume des eaux sous l'effet de l'écoulement et la pluie.

Le massif connaît des crues généralement en saison humide. Ce sont les mois de septembre et décembre qui comptent plus de crues. Les crues dépendent essentiellement de l'abondance de l'intensité et de la répartition des pluies sur le bassin versant ; La pente du bassin versant et sa couverture végétale accélérant les écoulements

La structure et la hiérarchisation du réseau hydrographique, la morphologie propre du lit fluvial accélère la genèse et l'évolution des différentes types de crues (S. Chave, 2002) .

#### **III.10.1. Les crues d'orage :**

Elles se produisent par de violents avers et sur des vallées montagneuses, à forte pente. Elles se développent généralement en automne sous l'effet des pluies orographiques de courte durée (4 à 6 heures) (Probst and al, 1992 ; Roose ,1994) Par ailleurs, les débits de pointe de ce peuvent être importants, dépassant 100 m<sup>3</sup>/s (crue de 24/08/1978 a la station de khanguet Sidi Nadji Oû :  $Q_{j\text{max}} = 72.8\text{ m}^3/\text{s}$ ).

#### **III.10.2. Les fortes crues généralisées :**

Elles surviennent généralement durant l'hiver, le printemps et plus particulièrement durant les mois de février et mars : elles sont engendrées par des précipitations relativement régulières, continues d'ont les intensités demeurent très variables.

Tableau 23: Débits de crue journaliers observés

Date	Saison Sèche		Date	Saison Humide	
	Crue (m <sup>3</sup> /s)	Haut max (mm)		Crue (m <sup>3</sup> /s)	Haut max (mm)
25/05/1972	53.66	129	06-09/09/1989	72,9	25,2
06/10/1972	66.14	284	18/11/1976	17.00	135
18/06/1976	39.47	214	11/11/1982	44.34	128
24/08/1978	72.80	25	11/11/1984	13.70	22
12/05/1982	72	25	07/03/1992	15.85	125
20/06/1989	66.97	286	07/03/1997	33.2	118
03/08/1990	127.66	390	29/04/2001	24.73	89
28/05/1991	85.55	125			
31/07/1994	46.78	135			

Nous insisterons dans ce chapitre sur l'étude des débits susceptibles d'exercer un effet important sur la dynamique fluviale et plus particulièrement ceux qui contribuent dans le façonnement et l'évolution des lits des cours d'eau. Il s'agit des débits de crue, parmi lesquelles nous privilégierons les débits exceptionnels qui sont capables de subir des variations morpho dynamiques fluviales très importantes et peuvent participer pratiquement dans les processus de la sédimentation des barrages.

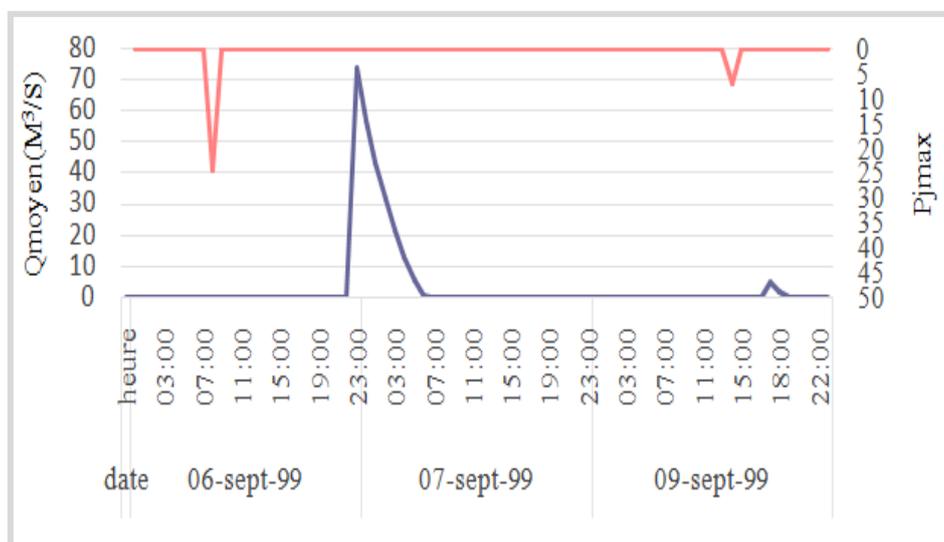
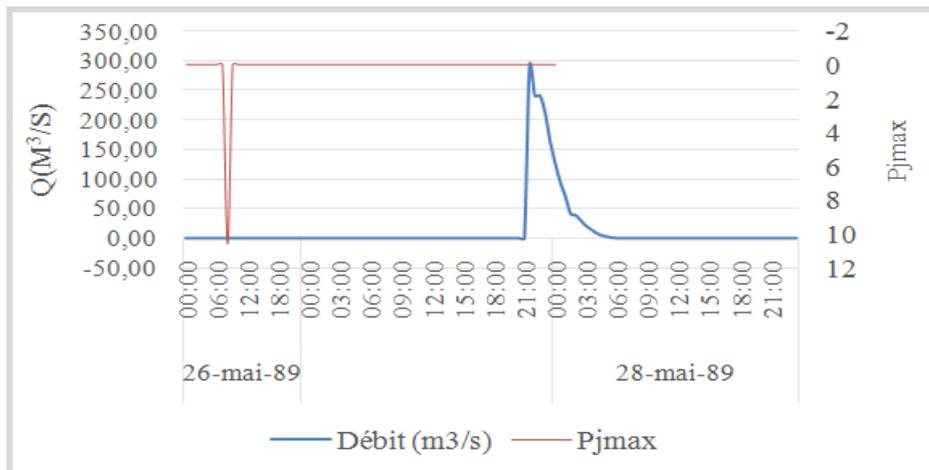


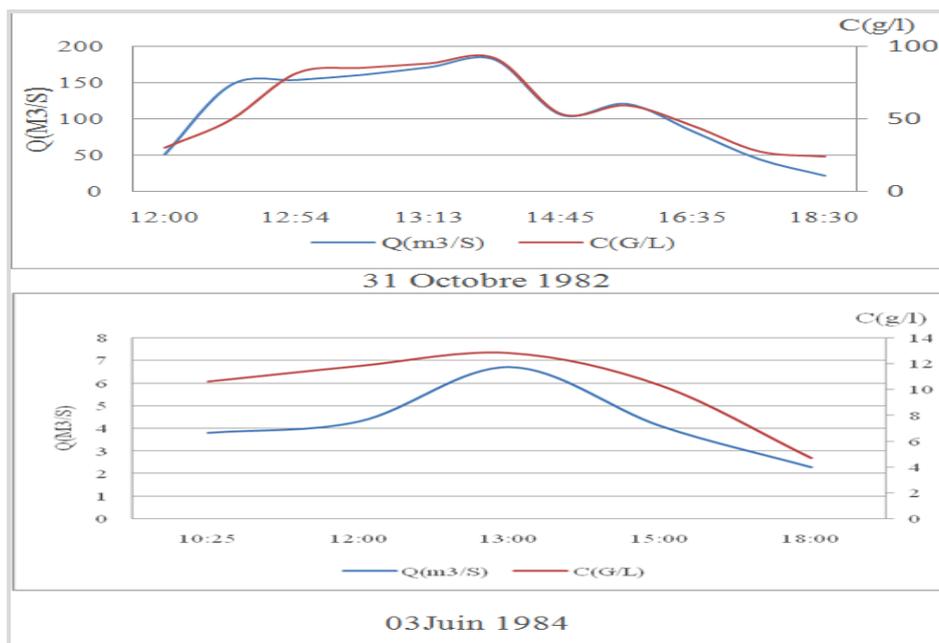
Figure 63 : Hydrogramme de crue du (06-09 mai1989) à la Station de Timgad.



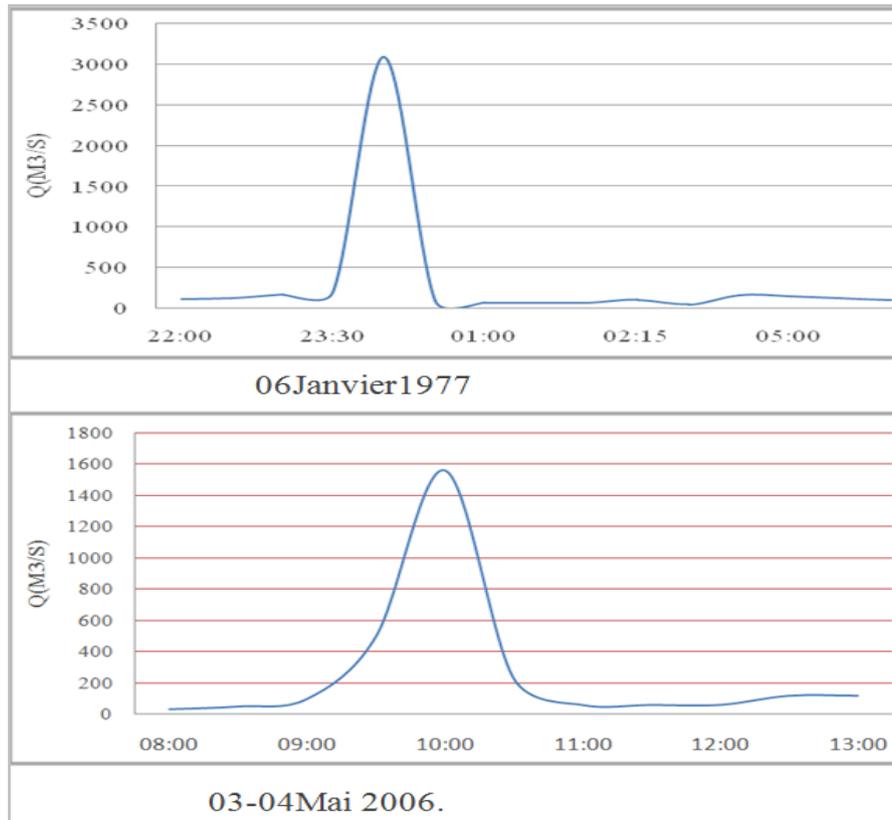
**Figure 64 : Hydrogramme de crue de (26-27-28mai1989) à la Station de yabous.**

L'hydrogrammes de crues de Timgad a enregistré un débit de point de  $72,9\text{m}^3/\text{s}$  pour une pluviométrie de 25mm durant 4jours. Alors que l'hydrogramme observé dans la station de Yabous a donné un débit de point de  $300\text{m}^3/\text{s}$  pour une pluie maximale de 12mm pendant 3jours ; la différence entre les volumes observés peut s'expliquer par la mobilisation rapide des pluies par l'oued yabous qui offre un régime fluvial torrentiel et une superficie très petite par rapport à celle du bassin de Chemora.

Il apparait que la forme des deux hydro grammes, présente une grande ressemblance malgré la différence dans les valeurs de certains paramètres géométriques et hydrologiques notamment la surface et le volume mobilisé (Fig. 64).



**Figure 65:Crues enregistrées dans la vallée d'Oued L'Hai à la station d'El Kantara.**



**Figure 66 : Crues enregistrées dans la vallée d’Oued Abdi à la station de Djemora.**

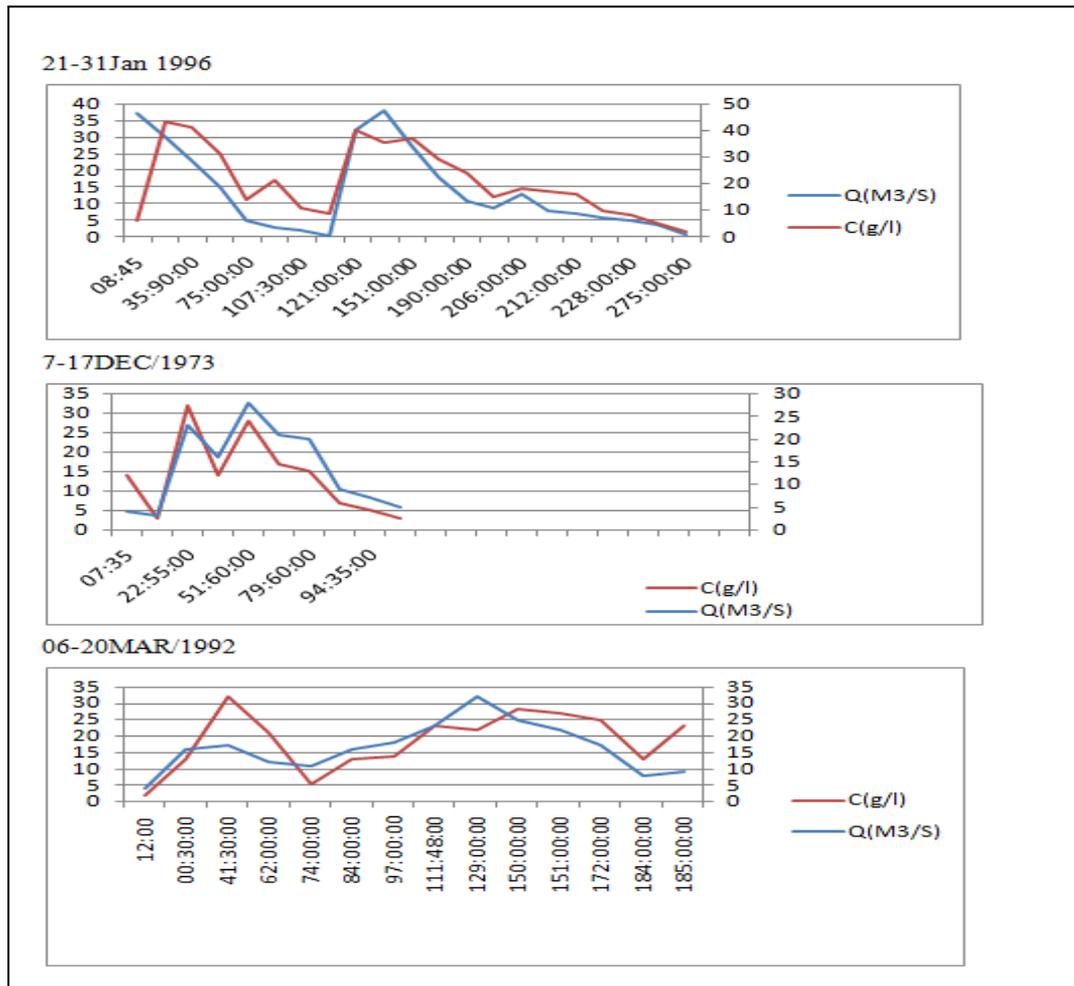
Oued L’hai pendant les averses donne un écoulement torrentiel accompagné de crues violentes qui produisent des sédiments très importants durant une heure la concentration en suspension atteint son maximum (180g/l) pour la crue de 31 Octobre 1982. Alors que, la crue de 03 juin 1984 a donné un produit sédimentaire maximum faible (7,2 g/l) et un débit maximum de 6 m<sup>3</sup>/S dans trois heures. La comparaison des deux graphes montre que la concentration n’est pas toujours contrôlé par l’importance de la tranche d’écoulement il s’ajoute aussi d’autres facteurs physiques, lithologiques et les conditions hydrologiques de l’écoulement lui-même.

Il s’avère que l’apport liquide des crues de la saison froide (humide) est très important par rapport celle de la saison sèche.

A oued Abdi, il apparait que l’écoulement pendant les crues suit un régime monotone Il peut être le résultat de la forme allongée de la vallée et la nature des formations lithologiques qui semblent relativement résistantes ce qui donne un type de crues similaires

La saison froide a donné un apport maximum de 300m<sup>3</sup>/s alors que la saison sèche a produit la moitié de cette quantité, cet écart s’explique par l’importance de l’apport de la pluviosité de l’hiver.

La figure ci-dessous fournie les données de certains crues enregistrées dans la vallée d’oued Chemora :



**Figure 67 : Crues enregistrées dans la vallée d’Oued Chemora à la station de Timgad.**

Les hydro grammes illustrés sur la figure 67 expriment un comportement hydrologique nettement varié. L’écoulement présente un régime varié, irrégulier polyphasique et caractérisé par plusieurs pics. La forme des hydro grammes s’avère très monotone.

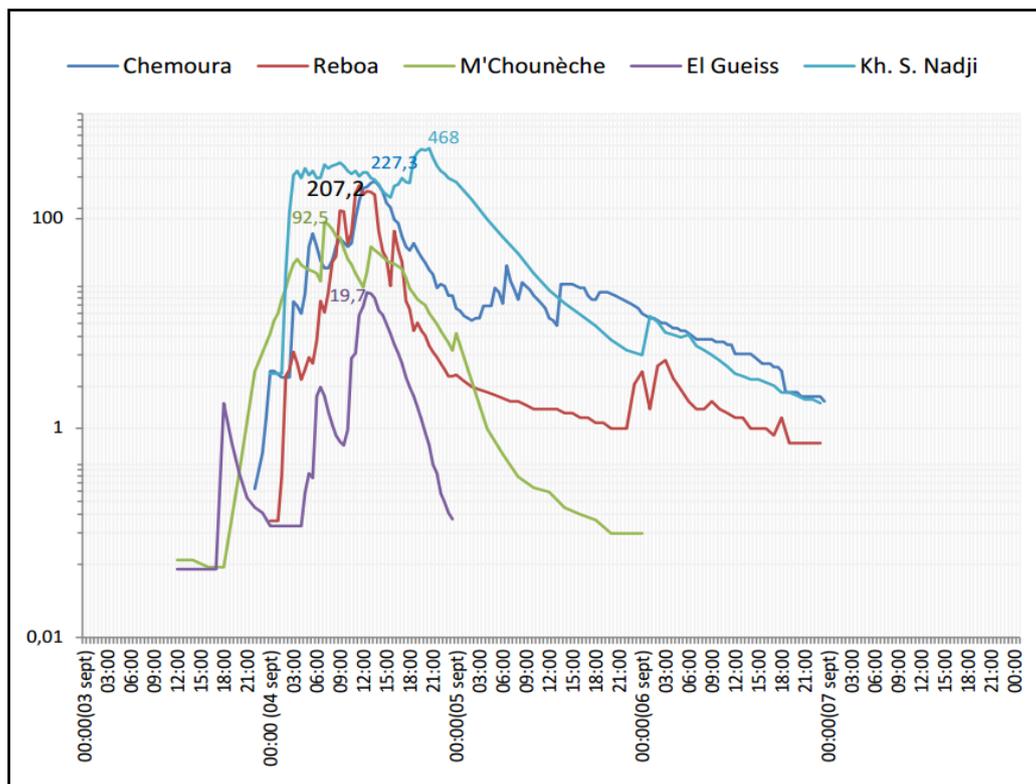
Les concentrations et les débits instantanés atteignent en même temps les valeurs maximales ; dans ce cas on parle de concordance approximative entre l’érosion et le transport après une durée qui coïncide généralement avec le temps de concentration.

L’analyse de chaque hydro gramme a permis de ressortir deux phases différentes : La première phase est relativement courte caractérisé par une concordance faible entre la concentration et le débit max. dans cette phase l’écoulement est favorisé par la mobilisation successive des eaux de pluie de plusieurs affluents, l’oued enregistre des apports solides et liquides très élevés. La deuxième phase est relativement longue dans laquelle les écoulements présentent un rythme typique :

La concentration augmente doucement et diminue de même façon pour donner une forme en escalier. Cependant, pour certaines Hydrogrammes, les concentrations extrêmes arrivent en tard sur les débits de pointes ; cette situation peut s’expliquer par la lente mobilisation des sédiments probablement sous l’effet de la compétence et la puissance des cours d’eaux.

En générale les crues de l’automne sont les plus fortes qui mobilisent des volumes d’eau considérables par rapport celles de l’hiver qui restent les plus faibles. Pour l’ensemble des crues le temps de décrue semble très important par rapport le temps de montée qui reste relativement court.

Pour bien expliquer le comportement général des écoulements extrêmes on s’intéresse aux crues généralisées enregistrées dans la zone d’étude :



**Figure 68: Hydro gramme de la crue du (03-07septembre 1972) aux stations de la zone d’étude. (Belagoun F, 2012).**

Pendant la crue généralisée du 03-07 septembre 1972, sur la région des Aurès, un apport de 23,9 Hm<sup>3</sup> est issu de l’Oued el Arab pour un débit de pointe de 468 m<sup>3</sup>/s, soit 27% de l’apport moyen annuel. L’Oued El Abiod a évacué 5,6 Hm<sup>3</sup>pour un débit de pointe de 92,5 m<sup>3</sup>/s, soit 17% du total annuel. La même crue a généré un volume de 8,1 Hm<sup>3</sup>au niveau de l’Oued Chemora, 3,8 Hm<sup>3</sup> à Reboa et 0,32 Hm<sup>3</sup> à l’Oued El Gueiss, soit 9%, 8% et 1% du volume annuel. Le maximum instantané a été respectivement de 227,3 m<sup>3</sup>/s, 207,2 m<sup>3</sup>/s et 19,7 m<sup>3</sup>/s.

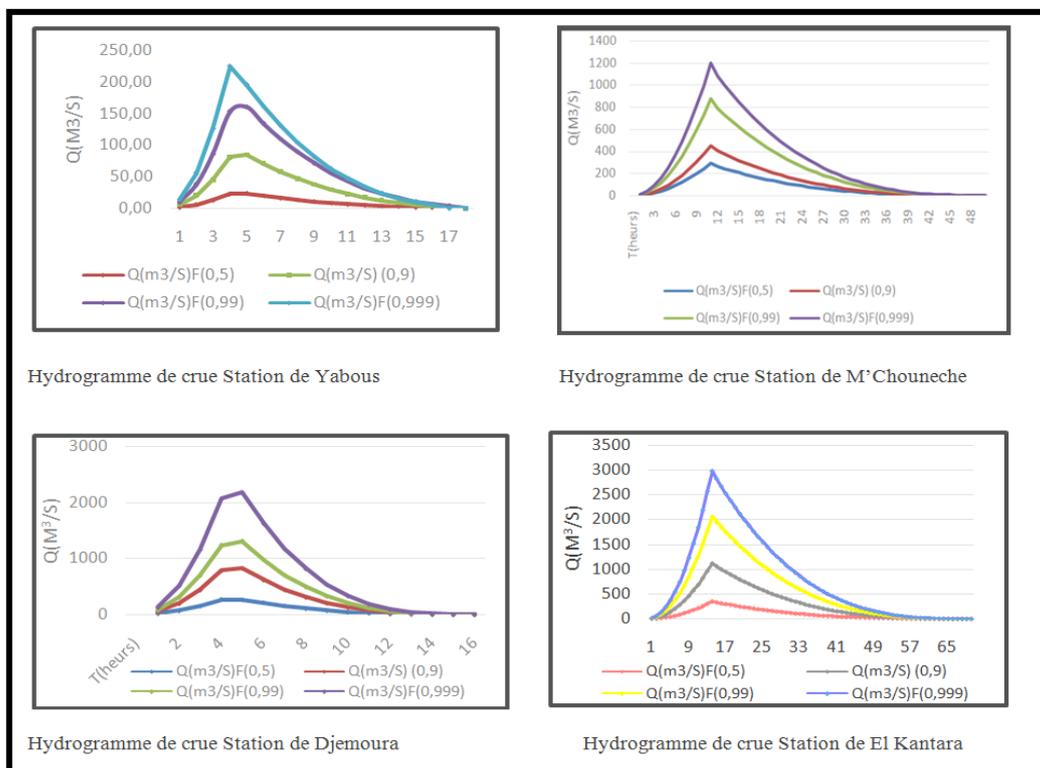
Les crues enregistrées dans l’oued El Abiod sont extrêmement violentes et soudaines qui se manifestent durant le printemps et l’été, produisent de fortes concentrations en particules fines. Des valeurs dépassant 180 g/l ont été mesurées à l’entrée de la retenue du barrage de Foum El Gherza durant les années 2004 et 2006. (A. Guidoum, 2017).

Il est a noté que les cours d’eaux du versant sud du massif mobilisent des volumes et des quantités de sédiments très importantes alors que, le versant nord offre de valeurs

relativement faible, cette situation hydrologique est interprétée par l'interaction des facteurs physique et morpho métriques.

**III.10.3. Estimations des crues :**

Le choix d'un modèle d'estimation des crues de projet reste un des aspects les plus critiques dans la phase de dimensionnement des ouvrages hydrauliques, malheureusement, les critères ou recommandations dans ce domaine sont très limités voire inexistant. les modèles empiriques utilisés pour l'évaluation de la crue de projet pour des durées et fréquences variées , donnent des résultats différentes, alors que plusieurs travaux se penchent vers l'utilisation de la méthode rationnelle qui s'adapte le mieux avec les caractéristiques de la zone d'étude.



**Figure 69 : Estimations des débits maximums fréquentiels de crues.**

**III.10.4. La puissance des crues :**

Plusieurs critères peuvent caractériser la puissance d'une crue : sa cote maximale, son débit absolu et spécifique, son volume écoulé. Mais ces paramètres qui sont influencés par la surface du bassin et par les caractéristiques des lits des oueds, ne permettent pas une analyse comparative de crues des bassins de taille différente. Le coefficient "A", de Meyer-Coutagne-Parade donnée par :

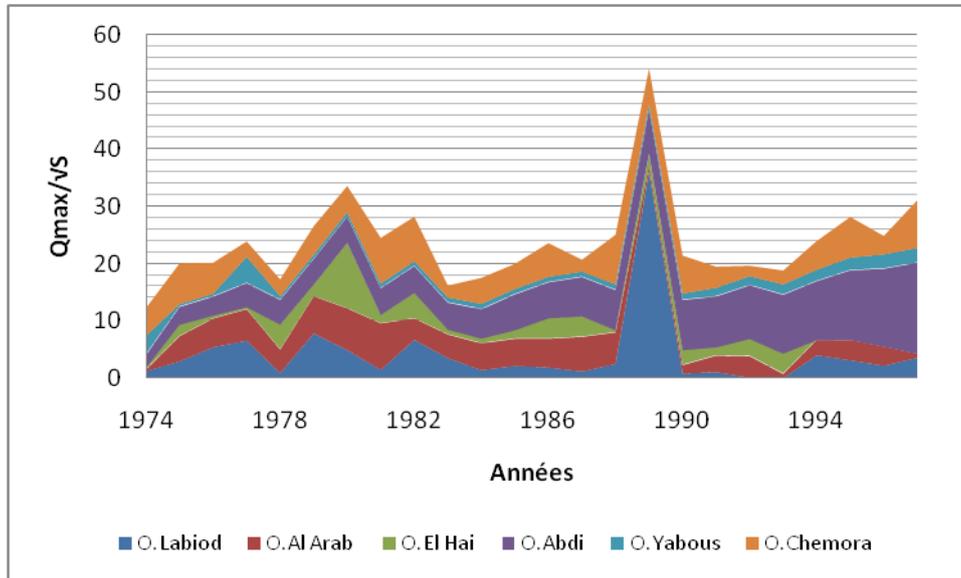
$$A = \frac{Q_{max}}{\sqrt{S}} \tag{51}$$

Avec :

$Q_{max}$  : Le débit maximum instantané en  $m^3/s$ ,

S : La surface du bassin.

Cet indice permet d’apprécier la puissance des crues sur des bassins d’étendues diverses.



**Figure 70: Puissance de la crue de quelques oueds de la zone d’étude**

Le coefficient de Meyer-Coutagne-Parade sert à effectuer une analyse comparative des débits maximaux des bassins de tailles différentes ; pour les bassins de la zone d’étude : Chemora, oued labiod et oued Abdi (Fig. 70) , les valeurs des débits maximaux calculées permettent de déduire une forte variation de la puissance des débits donc ce coefficient oscille entre 0.16 et 54. Pour oued L’Hai les valeurs sont comprises entre 0.30 et 22.76, pour oued El Arab elles varient entre 0.18 et 38.

Les bassins les plus petits présentent des valeurs faibles de ce coefficient, Alors que les valeurs les plus élevées appartiennent aux grands bassins.

Ces fortes variations restent liées aux conditions d’alimentation et de ruissellement elles s’avèrent très différentes d’un secteur hydrologique à l’autre et d’une saison à une autre.

## Conclusion

L'analyse des débits moyens annuels des différents oueds étudiés a mis en évidence une irrégularité spatio-temporelle assez marquée de l'écoulement superficiel associé à un coefficient de variation très élevé varie entre 0,87 et 0,89 pour les bassins septentrionaux, il est inférieur à 0,89 sur les bassins du versant sud du massif, les variations inter annuelles du débit montrent que les années déficitaires à faible hydraulité sont les plus prépondérantes. En général, les valeurs extrêmes de l'hydraulité coïncident avec l'abondance des crues et les pluies torrentielles maximales.

le coefficient moyen annuel d'écoulement au niveau de la zone d'étude est nettement lié à la superficie des bassins et à la lame d'eau précipitée.

Le printemps et l'automne représentent les deux saisons de hautes eaux où les oueds s'écoulent avec un débit moyen mensuel assez important supérieur à la moyenne inter annuelle, tandis que les deux autres saisons opposaient une indigence d'écoulement. L'analyse fréquentielle des débits instantanés maximums des différents oueds montre que ces débits suivent la loi de Gumbel et confirme l'irrégularité des débits annuels. Les crues maximales annuelles qui ont connu les plus forts débits de pointe se sont manifestées essentiellement durant la saison du printemps, et l'automne ; Cette saison propice aux orages qui peuvent déverser des quantités énormes d'eau en un temps très court (A. Medjerab, 1998).

les plus importantes coïncident en général avec l'écoulement et les débits dans certains oueds.

Les volumes des crues et les débits maximaux transportés par les cours d'eau du versant sud du massif sont très élevés par rapport l'apport transporté par les oueds du versant nord.

Le débit de crue de cent (100) ans et mille (1000) ans les plus élevés sont enregistrés dans le bassin d'oued El Hai (station Al Kantara) ( $Q_{100\text{ans}} = 2058,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et ( $Q_{1000\text{ans}} = 2987,38 \text{ m}^3/\text{s}$ ), probablement cela est dû à l'effet de la superficie.

## **PARTIE : 03**

## **Chapitre I : Transport Solide**

## I. Transport Solide

### Introduction :

Dans les zones semi arides, les paramètres physiques, morphométriques et hydro climatiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène du transport solide. (A. Demak, 1982 ; J P. Laborde, 1997).

Les apports solides ont lieu essentiellement à l'hiver et à l'automne lors des crues généralisées sur sol saturé.

### I.1. Transport Solides en suspension

A. Mebarki (2004) a montré que les dégradations en suspension sont très variables d'un bassin à un autre. Ils se concentrent principalement en période de crues.

Ce travail vise la relation débit solide- débit liquide. La quantification des transports solides à différentes échelles est une estimation pour mieux comprendre le comportement des mécanismes et les processus des transports solides dans des endroits montagneux dominés par les influences d'un climat semi-aride.

Certains chercheurs adoptent le modèle puissance entre le débit solide et le débit liquide de façon étendue. Dans ce sens on s'intéresse aux bassins versants de l'Oued labiod et O. Chemora qui présentent un nombre de données suffisantes pour faire ce type de corrélations. la densité de drainage et la forme du bassin jouent un rôle primordial dans l'interprétation des résultats de cette relation.

Pour élaborer la modélisation débits liquides et débits solides sur différentes échelles nous avons basé sur les mesures instantanées des débits liquides et les concentrations des sédiments en suspension effectuées par l'ANRH. Pour les deux bassins versants, la zone d'étude dispose des stations hydrométriques en service, Mchounech pour l'oued labiod et la station du Chemora et Timgad pour le bassin de Chemora. Dans cette étude pour O. Labiod les données au nombre de (1060) pour l'Oued Chemora (1053), sur une période de 30 ans, en période normale ou en étiage.

Le débit solide en suspension est calculé par la formule suivante :

$$q_s = C Q \quad (52)$$

$Q_s$  : est le débit solide en suspension en (kg/s) ;

$Q$  : est le débit liquide en (m<sup>3</sup>/s).

$C$  : est la concentration des sédiments en suspension (kg/m<sup>3</sup>).

La méthode d'échantillonnage systématique du transport solide sur la plupart des cours d'eau algériens est l'échantillonnage uni-ponctuel (A. Bouanani, 2004).

Le prélèvement d'un échantillon se fait par l'observateur à l'aide de bouteilles de 0.5 à 1 litre de contenance et les échantillons prélevés sont analysés par les procédés classiques (filtrage sur filtre millipore et la charge en suspension est mesurée par pesée des filtres). Pour les débits liquides, les lectures de hauteur d'eau effectuées sont transformées en débits liquides grâce aux courbes d'étalonnage établies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Ces courbes sont valables pour une période donnée dite période de validité.

**I.1.1. Etablissement de régressions entre débits solides et débits liquides :**

L'étude porte sur les valeurs instantanées des débits liquides en m<sup>3</sup>/s et des débits solides en kg/s. Un nombre suffisant et représentatif de prélèvements a été effectué permettant une bonne reconstitution du Turbidigramme.

Les couples de valeurs sélectionnées sont reportés sur une échelle log, généralement les graphes démontrent une dispersion importante, même en coordonnées logarithmiques Pour les données des stations étudiées les regroupements ont été effectués suivant quatre saisons : automne (Septembre Novembre), hiver (Décembre Février), printemps (Mars- Mai) et été (Juin- Août).

Ainsi :  $y = a x^b$ . (53)

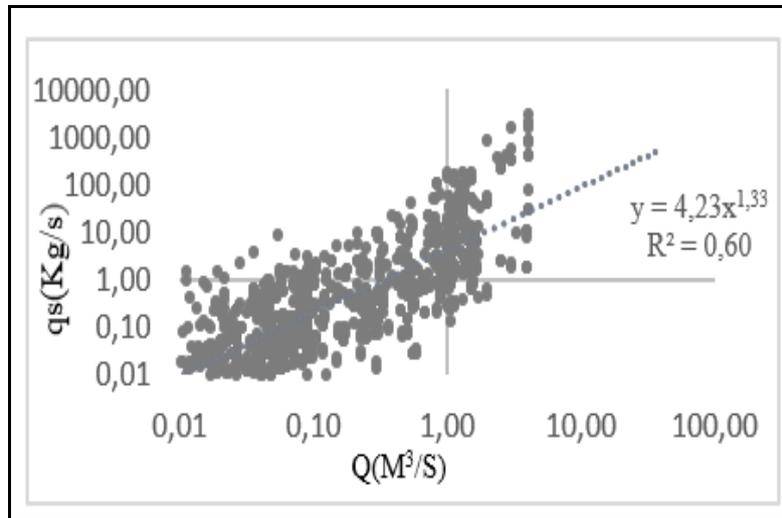
Tableau 24 : Modèles de régression ajustés annuelles et par saisons. (Oued Labiod).

Période	Nombre de points	Coefficient b	Coefficient a	Coefficient de corrélation	Relation
Annuel	1057	1,32	4,22	0,775	$y = 4,22x^{1,3259}$
Automne	215	1,40	4,89	0,794	$y = 4,89x^{1,4}$
Hiver	276	1,54	2,81	0,822	$y = 2,81x^{1,5416}$
Printemps	277	1,35	2,70	0,808	$2,33x^{1,3596}$
été	289	1,16	7,58	0,774	$y = 7,58x^{1,1651}$

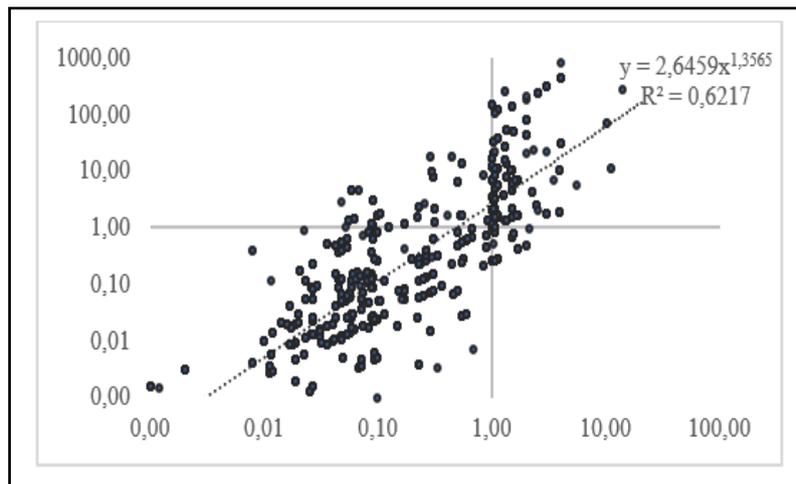
Tableau 25: Modèles de régression ajustés annuelles et par saisons (Oued Chemora).

Période	Nombre de points	Coefficient b	Coefficient a	Coefficient de Corrélation	Relation
Annuel	105	1,35	2,64	0,78	$Y = 2,64x^{1,35}$
Automne	277	1,38	2,95	0,79	$Y = 2,95x^{1,38}$
Hiver	275	1,33	2,80	0,77	$Y = 2,80x^{1,33}$
Printemps	280	1,35	2,43	0,79	$Y = 2,43x^{1,35}$
Eté	301	1,13	5,68	0,72	$Y = 5,68x^{1,13}$

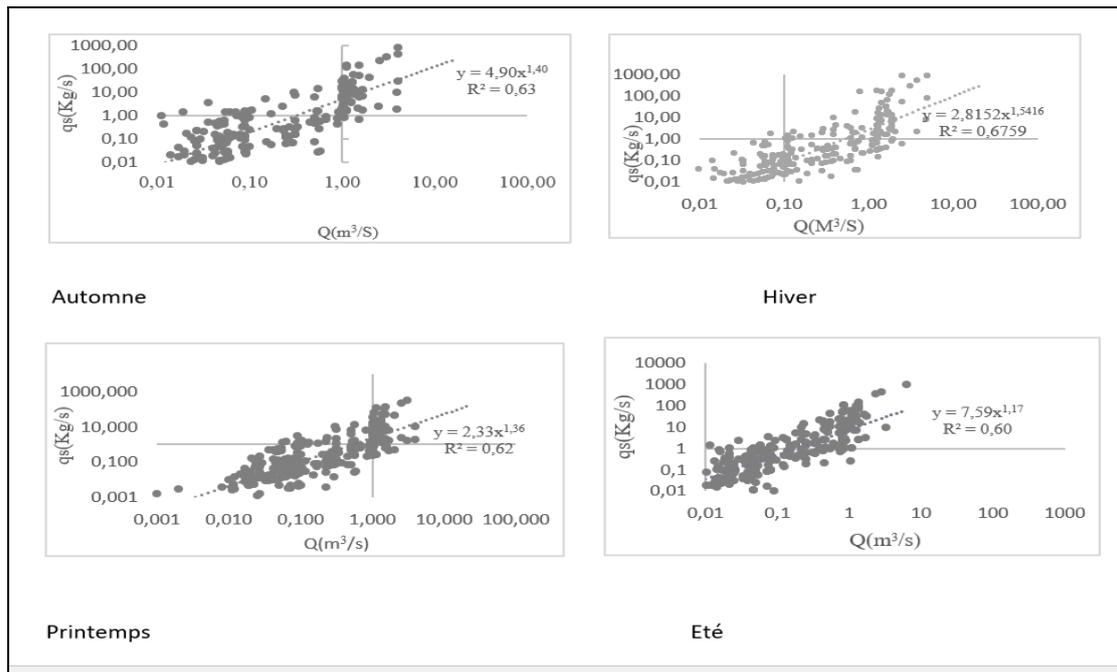
Les deux figures suivantes représentent une modélisation entre le débit liquide et le débit solide dans l’oued Chemora et l’oued Labiod.



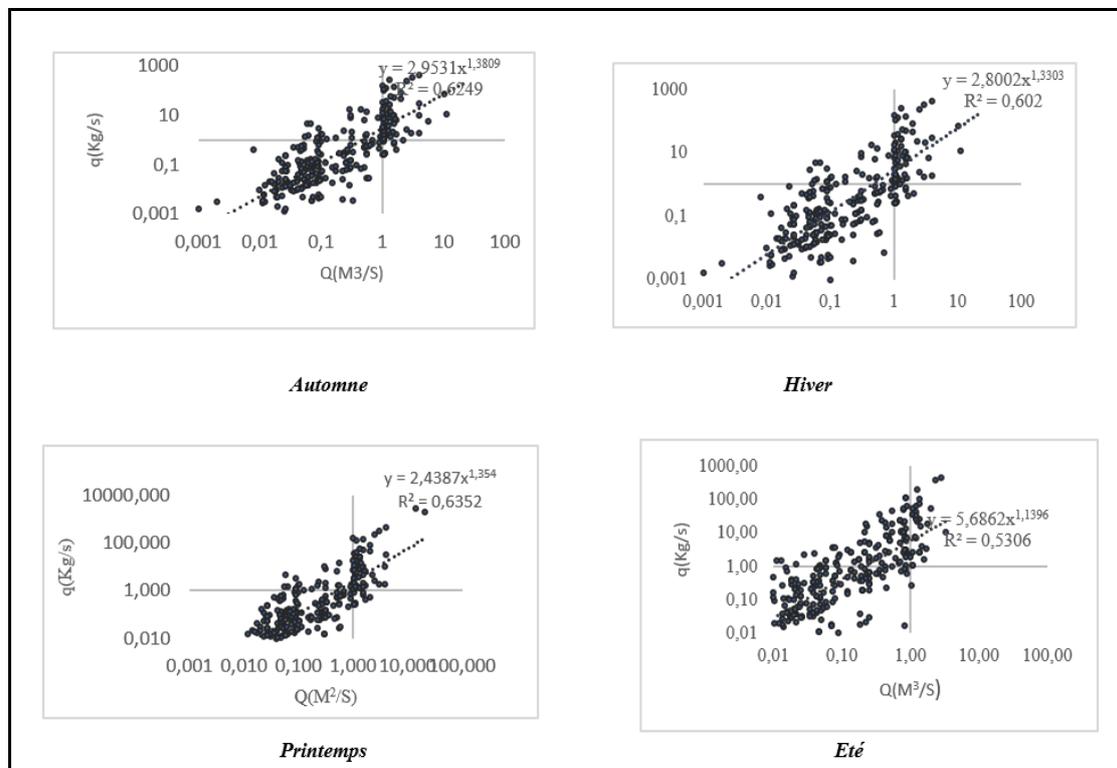
**Figure 71:Relation débit solide -débit liquide.**  
(Model général : Station Chemora)



**Figure 72: Relation débit solide -débit liquide.**  
(Model général : Station Foug El Gherza)



**Figure 73 : Relation Saisonnière entre le débit solide et le débit liquide (Station de Fom El Gherza).**



**Figure 74: Relation Saisonnière entre le débit solide et le débit liquide (Station Chemora)**

L'analyse des corrélations annuelles et saisonnières nous a permis de dégager les remarques suivantes :

On voit qu'il y a une bonne corrélation entre le débit solide et le débit liquide sur l'ensemble des échelles étudiées en automne (77 %) et en hiver (82 %).

Les valeurs maximales de la turbidité sur les deux bassins s'observent pendant l'hiver et au début de l'automne et à la fin du printemps.

La relation obtenue entre les débits liquides et les débits solides pour notre bassin est de type puissance de forme générale,

Le débit solide maximal est de l'ordre de 1000,62 m<sup>3</sup> enregistré en début d'octobre 2006. Tandis que les quantités minimales ont observées en été.

Les transports solides en suspension surviennent en trois périodes :

-la première intense, commence en hiver et dure tout l'automne.

-la deuxième semble relativement moyenne caractérise le printemps.

-la dernière présente un transport solide très faible pendant l'été sous la faiblesse de l'écoulement.

## **I.2.Evaluation et Cartographie de l'érosion dans le massif des Aurès**

### **I.2.1. Érosivité des pluies :**

L'atlas saharien Est de l'Algérie, par l'agressivité de son climat est fortement exposé aux phénomènes d'érosion, notamment sur les altitudes, et notre zone étude fait partie de ce vaste espace qui s'étend de l'est vers l'ouest de pays.

L'objectif de cette étude est d'analyser l'érosivité des pluies dans un milieu topographiquement et climatiquement nettement varié et trouver une cartographie propice à ce phénomène.

L'érosivité des pluies est d'une importance majeure parmi les facteurs naturels qui affectent l'érosion des sols lorsque la force de ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol.

L'érosivité de la pluie représente l'interaction entre l'énergie cinétique de la pluie et la surface du sol (Wischmeier et Smith., 1978). Le facteur R (pluie érosive) traduit l'influence climatique dans le phénomène d'érosion des sols, Ce facteur est nettement lié aux pertes des sols (W.H. Wischmeier et al., 1978 ; H.M. J. Arnoldus, 1977).

Cependant l'absence des données précises et complètes sur l'intensité des précipitations ne permet pas d'appliquer le modèle universel de Wischmeier de façon objective pour quantifier et représenter la distribution de l'érosivité, Notre choix sera porté sur l'usage de trois indices, largement utilisés dans les études de l'érosion, Ces derniers ont été remodelés par la suite par plusieurs chercheurs qui ont développés après plusieurs années de recherches de nombreuses formules.

D'après E. Roose et al., (2012) l'érosion est contrôlée par l'évolution des conditions climatiques et lithologiques défavorables (pluies torrentielles, forte vulnérabilité des terrains marneux), auxquelles s'ajoutent des pressions liées à l'utilisation excessive inadaptée des terres agricoles.

La cartographie de l'érosivité a été réalisée à l'aide d'un programme d'appui technique qui permet de cartographier de façon rapide ces résultats sous forme des cartes d'iso érosivité.

Les résultats obtenus montrent que l'espace étudié est nettement dominé par une érosivité moyenne a faible qui se développe puissamment sur les altitudes les plus élevées montrées sur les tableaux et les figures suivantes :

**I.2.1.1. Indices utilisés :**

**I.2.1.1.1. Fournier (1960)**

Fournier (1960) a défini un indice de distribution des précipitations (FI), comme étant le rapport entre les précipitations pour le mois le plus pluvieux de l'année (pm) et les précipitations annuelles (P) en utilisant la formule :

$$IF= pm^2/P \tag{54}$$

Tableau 26 Classification de l'érosivité (d'après Fournier1960).

IF	Classification
0 -20	Très faible
20-40	Faible
40-60	Modérée
60-80	Forte
80-100	Très forte
>100	Extrêmement forte

H.M. J. Arnoldus (1980) a montré que la corrélation entre l'indice de Fournier (FI) et EI<sub>30</sub> n'était pas significatif (R<sup>2</sup> = 0,55).

**I.2.1.1.2. L'indice de Fournier modifié :**

Arnoldus a proposé l'indice de Fournier modifié (IFM) qui tient compte les précipitations de tous les mois de l'année (pi). Il a obtenu des résultats satisfaisants pour 164 stations aux Etats-Unis et 14 stations en Afrique de l'Ouest.

$$IFM= IFA= \sum_{i=1}^{12} p^2/P \tag{55}$$

Selon Arnoldus, il constitue une bonne approximation du facteur R de l'équation universelle dont la relation est linéaire. Les classes de cet indice proposées dans CEC (1992) sont consignées dans le tableau27

Tableau 27: Classification de l'érosivité (selon Arnoldus1980).

IFM	Classification
0-60	Très faible
60-90	Faible
90-120	Modérée
120-160	Sévère
>160	Très sévère

## I.2.1.1.3. L'Indice de concentration des pluies (ICP) :

Oliver (1980) a proposé cet indice qui exprime la variabilité saisonnière et annuelle des précipitations en %. Les faibles valeurs du PCI indiquent une distribution uniforme des précipitations dans l'année, les valeurs élevées représentent une concentration élevée des pluies mensuelles ou bien une saisonnalité (L. Lujan et al.,2005).

Il s'écrit comme suit :

$$ICP = 100 * (\sum_{i=1}^{12} P_i^2) / p^2 \quad (56)$$

Avec :

ICP : indice de concentration de la précipitation, en %

$P_i$  : Précipitation mensuelle en mm

P : précipitation annuelle en mm

Les limites théoriques du ICP sont représentées dans le Tableau 28.

- Lorsque les précipitations de chaque mois de l'année sont les mêmes, cet indice est égal à 8,3 - Lorsque toutes les précipitations de l'année se produisent dans un seul mois, le PCI est égal à 100 Oliver (1980) a dressé le tableau suivant pour caractériser le caractère de répartition des pluies mensuelles dans l'année :

Tableau 28 : Classification de l'indice de concentration des précipitations  
(Selon Oliver1980).

IPC	Classification
8.3-10	Uniforme
10-15	Modérée
15-20	Distribution saisonnière
20-50	Forts effets saisonniers
50-100	Irrégulier

- Une ICP inférieure à 10 indique une répartition uniforme des pluies dans l'année.
- une valeur du ICP entre 11 et 15 représente une répartition saisonnière modérée.
- une valeur du ICP variant de 16 à 20 représente une distribution saisonnière.
- Un indice supérieur à 20 représente de forts effets saisonniers, avec des valeurs croissantes montrant un accroissement de la concentration mensuelle des pluies.

Oliver (1980) et Michiels (1992) ont démontré que le ICP était approprié pour évaluer et comparer la concentration des pluies entre stations pluviométriques.

### **I.2.2. Cartographie :**

La démarche cartographique commence par présentation des résultats de calcul des différents indices et de l'érosion sur des cartes à l'aide d'un programme spécialisé selon une méthode géostatistique ; la géostatistique est largement utilisée dans les sciences de la terre. A l'inverse des techniques d'interpolation classiques, la géostatistique utilise une combinaison linéaire des données mesurées et elle tient compte en même temps de la position géographique du point considéré et le caractère aléatoire du phénomène en question.

Nous avons opté pour représenter spatialement la variabilité des indices.

Le tableau suivant récapitule les données de calcul de l'érosivité des pluies

Tableau 29: Résultats de calculs de l'érosivité des pluies

Stations	F	IFA	ICP
Djemoura	2,38	14,87	10,07
Fom L'gherza	2,24	11,3	10,08
Doucen	2,62	9,57	10,14
Tifelfel	3,09	14,98	9,15
Tkout	2,68	24,21	8,71
Babar	4,93	29,62	8,89
Yabous	5,57	35,18	9,2
Boudella	3,19	21,17	9,52
Kheirane	3,91	20,56	9,79
Kh <sup>et</sup> sidi Nadji	2	6,84	11,24
Batna	4,98	34,89	9,21
Ouled Chlih	4,28	30,63	9,5
Marouana	5,13	34,02	9,77
N'gaous	4	20,59	9,82
Tazoult	4,47	34,19	9,34
Sidi Maancer	4,52	29,9	9,24
Bouhmama	4,54	35,84	8,78
Medina	5,16	39,53	8,88
Chelia	7,51	46,27	9,11
Ain Mimoune	6,84	40,15	9,05
Menaa	4,62	25,35	9,62
Bouzina	5,43	30,79	9,57
Th Abed	6,45	24,21	9,76
Sier	1,36	6,71	10,01
Chechar	5,46	26,77	9,3
Mziraa	1,43	6,61	11,47
Timgad	5,1	27,29	9,35
Ktef souda	4,54	17,46	9,37
Ain touta	4	24	9,28
Toufana	4,66	26,02	9,59
Baiou	4,9	34	10,07
Reboa	4,5	30	9,11
Fou-Toub	6,2	40	9,16
Biskra	1,48	6,65	10,86

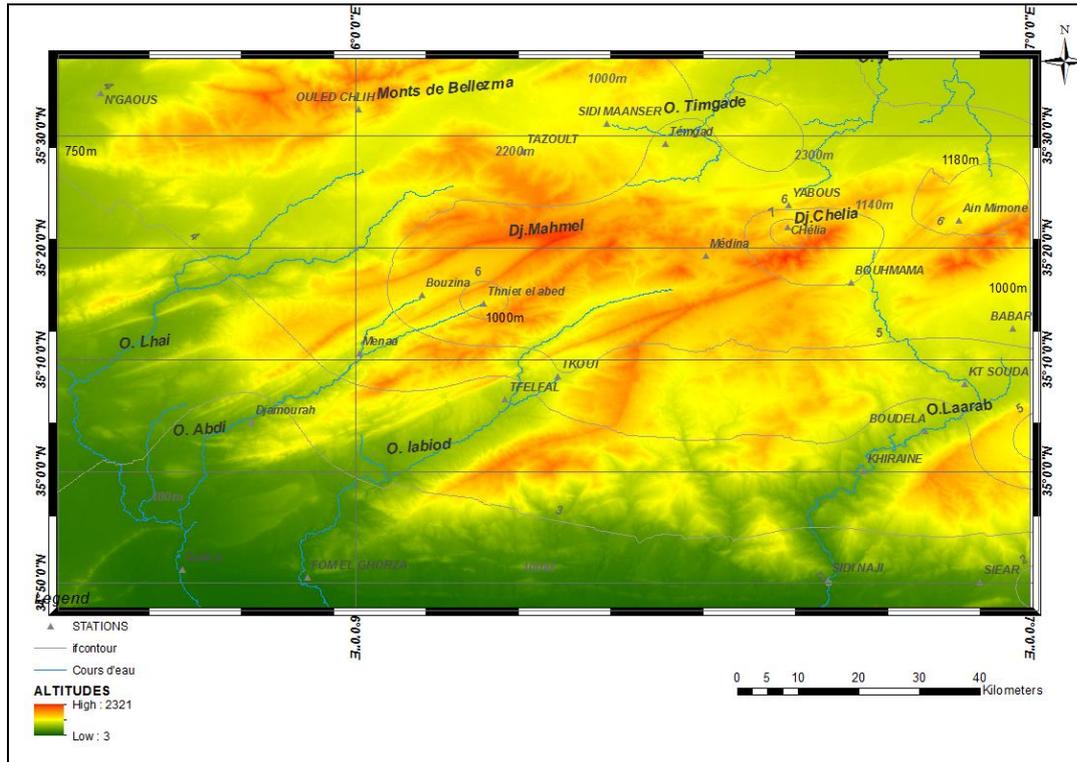
L'examen du tableau 29 a exprimé la présence de deux classes nettement variées qui sont :

- classe de répartition uniforme regroupe (25 stations) soit (73%) des valeurs enregistrées dans la zone

-classes à distribution modérée des précipitations, représentée par 9 stations se trouvant partagées entre l'étage semi-aride sec et l'aride.

#### I.2.2.1. Indice d'érosivité de fournier (IF)

L'exploitation des données de l'érosivité sont traduites par la carte suivante :



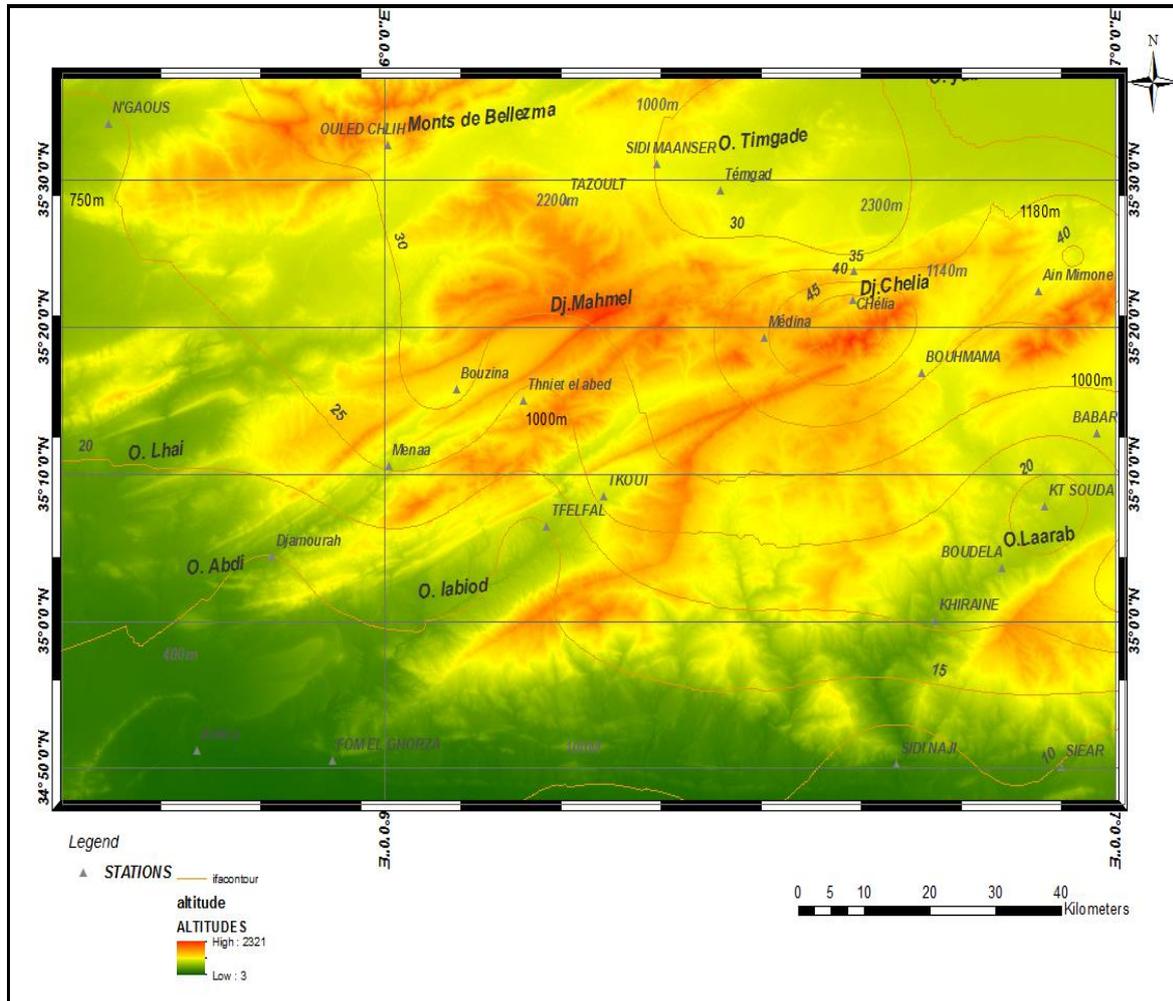
**Figure 75: Carte de répartition spatiale de l'indice de Fournier (IF)**

L'analyse de la carte permet de dégager les remarques suivantes :

- Il semble que l'érosivité la plus élevée correspond à l'altitude la plus haute
- La valeur maximale est observée à la station de Chélia (7,51mm). Tandis que la minimale est (1,43) sur Mziraa.
- La partie sud du massif enregistre des valeurs faibles par rapport le nord et le nord-ouest.

Généralement les valeurs de l'érosivité dans la zone restent en moyenne faibles et regroupées dans la catégorie une (1).

I.2.2.2. Indice d'érosivité des pluies d'Arnoldus (IFA) :



**Figure 76: Carte de répartition spatiale de l'indice d'Arnoldus (IFA)**

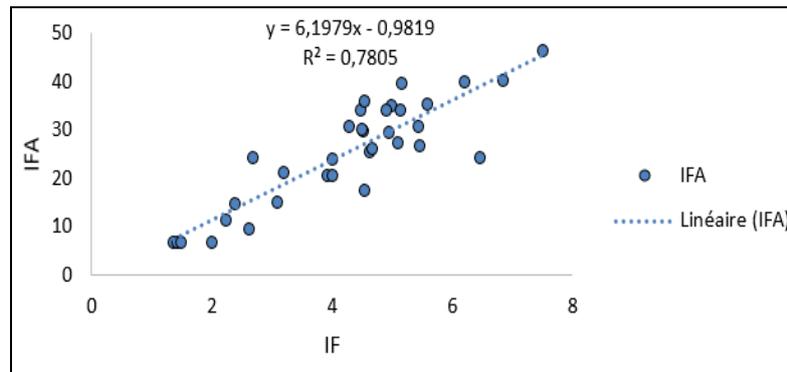
L'examen de la figure 76 montre que dans l'ensemble, les stations étudiées donnent des valeurs de IFA inférieures à 60, alors que les stations qui se trouvent sur des altitudes élevées enregistrent des valeurs importantes. Chélia (46mm), Yabous (35,18mm), Medina (39,5mm), tandis que les stations exposées au sud et qui se trouvent sur des terrains bas donnent de faibles valeurs de l'érosivité. Foum El Gherza (11mm), Doucen (9mm), Khanguet Sidi Naji (6,87 mm).

L'érosivité augmente a priori en fonction de l'exposition et dès qu'on avance vers le sud les valeurs de l'érosivité décroissent. Cette remarque est notée par plusieurs auteurs (H.F. Andoh et al., 2012 ; M. Meddi, 2010).

Les valeurs les plus fortes sont attribuées à la région des montagnes la plus arrosée Dj Chélia, Ain Mimoun et Dj Medina.

I.2.2.3. Corrélation entre IF et IFA :

Pour bien comprendre la relation entre IF et IFA nous avons élaboré la corrélation suivante :



**Figure 77 : Corrélation entre l'indice d'Arnoldus (IFA) et l'indice de Fournier (IF)**

La régression entre l'indice d'Arnoldus (IFA) et l'indice de Fournier (IF) donne un coefficient de corrélation linéaire significatif au seuil de 5 % ( $R^2 = 0,78$ ) et  $r = 0,88$ .

L'équation de régression s'écrit comme suit :

$$IA = 6,1979 IF + 0,98. \quad (57)$$

Le nuage de points a une forme de droite de régression, il existe une liaison forte entre l'indice d'Arnoldus et l'indice de Fournier (Fig.77).

Les valeurs calculées de l'indice d'Arnoldus et de Fournier sont comparables à celles obtenues par certaines auteurs travaillant sur l'Algérie (M. Meddi, 1992 ; B. Morsli et al., 2004) avec un indice d'agressivité des pluies qui oscille entre 6 et 46 en moyenne.

Les résultats obtenus montrent une augmentation de l'érosivité de l'ouest vers l'est (Fig.76) et également selon l'altitude (TAB. 29), alors que les valeurs inscrites traduisent l'effet de l'exposition et de la topographie entre les stations.

### **I.3.Estimation du transport solide spécifique :**

Pour déterminer les quantités de sol érodées dans la zone d'étude nous essayerons de faire une quantification basée sur deux méthodes, la première méthode est empirique basée sur les résultats de l'application de certaines formules largement utilisées en Algérie et notamment dans l'est de l'Algérie et ses résultats acceptables et proches des valeurs mesurées et qui sont confirmés par plusieurs auteurs (AM. Demak, 1982).

La deuxième méthode tient compte des valeurs mesurées du transport solide en suspension.

#### **I.3.1. Formules empiriques :**

##### **I.3.1.1. Formule de Taxeront (1960)**

Cette méthode est basée sur les données recueillies dans 32 bassins d'Algérie, et 09 bassins de Tunisie (dont 4 alimentant des barrages réservoirs), les superficies varient de 90 à 22300 km<sup>2</sup>, et l'observation portent sur une durée variant de 2 à 22 ans après avoir regroupé les bassins en 3 classes suivant un critère régional.

Tixeront propose 3 relations :

$$A = 354 R^{0.15} \quad (\text{Bassins Tunisiens}) \quad (58)$$

$$A = 92 R^{0.21} \quad (\text{Région de l'Est Algérien}) \quad (59)$$

$$A = 2000 R^{0.21} \quad (\text{Région de centre Algérien}) \quad (60)$$

A : Apport spécifique moyen annuelles (T/km<sup>2</sup>/an).

R : écoulement annuel total (mm).

I.3.1.2. Formule de SOGREAH (1969) :

Basée sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie (dont 16 alimentant des barrages réservoirs), totalisant 282 Station, les superficies varient de 90 à 22300 Km<sup>2</sup>. Les relations Sogreah inspirées des relations Tixeront, donnent les apports solides spécifiques A en (T/km<sup>2</sup>/an), en fonction de ruissellement annuel de crue (mm), et de la perméabilité des bassins.

Perméabilité élevée :  $A = 8.5 R^{0.15} \quad (61)$

Perméabilité moyenne à élevée :  $A = 75 R^{0.15} \quad (62)$

Perméabilité faible à moyenne :  $A = 350 R^{0.15} \quad (63)$

Perméabilité faible :  $A = 1400 R^{0.15} \quad (64)$

Imperméable :  $A = 3200 R^{0.15} \quad (65)$

A : Apport spécifique moyen annuelles (T/km<sup>2</sup>/an).

R : écoulement annuel total (mm).

I.3.1.3. Formule basée sur la bathymétrie :

I.3.1.3.1. Formule générale

Cette formule estime la perte moyenne des sols, à l'aide de la quantité des matériaux piégés dans la cuvette.

La formule est donnée comme suite :

$$Ds = \frac{Vv * T}{N * S} \quad (66)$$

Avec :

- Ds : Dégradation spécifique moyenne en (T/km<sup>2</sup>/an).
- Vv : Volume des dépôts piégés dans la cuvette du barrage en (m<sup>3</sup>).
- T : la densité moyenne des sédiments égaux à 1,6 T/m<sup>3</sup>
- N : nombre d'années.
- S : superficie du bassin versant en (km<sup>2</sup>).

La première bathymétrie pour le barrage de fontaine des gazelles à été effectuée en 2004, montre que le volume des dépôts est de 0,768 hm<sup>3</sup> = 768000m<sup>3</sup>.

**I.3.2. Transport solide spécifique annuel et saisonnier :**

L'évaluation de l'érosion spécifique à partir des débits solides en suspension concerne deux bassins a cause de la disponibilité des données nécessaires.

Pour mieux comprendre l'activité érosive dans le bassin étudié, il est nécessaire de quantifier les quantités de sol enlevées à différentes échelles.

Les deux formules générales suivantes sont largement utilisées pour calculer le transport solide spécifique

$$As =qs*t*10^{-9} \tag{67}$$

$$Ass =As* 10^6/S \tag{68}$$

Le résultat de calcul de TSS (T/Km<sup>2</sup> /An) est présenté sur les tableaux (30 et 31)

Tableau 30: Estimations du Transport solide spécifique saisonnière

**(Bassins versants : O. Labiod et O. Chemora).**

B. V	O. Labiod	O. Chemora
Saison	TSS(T/Km <sup>2</sup> /An)	Tss (T/Km <sup>2</sup> /An)
Automne	280,00148	192,86
Printemps	130,8688	167,12
Hiver	170,53415	115,68
Eté	50,563692	49,62

Les résultats du calcul du transport solide annuel de chaque vallée avec les différentes formules sont reportés sur le tableau suivant :

Tableau 31 : Bassins versants étudiés : calcul des transports solides spécifiques

Formule	Oued Lhai	Oued labiod	Oued El Arab	Oued Abdi	Oued yabous	Oued Chemora
Sogreah	108,74	117,55	495,64	535,35	559,45	115,71
Tixeront	154,76	172,59	149,74	166,79	177,40	168,81
Bathymétrie	185,06	400,00	390,92			341,68
Model		525,85				631,18

L'analyse des résultats obtenus montre que l'érosion varie entre (108,74 t/km<sup>2</sup>/an et 631 t/km<sup>2</sup>/an) et l'écart entre les résultats obtenus par plusieurs formules demeure significatif.

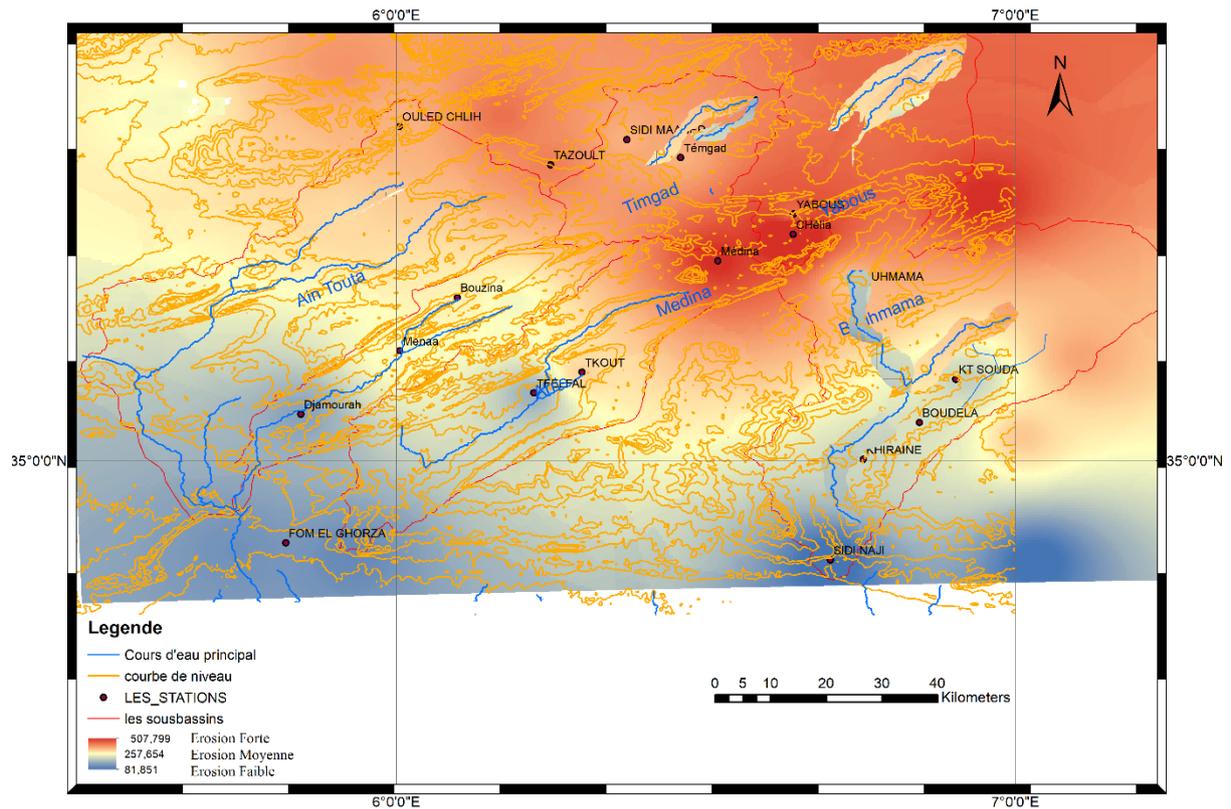
Il s'avère que l'écart entre le résultat obtenu par les mesures bathymétriques et le modèle trouvé reste relativement faible pour le bassin de Chemora et O Labiod, tandis que les formules de Tixeront et Sogreah donnent des résultats comparables et similaires pour les bassins L'Hai, O. Chemora et O. Labiod entre (108 et 172 t/km<sup>2</sup>/an).

L'application de l'équation de Tixiron a donnée des résultats très rapprochées pour l'ensemble des bassins, entre 149 t/km<sup>2</sup>/an (Bassin versant d'Oued El Arab) et 177,40 t/km<sup>2</sup>/an (O. Yabous).

Au final on peut dire que les vallées O. Chemora, O. Labiod, et O. El Arab sont les plus touchées par l'érosion.

#### **I.4. Analyse spatiale de l'érosion :**

La représentation spatiale de l'érosion a été élaboré a l'aide de l'équation de Sogreah alors que cette formule tient compte plusieurs facteurs climatiques et édaphiques et leurs résultats sont très proches des quantités obtenues par les levés bathymétriques.



**Figure 78: Répartition spatiale de l'érosion**

Malgré la densité du couvert végétale dans le nord-ouest (Hautes altitudes) de la zone d'étude l'érosion reste forte, la seule explication vient de la quantité et l'intensité élevée des pluies, atteint  $350t/km^2/an$ , et s'abaisse graduellement jusque  $100t/km^2/an$  sur les zones donnant sur le désert.

Comme conclusion on constate que l'ampleur de l'érosion résiduelle considérable est contrôlé par plusieurs facteurs notamment climatiques et lithologiques (M. Mazour, 1992 ; M. Kouadri, 2012).

L'érosion dans l'espace étudié augmente dans le nord et le nord Est et commence à se réduire quand on se dirige vers le sud cela veut dire qu'il y a une concordance totale avec la pluviosité. Ils existent plusieurs paramètres comme la végétation et la lithologie qui contribue à l'explication de l'ampleur du bilan érosif.

## Conclusion

Les sols de la zone d'étude se trouvent aujourd'hui fortement menacés par le risque potentiel de l'érosion qui s'accroît sur le nord et le nord Est et commence progressivement à se réduire vers le sud. Par ailleurs l'utilisation de l'indice d'Arnoldus et de Fournier pour l'évaluation de l'érosivité des pluies et la prédiction de l'érosion des sols, nous amène aux conclusions suivantes :

L'érosivité des pluies la plus élevée s'observe sur les hautes altitudes, caractérisée par de fortes précipitations.

Notons que Plus de la moitié (50 %) de la superficie totale de la zone est exposée à une pluviométrie de 250 à 400 mm et une érosivité de pluies de la classe moyenne, localisée notamment sur les montagnes (30 à 46 %) alors que la faible érosivité caractérise les plaines et les zones sahariennes.

La distribution spatiale de l'indice d'érosivité est d'un grand intérêt, car les valeurs obtenues indiquent les stations qui présentent des risques d'érosivité faibles à moyens. Cette érosivité augmente généralement du sud vers le nord et de l'ouest vers l'est.

De même que la variabilité spatiale de l'érosivité des pluies, permet de classer les zones vulnérables au détachement des particules du sol par l'érosivité des pluies (K. Mouffadal, 2002)

L'été présente une valeur de  $b$  très faible (1,17) par rapport aux autres saisons ; Cela peut Témoigner de la faible dynamique érosive en cette saison. Tandis que les autres saisons offrent des valeurs de  $b$  élevées et se localisent entre 1,36 et 1,54 cette croissance peut être expliquée par l'effet physique, climatique, et lithologique du bassin selon certains auteurs à l'instar des régions semi-arides.

En automne, la région se caractérise par des orages violents qui apparaissent notamment en octobre, novembre et décembre et qui arrachent de grandes quantités de matières solides.

La complexité des formations lithologiques (marne grise fragile et friable) et l'influence des paramètres Morphométriques telles que la torrentialité participe à l'arrachement des matériaux de façon accélérée (M.S. Guettouche, 1992). En même temps, selon, plusieurs auteurs les paramètres A et B des modèles obtenues dépendent sur les valeurs de facteurs physiques et morpho métriques.

On arrive à lier les taux élevés de l'abrasion par le paramètre A en premier lieu, tandis que le paramètre  $b$  est lui-même contrôlé selon certains auteurs par l'effet des caractéristiques physiques, morpho métriques et lithologiques des bassins.

L'effet de la pente et la couverture médiocre en végétation exerce un effet considérable sur les valeurs des débits et les transports solides notamment en automne, le sol est encore dénudé, alors qu'au printemps la couverture herbacée est déjà développée et réduit considérablement la mobilisation des matériaux fins (D. E. Walling and B. W. Webb, 1987 ; S. Slim et F. Benjeddi, 2011).

Concernant les relations statistiques de forme, les analyses mettent en évidence que le modèle puissance peut être utilisée pour obtenir des relations acceptables.

L'érosion estimée par plusieurs méthodes varie entre 108,74 t/km<sup>2</sup>/an et 631T/Km<sup>2</sup>/An)

Par ailleurs nous constatons une érosion différente d'une année à une autre et entre une vallée et autre. On peut dire au final et une autre que l'Oued Labiod, Oued. Al Arab et Oued Chemora sont les vallées les plus touchées par l'érosion, Tandis qu'oued yabous et oued Abdi sont moins affectés par ce phénomène, donc la bonne connaissance du comportement de chaque unité physique permet en quelque sorte de prévoir le potentiel érosif des sols et aider les aménageurs à gérer le problème de l'érosion et de l'envasement.

## *Chapitre II : Gestion des risques associés*

## II. Gestion des risques

### II.1. Réalité Socioéconomique et risques :

#### Introduction

La société humaine a toujours vécu avec les risques naturels mais les termes de risque et de catastrophe restent des notions en constante évolution. La zone d'étude occupe un territoire de 3 wilayas et 23 communes avec une superficie de 7000Km<sup>2</sup>, cette population est dense dans les villes, en 2010, Elle est : 1135974, habitants, cette population du massif a été exposée à des différents risques notamment des inondations depuis des années.

L'agriculture est l'activité dominante sur le massif suivi par le secteur des services, très récemment l'industrie a attestée un développement croissant particulièrement le domaine du montage des véhicules. Malgré la richesse du territoire Auresien en sites archéologique et touristiques tels les balcons de Ghoufi et les ruines de Timgad, le secteur reste peu évolué.

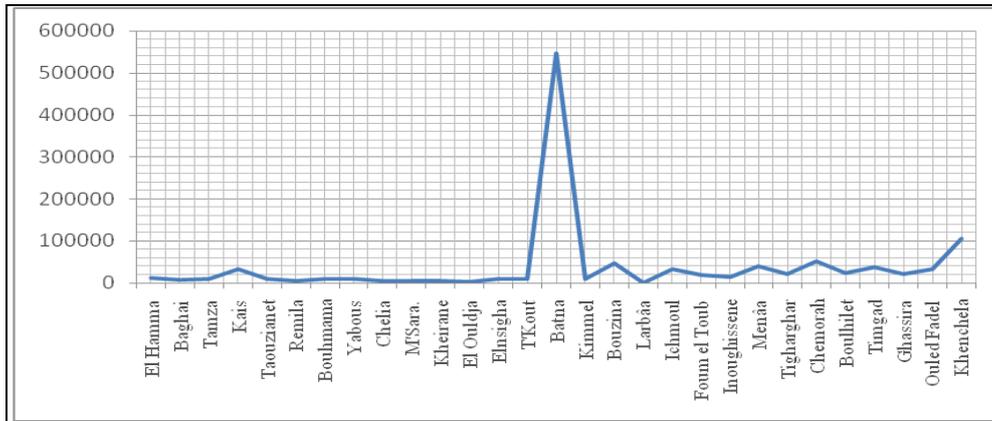
#### II.1.1. Population :

Le tableau 32 représente le nombre et la densité de la population dans la zone d'étude par commune.

**Tableau 32: Statistiques de population du Massif**

Communes	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Population (hab)	Densité (hab/km <sup>2</sup> )
Khenchela	3200	106126	33,16
El Hamma	852	11985	14,07
Baghai	136	6381	46,92
Tamza	385	8625	22,40
Kais	466	32678	70,12
Taouzianet	167	10175	60,93
Remila	243	5628	23,16
Bouhmama	1288	10445	8,11
Yabous	157	10050	64,01
Chelia	152	4952	32,58
M'Sara.	570	4085	7,17
Kheirane	400	5792	14,48
El Ouldja	366	3126	8,54
Insigha	163	9219	56,56
T'Kout	185,37	8519,22	45,96
Batna	116,41	546 033,84	4690,61
Kimmel	556,58	10185,84	18,30
Bouzina	194,47	47 249,10	242,96
Larbâa	99,04	108,65	1,10
Ichmoul	123,67	33 614,40	271,81
Foum el Toub	108,39	19 796,40	182,64
Inoughissen	72,77	13 225,80	181,75
Menâa	187,88	40 678,50	216,51
Tigharghar	229,87	20 811,60	90,54
Chemorah	262,72	51 388,86	195,60
Boulhilet	160,86	22 280,82	138,51
Timgad	222,26	37 105,56	166,95
Ghassira	234,53	22 153,92	94,46
Ouled Fadel	206,22	33 555,18	162,72

La détermination de degré de l'exposition aux risques exige la connaissance du nombre et de la distribution de la population dans l'espace étudié (Fig.79).



**Figure 79 : Population de la zone d'étude.**

L'analyse du graphe nous a permis de remarquer la concentration de la population dans les chefs-lieux des wilayas qui attirent la population par leurs activités qui s'offrent.

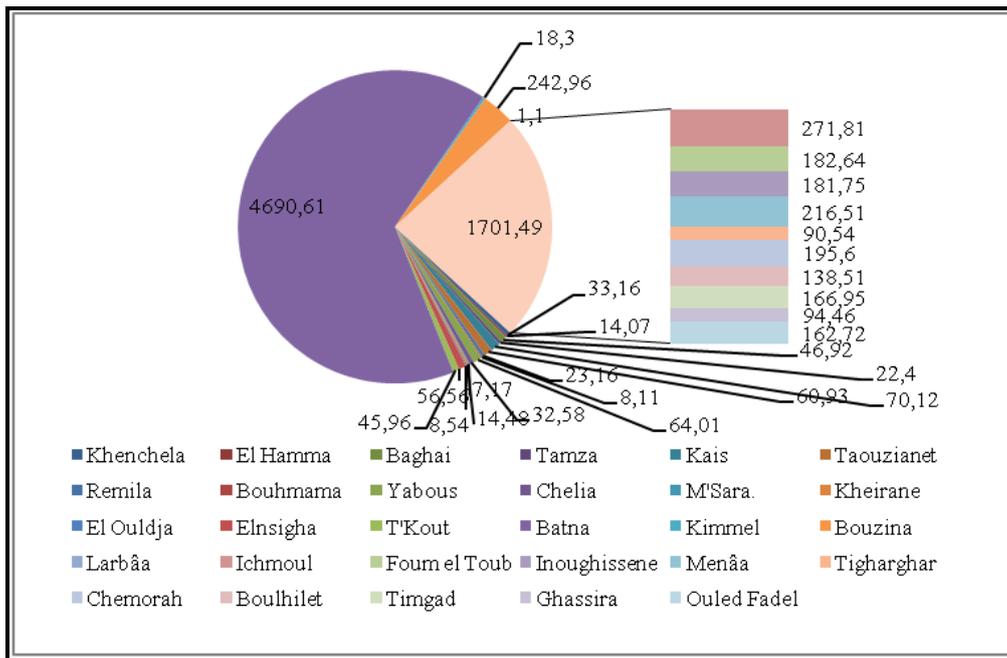
Les plains et les piémonts sont les plus occupés par les habitants.

Cette distribution inégale des populations sur l'espace nous donne une image sur les nombres et les espaces qui pouvaient être touchées de façon directe ou indirecte par les effets des risques prévisibles.

### II.1.2. Densité et taux d'accroissement

Ce paramètre démographique explique la répartition des populations en fonction de l'espace ; Les communes de la vallée de l'oued Abdi enregistrent les densités les plus élevées

A titre d'exemple : la densité de population est : 242,96 hab/km<sup>2</sup> à Bouzina, et 216,51 hab/km<sup>2</sup> à Menaâ tandis que les densités les plus faibles se trouvent essentiellement dans la vallée de l'Oued El Arab, (M'Sara 7,17 hab/km<sup>2</sup> Bouhmama 8,11 hab/km<sup>2</sup>).



**Figure 80 : Densité de la population dans la zone d'étude**

**II.1.3. Activités principales de la population du massif.**

Le tableau ci-dessous représente le pourcentage occupé par chaque secteur d'activité :

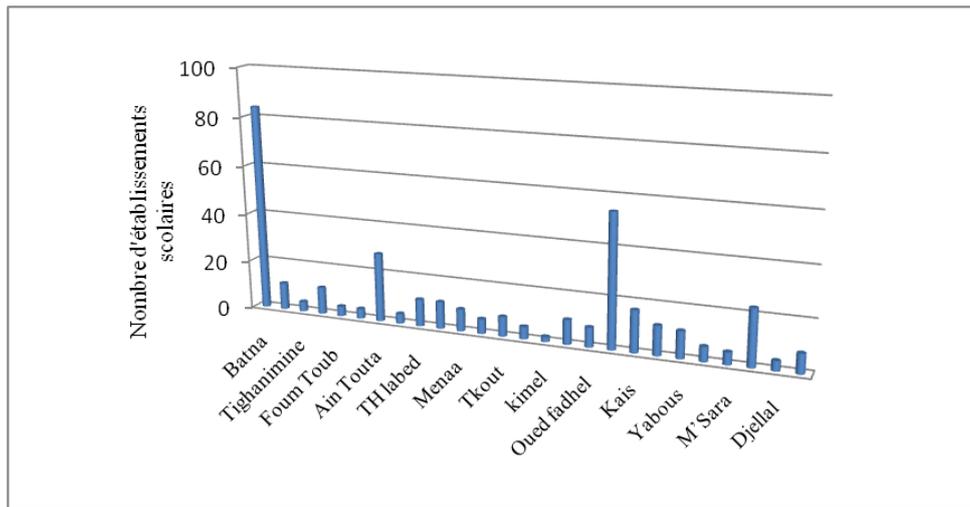
**Tableau 33: Pourcentage de la population active par secteur d'activité.**

SECTEURS D'ACTIVITE	AGRICULTURE	BTP	INDUSTRIE	AUTRES	TOTAL
%	35,7	20,4	7,2	36,7	100

le secteur agricole occupe une place avancé par rapport aux autres secteurs , il est de 35% de la population de la zone d'étude suivi par le secteur des services et certains fonctions libres.

**II.1.4. Education.**

La figure ci-dessous représente la répartition des établissements scolaires dans la zone d'étude.



**Figure 81: Nombre d'établissements scolaires.**

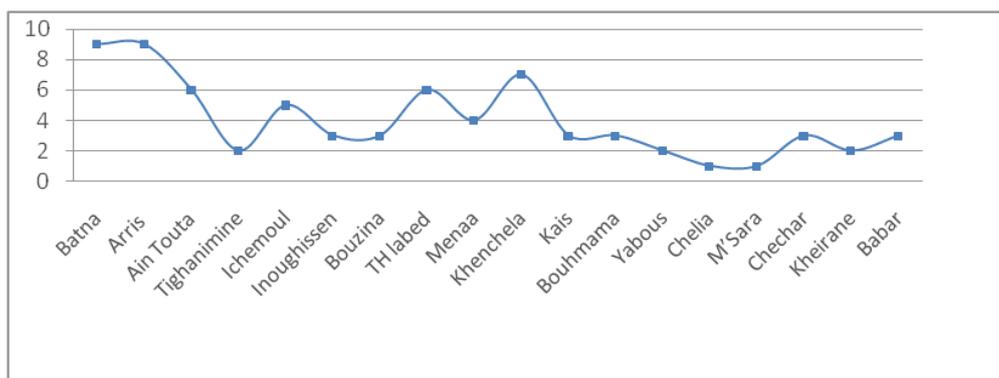
La distribution des établissements scolaires est nettement variée et contrôlé essentiellement par la densité de la population. Cette densité qui se trouve généralement élevée sur les chefs lieu des wilayas puis les chefs-lieux communaux.

**II.1.5. Santé**

La zone d'étude dispose de quelques établissements sanitaires alors que sa distribution dans l'espace reste inégale et rend l'intervention en cas de catastrophe difficile,

La vallée d'oued labiod dispose de quelques établissements sanitaires notamment l'hôpital d'Arris et celui de Tkout qui couvrent toute la vallée et quatre polycliniques.

Ce nombre d'infrastructure sanitaire est relativement suffisant en cas de déclaration de l'état de catastrophe.



**Figure 82 : Nombre d'établissements Sanitaires par commune.**

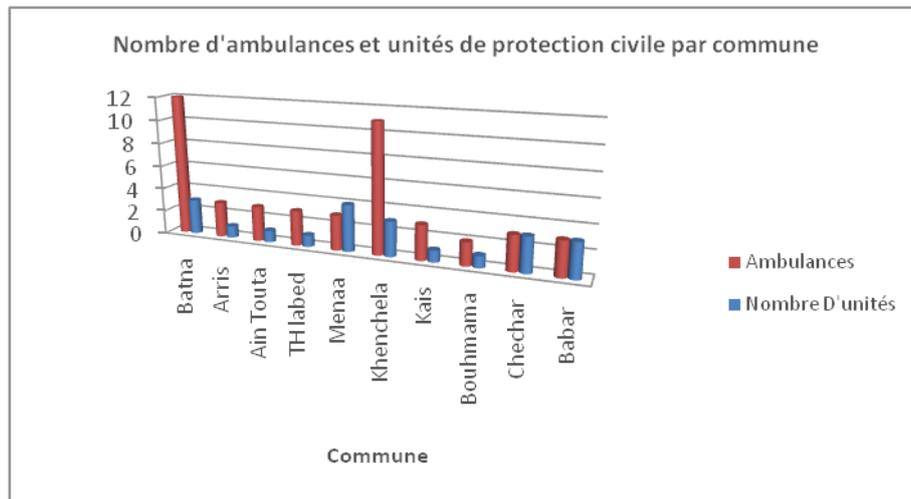
Chélia, yabous et Inoughissen sont les communes les moins équipées en établissements. (Fig.82).

Par coïncidence les inondations les plus fréquentes surviennent dans ces deux petites villes.

**II.1.6. Protection civile.**

Le rôle de la protection civile est très intéressant dans la gestion des risques en termes d'intervention et de sauvetage.

la durée d'arrivée au sites à risque et l'importance du cadre humain et matériel constituent le défi principal pour chaque intervention réussie.



**Figure 83: Nombre d'unités et d'ambulances de la protection civile.**

Le nombre d'ambulance semble relativement non suffisant pour évacuer les personnes en cas de déclenchement des risques majeurs, ce qui demande une action collaborative entre les différentes unités de wilaya et parfois inter wilaya.

## **II.2. Risques des Inondations :**

Introduction :

Les risques naturels dans la zone d'étude sont aussi nombreux parmi les plus importants nous citerons les crues, l'envasement, la sécheresse et les mouvements de terrain.

-les inondations s'étalent notamment sur le versant sud du massif, elles surviennent particulièrement sur la vallée de l'oued labiod, et sur la partie amont d'oued El Arab. En revanche, elles apparaissent très limitées sur le versant nord.

- L'envasement des barrages est nettement varié sur l'ensemble des barrages du massif et constitue la cause principale du comblement des lits des oueds et produit à la fois des pertes importantes.

- Chute des pierres s'étende particulièrement sur les altitudes de Chelia, Larhan et sur Mehmel.

- Erosion : elle se trouve largement dans la vallée d'Oued labiod, oued El Arab .

### **II.2.1. Outils de gestion des risques**

#### II.2.1.1. Plan d'organisation des secours

Le Plan ORSEC est un outil de décision et de gestion des risques.

A l'échelle communale, généralement le plan orsec comporte plusieurs acteurs : décideurs, techniciens, chercheurs, élus, population et différents services étatiques, le plan orsec constitue un dossier complet qui contient les aspects suivants :

Aspect scientifique (étude, expertise, prévision des risques).

Aspect juridique et organisationnelle (matières constitutionnelles, lois, décrets, notes d'instruction).

Aspect socioéconomique : gestion des ressources humaines, sensibilisation et mobilisation générale avec tous les moyens. Par ailleurs, Ce plan est organisé et planifié selon les trois phases suivantes :

-la première phase est considéré comme phase d'alerte ou d'urgence

, la deuxième phase est consacrée pour l'évaluation et le contrôle alors que la dernière phase a pour but la réhabilitation.

« L'intervention dans le cadre de plan orsec obéit aux règles fixées par :

-Décret85-231 du 25-08-85 relatif a l'organisation des interventions et secours en cas de catastrophes.

-Décret85-232 du 25-08-85 relatif à la prévention des risques de catastrophes.

-la loi 04-20 du 29 décembre 2004 relative a la prévention de risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable » Journal officiel de la république algérienne n° 04, 28 Dhou El Kaada 1425 (9 janvier 2005).

Cette loi comporte deux volets intéressants, dispositifs de prévention et le système national de gestion des catastrophes.

Des efforts ont été effectués et aboutis à la publication de « l'Ordonnance du 26 août 2003 relative à l'obligation d'assurance des catastrophes naturelles et à l'indemnisation des victimes ».

Cette ordonnance a été réellement appliquée a partir du 1er septembre 2004.

Pour la commune d'Inoughissen nous avons préparé au début le plan de zonage et celui de prévention. Outre les moyens mobilisés par l'état au titre du plan orsec, lors de la survenue

d'une catastrophe, l'autorité locale procède à la réquisition des personnes et des moyens nécessaires.

Selon la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, l'organisation des opérations d'intervention au niveau de commune est basée sur les modules suivants :

« - Le sauvetage et les secours des personnes.

- La mise en place de sites d'hébergement provisoires sécurisés,

-La gestion rationnel des aides,

-La sécurité et la santé des sinistrés et de leurs biens, l'alimentation en eau potable, la mise en place d'alimentation en énergie, transport et liaisons et télécommunications » (Journal officiel de la république algérienne, 2004).

L'application fructueuse de ce plan exige l'autorité local a veiller et travailler sur le suivie de la gestion des opérations d'interventions dans le cas de déclenchement du risque selon les phases et les voies organisationnelles et juridiques fixés par la loi.

#### II.2.1.1.1. Plan d'action du plan orsec de commune :

Ce plan est constitué de deux phases :

Une phase préparatoire et autre concerne le déclenchement du plan orsec.

#### **II.2.2. Dégâts causés par les crues**

Plusieurs lieux du massif sont frappés et touchés par des crues et inondations destructives Provoquant des dégâts matériels et humains considérables, le cas le plus claire est les conséquences de la Crue généralisée de 03-04 Mai 2006 qui frappa la vallée d'oued Labiod, oued El Hai et Oued Mellague et la crue de 08 mai 2008 de la vallée d'oued El Arab (Partie amont) notamment à Bouhmama.

En absence des outils de décisions telles que le per, ppri, plans ORSEC les populations de la vallée de l'oued labiod ont vécu deux jours (03-04 Mai 2006) difficiles sous les effets de la crue.

Les différents services (service d'agriculture, hydraulique, travaux publics) recensent des dégâts importants.

Au niveau d'infrastructure la crue a provoqué des dommages considérables dans les différents secteurs, Précisément la destruction de six ponts, une dizaine de maisons et plusieurs hectares de terres qui ont été érodées.

Les commissions installées estiment les pertes dans ce secteur à 200 milliards DA.

Au niveau de l'Agriculture et suite aux crues du 3 et 4 mai 2006 et après le constat et les statistiques accompagnés, la subdivisionnaire considère la situation catastrophique.

A la commune d'Inoughissen des dizaines d'hectares des sols affectés par l'inondation, plusieurs terrains agricoles érodées complètement ou partiellement notamment les sols avoisinants l'oued.

La connaissance des conditions hydrologiques et morphologiques de cette crue va nous aider a délimiter les différentes zones inondables.

II.2.2.1. Fréquence de la Crue de 03-04 Mai 2006 :

L'estimation et la prévision des paramètres de la crue sont les suivantes :

\*Le temps de retour de la pluie (160 mm donnée par les services de l'ONM)) est de 500 ans.

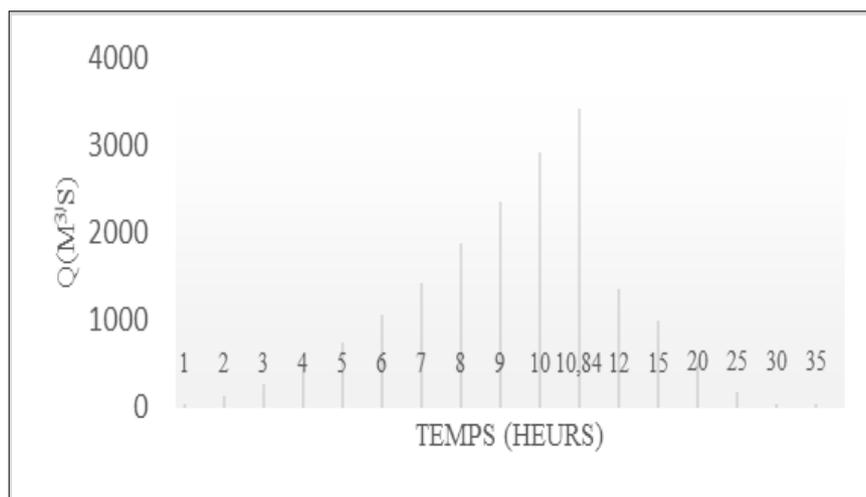
\*Le débit est de 3436,8 m<sup>3</sup>/s.

II.2.2.2. Analyse de L'hydro gramme de crue

**Tableau 34: Hydro gramme de crue de 03/04 mai 2006.**

Hydro gramme de crue de 03-04-05 mai 2006			
Date	Temps réel de la crue (h)	Temps de crue (h)	Débit de la crue par (TURRAZA) (m <sup>3</sup> /s)
03 mai 2006	22 00 h	1	29,24
	23 00 h	2	116,99
	00, 00 h	3	263,23
	01 00 h	4	467,96
	02 00 h	5	731,20
	03 00 h	6	1052,92
	04 00 h	7	1433,15
04 mai 2006	05 00 h	8	1871,87
	06 00 h	9	2369,09
	07 00 h	10	2924,80
	08 00 h	10,84	3436,81
	09 00 h	12	1367,40
	12 00 h	15	996,47
	17 00 h	20	508,40
	22 00 h	25	183,02
	03 00 h	30	20,33
	08 00 h	35	20,33

(Source ANRH Constantine 2006)



**Figure 84: Hydro gramme de Crue de 03/04/05Mai2006**

L'examen du (tableau34 et la figure 84). Nous a permis d'observer que cette crue atteint son niveau maximum dans dix heures ce qui donne une idée sur le comportement de l'inondation et la durée nécessaire pour l'intervention.

### **II.2.3. Définition de la Zone inondable et gestion de l'inondation.**

Tout cours d'eau naturel de type méandrique ou sinueux (hormis ceux naturellement contraints : gorges) dispose sur les marges de son lit actif, d'une zone d'expansion qui lui permet de maintenir un tracé en plan en équilibre par rapport aux débits liquides et solides qui lui sont imposés par la nature et qui sont les deux variables essentielles de contrôle de la dynamique et de la morphologie fluviale.

Cet espace est aussi l'une des sources principales d'alimentation des cours d'eau en transport solide, est l'espace de divagation maximale théorique du cours d'eau (JP. Bravard et F. Petit, 1997).

De point de vue de gestion cet espace dite espace de liberté, Il s'agit de l'espace minimal à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel de stabilité en plan et en long (G. Brierley et K. Fryirs, 2005).

« La largeur minimale de cet espace de liberté peut être évaluée à 10 à 15 fois la largeur du lit actif à pleins bords, » (Chave S, 2002).

Si cet espace de liberté minimal n'est pas respecté (endiguement étroit, enrochements de deux berges opposées), on peut s'attendre à de nombreuses modifications morphologiques du cours d'eau telles que l'enfoncement du lit par érosion progressive ou régressive, liée à l'augmentation des forces tractrices en crue (non débordement biennal), à la réduction de la charge alluviale de substitution, à l'augmentation de la pente.

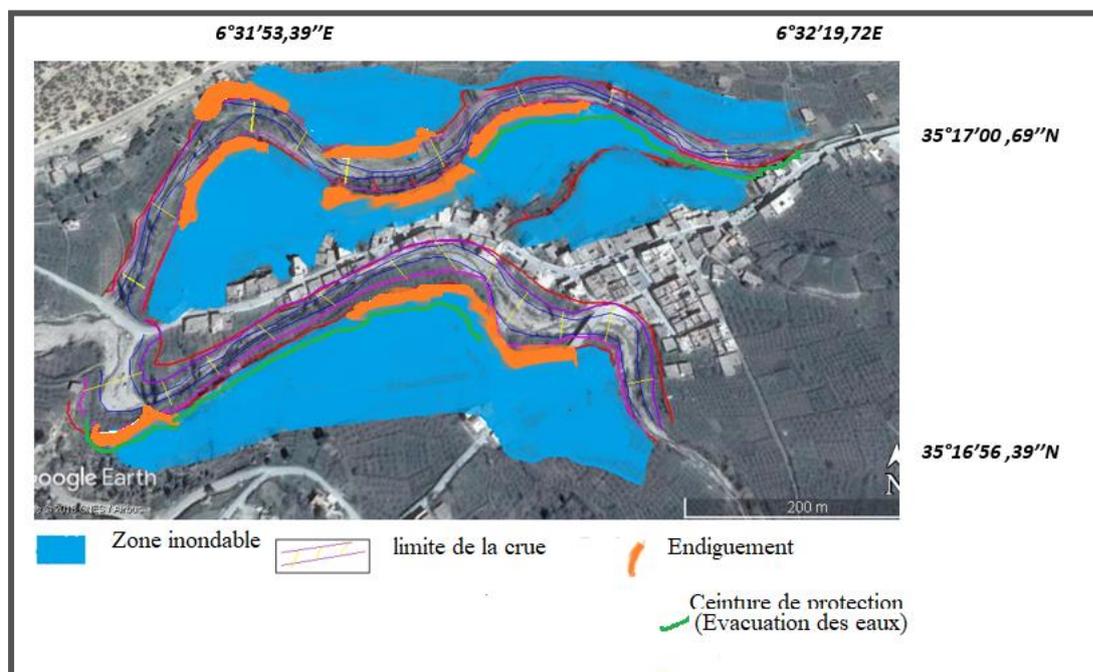
Il est donc clair que la réduction de l'espace de liberté (endiguement, enrochements), et donc la limitation du processus d'érosion latérale, ne pourra qu'accélérer le phénomène d'enfoncement inéluctablement lié au déficit de charge actuel (Impacts liés à la réduction de l'espace de liberté).

Dans ce sens nous essayerons d'appliquer cette approche géomorphologique tenant compte le débit de 3/4/mai 2006 et les limites atteintes (traces des alluvions, débris des

végétaux). Avec l'intégration de ce que nous appelons zones sources comme l'hôpital, les établissements scolaires, la route principale, la poste.

**II.2.4. Zonage et gestion de l'inondation dans la vallée d'Oued L'Abiod (partie amont) :**

Pour arriver à déterminer les limites de l'inondation dans les différentes unités hydrologiques (zonage des espaces occupés par le débordement des eaux de la crue) il est préférable de poursuivre une approche adaptable et applicable dans les conditions illustrées. Dans cette étude on met la lumière sur l'oued labiod dans sa partie amont dans un point de confluence des deux affluents constituant Oued labiod dans la localité Inoughissen, tenant compte les informations recueillies par les services techniques concernés de la commune d'Inoughissen sur le bilan des dommages de la crue de 04 mai 2006 avec le niveau et les traces de la crue atteints. Une visite approfondie sur terrain pour déterminer les unités morphologiques des deux oueds est les points considérés comme traces. Les résultats de l'application de cette approche sont présentés sur la figure 85.



**Figure 85: Zone inondable et Lutte contre l'inondation de l'oued Inoughissen.**

La zone en bleue (Fig 85) présente un espace de très faible inondabilité, Il est favorable a la pratique des activités programmée par les aménageurs.

L'espace en violet strictement interdit à l'application de toutes formes d'activités.

L'espace en rouge est autorisé avec plus de réserves de vigilance et de précautions.

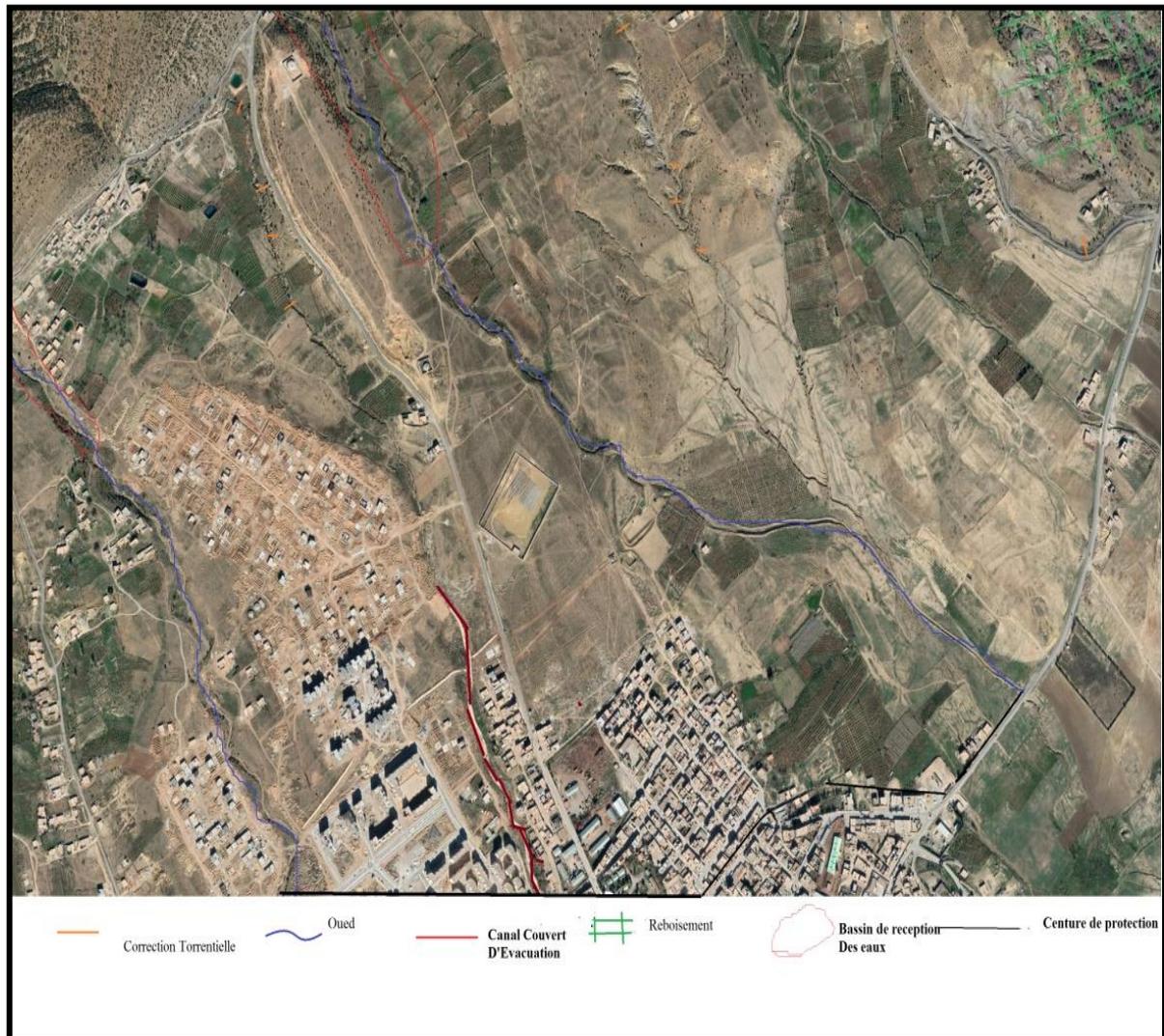
**II.2.5. Gestion de l'Inondations dans la ville de Bouhmama.**

Les inondations dans cette ville présentent un modèle nettement varié caractérisé par l'interférence de l'action des torrents et l'écoulement en nappe (eaux sauvages).

La gestion de cette situation repose sur une intervention horizontale (transversale) qui consiste à rassembler ces eaux et puis les évacuer vers un canal (ceinture de protection), ce canal à leur tour draine ses eaux vers deux grands ravins selon la pente de chaque tronçon du canal.

Cette protection sera renforcée par :

- L'application de la correction torrentielle.
- la réalisation de deux bassins de décantation en vue de retenir un volume d'eau qui sera exploité pour l'irrigation et qui minimisera la lame d'eau débordante. (Fig. 86)



**Figure 86:Protection de la ville de Bouhmama contre les inondations**

### II.2.6. Zonage de l'aléa inondation dans certaines vallées du massif :

L'inondation est un phénomène naturel traduisant une submersion temporaire de terres émergées par l'eau. L'aléa inondation est déterminé par une occurrence et une intensité donnée. Il est essentiellement caractérisé par la hauteur de submersion, la vitesse d'écoulement et la durée de submersion. Plusieurs facteurs naturels et anthropiques ont un impact sur les inondations (la pluviométrie, l'altitude, la nature et l'occupation des sols).

Les spécificités climatiques et les caractéristiques physiques locales (phases pluvieuses intenses à l'automne et au printemps notamment, vallées pentues, présence de lithologie peu perméable) faisant la zone d'étude particulièrement vulnérable aux inondations.

De façon générale, le type d'inondations qui peut se manifester sur la zone d'étude est l'inondation par débordement de cours d'eau ; Elle correspond sur le territoire à une crue dite (rapide), caractérisée par une montée rapide des eaux et des vitesses d'écoulement importante.

Pour déterminer l'aléa inondation dans la zone d'étude nous avons choisi les paramètres climatiques et physiques suivants : pluies, altitudes, pentes, réseaux hydrographiques.

La superposition des différents paramètres étudiés sur un programme spécialisé nous a permis d'obtenir une carte d'aléa inondation représentative avec trois niveaux d'aléa (Fig.87).

Zone fortement inondable ; qui s'étend sur les lits majeurs et certains plains.

L'aléa moyen qui occupe les terrains moyennement pentus comme les plaines et bas de piémonts.

L'aléa faible ou nulle ne s'étale sur les pentes moyennes et élevées et sur les altitudes.

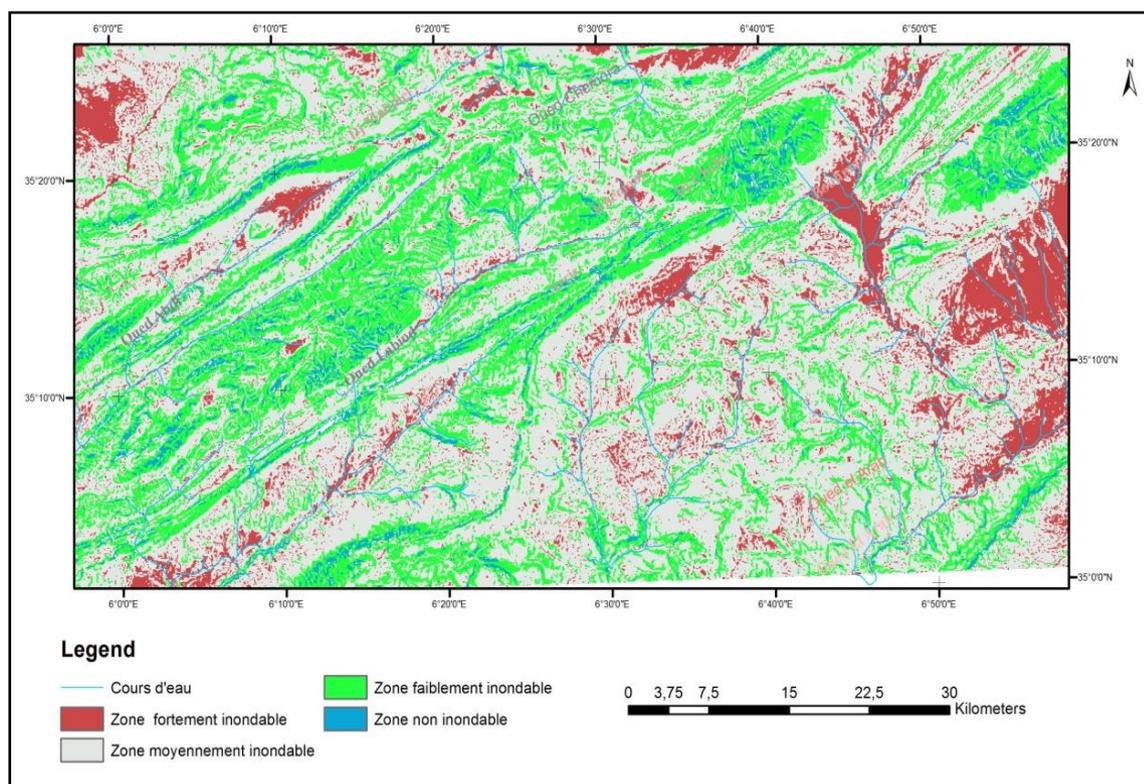


Figure 87: Carte d'aléa inondation de la zone d'étude

### II.3. Envasement :

L'alluvionnement des barrages est l'une des conséquences de l'érosion hydrique environ 180 millions de tonnes enlevés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord d'Algérie (A. Demak, 1982).

Le processus de l'envasement d'un barrage débute dans la première phase par l'arrachage des particules fines de leurs positions initiales par le ruissèlement et d'autres mécanismes physico chimiques (A. Bouzid, 1991 ; D. Brambilla et al., 2011).

Dans la seconde phase, les sédiments seront drainés par les cours d'eau jusqu'au barrage. Enfin se stabilisent et se compactent au fond du barrage.

L'alluvionnement des barrages pose d'énormes problèmes au niveau du réservoir Elle entraîne la réduction de la capacité utile du barrage, le blocage des organes de vidange, la dégradation de la qualité de l'eau et finalement la stabilité de l'ouvrage. (B. Remini and al., 1997).

### **II.3.1. Barrages du massif :**

#### II.3.1.1.Foum El Gherza :

Cet ouvrage se compose de deux parties qui sont une voûte de 126m et une culée de 60m de longueur, Sa hauteur maximale atteint 73m et sa capacité initiale est de l'ordre de 47 millions de mètres cubes (S.E.G.G.T.H., 2001).

Cet ouvrage a un très grand intérêt économique dans la région puisqu'il permet d'irriguer plus de 300.000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda (S.E.G.G.T.H, 2001 ; B. REMINI, 2001). Cependant, il se trouve amputé chaque année d'un volume important estimé en moyenne à 5 millions de m<sup>3</sup>.

Grâce à la vanne de fond 600 000 m<sup>3</sup> de vase ont été évacuées de 1989 jusqu'à 1993. Notons que de 1982 jusqu'à 1989, la vanne a été bloquée par la vase.

Au début des années 2000, le barrage de Foum El Gherza a enregistré un envasement cumulé depuis 1950 dépassant les 50% de sa capacité.

#### II.3. 1.2. Le barrage de Babar :

Cet ouvrage est formé d'une digue en terre de 39m de haut et de 700m de longueur en crête et d'un évacuateur frontal à seuil libre, de 160m de longueur, la surface de retenue au niveau normal (RN) est de 3,8 km<sup>2</sup> et sa capacité utile de 24,83 hm<sup>3</sup>. Cet ouvrage est destiné principalement à l'irrigation (Fiche technique du barrage. ANBT, 2010).

#### II.3. 1.3. Le barrage de Foum El Gueiss :

Il est d'une capacité de 2,5 millions de mètres cubes, fait partie des barrages hérités de l'administration coloniale. Sa construction a commencé en 1910 et sa mise à eau est intervenue en 1939. Son bassin versant, qui s'étend sur 156 km<sup>2</sup>, est constitué d'un sol fragile, friable, à base d'argiles et de schistes, facilement érodable, Cette vulnérabilité du bassin versant à valu au barrage un envasement complet, offrant ainsi l'image d'un vestige antique actuellement atteste une surélévation de la digue. Ce barrage présente les caractéristiques techniques suivantes :

Le Barrage de Foum El Gueiss existe à Khenchela environs de 7 km de Kais

Type Enrochement avec masque en béton

Evacuateur de crue à seuil libre 600 m<sup>3</sup> /s

Vidange de fond Galerie de vidange. 25m<sup>3</sup> /s.

Hauteur 23 m

Capacité initiale 2.5 hm<sup>3</sup>

Capacité dernier levé 0.045hm<sup>3</sup>

Mise en eau 1939

Destination Irrigation plaine de Remila et AEP Kais. (Fiche Technique du barrage ANBT, 2010).

#### II.3. 1.4. Barrage fontaine des gazelles

Les travaux du barrage avaient commencé en 1986.

« La réception provisoire de l'ouvrage a eu lieu le 25 mai 2000 et réalisé son premier déversement en mai et juin 2004, l'ouvrage a connu des volumes de remplissage assez importants, passant d'environ 7 hm<sup>3</sup> en 2001 à plus de 52 hm<sup>3</sup> en 2009, rassurant par-là, le périmètre de la disponibilité en eau pour son irrigation ». (M. Touati, 2010).

Les Caractéristiques de ce barrage sont les suivants :

Le barrage se trouve dans la wilaya de Biskra.

Type en terre à noyau

Evacuateur de crue à surface libre type labyrinthe. 3000m<sup>3</sup> /s.

Hauteur 42.5 m.

Longueur en crête 370 m.

Largeur en crête : 8.50 m.

Mise en eau 2001.

Capacité actuelle 54.57 hm<sup>3</sup>.

Levé bathymétrique 2004.

Destination Irrigation de 1100 ha. (Fiche Technique du barrage. ANBT, Biskra)

#### II.3. 1.5. Barrage de Koudiet M'douar :

Le barrage de Koudiet M'douar est réalisé sur oued Reboa, drainant une superficie de 590 km<sup>2</sup> est situé à 7 km au Nord-Est de la ville de Timgad, ayant pour objectifs d'assurer les besoins en eau potable et industrielle des villes de Batna, Khenchela et Ain Touta et aussi l'irrigation de plus 15700 ha de terres agricoles dans les plaines de Batna, de Chemora et Ain Touta.

Caractéristiques du barrage : il se trouve dans le territoire de la wilaya de Batna.

Type Terre à noyau

Evacuateur de crue à surface libre 2500 m<sup>3</sup> /s

Hauteur 48 m

Largeur en crête : 10 m

Capacité initiale 69 hm<sup>3</sup>

Mise en eau 2003

Ce barrage est destiné pour l'AEP. (Fiche Technique du barrage. ANBT, 2010, Batna).

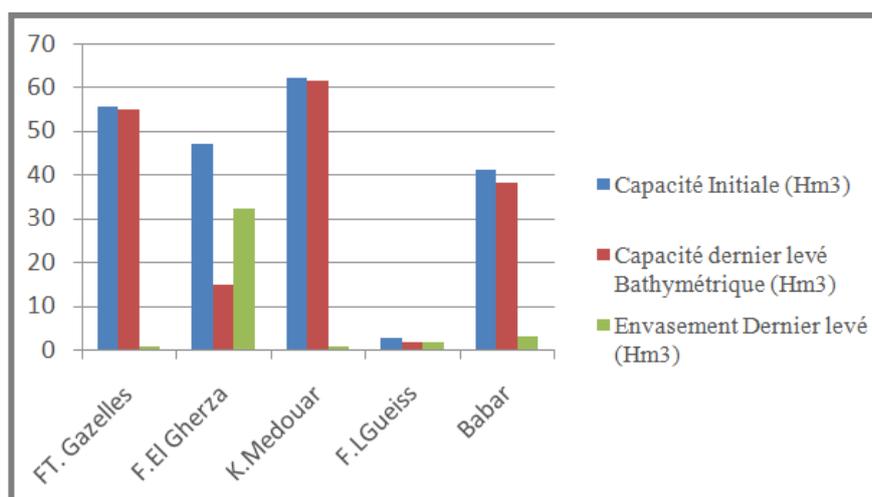
#### **II.3.2. Situation actuelle de l'envasement de quelques barrages.**

Le tableau ci-dessous donne des informations sur l'état de l'envasement dans quelques barrages du massif en 2004.

**Tableau 35: l'etat de l'alluvionement de certains barrages du massif**

N	Barrages	Mise en eau	Capacité initiale (Hm <sup>3</sup> )	Date de dernier Levé Bathymétrique	Capacité de dernier levé Bathymétrique (Hm <sup>3</sup> )	Envasement moyen annuel (Hm <sup>3</sup> )	Envasement Dernier levé (Hm <sup>3</sup> )	Taux d'envasement (%)
1	F. Gazelles	2001	55,5	2004	54,74	0,19	0,76	1,37
2	F. El Gherza	1950	47		14,89	0,59	32,11	68,32
3	K. Medouar	2003	62		61,32	0,23	0,68	0,91
4	F. Guis	1939	2,5		1,6	0,02	1,6	50
5	Babar	1995	41,00		38,01	0,33	2,99	7,29

ANBT In (Rapport Régional sur la Gestion des Sédiments dans les Barrages en méditerranée)  
(Atelier Régional 13 et 14 décembre 2010, Marseille, France).



**Figure 88: l'état de l'envasement en 2004 dans certains barrages du massif**

Il s'avère que la capacité d'emmagasinement observé s'abaisse légèrement pour l'ensemble des barrages récents (F<sup>t</sup> des gazelles, K<sup>et</sup> Medouar) alors que les barrages les plus anciens (Babar et foug El Gherza) enregistrent des taux d'envasement annuels très élevés, entre 0,33 et 0,59 Hm<sup>3</sup>.

L'examen de la figure (88) montre que l'envasement se comporte différemment d'un barrage à un autre par exemple le barrage de F<sup>m</sup> L'Guis reçoit une quantité annuelle de l'envasement de l'ordre de 0,02 Hm<sup>3</sup>; Ceci peut s'expliquer par la protection assurée par le couvert végétal qui intercepte les averses et les écoulements chargés de sédiments. Par ailleurs le barrage de foug el Gherza retient une quantité annuelle de l'ordre de 0,59Hm<sup>3</sup>. Cette valeur traduit l'importance de l'action érosive du bassin de l'oued labiod.

### II.3.3. Evaluation de l'envasement par des méthodes empiriques :

II.3.3.1. Evaluation de l'envasement dans le barrage de Foug E l'gherza par la méthode

F. Orth (1934).

#### II.3.3.1.1. Données et Méthodes de l'application :

Les données utilisées pour cette étude recueillies des différents organismes responsables de la gestion, le contrôle et le suivi des projets hydrauliques.

ONM (office national de la météorologie) : source des données pluviométriques

(Stations pluviométriques suivants : Medina, Tkout, Tifelfel).

ANRH : (Agence nationale des ressources hydriques) nous donne les débits et les données pluviométriques ;(station du barrage).

ANBT :(agence nationale des barrages et transfert des eaux) : source des données techniques et des relevés bathymétriques : capacités, et envasements observés).

Pour déterminer l'évolution de l'envasement dans le barrage de Foug L'Gherza dans le temps, Nous avons utilisé les résultats de six levés bathymétriques effectués, durant la période de l'envasement (1950-2010), chaque levée interprète le comportement de l'envasement dans une phase. Nous avons jugé utile de faire une étude comparative entre les résultats obtenus par la relation de (F. Orth) et les mesures de levés bathymétriques

Le choix de cette formule est justifié par le fait qu'elle est la relation la plus utilisée en Algérie (A. Saidi, 1991).

F. Orth (1934) est parmi les premiers à avoir étudié la prévision de l'envasement, Il suppose que la capacité résiduelle varie dans le temps en fonction d'une loi à décroissance exponentielle. La formule est largement utilisée en Algérie pour la prévision du volume des dépôts, Cette formule appliquée sur 16 barrages en Algérie dont les résultats sont les suivants :

56% des cas a un écart absolu moyen < à 5%

81% des cas a un écart absolu moyen < à 10%

18.7% des cas a un écart absolu moyen > à 10%

La formule tient compte du changement entre la capacité résiduelle et normale en fonction du temps et peut s'écrire comme suit :

$$C_t = C_{rn} * a^t \quad (69)$$

$C_t$  : c'est la capacité résiduelle après t années de service en (hm<sup>3</sup>).

$C_{rn}$  : la capacité de retenue normale en (hm<sup>3</sup>).

a : c'est le paramètre propre à chaque barrage.

t : nombre des années d'exploitation.

On peut écrire si  $V_{st}$  étant le volume envasé après t années.

$$C_t = C_{rn} - V_{st} \quad (70)$$

$$V_{st} = Crn*(1-a^t)^t \quad (71)$$

Si on suppose que durant la première année d'exploitation  $t = 1$ , le volume des sédiments accumulés ( $V = 1$ ), est égale à l'apport solide moyen annuel  $Q_s$  on aura :

$$q_s = \frac{S D_s t}{y_s} \quad (72)$$

$q_s$  : le débit solide en ( $hm^3$ ).

$D_s$  : la charge solide de la dégradation spécifique (taux d'abrasion) en ( $T/km^2/an$ ).

$t$  : le nombre d'années.

$y_s$  : poids volumique des matériaux  $y_s = 1.6 T/m^3$

$S$  : surface en  $km^2$

Avec 
$$q_s = Crn (1-a ) \quad (73)$$

Ce qui entraîne que

$$a = 1 - \left( \frac{q_s}{Crn} \right) \quad (74)$$

Il ne s'agit pas de la valeur réelle de  $(a)$ , mais d'une proche de  $(a)$ .

$a=0,981$  pour notre bassin

La formule de prévision devient

$$C_t = Crn \left( 1 - \frac{q_s}{Crn} \right)^t \quad (75)$$

$Crn$  : la capacité normale de la retenue ( $hm^3$ ).

$(V_e)$  de l'envasement est égale à :

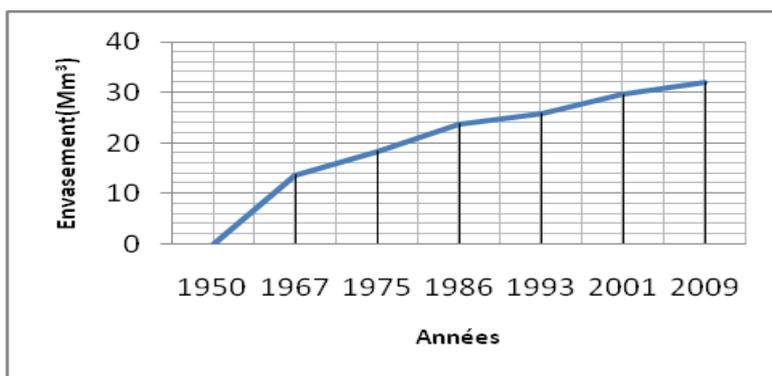
$$V_{st} = Crn - C_t \quad (76)$$

### II.3.3.1.2. Résultat de calcul :

Les valeurs de l'envasement Calculé sont reportées sur (le tableau 39 et la figure 92)

**Tableau 36 : Evolution de l'envasement calculé du barrage (1967-2009)**

Années	1967	1975	1986	1993	2001	2009
Envasement ( $Mm^3$ )	13,72	18,46	23,89	26	29,67	32,13



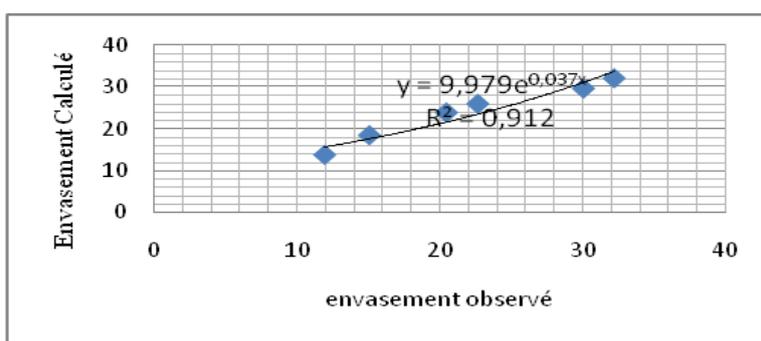
**Figure 89: Évolutions de l'envasement calculé**

L'envasement suit un rythme très rapide entre (1950 et 1986) (Fig89, Tab.36). Dans la même période le barrage a reçu une quantité de vase de (23,89Mm<sup>3</sup>) tandis que cette accélération s'abaisse progressivement et atteste une atténuation à partir de l'année 1986 jusque l'année 2009 où l'envasement durant cette période ne dépasse pas (9,096Mm<sup>3</sup>) avec un écart de (14Mm<sup>3</sup>).

Au final on peut dire que l'alluvionnement du barrage passe par deux phases distinctes, la première atteste une accélération de l'envasement, la deuxième est relativement atténuée. Ces observations sont confirmées par (T. Hadji, A. Chadi, 1991 ; B. Remini, W. Hallouche, 2003).

#### II.3.3.1.3. Comparaison entre L'envasement mesuré et observé :

La figure ci-dessous explique le degré de liaison entre l'envasement calculé et l'envasement mesuré.



**Figure 90: Comparaison de l'envasement mesuré et calculé**

La corrélation exprime une concordance totale entre les deux volumes de l'envasement ce qui démontre l'importance et l'efficacité du modèle utilisé.

## II.3.3.1.4. Facteurs influent sur l'envasement

Le tableau suivant récapitule les éléments qui participent à l'accélération de l'envasement

**Tableau 37: Résultats de calcul de l'érosion spécifique**

Années	Envasement (Mm <sup>3</sup> )	P (mm)	Ec (mm)	A(T/Km <sup>2</sup> /An)
1967	13,72	370,48	43,9102103	617,238308
1975	18,46	280,51	16,6446055	533,653142
1986	23,89	350,48	36,8267968	601,163544
1993	26	340,64	33,5527755	592,826095
2001	29,67	376,26	46,0634959	621,686703
2009	32,13	347,1	35,686401	598,33369

(Source : A. khentouche ,2018).

La pluie annuelle, la perméabilité, et l'écoulement sont les facteurs qui régissent l'envasement ; lorsque l'écoulement augmente l'érosion s'élève et la possibilité de l'accumulation des sédiments dans la cuvette du barrage devient très élevée.

**Tableau 38: Comparaisons des données observées et calculées.**

Année	Temps (ans)	Capacité Observée (Mm <sup>3</sup> )	Capacité Calculée (Mm <sup>3</sup> )	Vase Observée (Mm <sup>3</sup> )	Vase calculée (mm <sup>3</sup> )	Ecart
1950	0	47	47	0	0	0
1967	18	35,07	33,28	11,93	13,72	1,79
1975	26	31,93	28,54	15,07	18,46	3,39
1986	37	26,52	23,11	20,48	23,89	3,41
1993	44	24,32	21	22,68	26	3,32
2001	52	16,9	17,33	30,1	29,67	0,43
2009	60	14,74	14,87	32,26	32,13	0,13

Le résultat hydro bathymétrique observé au niveau du barrage depuis sa mise en eau en 1950 est très éloquent. L'examen de la (Tab. 38) montre l'abaissement de la capacité du barrage et la hausse de l'envasement en fonction du temps. Ce qui reflète de manière parfaite l'évolution ascendant de processus d'envasement du barrage de Foug El Gherza.

La capacité utile en eau de la retenue se trouve réduite de quelques milliers de m<sup>3</sup>/an. Depuis sa mise en service, l'envasement total est estimé à 32,26 millions (Mm<sup>3</sup>) en 2009, soit 68,63% de la capacité initiale du barrage. La comparaison des courbes obtenues montre la concordance entre les valeurs observées et calculées. Un petit écart qui se présente entre l'envasement observée et calculé.

La loi de F. Orth s'avère très efficace et s'accorde le mieux avec le comportement de l'envasement dans ce barrage, Avant 1967 il ya une accélération très importante de l'envasement et l'écart entre l'envasement mesuré et calculé s'accroît graduellement pour les années 1967et 1986, Mais avec un taux faible. Par ailleurs, l'analyse de différentes relevées bathymétriques nous a permis de récapituler les données de L'envasement par phase et pour chaque niveau d'altitude atteint par ailleurs, le volume total des dépôts dans le barrage représente un taux très élevé dont la quantité des alluvions déposées pendant les premières années d'envasement est également très élevée, environ de (10 Mm<sup>3</sup>) entre les niveaux 170et 184 ce qui explique le caractère accéléré de l'envasement.

La sédimentation atteste une atténuation claire notamment entre (1975 et 1986) avec une quantité de (4,80 Mm<sup>3</sup>) alors que les dernières années inscrivent une augmentation très remarquable de (10Mm<sup>3</sup>).

L'observation approfondie de l'évolution des courbes de l'envasement nous a permis de détecter une rupture dans la sédimentation au niveau de (190m) qui correspond avec la phase 1986-1993 (Tab 40).

#### II.3.3.1.5. Vérification des résultats :

La loi de Nash peut être utilisée pour déterminer l'écart quadratique moyen entre une courbe de référence (Y réf(x)) et une courbe simulée (Y mod (x)) qui se veut modéliser correctement la courbe de référence. Il est défini de la façon suivante

(Nash et al 1970)

$$\text{Nash} = 1 - [(V_{Ca} - V_{obs})^2 / (V_{obs} - \overline{V_{obs}})^2] \quad (77)$$

V<sub>ca</sub> : Vase calculée

V<sub>obs</sub> : Vase Observée

( $\overline{V_{obs}}$ ) : Moyenne de la vase pour chaque levée bathymétrique prises.

**Tableau 339: Calcul de l'indice de Nash.**

Année	Vase Observée (Mm <sup>3</sup> )	Vase calculé (Mm <sup>3</sup> )	(V <sub>Ca</sub> -V <sub>obs</sub> ) ^2	(V <sub>obs</sub> -V <sub>obs</sub> ) ^2
1950	0	0	0	358,398988
1967	11,93	13,72	3,2041	142,3249
1975	15,07	18,46	11,4921	227,1049
1986	20,48	23,89	11,6281	419,4304
1993	22,68	26	11,0224	514,3824
2001	30,1	29,67	0,1849	906,01
2009	32,26	32,13	0,0169	1040,7076
	18,9314286		Σ=37,5485	Σ=358,398988

(Source : A. khentouche ,2018).

Selon Nash et al (1970) :

Si la valeur de ce critère = 1 : estimation parfaite des valeurs observées.

si  $0 < \text{valeur de Nash} < 1$  : estimation est meilleure

Nash  $< 0$  : estimation moins.

La valeur obtenue par l'application de la formule 13 traduit une très bonne estimation.

Les valeurs simulées s'ajustent de manière parfaite avec les valeurs observées.

Le résultat obtenu confirme les corrélations élaborées entre les volumes observés et ceux calculés.

à la lumière des données disponibles en matière de levées bathymétriques, résultats de formules empiriques on a pu arriver à effectuer le profil final de l'envasement du barrage :

**Tableau 40: Phases et prédiction de l'envasement dans la cuvette**

Phase	Cote(M)	Envasement (Mm <sup>3</sup> )	Envasement Total (Mm <sup>3</sup> )
1950-1967	170	1	
	171	1,45	
	172	2	
	173	2,65	
	174	3,5	
	175	3,95	11,99
	176	4,95	
	177	5,55	
	178	6,15	
	179	7,099	
	180	7,998	
1967-1975	181	8,897	
	182	10,195	
	183	11,993	
	184	12,49	
	185	13,61	3,087
	186	15,08	
	187	15,97	
1975-1986	188	17,54145	5,84
	189	19,42	
1986-1993	190	20,92	
	191	22,3015	
	192	23,56811	2,64
1993-2001	193	23,66	
	194	25,0323	
	195	27,054	4,49
	196	28,05	
2001-2009	197	30,8255	
	198	30,7612	3,95
	198,9	32	

L'examen du tableau 40 et la figure 90 a montré la présence de trois phases principales de l'envasement selon la durée et la hauteur du barrage :

\*La Première phase représente le niveau de très fort taux de comblement, l'accumulation occupe la tranche qui se trouve entre (170 et 183 m), Cette catégorie exprime l'intensité et l'accélération de sédimentation (11,99 Mm<sup>3</sup>).

\*La Deuxième phase relativement longue, caractérisée par une sédimentation faible, cette phase a enregistré pendant (25ans) la même quantité déposée dans la phase précédente.

\* La phase de très faible taux de sédimentation : occupe la haute surface du barrage, a enregistré un cumul de (8Mm<sup>3</sup>) de vase.

La connaissance de l'évolution de l'envasement est de grande utilité pour les services Hydrauliques en vue de l'exploitation et dans la gestion de l'envasement, Ils peuvent avoir une idée sur la vitesse de sédimentation des barrages afin d'en tenir compte lors de la réalisation des barrages dans les conditions similaires.

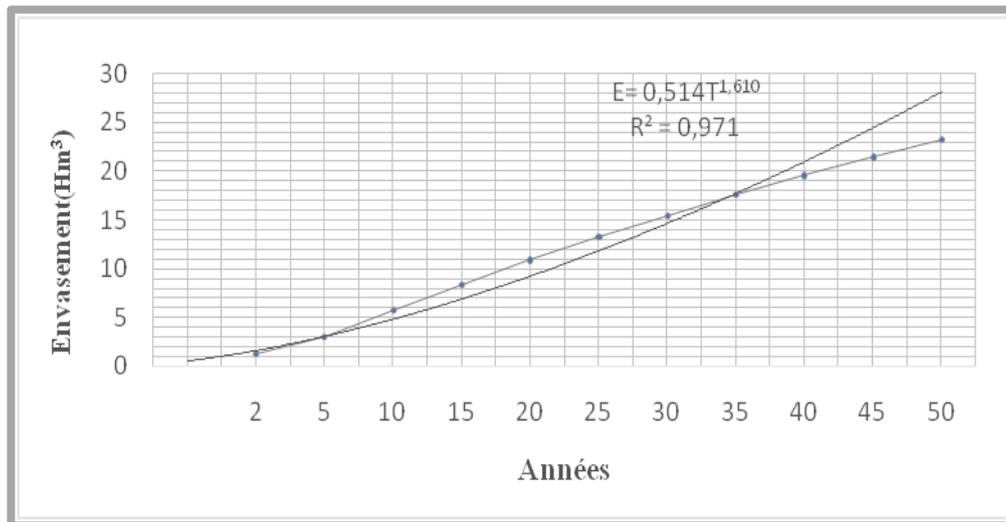
### II.3.3.2. Calcul de L'Envasement dans le Barrage F. des Gazelles par la formule de F.Orth.

**Tableau 41: Estimation de l'envasement du barrage F. des gazelles.**

Nombre des années de service	Capacité résiduelle Ct (hm <sup>3</sup> )	Volume d'envasement Ve (hm <sup>3</sup> )	Pourcentage (%)
2	54,30	1,19	2,14
5	52,55	2,94	5,30
10	49,66	5,72	10,20
15	47,14	8,35	15,04
20	44,64	10,85	19,55
25	42,28	13,21	23,70
30	40,04	15,45	27,84
35	36,92	17,57	31,66
40	35,92	19,57	35,26
45	34,02	21,47	37,57
50	32,22	23,27	41,83

Données de calcul.  $VE = Crn - Ct$ ,  $Crn = 55,49Hm^3$ ,  $Ct = 54,30Hm^3$ ,  $Ys = 1,6$ ,  $Sd_{(t=1)} = 1$ .

Selon les services de L'ANBT l'envasement mesuré pour la quatrième année de la mise en service est égal à 1,9Hm<sup>3</sup>. Pour étudier l'état de l'évolution de l'envasement, l'usage de la formule de F. Orth sera l'outil le plus acceptable pour l'estimation des volumes des sédiments prévus.



**Figure 91: Evolution de l'envasement du Barrage F. des gazelles.**

L'envasement arrivera dans 40 ans un pourcentage de remplissage de 50%. Cette valeur traduit un comportement d'alluvionnement relativement moyen. L'envasement s'accroît avec le temps.

Il est clair que la vase se développe en fonction du temps et suit un modèle de puissance (D. Brambilla and al., 2015).

Les résultats obtenus se rapprochent de ceux trouvés par les services de l'ANBT ce qui montre autre fois l'importance de ce modèle dans l'estimation de l'alluvionnement des barrages du massif.

II.3.3.3. Calcul de l'envasement par la Formule de W. Burn (1955) dans certains barrages de la zone d'étude.

$$Sp = 2,492 * A^{0,9151} St^{0,8573} * Tn^{0,7329} \quad (78)$$

Avec:

- Sp : Produit sédimentaire (dépôt retenu dans le lac en tonne)
- A : superficie de Bassin versant.
- St : Quantité d'érosion en T/Ha/An.
- Tn : Années de service du barrage.

**Tableau 42: Estimation de l'envasement dans les barrages du massif par la formule De Wood Burn.**

Paramètres de formule	Tn (An)	F. Gazelles	F. L'Gherza	Babar	Yabous	Timgad
		S (Km <sup>2</sup> )	1660,00	1300,00	685,90	317,98
S (Ha)		166000,00	130000,00	68590,00	31798,00	67270,00
St (T/Ha/An)		1,09	1,17	4,95	5,59	1,15
SP(Tonne)	10	865821,84	737349,41	1414475,19	776873,38	397579,23
Sp(Tonne)	50	8007529,40	2727742,28	5232693,91	2873956,82	1470800,20
Sp(Tonne)	100	16015058,80	13638711,38	26163469,57	14369784,08	7354001,01

L'application de cette formule a fourni les remarques suivantes :

- Les volumes des sédiments produits restent faibles pour l'ensemble des barrages, par rapport les valeurs fournis par les levés bathymétriques, entre 33131m<sup>3</sup> et 1,1Hm<sup>3</sup> par an.
- en général L'évolution de l'envasement est très faible dans tous les barrages.
- les barrages du versant sud attestent un alluvionnement relativement rapide par rapport ceux du versant nord.
- les quantités de l'envasement se rangent dans trois catégories :

\* l'envasement moyennement élevé ; qui comporte les barrages, Fontaine des Gazelles, Babar et Fom l'Gherza. Notons que l'accélération de l'envasement est très importante dans le barrage de fontaines des gazelles qui se multiplie 9 fois dans une période de 50ans alors que l'envasement se développe dans les autres barrages seulement avec 3,6 fois.

Cette différenciation est interprétée par l'anthropisation qu'atteste le barrage fontaine des gazelles.

\*l'envasement moyen : regroupe les barrages : Fom l'Gherza et yabous d'ont les quantités des sédiments varient entre 737349,41 et 2873956,82 tonnes soit une accélération de 3,6 fois dans la période de 50ans.

\*l'envasement faible : cette classe comporte le barrage de Timgad, ne présente que 1470800,20Tonne de sédiments déposés dans la cuvette durant la même période de 50ans

Il apparait très clair que l'évolution de l'envasement est très liée aux quantités des matériaux enlevées de chaque bassin de sa surface et de l'anthropisation ce qui montre la multiplicité des facteurs influents sur l'envasement des barrages.

Le problème qui se pose avec l'application de cette formule reste dans l'estimation exagérée des sédiments qui se stagnent dans la cuvette par rapport la vase mesurée, pour l'ensemble des barrages

II.3.3.4. Gestion de l'envasement :

II.3.3.4.1. Reboisements et implantation des seuils.

Les sorties répétitives sur terrain et l'analyse approfondie des caractéristiques de la zone d'étude m'avait permis de classer les zones considérées comme source des matériaux responsables sur l'alluvionnement des barrages a savoir le degrés de l'action érosive.

(La zone source représente un espace très vulnérable et sa délimitation demande une connaissance de la morpho dynamique héritée et actuelle).

-Les torrents et leurs cônes, notamment en cas de rencontre avec les oueds au niveau des méandres, ces points attestent une dynamique érosive très forte.

-Les lits des oueds qui se composent de formations très érodables et une pente forte produisent des quantités de sédiments alluviales puissantes.

-L'espace du ravinement et de l'érosion régressive, cette forme fournie un tonnage de matériaux très considérable.

Pour les torrents qui terminent par un cône de grande taille qui dépasse 500 m de largeur l'implantation des végétaux adaptables (classes des arbustes) donne des résultats efficaces Ce type de cônes est largement étalé dans les vallées d'oued labiod et oued El Arab.

Les petits torrents terminant par des petits cons, exigent l'implantation d'un réseau de seuils et de plantes qui disposent des racines puissantes et denses comme la sulla (*Hedysarum spinosissimum*) qui s'adapte avec le climat de la zone semi-aride. Notons que l'évaluation de l'érosion par ravinement et de l'impact du sulla sur le substrat édaphique a été montré par S. Slim et F. Ben Jeddi (2011). Mes observations sur terraine notamment sur le versant sud de Chélia m'ont permis de remarquer des sols bien protégés qui attestent le développement de Buplèvre épineux (*Bupleurum spinosum*), la *Genista versicolor* et *Genista scorpius* par conséquent ce type de plantes pouvait être utilisé au début du ravinement et pour empêcher l'évolution de l'érosion en nappe ou aréolaire.

Les petits torrents existent partout ; j'ai recensé plus de 200 Cônes sur oued labiod et plus de 80 dont 20 de grande taille dans la partie amont d'oued El Arab.

Les cônes les plus importants sont des formes généralement héritées d'une dynamique très ancienne mais active.

Pour faire face au ravinement qui se développe sur la marne grises et noire de certains vallées (oued Labiod, oued El Arab, oued Abdi et oued Yabous) il convient d'intervenir par l'implantation des seuils et l'introduction de certains plantes adaptables. (Chêne vert, genévrier oxycedre, le cyprès).

L'ancrage latéral et le bon enfoncement des seuils assurent la durabilité de cet aménagement.

(L. Bourougaa et al., 1989 ; S. Nasri, 2002) ont observés l'efficacité de l'existence commune des techniques mécaniques et biologiques. Pour notre zone d'étude il se trouve plusieurs endroits exigeant l'application commune des deux techniques. (Banquettes, murettes, Gabions, reboisement avec une végétation à longues tiges dans les oueds. Il est à noter que certaines plantes comme le tamaris et le laurier rose retiennent les sédiments de façon importante.

Pour la dégradation végétale qu'a vécu le massif et plus particulièrement sur le versant sud depuis des années (KA. Assamed,1980) il est nécessaire de procéder et condenser les actions du reboisement (Oued El Arab et oued labiod).

#### II.3.3.4.2. Réalisation de bassins de décantation :

La technique consiste tout simplement en une succession de bassins de décantation creusés plus en amont du barrage à dévaser.

Les boues extraites sont déposées dans ces bassins et après décantation, les eaux sont acheminées gravitairement vers leur lieu d'origine (je propose trois sites très convenables à l'installation de cette aménagement, le premier cite se trouve sur le cours d'eau de oued Tidert versant sud de Chélia le deuxième site sur oued Tagernit et le dernier site sur oued Timechtaouine. Chaque site proposé gravitairement très adaptable aux transports des eaux entre l'un et l'autre et aux piégeages des sédiments. Notons que cette zone est pourvue de chutes et de nombreuses cascades qui facilitant l'emplacement et le fonctionnement de ces bassins.

L'extension des surfaces agricoles particulièrement l'arboriculture dans toute la vallée d'oued labiod et sur la vallée d'oued Mellague (partie amont d'oued Al Arab) rend la gestion et l'application des techniques d'aménagements possibles, convenables, difficiles et parfois impossible (encercllement des parcelles).

J'ai observé des cônes de déjections, des ravins et de grandes surfaces purement montagneuses encerclés parfois Mêmes les cours d'eau. Cette situation est due essentiellement de la propriété juridique des terrains qui devient une entrave devant tout aménagement fructueuse. Ce qui demande le renforcement de la législation face a cette situation.

#### II.3.3.4.3. Le Curage :

Le curage est basé sur l'extraction des sédiments puis de les stocker à terre et/ou les convertir vers le cours d'eau (Duquennois H ,1956).

##### *II.3.3.4.3.1. Le curage par pompage/dilution :*

Le pompage des sédiments se fait à l'aide d'une barge et d'une suceuse et rejet à l'aval dans un autre milieu récepteur en diluant le rejet avec une arrivée d'eau (Y. Mechin,1980)

##### *II.3.3.4.3.2 le curage mécanique :*

Extraction des sédiments à l'aide d'une pelle hydraulique depuis une barge ou la berge et transport pour stockage provisoire pour essorage avant stockage définitif un volume de 4 millions de m<sup>3</sup> a été évacué en 21 mois du barrage de Foum El Gherza.

#### II.3.3.4.4 La surélévation de la digue :

Permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée (A. Rampon ,1990), Cette technique a été commencée sur le barrage de Foum El Gherza et dernièrement entamée sur Foum El Guis. Dans le cas d'un envasement très avancé, la surélévation d'un barrage surtout s'il s'agit d'un grand barrage peut s'avérer une solution efficace (B. Remini, 2011). Au lieu d'enlever la vase de la cuvette, on surélève la digue de quelques mètres pour gagner un volume supplémentaire, cette technique semble adaptable aux barrages : Foum El Gherza et Babar mais reste très couteuse et parfois se coïncide avec des crues qui mobilisent de volumes très importants de sédiments.

#### II.3.3.4.5. La technique des obstacles émergés :

C'est une méthode efficace de lutte contre l'envasement initié par B. Remini (2014).

Elle est basée sur l'implantation des obstacles sur le cours d'eau principal à l'amont d'un barrage pour stopper les sédiments d'ailleurs, l'expérimentation a été menée dans un canal rectangulaire dans le fond et est équipé de seuils de différentes dimensions.

## **Conclusion**

L'importance du transport solide en Algérie est interprétée par l'alluvionnement accélérée des barrages et la diminution progressive de la capacité de stockage et par la suite la durée de vie devient très petite.

De la présente étude relative a l'envasement dans certains barrages, il résulte que l'évolution de l'envasement suit un trajet accéléré.

L'intensité de l'envasement est en fait due aux conditions extrêmes climatiques, morpho dynamiques et hydrologiques des bassins.

Les résultats hydro bathymétriques observés au niveau du barrage de Foug el Gherza ne sont en effet que l'image physique de toutes les conditions énumérées ci-dessus.

L'évolution de la vase dans le barrage depuis sa mise en eau jusqu'à aujourd'hui s'est faite de manière croissante jusqu'à atteindre un seuil très avancé.

Les calculs effectués par la méthode d'ORTH pour la caractérisation de l'envasement sont tout à fait justifiés et confirment, d'autant plus la tendance prise par la courbe d'évolution temporelle des alluvions observés.

Les calculs de l'envasement dans le barrage de fontaine des gazelles expriment un comportement de la sédimentation relativement régulier mais avec un volume des vases qui atteint un taux annuel estimé de  $1,2 \text{ Mm}^3$ , cette accélération revient en premier lieu à la fragilité des formations lithologiques et certains travaux d'aménagement.

L'érosion reste forte sur le versant nord que le versant sud notamment sur les piémonts et les plains. Dans la présence des formations les plus fragiles et la pluviosité la plus forte (Fig.85).

## Conclusion générale

La phase post-lutétienne est la phase tectonique principale dans la zone d'étude.

Il s'agit de nombreux anticlinaux orientés NE-SO qui constituent l'essentiel des reliefs de la région. Par ailleurs, les formations géologiques sont constituées de plusieurs formations imperméables (calcaires, marnes et argiles) qui favorisent l'écoulement superficiel.

Les marnes et les argiles se trouvent essentiellement sur les altitudes moyennes et les plaines, elles constituent des formations érodables qui contribuent au développement de plusieurs formes d'érosion et leur faible infiltration favorise l'écoulement et les crues les plus agressives. Ainsi que les formations détritiques qui provenant des versants par plusieurs mécanismes d'altérations physiques et chimiques jouent un rôle capital dans l'accélération de l'érosion et de l'envasement des barrages.

Nous avons observé que les versants exposés au nord sont les plus couvertes par la végétation et les moins affectés par l'érosion et en même temps attestent des inondations plus atténuées.

La pente constitue un facteur déterminant dans l'accélération de l'écoulement et de la genèse de plusieurs formes d'érosion notamment sur la partie amont de toutes les vallées du massif.

La variation mensuelle et saisonnière des pluies pendant l'automne et le printemps exerce un effet remarquable sur plusieurs phénomènes et produit des débits récurrents catastrophiques,

L'action érosive des oueds est variée entre les cours d'eau écoulées vers le nord du massif et ceux drainantes ces eaux vers le sud, les oueds ayant un drainage vers le nord attestent une activité relativement faible.

L'analyse photogrammétrique de certains points de Oued El Hai, oued Chemora et oued El Arab a montré que ces lits majeurs se développent latéralement de 5 à 9 mètres. Par contre cette évolution devient très faible à Oued Abdi (0,12 et 1,99m) et entre 1m et 1,2 m à oued Yabous ; cette observation pouvait être expliquée par l'effet de la superficie et de certaines conditions lithologiques et hydrologiques dominantes.

Les oueds les plus affectées par l'érosion latérale sont : oued l'Hai, Oued Labiod, Oued el Arab et oued Chemora, cette érosion se développe différemment selon le type des formations lithologiques et l'importance de l'écoulement.

La modélisation réalisée entre plusieurs paramètres a montré la relation intense qui existe entre la lame d'eau et le débit liquide d'un part et entre le débit liquide et le débit solide d'autre part. Il est à noter que les résultats de l'estimation des transports solides spécifique par cette modélisation traduisent la réalité du terrain et restent proches et comparables à ceux trouvés dans plusieurs zones en Algérie et par de nombreux auteurs.

Les visites sur terrains ont confirmé que certains ouvrages (bassins de décantations, seuils, implantations, déviateurs) peuvent avoir de réels impacts sur la morphologie et la dynamique des cours d'eau.

Le débit de crue centenaire et millénaire, les plus élevés sont enregistrés au bassin de l'oued El Hai (station Al Kantara) ( $Q_{100\text{ans}} = 2058,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et ( $Q_{1000\text{ans}} = 2987,38 \text{ (m}^3/\text{s)}$ ), en raison de la grande superficie drainée par ce cours d'eau ( $1700\text{Km}^2$ ). De même pour le bassin de l'oued Labiod d'une superficie de  $1300 \text{ km}^2$  présente un débit relativement élevé ( $Q_{t100}$

$Q_{1000ans}=854,78 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{t1000ans}=1166,43 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ces valeurs expliquées par la nature de la lithologie imperméable et le couvert végétal assez dégradé tandis que la vallée de yabous présente les valeurs les plus faibles ( $Q_{100ans}=191\text{m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{1000ans}=280,89 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en raison de sa petite superficie ( $312\text{Km}^2$ ).

Ces valeurs montrent le rôle majeur de la superficie dans certains phénomènes hydrologiques tels que les crues et l'érosion (A. Mebarki, 1982 ; A. Demak, 1982 ; M. Meddi, 1992).

La relation obtenue entre les débits liquides et les débits solides pour notre bassin est de type puissance de forme générale.

Le débit solide maximum est de l'ordre de  $1000,62 \text{ mg/l}$  enregistré en début d'octobre 2006. A la station de Tingad tandis que les quantités minimales s'observent en été.

Les transports solides en suspension surviennent en trois périodes :

- la première intense, commence en hiver et dure tout l'automne.
- la deuxième semble relativement moyenne caractérise le printemps.
- la dernière présente un transport solide très faible pendant l'été sous la faiblesse de l'écoulement.

L'écoulement présente un régime varié, irrégulier polyphasique et caractérisé par plusieurs pics. La forme des hydro grammes s'avère très monotone et traduit une réponse hydrologique rapide pour l'ensemble des oueds.

La crue généralisée de 03/04/ mai 2006 a engendré des effets variés entre ville et autre. Oued labiod produit avec chaque crue des inondations importantes. Cependant, oued El Hai, Oued El Arab et oued Chemora représentent un stade favorable à l'érosion linéaire (ruissèlement concentré, sapement des berges, érosion régressive).

Les inondations déposent également une forte couche de sédiments sur les terres agricoles et les condamnent ainsi, rendant leur mise en valeur très difficile et onéreuse (Kh.A. Assamed, 1984).

Il s'avère que le problème de l'inondation des oueds ce n'est pas un phénomène purement général mais très lié aux conditions physiques, climatiques et hydrologiques de chaque bassin.

L'analyse des résultats obtenus a montré que l'érosion varie entre ( $108,74 \text{ t/km}^2/\text{an}$  et  $631 \text{ t/km}^2/\text{an}$ ). Les modèles obtenus par la corrélation entre débits liquides et débits solides ont données des valeurs de Tss qui varient entre 525 et  $635\text{T/Km}^2/\text{An}$ . Par ailleurs les mesures bathymétriques disponibles ont montré des valeurs comparables et comprises entre 300 et  $450 \text{ T/km}^2/\text{An}$  sans que le résultat obtenu par l'application de certains modèles empiriques a donné un tonnage très faible estimé de 108 à  $172 \text{ t/km}^2/\text{an}$  pour l'application de la formule de Tixeront et entre 149 et  $177,40 \text{ t/km}^2/\text{an}$  pour Sogrea.

Les conséquences les moins visibles mais qui ne sont pas moins dangereuses sont l'envasement des barrages qui réduit leur durée de vie et rend leur remplacement de plus en plus coûteux.

Il s'avère que l'envasement observé est variable et irrégulier entre barrage et autre et prend un rythme accéléré en fonction du temps pour certains barrages en particulier Fom El Gherza, qui enregistre un taux d'envasement annuel moyen de  $0,59 \text{ Hm}^3$  avec un volume maximum de  $32,11 \text{ Hm}^3$  en 2001, après 50 ans d'exploitation. alors que l'envasement au niveau du barrage de fontaine des gazelles était estimé à  $3,55 \text{ hm}^3$  en 2010 (ANBT, 2010), par ailleurs le dernier levé bathymétrique réalisé au niveau du barrage de Koudiet Medouar a

montré que le processus d'envasement est faible et que le volume de la vase ne dépasse pas 1,3Hm<sup>3</sup> (A.Khentouche, 2011), la baisse de l'envasement dans ce barrage revient essentiellement aux actions antiérosives entreprises depuis des années ( reboisements , construction des bassins de décantation).

L'évolution de l'envasement la plus faible a été observée dans le barrage de foug El guis qui se trouve dans un bassin versant bien protégé par le couvert végétal, actuellement atteste des opérations de surélévation pour l'augmentation de la capacité de rétention. Le barrage de Foug El Gherza qui est pratiquement envasé il atteste des opérations de dévasement mais la rentabilité reste très limitée avec les volumes d'apports qui arrivent après chaque crue.

Le transport solide dans les barrages de la zone d'étude traduit par un comblement rapide des retenues diminuant considérablement leur durée de vie (B. Remini, 2009).

Il devient urgent de prévoir l'envasement des barrages de façon aussi précise que possible de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de développement de certaines techniques d'études pour améliorer les méthodes de lutte contre l'alluvionnement (Touat, 1991 ; Remini, 2009 ; Brune ,1953 ; Chave, 2002).

Le zonage des inondations a été achevé selon une approche hydro géomorphologique largement utilisée dans ce type d'études, et se présente comme un outil de gestion et de décision pratique et facile à utiliser pour toutes opérations d'aménagement et de gestion de l'environnement fluvial. L'analyse du milieu nous a aidé à dégager certaines recommandations et propositions que nous jugeons adaptables aux caractéristiques de la dynamique des oueds.

Au final on peut dire que nous avons essayé de mieux expliquer le but principal de cette étude qui était porté sur la dynamique de certains oueds et les risques associés en se basant sur des méthodes analytiques parfois quantitatives pour aboutir a des recommandations et solutions possibles et propices et mettre entre les mains des chercheurs et décideurs un document plein d'arguments scientifiques sur l'analyse, le diagnostic et l'évolution de certains phénomènes liées a la dynamique des oueds mais qui doit être enrichi par autres méthodes de représentation des risques notamment le zonage des inondations a petite échelle .

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdassemed KH (1984)** les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie), Rev. Forêt méditerranéenne, t.VI, no 1, 1984
- Abed S (1986)** La sédimentation deltaïque du Crétacé inférieur dans les Aurès. 6ème Sém. Sc. Terre, Alger,
- Achite M, Meddi M (2004)** Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Haddad (Nord-ouest algérien), Sécheresse, vol. 15, no 4, p. 367-373.
- Achite M, Meddi M (2005)** Variabilité spatiotemporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest algérien), Revue des sciences de l'eau, vol. 18, no spéciale, p. 37-56.
- Aissani B (1983)** Cartographie automatique de champs pluviométrique : exemple de la région algéroise. Sciences de la terre, Informatique Géologique, 17, 198.
- Andoh HF, Antwi B O, Wakatsuiki T (2012)** Estimation of soil erodibility and rainfall erosivity patterns in the agroecological zones of Ghana, Journal of Soil Science and Environmental Management Vol. 3(11): 275-279
- Arnaud-Fassetta G, Beltrando G, Fort M, Plet A, André G, Clément D, Dagan M, Mering C, Quisserne D, Rycx Y (2002)** La catastrophe hydrologique de novembre 1999 dans le bassin versant de l'Argent Double (Aude, France) : de l'aléa pluviométrique à la gestion des risques pluviaux et fluviaux. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 8 (1), 17-33.
- Arnaud-Fassetta G, Cossart E, Fort M (2005)** Hydro-geomorphic hazards and Impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, Southern French Alps). Geomorphology, n° 66, p. 41-67.
- Arnoldus HMJ (1977)** Prédiction des pertes de terres par érosion en nappe et en griffe. Aménagement des bassins versants, Bulletin FAO, pp. 121-149
- Arnoldus HMJ (1980)** An approximation of the rainfall factor in the USLE. In Assessment of erosion in USA and Europe, Edit. John Wiley, Manchester (Angleterre), p. 127-132.
- Badraoui A, Hajji A (2001)** Envasement des retenues de barrages. Revue la Houille Blanche n° 6/7, pp 72 - 75.
- Bagnouls F, Gaussen H (1957)** Les climats biologiques et leur classification. Annales de géographie, 355 pp. 193-220.
- Ballais JL (1981)** Recherches géomorphologiques dans les Aurès, Algérie. Thèse Doctorat sciences lettres Parais 1.ann.index106 Fig. XXII tab.107cartColhtVII566p.
- Ballais JL (1982)** les critères de reconnaissances des phases arides quaternaires du Maghreb l'exemple des Aurès (Algérie) bulletin de l'association des géographes français. P-45-47
- Ballais JL, Garry G (2005)** Contribution de l'hydro géomorphologie à l'évaluation du risque d'inondation : le cas du midi méditerranéen français. Comptes Rendus Géosciences, vol. 337, 1120-1130.
- BARKAT T (1998)** Approche agro climatique de la sécheresse agricole au Maroc. Rev. Sécheresse n° 3. pp. 201-208.
- Beghami Y (2013)** Ecologie et dynamique de la végétation de L'Aures : Analyse spatio temporelle et etude de la flore forestiere et montagnard these de Doctora , Univ .Mouhamed khider -Batna 1,229P.
- Bellion Y (1972)** Etude géologique et hydrogéologique de la partie occidentale des Monts de Bellezma. Thèse 3 -ème cycle Paris 6.186 p
- Belagoun F (2012)** Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi-aride « Cas des grands bassins versants 05, 06 et 07 » Thèse de magister, univ. Wargla, 155p.

- Benabbas C (2006)** Evolution Moi-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale : Apport de la photogéologie et analyse morpho structurale. Thèse de Doctorat. Université Mentouri-Constantine, 256 p
- Benblidia M, Salemn A et Demmak A (2001)** Extraction des sédiments dans les retenues. La Houille Blanche, vol. 6, no 7, p. 76-78.
- Benkhaled A et Remini B (2003)** Analyse de la relation de puissance : débit solide-débit liquide à l'échelle du bassin versant de l'Oued Wahrân (Algérie), Revue Sciences de l'eau, vol. 16, no 3, p. 333-356.
- Boko M (1988)** Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de Développement. Thèse de Doctorat d'Etat en Lettres et Sciences Humaines. CRC, URA 909 du CNRS, Univ. De Bourgogne, Dijon. 2 volumes. 601pp.
- Boyadgiev TG (1974)** Contribution to the Know ledge of gypsiferous soils. Agron / SF/ Syr / 67/ FAO, Rome, p 522.
- Bouanani A (2004)** Hydrologie, Transport solide et modélisation Étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie), Thèse de doctorat d'état à l'université Abou Bekr Belkadi de Tlemcen, 249 pp.
- Boudjadja A, Messahel M, Pauc H (2003)** Ressources hydriques en Algérie du Nord, Revue des sciences de l'eau, vol. 16, no 3, p. 285-304.
- Boukheir R (2002)** Étude des risques d'érosion hydrique des sols par télédétection et SIG. Application à une région représentative du Liban. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 262 p.
- Boulaine J (1957)** Etude des sols des plaines du Chéelif. Serv. Et. Sci., Alger, 582 p.
- Bourcart J (1943)** La géologie du Quaternaire au Maroc. La Revue Scientifique, No 3, pp. 311-336.
- Bourouba M (1996)** Essai de quantification de l'érosion actuelle à partir des mesures de turbidité en Algérie orientale ORSTOM 16 : pp230-250.
- Bourougaa I, Monjengue S (1989)** Fixation biologique et mécanique des ravines Bulletin Réseau Erosion, ORSTOM, Montpellier, No 9 : 19-29.
- Bouzid A (1991)** L'expérience de la Tunisie dans la protection des sols et des barrages. Séminaire national sur l'érosion et l'envasement des barrages, Alger.
- Brambilla D, Longoni L, Papini M, Giorgetti E & Radice A (2011)** On analysis of sediment source stoward proper characterization of hydro-geological hazard for mountain environments. International journal of safety and security engineering, 1 (4): pp423-437.
- Brambilla D, Longoni L, Papini M, Giorgetti E. & Radice A. (2015)** – Modeling erosion and landslides as sediments sources to assess dam siltation. International conference on landslides and slope stability", advancement of research Practice and integrated solution on land slides, Bali, Indonesia, September pp27-30.
- Bravard JP, PETERS GE (1993)** Interférences avec les interventions humaines. In Hydrosystèmes fluviaux. Sous la direction de C. Amoros et G.E. Petts. Masson ed. Paris. Pp 233-253.
- Bravard JP et Petit F (1997)** Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. Armand Colin, Paris, 222 p.
- Brierley G et Fryirs K (2005)** Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing, Malden, 398 p.
- Brune G M (1953).** Trapp efficiency of reservoirs. Transactions of the American geophysical union, vol. 34, n°3, pp. 407 - 418.
- Buishand TA (1982)** some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology, vol. 58, No 1-2, p. 11-27.
- Buishand T A (1984)** Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. Journal of Hydrologie, vol. 73, No 1, pp 51-69.
- Bureau D (1970)** le Chevauchement au sud du dj sarif Pub. Services géologiques. Algerie.

- Cannarozzo M, Noto LV, Viola F (2006)** Spatial distribution of precipitation trends in Sicily (1921–2000) *Physics and Chemistry of the Earth* 31: 1201–1211.
- Chadi A (1990)** L'envasement des retenues des barrages. Séminaire : Stratégie de gestion des eaux. Horizon 2010. Alger, 30 Mai. Pp28- 29.
- CEMAGREF (1982)** Apports solides annuels moyens des petits bassins versants. Informations techniques, cahier du Maghreb 45, No 6, 2p., Larhyss /Journal.
- Chave S (2002)** Pertinence de la cartographie hydro-géomorphologique dans l'approche des inondations rares à exceptionnelles : exemple de sept bassins fluviaux dans les Corbières et le Minervois. *Géomorphologie : Relief, processus, environnement*, No. 4, pp5-16
- Collinet J & Zante P (2005)** Analyse du ravinement de bassins versants à retenues collinaires sur sols à fortes dynamiques structurales (Tunisie), *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 1/20005 : 61-74. <http://geomorphologie.revues.org/257> ; DOI : 10.4000/ géomorphologie
- Coque R, Jauzen A (1965)** Le quaternaire moyen de l'Afrique du nordin : Bulletin de l'association française pour l'étude du quaternaire. Vol 02, No 2, pp117-132.
- Cote M (1996)** Pays, paysages, paysans d'Algérie Paris, Cnrs Éditions, 280 p.
- Dagnelie P (2013)**. Statistique théorique et appliquée. Tome 1. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique. Bruxelles, De Boeck, 517 p.
- Demmak A (1982)** Contribution à l'étude de l'érosion et de transport solide en Algérie septentrionale. Thèse de Doctorat-Ingénieur, Univ. Paris, France, 323 pp.
- Derder MEM, Djellit H, Henry B, Maouche S, Amenna M, Bestandji R, Ymel H, Gharbi S, Abtout A (2018)** Néotectonique dans le Tell Atlas : importantes rotations de blocs montrées par le paléomagnétisme dans le bassin de la Mitidja (Algérie) 2nd International Symposium on the Geology of the Maghrebides Chain and adjacent areas (CIGCM 2018). Sétif, Algeria
- Djili K et Daoud Y. (1999)** Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 02 juin, n° 99, pp : 25- 44.
- Dridi H, Kalla M (1994)** "Recherches géomorphologiques dans la plaine de Tébessa et ses bordures (Algérie orientale)", Thèse Doct. Univ. Paris I, Panthéon-Sorbonne, 298p,
- Dridi H, Kalla M (2001)** Manifestations Halo cinétiques Récentes A Dj Djebissa et Dj Belekfif, Région de Tébessa (SUD-EST Constantinois –Algerie). *SCI. Tech. – N°15*, pp. 125-130.
- DUCROCQ V (2006)**. Crues rapides dans le midi de la France. *Pour la Sci.*, 51, 82-85.
- DUQUENNOIS H (1956)** Lutte contre la sédimentation des barrages réservoirs -barrage d'Ighil Emda. *Electricité et Gaz d'Algérie. Compte rendu N° 3 Année 1955 - 1956*. 17 pages
- Durand MJH, Jaseix-Bellon R, Barbut MM (1938)** Carte des Sols d'Algérie. Biskra. Feuille No1. 31-N.E. Service Géographique de l'Armée.
- Durand J H (1953)** étude géologique, hydrogéologique et pédologique des croutes en Algérie. S.E.S. Alger, 209 p.
- Durand JH (1963)** Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie : formation et âge. *Bull. Soc. géol. Fr. (7)*, V, pp. 959-968.
- FAO (2007)** Renforcer la capacité d'adaptation aux changements climatiques. Politiques de soutien des moyens d'existence et des pêches. p16.
- Funatsu B M, Claud C & Chaboureau J P (2007)** Potential of advanced microwave sounding unit to identify precipitating systems and associated upper-level features in the Mediterranean region: Case studies, *J. Geophys. Res.*, 112, D17113, doi: 10.1029/2006JD008297.
- Gabriel D (2006)** Assessing the modified Fournier index and the precipitation concentration index for some European countries. In : Poesen, Boardman (Ed.), *Soil Erosion in Europe*. (1). Janvier à Juin. p.97

- Ghennem N, Tlili F, Riahi C, Regaya K (2016)** Etudes sédimentologiques des dépôts carbonatés continentaux de type palustre de la région de Tajerouine, Nord-Oues de la Tunisie. Carnets Géol.16
- Greco J (1966)** L'érosion, la défense et la restauration des sols, et le reboisement en Algérie. Min. Agri. Réf. Agr. Alger, 303 p.
- Guellal S, Megartsi M (1972)** Notice explicative de la carte géologique au 1/50.000 de Khenchela. Service de la Carte géologique de l'Algérie.
- Guettouche MS (1992)** Cartographie de l'érosion des sols par imagerie satellitaire du bassin de Médéa. Thèse de Magister, Université Houari Boumediene, Alger, 153 p.
- Guidoum A (2017)** Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est algérien : étude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et chott Melghir (coupe nord-sud) Thèse de doctorat, université Batna, Algérie, 349P
- Guilcher A (1979)** : Précis d'hydrologie marine et continentale, 2e éd., Paris, Masson, p344
- Guiraud R (1970)** Morphogénèse quaternaire de la région du Hodna (Algérie du nord) annales de géographie pp367-374
- Guiraud R (1985)** Évolution poste triasique de l'avant- pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude de bassin du Hodna et des régions voisines. Aperçue sur les grands traits structuraux de Hodna et des régions voisines pub office national de géologie. Algérie Bull.41, pp 45-50.
- Gumbel E J, (1958)** Statistics of extrêmes, Columbia University Press, NY, 375 pp.
- Hadji T et Chad1 A (1991)** Quelques aspects sur l'envasement des retenues Algériennes. Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger les 1<sup>er</sup> 2 et 3 Décembre.18P.
- Haidu I, Magyari S Z (2009)** Animated Sequential Trend Signal Detection in Finite Samples Proceedings of the ITI 2009 ,31st Int. Conf. on Information Technologie Interfaces, June p 22-25, Cavtat, Croatia.
- Halitim A (1985)** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse doctorat. Univ Renne, 384 p.
- Halitim A et Robert M. (1987)** Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentations. In fedoroff et all Ed. soil micro morphology. Afes, pp179 – 186.
- Herkat M (1992)** Manifestations diapiriques du Trias dans les séries du Crétacé supérieur de l'Atlas Saharien et des Aurès. Bull. Serv. Géol. Algérie, vol.3, N°1, 199, pp.15-27.
- Heush B et MILLIES L (1 971)** Une méthodologie pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb. Revue mine et géologie (Rabat) No 99. Pp 21-30.
- Hevesti JA, Istok J D, Flint A L (1992).** Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. J. Appl. Meteorol, 31, pp 661-688.
- Hubert P. & Bendjoudi H (2002)** Impact du changement du régime pluviométrique sur les ressources en eau dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides, 1-4 avril 2002, Montpellier, France.
- Hudson N (1996)** Mesures de terrain de l'érosion et de l'écoulement des eaux de surface. Bulletin Pédologique de la FAO, vol. 68, 153 p.
- Icold Bulletin (2009)** Sedimentation and sustainable use of reservoirs and river Systems. Sedimentation committee.
- Jansky L, Ives JD, Furuyashiki K & al (2002)** Global Mountain research for sustainable development. GLOBAL Environmental Change, Vo 12, pp231–239.
- Kalla M (1995)** "Recherches géomorphologiques dans le massif des Nememchas", Thèse Doct., Univ. Denis Diderot (Paris VII), 380p.
- Kalla M (2009)** les manifestations de la néotectonique et leur implication dans l'évolution géomorphologique pendant le plio-Quaternaire dans la région des Nememchas-Tébessa (Est – algérien). Bulletin du Service Géologique National Vol. 20, n° 3, pp. 307 – 319.

**Kazitani N (1986)** Evolution géodynamique de la bordure Nord-Africaine : le domaine intraplaque nord algérien. Approche méga séquentielle. Thèse doct d'état. Univ. Pau, 886p.

- Kouadri M (2012)** Etude de l'érosivité des pluies et l'érodibilité des sols dans le Tell oranais. Thèse de Magister. Université de Mostaganem, Algérie : 132 p. Lahlou A. (1995). Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. Revue des sciences de l'eau, n° 6, pp. 337-356.
- Labat D (2005)** Recent advances in wavelet analyses. Part I: A review of concepts. Journal of Hydrology 314 : 275–288.
- Laborde, J.P. (2003)**, Eléments d'hydrologie de surface, Université de Nice, Centre National de Recherche Scientifique, 190 pages.
- Laborde J.P., Behlouli L, Lecoq J. et Merzough D. (2007)** Synthèse cartographique des pluies extrêmes en Algérie du Nord sur des durées de 1h à 24h XX<sup>ème</sup> Colloque de L'Association Internationale de Climatologie 2007 Tunis p. 348-353
- Laborde, J.P. (1997)**, Les différentes étapes d'une cartographie automatique : Exemple de la Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, Université de Nice-Sophia Antipolis, URA 1476 de CNRS, 7 pages.
- Laffitte R (1939)** "Etude géologique des Aurès", Thèse, Sc. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2<sup>ème</sup> série stratigraphie description régionale, N°15, 484 p.
- Lamb P J (1982)** Persistence of sub-Saharan drought. Nature, vol. 299, p. 46-47.
- Laurent V (2003)** Détermination des niveaux intermédiaires de l'Argent-Double (Aude) : inondabilité et morphogénèse. Mémoire de diplôme d'études appliquées, Université de Provence Aix-Marseille I, 149 p.
- Ligang Xu, Hongfei Z, Chuan L, Li D, Hui L (2010)** Spatial and temporal variability of annual and seasonal precipitation over the desert region of China during 1951–2005 Hydrol. Process. 24, 2947–2959 DOI: 10.1002/hyp.7708
- Lionello P, Malanotte R, Boscolo R (2006)** Mediterranean Climate Variability. Developments in Earth and Environmental Sciences, Vol. 4, Elsevier, 438 pp.
- Lujan L, D et Gabriels D (2005)** Assessing the rain erosivity and rain distribution in different agro-climatological zones in Venezuela. Sociedad & Natureza, Special Issue: 16-29
- Mama C N & Okafor F O (2011)** - Siltation in reservoirs. Nigerian Journal of Technologie, 30 (1): 85-90.
- Matarrese N (1967)** la sedimentazione negli invasi ed Alcuin Aspetti Metodologici per la sua Misura indiretta (Tipo Sud Bari), Estratto Dagli Annali Della Facolta Di Agraria Dell Universita Di Bari Volume XXI-1967.
- Mazour M (1992)** Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser, Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion (12): 303-313. 6,
- Mebarki A (1982)** Le bassin du Kébir Rhumel (Algérie) Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Nancy. 304 p.
- MECHIN Y (1980)** Rapport général introductif sur le dévasement des retenues. Séminaire international sur le dévasement des retenues. Tunis, 1-4 juillet, 5 p.
- Meddi M (1992)** Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin-versant de l'Oued mina (Algérie). Thèse de doctorat, université Louis Pasteur, Strasbourg, 285 pp.
- Meddi M (2003)** Etude de la variabilité interannuelle des pluies dans le nord de l'Algérie. EDILINFO-EAU, Trimestriel International de liaison Eau Environnement Soumis.
- Meddi M, Humbert J (2000)** Variabilité pluviométrique dans l'Ouest algérien durant les cinq dernières décennies. Publication de l'Association Internationale de Climatologie, 13, 266- 274.
- Meddi M (1995)** Etablissement d'un Modèle expliquant la répartition spatiale des pluies annuelles et mensuelles en fonction de la morphométrie. Revue EDIL INFO-EAU, Trimestriel International de Liaison Eau Environnement, 5, 9-21.
- Meddi M (1992)**. Hydro-pluviométrie et transport solide dans le bassin-versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse de doctorat Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1992, 285 p.

- Medinger J M (1960)** Transport solide des oueds algériens. Annuaire hydrologique de l'Algérie (années 50-59),
- Meddi (2014).** Sediment transport and rainfall erosivity evolution in twelve basins in Central and Western Algeria. Journal of Urban and Environmental Engineering.
- Medjerab A (1998)** Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale, eau et environnement en Tunisie et en milieu méditerranéen. Colloque de Hammamet (Tunisie) 14-15 novembre 1998. Publication de l'université de Tunis I, et de Paris Sorbonne. pp. 69-78.
- Morsli B (1996)** Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - Cas des monts de Beni-Chougrane. Thèse de Magister INA El Harrach Alger.
- Mouffadal K (2002)** Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin d'Oued Nakhla dans le rif occidental. Bull Réseau Erosion 2001 ; 21 : 244-25.
- Mura R (1990)** La correction torrentielle. CEMAGREF. Grenoble, 9 p.
- Nash J.E. & Sutcliffe J V (1970)** River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10 (3): 282-290. North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
- Ghannem N, Tili F, Riahi C, Regaya K (2016)** Étude sédimentologique des dépôts carbonatés continentaux de type palustre de la région de Tajerouine, Nord-Ouest de la Tunisie  
Carnets Geol. 16 (4)
- Neira-Mendez FH, Gabriels D, Remini B et Bensafia D (2011)** Envasement du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda. Comité scientifique du projet SIGMED, Institut Scientifique de l'Université Mohamed V-Agdal, Rabat, septembre 2011.
- Nasri s (2002)** Impact hydrologique des banquettes mécaniques sur les apports liquides et solides dans les lacs collinaires en zones semi-arides de Tunisie. Bulletin du Réseau Erosion, vol. 21, p. 115-129
- Nastos P, kapsomenakis J & Douvis K (2013)** Analysis of precipitation extremes based on satellite and high-resolution gridded data set over Mediterranean basin. Atmos. Res., 131, 46-59, doi: 10.1016/j.Atmosres. 04.009.
- Orth F (1934)** Die Verlandung von Staubecken. (The Siltation of Reservoirs). Biotechnic, 12 (26): 345-358 (In German).
- Piégay H, et Stroffek S (2000)** La gestion physique des rivières dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse : des extrêmes...au milieu, p. 247-274. In J.-P. Bravard, sous la direction de, Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des excès et de la pénurie. SEDES, Paris, 287 p.
- Probst J L, Suchet P A (1992)** Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa), Hydrological Sciences Journal, vol. 37, no 6, p. 621-636.

- Quezel P, Santa S (1963)** Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C. N. R. S. Paris. 1963.
- Rais S, Abidi M (1989)** Prévision du transport solide sur un bassin versant. Application à l'envasement d'une retenue. Revue la Houille Blanche n°3/4, pp. 296-300.
- Rampon A (1990)** Erosion hydrique et sédimentation dans les barrages. Informations techniques Cemagref, n° 78, note 6, 1-7.
- Raynal R (1963)** Etude morphologique d'une région sèche : Plaines et piedmonts du Bassin de la Moulouya (Maroc oriental). Etude géomorphologique Rev. Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest Européen 34-4 pp. 391-394
- Remini B, Aienard J M, Kettab A (1994)** Mesures de l'envasement dans la Retenue du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Marocaine de Génie Civil, 14 p., 6 fig., 4 photos.
- Remini B, Kettab A, Hmat h (1995)** Envasement du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Internationale de l'eau : La Houille Blanche no 2/3, pp.23-28
- Remini B, Aienard J M, Kettab A (1996)** Le barrage d'IGHIL EMDA (Algérie)  
Les courants de densité dans la retenue. Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur, Tunis, Avril, Vol. 10. 9 fig., 7 photos, pp.53-67.
- Remini B, Avenard J M, Kettab A (1997)** Évolution dans le temps de l'envasement dans une retenue de barrage dans laquelle est pratiquée la technique de soutirage, La Houille Blanche, no 6, p. 4-8.
- Remini B, Hallouche W et Achour B (2009)** Chapitre 08 L'Algérie : plus d'un siècle de dévasement des barrages. Ouvrage intitulé : Etat des ressources en eau au Maghreb en 2009, édité par UNESCO Office in Rabat, pp. 123-142.
- Remini B, Bensafia D, Nasroun T (2015)** Impact of sediment transport of the Chéelif River on silting of the Boughezoul reservoir (Algeria). Journal of Water and Land development. No. 24 p. 35–40. DOI: 10.1515 /jwld-2015-0005 Remini B., Hallouche W. (2003). Les barrages du Maghreb s'envasent. 5<sup>e</sup> symposium Int. De l'eau. Cannes 23 à 27 juin.
- Roche Abbé J (1961)** cours de quaternaire, faculté des sciences de l'université de paris.
- Roose E (1977)** Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Édit. ORSTOM, collection "Travaux et documents", Paris, 108 p.
- Roose E, Arabi M, Brahamia K, Chebbani R, Mazour M, Morsli B (1993)** Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par GCES. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol. 28, p. 289-308.
- Roose É (1994)** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO, vol. 70, Rome (Italie), 420 p.
- Ruellan (1967) Individualisation** et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc Cah ORSTOM série pédologique, vol, N°4.
- Saez-Rodríguez. A. (2012)** An Ethnomathématiques Exercise for Analyzing a Khipu Sample from Pachacamac (Perú). Revista Latinoamericana de Etnomatemática. 5(1). 62-88
- Saidi A (1991)** Erosion spécifique et prévision de l'envasement des barrages. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 décembre. pp.204-226.
- Santos JA, Corte-Real J, Ulbrich U, Palutik J (2006)** European winter precipitation extremes and large-scale circulation: a coupled model and its scenarios. Theoretical and Applied Climatology 87: 85– 102
- Schönenberger A (1970)** Etude du couvert végétal de l'Aurès Oriental. F.A.O. Algérie, 15, Constantine
- Semenov V, Bengtsson L (2002)** Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. Climate Dynamics 19 : 123–140.
- SIMONA N. et Cédric L (2007)**. Gestion durable des zones inondables dans le Delta du Danube (Roumanie). Dans : 1<sup>res</sup> Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Gestion Intégrée des Eaux et

- des Sols. Ressources, Aménagements et Risques en Milieux Ruraux et Urbains, 6-9 novembre 2007, Hanoi, Vietnam, 10 p.
- Slim S. et Benjeddi F (2011)** - Protection des sols des zones montagneuses de Tunisie par le Sella du Nord. Sécheresse, vol. 22, n° 2, p. 117-124.
- SOGREAH (1989)** Étude méthodologique sur l'hydrologie des retenues collinaires et mise au point d'outils de calculs. Pratiques à l'usage des directions de l'hydraulique. Rapport technique n. 5, Grenoble, 156 pp.
- Solar-Terrestrial Physics, 142: 43–54.
- Taabni M (1998)** Aménagements, lutte antiérosive et pratiques paysannes dans le Tell algérien. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 18, p. 348-363.
- Talibi M (1995)** Impact de la sécheresse sur le volume régularisé des barrages Algériens 9eme. Conférence régionale. Afro-asiatique de l'irrigation et du drainage. Alger. pp. 255-265.
- Tebbi F Z, Dridi H (2012)** Optimization of cumulative trapped sediment curve for an arid zone réservoir : Foum El Gherza (Biskra, Algeria) Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques 57(7). DOI : 10.1080/02626667.2012.712740.
- Tebbi F Z (2014)** Modélisation de la régularisation des barrages dans l'art dans la région des Aurès thèse de doctorat université de Batna 2, P123.
- Tixeront J (1960)** Taux d'abrasion et teneur en suspension des cours d'eau d'Algérie et de Tunisie. Secrétariat d'Etat à l'Agriculture (Service HAR), Tunisie.
- Touaibia B, Benlaoukli B, Bouheniche S (2003)**. Approche quantitative de l'envasement au droit de 15 barrages en exploitation dans l'Algérie du Nord. Conférence Internationale « Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides ». Montpellier : IRD.
- Touaibia B (2010)** Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale Sécheresse vol. 21, n° 4, P 333-335
- Touat M (1991)** Contribution à l'étude de la sédimentation des barrages en Algérie. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 December. 7 pages.
- Touati B (2010)** Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de doctorat, Univ. Mentouri – Constantine, 385P.
- Vaufrey R (1932)** les plissements acheuleo-moustiriens des alluvions de Gafsa, rev. Geo, phys .et Geol. Dyn. (1) 299-321.
- Walling D E and Webb BW (1987)** Material transport by the world's rivers: evolving perspectives. In: water for future: hydrology in perspective IAHS publ., no 164, p. 313-329.
- Wang JF & AL (2014)** spatiotemporal data analysis in geography. Acta Geographical Sinica, 69(9): 1326–1345. (In Chinese)
- Wang J F, Li X H, Christakos, (2010)** Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. International journal of geographical information science, 24(1): 107–127.
- Wang J F, Zhang T L, Fu B J (2016)** A measure of spatial stratified heterogeneity. Ecological Indicators, 67: pp 250–256.
- Wang S, White WR (1993)** Alluvial Resistance in Transition Regime Journal of Hydraulic Engineering Vol (19) Issue 6 –
- Wischmeier W.H. (1959)** A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. soil sci. Soc. Of Am. PROC. 23 (3), 246–249.
- Wilbert J (1962)** Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc. AI Awamia, n03, pp. 175-192.
- Williams h f L, Havens D, Banks K, Wachal D (2008)** Field based monitoring of sediment runoff from natural gaz Welle sites in Denton country, Texas, USA. Envi, Geol, N°56, 1615-1627P.
- Woodburn R, Jones T N., (1946)** A soil sampler for pore volume studies, Agr. Eng., 27, 423-424.

**Woodburn R (1948)** The effect of structural condition on soil detachment by raindrop action, Agr. Eng., 29, 154-156,

**Woodburn R (1949)** Science studies a gully, Soil Conservation, 15, 11-13.

**Woodburn R (1955)** Sediment production in small watersheds, Agr. Eng., 36, 467-470.

**Woodburn R Kozachyn J (1956)** A Study of Relative Erodibility of a Group of Mississippi Gully Soils, Transactions, American Geophysical Union Vol, 37, No°6

## Annexes des Tableaux

**Tableau 43: Méthode double Cumul station yabous (1974-2010)**

	Bouhmama	Yabous	Bouhmama (cumul)	Yabous (cumul)
1974	405,30	401,90	15045,78	13813,60
1975	295,00	571,70	14640,48	13411,70
1976	390,30	507,90	14345,48	12840,00
1977	255,90	274,30	13955,18	12332,10
1978	178,70	320,60	13699,28	12057,80
1979	336,69	386,70	13520,58	11737,20
1980	357,20	347,15	13183,89	11350,50
1981	431,00	463,50	12826,69	11003,35
1982	269,10	293,32	12395,69	10539,85
1983	333,40	271,90	12126,59	10246,53
1984	436,33	371,10	11793,19	9974,63
1985	374,70	313,20	11356,86	9603,53
1986	341,40	314,70	10982,16	9290,33
1987	206,60	255,13	10640,76	8975,63
1988	465,10	343,90	10434,16	8720,50
1989	573,50	528,80	9969,06	8376,60
1990	379,20	383,40	9395,56	7847,80
1991	457,80	417,10	9016,36	7464,40
1992	298,00	277,80	8558,56	7047,30
1993	305,80	235,90	8260,56	6769,50
1994	306,70	307,40	7954,76	6533,60
1995	551,80	510,10	7648,06	6226,20
1996	270,10	138,80	7096,26	5716,10
1997	514,20	427,80	6826,16	5577,30
1998	313,60	252,90	6311,96	5149,50
1999	341,70	303,30	5998,36	4896,60
2000	213,50	147,60	5656,66	4593,30
2001	452,40	323,10	5443,16	4445,70
2002	552,30	469,40	4990,76	4122,60
2003	675,16	534,50	4438,46	3653,20
2004	466,10	413,70	3763,30	3118,70
2005	546,20	509,80	3297,20	2705,00
2006	382,40	393,90	2751,00	2195,20
2007	560,20	443,50	2368,60	1801,30
2008	806,70	439,80	1808,40	1357,80

Annexes des Tableaux

**Tableau 44: Bassin versant D'oued Chemora : Caractéristiques hypsométriques**

Altitudes	H <sub>i</sub> (m)	S <sub>i</sub> (Km <sup>2</sup> )	S <sub>i</sub> (%)	S <sub>i</sub> Cum (%)	S <sub>i</sub> (%)	DI(m)	√S <sub>i</sub> *DI(m)	(%)	S <sub>i</sub> (Km <sup>2</sup> ) * Hi (Km)
966-1000	983	39,1	6,67	6,67	0,067	34	1,5		38,44
1000-1100	1050	123,06	14,31	20,98	0,143	100	3,78		88,16
1100-1200	1150	242,16	20,3	41,28	0,203	100	4,5		136,97
1200-1300	1250	346,57	17,8	59,08	0,178	100	4,21		130,51
1300-1400	1350	402,62	9,56	68,64	0,096	100	3,09		75,67
1400-1500	1450	459,55	9,71	78,34	0,097	100	3,11		82,55
1500-1600	1550	501,44	7,14	85,48	0,071	100	2,67		64,93
1600-1700	1650	533,22	5,42	90,9	0,054	100	2,32		52,44
1700-1800	1750	563,3	5,13	96,03	0,051	100	2,26		52,64
1800-1900	1850	574,52	1,91	97,94	0,019	100	1,38		20,76
1900-2000	1950	578,69	0,71	98,65	0,007	100	0,84		8,13
2000-2100	2050	580,95	0,39	99,04	0,004	100	0,62		4,63
2100-2200	2150	585,59	0,79	99,83	0,008	100	0,88		9,98
2200-2300	2250	586,59	0,17	100	0,002	100	0,41		2,25
	/						31,57		768,04

**Tableau 45:Hypsométrie du Bassin versant d'Oued Yabous**

Altitudes (m)	ai (Km <sup>2</sup> )	ai(%)	ai Cum (Km <sup>2</sup> )	ai Cum (%)	Hi	Ai(Km <sup>2</sup> )*Hi(m)	Di	√aicu %*Di
2200-2400	10	3,14	10	3,14	2300	23000	200	25,06
2200-2000	60,95	19,17	70,95	22,31	2100	127995	200	66,80
1800-2000	31,72	9,98	102,67	32,2	1900	60268	200	80,25
1600-1800	29,46	9,26	132,13	41,55	1700	50082	200	91,16
1400-1600	45,27	14,24	177,4	55,79	1500	67905	200	105,63
1200-1400	58,22	18,31	235,62	74,1	1300	75686	200	121,74
1000-1200	40,27	12,66	275,89	86,76	1100	44297	200	131,73
800-1000	42,09	13,24	317,98	100	900	37881	200	141,42

Annexes des Tableaux

**Tableau 46: Hypsométrie du Bassin versant d'Oued Lhai**

Altitudes (m)	Si (Km <sup>2</sup> )	Si(%)	Si(%) C	Hi	Si*Hi	Di
350-400	10.2	0.61	0.61	375	3825	50
400-600	178.38	10.75	11.36	500	89190	200
600-800	175.71	10.58	21.94	700	122997	200
800-1000	535.47	32.26	54.2	900	481923	200
1000-1200	304.64	18.35	72.55	1100	335104	200
1200-1400	136.4	8.22	80.77	1300	177320	200
1400-1600	166.4	10.02	90.79	1500	249600	200
1600-1800	122	7.35	98.14	1700	207400	200
1800-2000	29.2	1.76	99.9	1900	55480	200
2000-2091	1.6	0.10	100	2045.5	3272.8	91
Total	1660	100		12020.5	1726112	1741

**Tableau 47: Hypsométrie du Bassin versant d'Oued Labiod**

Tranche d'altitude(m)	Surface (ai) km <sup>2</sup>	Surface cumulée ai	Surface%	Surface cumulée%	Di(m)	Ai*di	$\sqrt{ai di}$
< 2000	0.16	0.16	0.01	0.01	2.164	0.346	0.58
2000 – 1800	25	28.16	2.30	2.31	1.9	53.2	7.3
1800 – 1600	142	170.16	11.66	13.97	1.7	241.4	15.53
1600 – 1400	214	410.16	19.70	33.97	1.5	321	17.91
1400 – 1200	210	624.16	15.57	51.24	1.3	273	16.52
1200 – 1000	170	834.16	17.24	68.49	1.1	187	13.67
1000 – 800	113.84	1004.16	13.96	82.44	0.9	102.45	10.12
800 – 600	100	1118	9.35	91.79	0.7	70	8.36
600 – 400	78	1218	8.21	100.00	0.5	39	6.24
400 – 200	4	1296	6.40	160.40	0.3	1.2	1.095
> 200	130	1300	0.33	106.73	0.175	22.75	4.76
						$\Sigma=1311.34$	102.085

Annexes des Tableaux

**Tableau 48:hypsométrie du Bassin versant d'Oued Abdi**

Tranche d'altitude/m	Surface (ai) km2	Surface cumulée ai	Surface%	Surface cumulée%	di	Hi	Ai*Di	$\sqrt{ai di}$
2305-2200	1.75	1.75	0.26	0.26	105	2252.5	0.273	0.52
2200 – 2000	6.78	8.53	1	1.26	200	2100	2	1.41
2000-1800	38.85	47.38	5.77	7.03	200	1900	11.54	3.39
1800-1600	80.52	127.9	11.96	20.51	200	1700	23.92	4.89
1600 – 1400	130.20	258.1	19.35	38.34	200	1500	38.7	6.22
1400 – 1200	116.80	374.9	17.36	55.7	200	1300	111.4	10.55
1200 – 1000	92.21	467.11	13.70	69.4	200	1100	138.8	11.78
1000 – 800	76.57	543.68	11.38	80.78	200	900	161.56	12.71
800 – 600	54.52	598.2	8.10	88.88	200	700	177.76	13.33
600 – 400	50.37	648.57	7.48	96.36	200	500	192.72	13.88
400 – 200	24.13	672.7	3.64	100	200	300	72.8	8.53
672,7	100							87.21

Annexes des Tableaux

**Tableau 49: Pluies journalières maximales**

Années	Yabous	Ain Touta	Bouhmama	Babar	Chemora	Medina
1974	21	28,13	18,00	26,000	22,525	21,000
1975	26,16	26,16	18,50	26,500	23,878	23,878
1976	26,19	36,19	21,60	26,900	24,388	23,388
1977	23,7	26,70	25,70	27,900	20,750	20,750
1978	27,22	25,00	26,00	29,700	24,980	24,980
1979	27,29	24,22	28,00	30,000	27,894	27,894
1980	27,57	25,29	29,10	31,000	29,240	28,240
1981	28,16	27,57	29,20	31,500	32,827	32,827
1982	28,48	28,16	29,20	31,800	34,080	34,080
1983	28,5	29,16	30,00	33,500	34,110	33,110
1984	39,61	27,48	32,00	33,900	28,373	30,373
1985	29,82	28,50	32,20	34,500	35,544	35,544
1986	40,06	29,44	32,30	35,600	27,640	27,640
1987	30,68	29,61	33,80	36,600	33,213	33,213
1988	31,08	29,73	35,90	37,800	24,910	24,910
1989	32,18	29,82	37,20	38,500	39,010	32,010
1990	42,27	30,06	37,30	40,500	39,670	39,670
1991	32,44	30,68	38,10	40,600	40,550	40,550
1992	33,76	30,77	42,00	40,700	31,232	31,232
1993	34,5	27,08	42,80	41,600	33,382	33,382
1994	25,63	31,64	42,80	42,200	35,524	35,524
1995	36,42	31,19	43,80	45,500	33,010	33,010
1996	38,45	32,27	45,50	48,200	33,550	33,550
1997	24,89	31,44	47,70	55,500	32,994	32,994
1998	48,16	30,76	56,00	60,200	60,460	70,460
1999	49,73	32,50	57,50	63,300	33,540	33,540
2000	40,77	34,89	60,20	76,600	50,806	50,806

**Tableau 50: Estimation des pluies journalières maximales Fréquentielles**

	F	0,50	0,90	0,98	0,99	1,00
	U	0,37	2,25	3,90	4,60	6,91
	T	2,00	10,00	50,00	100,00	1000,00
Chemora	Pjmaxe%	32,16	46,34	63,85	73,11	114,38
Babar	Pjmaxe%	37,58	55,69	71,57	78,28	100,46
Medina	Pjmaxe%	31,97	47,30	66,69	77,11	124,61
Yabous	Pjmaxe%	31,95	46,57	64,79	74,50	118,19
Ain. Touta	Pjmaxe%	30,58	36,16	41,89	44,58	54,74

Annexes des Tableaux

**Tableau 51: Variations interannuelles des précipitations des bassins versants du massif**

	O.Yabous	O.Chemora	O.Lhai	O.Labioud	O.Abdi	O.El Arab
1974	329,93	222	212	139	260,95	353,68
1975	380,80	240	230	182	269,75	498,45
1976	513,93	130	120	252	317,05	301,33
1977	399,58	192	182	195	355,9	271,9
1978	248,43	230	220	190	219,55	355,38
1979	399,87	380	370	233	192,2	432,13
1980	589,07	392	382	249	244,45	317,65
1981	343,13	230	220	284	238,7	241,65
1982	170,70	230	220	164	399,85	309,73
1983	318,47	330	320	172	236,45	379,08
1984	348,00	230	220	275	231,45	234,53
1985	266,90	230	220	227	305,15	410,8
1986	453,77	230	220	214	276,6	197,75
1987	139,83	230	220	125	225,9	353,05
1988	353,13	350	340	187	310,65	287,93
1989	304,33	230	220	255	316,7	352,9
1990	349,30	270	260	230	260,15	261,63
1991	225,57	280	270	190	214,4	252,35
1992	300,00	270	260	243	267,8	393,7
1993	392,97	300	290	298	133,3	523,58
1994	555,97	230	220	228	209,25	320,03
1995	343,30	330	320	230	368,55	346,43
1996	441,73	330	320	234	326,25	247,63
1997	231,47	320	310	251	333,15	250,88
1998	272,20	230	220	165	262,15	348,7
1999	330,83	308	298	255	211,85	384,43
2000	455,03	230	220	223	167,45	349,48
2001	341,40	200	190	221	168,9	294,23
2002	300,00	224	214	209	167,5	346,93
2003	370,87	155	145	177	383,1	194,8
2004	248,80	230	220	160	249,15	272,9
2005	217,77	222	212	142	300,9	335,13
2006	272,27	230	220	249	275,5	468,48
2007	475,53	230	220	411	271,47	494,95
2008	597,40	324	314	275	97,72	
Pmoy	350,92	256,83	246,83	220,97	259,14	334,83
Ectype	110,31	59,36	59,36	54,43	69,31	83,30
Cv	0,31	0,23	0,24	0,25	0,27	0,25

Annexes des Tableaux

**Tableau 52: Variations annuelles de la lame d'eau écoulee dans les vallées des Aurès.**

	O.Yabous	O.Chemora	O.Lhai	O.Labioud	O.Abdi	O.El Arab
1974	49,59	73,13	26,98	37,12	51,94	27,23
1975	6,94	13,71	14,82	3,15	13,25	10,74
1976	50,58	58,17	13,49	16,74	13,78	13,61
1977	52,56	81,02	17,10	24,74	29,15	10,59
1978	22,81	30,75	28,69	6,06	43,99	14,22
1979	2,38	15,37	15,20	6,06	11,66	20,87
1980	7,93	56,09	15,20	14,80	14,84	14,97
1981	21,82	40,72	14,82	24,99	19,08	16,64
1982	1,98	9,56	17,86	17,22	11,66	13,16
1983	7,93	8,31	12,73	45,85	20,14	13,46
1984	12,89	18,28	29,64	11,89	7,42	10,13
1985	29,75	16,62	12,16	19,65	10,07	13,46
1986	9,92	31,16	7,60	21,59	14,84	38,42
1987	21,82	44,46	5,89	29,60	16,43	9,83
1988	13,88	18,70	8,74	20,62	14,31	10,13
1989	36,70	7,89	12,54	18,19	8,48	13,61
1990	21,82	21,61	16,91	12,61	14,84	13,31
1991	3,77	19,11	24,70	12,86	13,78	10,13
1992	11,90	4,15	25,27	2,43	14,31	25,11
1993	8,93	12,88	21,66	12,13	9,01	26,77
1994	26,78	55,68	17,67	39,78	7,42	28,44
1995	26,78	37,81	22,80	11,64	5,30	13,01
1996	0,99	4,57	11,59	16,74	28,09	27,23
1997	7,93	15,37	30,40	13,34	18,55	12,86
1998	9,92	4,57	14,25	4,37		14,82
1999	9,92	17,45	24,32	16,25		21,93
2000	8,93	12,46	25,46	32,75		28,28
2001	9,92	3,74	21,09	23,77		13,92
2002	1,98	12,05	35,53	16,74		
2003	8,93	28,67	29,64	4,61		
2004	29,75	15,79	13,30	10,67		
2005	9,92	18,70	11,97	6,06		
2006	9,92	18,70	19,38	22,08		
2007	9,92	9,97	16,72	42,69		
2008	0,99	120,91	17,10	71,81		
Moy	16,24	27,38	18,66	19,76	17,18	17,39
EcTy	14,08	25,61	7,19	14,40	11,15	7,53
CV	0,87	0,94	0,39	0,73	0,65	0,43

Annexes des Tableaux

**Tableau 53: Variations annuelles des débits spécifiques dans les vallées des Aurès.**

BV	O.Yabous	O.Chemora	O.Lhai	O.Labioud	O.Abdi	O.El Arab
Année	q(L/S/Km <sup>2</sup> )					
1974	1,57	2,32	0,86	1,18	1,65	0,86
1975	0,22	0,43	0,47	0,10	0,42	0,34
1976	1,60	1,84	0,43	0,53	0,44	0,43
1977	1,67	2,57	0,54	0,78	0,92	0,34
1978	0,72	0,97	0,91	0,19	1,39	0,45
1979	0,08	0,49	0,48	0,19	0,37	0,66
1980	0,25	1,78	0,48	0,47	0,47	0,47
1981	0,69	1,29	0,47	0,79	0,61	0,53
1982	0,06	0,30	0,57	0,55	0,37	0,42
1983	0,25	0,26	0,40	1,45	0,64	0,43
1984	0,41	0,58	0,94	0,38	0,24	0,32
1985	0,94	0,53	0,39	0,62	0,32	0,43
1986	0,31	0,99	0,24	0,68	0,47	1,22
1987	0,69	1,41	0,19	0,94	0,52	0,31
1988	0,44	0,59	0,28	0,65	0,45	0,32
1989	1,16	0,25	0,40	0,58	0,27	0,43
1990	0,69	0,69	0,54	0,40	0,47	0,42
1991	0,12	0,61	0,78	0,41	0,44	0,32
1992	0,38	0,13	0,80	0,08	0,45	0,80
1993	0,28	0,41	0,69	0,38	0,29	0,85
1994	0,85	1,77	0,56	1,26	0,24	0,90
1995	0,85	1,20	0,72	0,37	0,17	0,41
1996	0,03	0,14	0,37	0,53	0,89	0,86
1997	0,25	0,49	0,96	0,42	0,59	0,41
1998	0,31	0,14	0,45	0,14		0,47
1999	0,31	0,55	0,77	0,52		0,70
2000	0,28	0,40	0,81	1,04		0,90
2001	0,31	0,12	0,67	0,75		0,44
2002	0,06	0,38	1,13	0,53		
2003	0,28	0,91	0,94	0,15		
2004	0,94	0,50	0,42	0,34		
2005	0,31	0,59	0,38	0,19		
2006	0,31	0,59	0,61	0,70		
2007	0,31	0,32	0,53	1,35		
2008	0,03	3,83	0,54	2,28		
Moy	0,52	0,87	0,59	0,63	0,54	0,55
EcTy	0,45	0,81	0,23	0,46	0,35	0,24
CV	0,87	0,94	0,39	0,73	0,65	0,43

Annexes des Tableaux

**Tableau 54: Variations mensuelles des débits dans les stations des cours d'eau du massif.**

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
O.Abdi	0,56	0,49	0,36	0,21	0,43	0,54	0,37	0,52	0,26	0,03	0,1	0,01	0,32
O.EL Arab	0,9	0,94	0,66	0,69	0,68	0,73	0,64	0,7	0,49	0,42	0,39	0,2	0,62
O.Yabous	0,27	0,27	0,22	0,19	0,25	0,22	0,24	0,27	0,02	0,01	0,01	0	0,16
O.Lhai	1,239	0,93	0,67	0,66	0,659	0,696	0,707	0,64	0,54	0,33	0,254	0,22	0,63
O.Labiod	0,99	0,98	0,768	0,709	0,68	0,696	0,72	0,74	0,62	0,583	0,284	0,22	0,67
O.Chemora	0,95	0,94	0,86	0,74	0,68	0,83	0,74	0,87	0,69	0,42	0,4	0,2	0,69
Moyenne	0,818	0,758	0,5897	0,533	0,563	0,619	0,57	0,62	0,44	0,299	0,24	0,14	0,52

**Tableau 55: Coefficients moyens des débits dans les stations hydrométriques du massif**

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
O.Abdi	1,49	1,30	0,96	0,56	1,14	1,44	0,98	1,38	0,69	0,08	0,27	0,03
O.EL Arab	1,45	1,52	1,06	1,11	1,10	1,18	1,03	1,13	0,79	0,68	0,63	0,32
O.Yabous	0,96	0,96	0,78	0,68	0,89	0,78	0,85	0,96	0,07	0,04	0,04	0,00
O.Lhai	1,94	1,46	1,05	1,03	1,03	1,09	1,11	1,00	0,85	0,52	0,40	0,34
O.Labiod	1,58	1,57	1,23	1,13	1,09	1,11	1,15	1,18	0,99	0,93	0,45	0,35
O.Chemora	1,39	1,38	1,26	1,08	1,00	1,22	1,08	1,27	1,01	0,61	0,59	0,29

Annexes des Tableaux

**Tableau 56: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel**

Ordre	Qan (m <sup>3</sup> /s)	FND	U
1	0,01	0,01428571	-1,447
2	0,01	0,04285714	-1,147
3	0,02	0,07142857	-0,970
4	0,02	0,1	-0,834
5	0,024	0,12857143	-0,718
6	0,038	0,15714286	-0,616
7	0,07	0,18571429	-0,521
8	0,08	0,21428571	-0,432
9	0,08	0,24285714	-0,347
10	0,08	0,27142857	-0,265
11	0,09	0,3	-0,186
12	0,09	0,32857143	-0,107
13	0,09	0,35714286	-0,029
14	0,1	0,38571429	0,048
15	0,1	0,41428571	0,126
16	0,1	0,44285714	0,205
17	0,1	0,47142857	0,285
18	0,1	0,5	0,367
19	0,1	0,52857143	0,450
20	0,1	0,55714286	0,536
21	0,12	0,58571429	0,626
22	0,13	0,61428571	0,719
23	0,14	0,64285714	0,817
24	0,22	0,67142857	0,920
25	0,22	0,7	1,031
26	0,22	0,72857143	1,150
27	0,23	0,75714286	1,279
28	0,27	0,78571429	1,422
29	0,27	0,81428571	1,583
30	0,3	0,84285714	1,766
31	0,3	0,87142857	1,983
32	0,37	0,9	2,250
33	0,5	0,92857143	2,602
34	0,51	0,95714286	3,128
35	0,53	0,98571429	4,241

Annexes des Tableaux

**Tableau 57: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel  
(Station de Chemora)**

Range	Q(m <sup>3</sup> /s)	F%	U
1	0,09	0,014285714	-1,447
2	0,1	0,042857143	-1,147
3	0,11	0,071428571	-0,970
4	0,11	0,1	-0,834
5	0,19	0,128571429	-0,718
6	0,2	0,157142857	-0,616
7	0,23	0,185714286	-0,521
8	0,24	0,214285714	-0,432
9	0,29	0,242857143	-0,347
10	0,3	0,271428571	-0,265
11	0,31	0,3	-0,186
12	0,33	0,328571429	-0,107
13	0,37	0,357142857	-0,029
14	0,37	0,385714286	0,048
15	0,38	0,414285714	0,126
16	0,4	0,442857143	0,205
17	0,42	0,471428571	0,285
18	0,44	0,5	0,367
19	0,45	0,528571429	0,450
20	0,45	0,557142857	0,536
21	0,45	0,585714286	0,626
22	0,46	0,614285714	0,719
23	0,52	0,642857143	0,817
24	0,69	0,671428571	0,920
25	0,74	0,7	1,031
26	0,75	0,728571429	1,150
27	0,91	0,757142857	1,279
28	0,98	0,785714286	1,422
29	1,07	0,814285714	1,583
30	1,34	0,842857143	1,766
31	1,35	0,871428571	1,983
32	1,4	0,9	2,250
33	1,76	0,928571429	2,602
34	1,95	0,957142857	3,128
35	2,91	0,985714286	4,241

Annexes des Tableaux

**Tableau 58 : Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel**

**(Station d'El Kantara)**

Range	Q(m <sup>3</sup> /s)	F%	U
1	0,31	0,014285714	-1,447
2	0,4	0,042857143	-1,147
3	0,46	0,071428571	-0,970
4	0,61	0,1	-0,834
5	0,63	0,128571429	-0,718
6	0,64	0,157142857	-0,616
7	0,66	0,185714286	-0,521
8	0,67	0,214285714	-0,432
9	0,7	0,242857143	-0,347
10	0,71	0,271428571	-0,265
11	0,75	0,3	-0,186
12	0,78	0,328571429	-0,107
13	0,78	0,357142857	-0,029
14	0,8	0,385714286	0,048
15	0,8	0,414285714	0,126
16	0,88	0,442857143	0,205
17	0,89	0,471428571	0,285
18	0,9	0,5	0,367
19	0,9	0,528571429	0,450
20	0,93	0,557142857	0,536
21	0,94	0,585714286	0,626
22	1,02	0,614285714	0,719
23	1,11	0,642857143	0,817
24	1,14	0,671428571	0,920
25	1,2	0,7	1,031
26	1,28	0,728571429	1,150
27	1,3	0,757142857	1,279
28	1,33	0,785714286	1,422
29	1,34	0,814285714	1,583
30	1,42	0,842857143	1,766
31	1,51	0,871428571	1,983
32	1,56	0,9	2,250
33	1,56	0,928571429	2,602
34	1,6	0,957142857	3,128
35	1,87	0,985714286	4,241

Annexes des Tableaux

**Tableau 59: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel**

**(Station de Mchounech)**

Range	Q (m <sup>3</sup> /s)	F(%)	U
1	0,1	0,014285714	-1,447
2	0,13	0,042857143	-1,147
3	0,18	0,071428571	-0,970
4	0,19	0,1	-0,834
5	0,25	0,128571429	-0,718
6	0,25	0,157142857	-0,616
7	0,25	0,185714286	-0,521
8	0,44	0,214285714	-0,432
9	0,48	0,242857143	-0,347
10	0,49	0,271428571	-0,265
11	0,5	0,3	-0,186
12	0,52	0,328571429	-0,107
13	0,53	0,357142857	-0,029
14	0,55	0,385714286	0,048
15	0,61	0,414285714	0,126
16	0,67	0,442857143	0,205
17	0,69	0,471428571	0,285
18	0,69	0,5	0,367
19	0,69	0,528571429	0,450
20	0,71	0,557142857	0,536
21	0,75	0,585714286	0,626
22	0,81	0,614285714	0,719
23	0,85	0,642857143	0,817
24	0,89	0,671428571	0,920
25	0,91	0,7	1,031
26	0,98	0,728571429	1,150
27	1,02	0,757142857	1,279
28	1,03	0,785714286	1,422
29	1,22	0,814285714	1,583
30	1,35	0,842857143	1,766
31	1,53	0,871428571	1,983
32	1,64	0,9	2,250
33	1,76	0,928571429	2,602
34	1,89	0,957142857	3,128
35	2,96	0,985714286	4,241

**Tableau 60: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel**

Range	Q (m <sup>3</sup> /S)	F(%)	U
1	0,1	0,020833333	-1,354
2	0,14	0,0625	-1,020
3	0,14	0,104166667	-0,816
4	0,16	0,145833333	-0,655
5	0,17	0,1875	-0,515
6	0,19	0,229166667	-0,388
7	0,22	0,270833333	-0,267
8	0,22	0,3125	-0,151
9	0,25	0,354166667	-0,037
10	0,26	0,395833333	0,076
11	0,26	0,4375	0,190
12	0,27	0,479166667	0,307
13	0,27	0,520833333	0,427
14	0,28	0,5625	0,553
15	0,28	0,604166667	0,685
16	0,28	0,645833333	0,827
17	0,31	0,6875	0,982
18	0,35	0,729166667	1,152
19	0,36	0,770833333	1,346
20	0,38	0,8125	1,572
21	0,53	0,854166667	1,848
22	0,55	0,895833333	2,207
23	0,83	0,9375	2,740
24	0,98	0,979166667	3,861

## Annexes des Tableaux

**Tableau 61: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel  
( Station de Khanguet Sidi Naji)**

Range	Q(m <sup>3</sup> /s)	F(%)	U
1	0,65	0,017857143	-1,393
2	0,67	0,053571429	-1,074
3	0,67	0,089285714	-0,882
4	0,67	0,125	-0,732
5	0,7	0,160714286	-0,603
6	0,71	0,196428571	-0,487
7	0,85	0,232142857	-0,379
8	0,86	0,267857143	-0,276
9	0,87	0,303571429	-0,176
10	0,88	0,339285714	-0,078
11	0,89	0,375	0,019
12	0,89	0,410714286	0,117
13	0,9	0,446428571	0,215
14	0,9	0,482142857	0,315
15	0,92	0,517857143	0,418
16	0,94	0,553571429	0,525
17	0,98	0,589285714	0,637
18	0,99	0,625	0,755
19	1,1	0,660714286	0,881
20	1,38	0,696428571	1,017
21	1,45	0,732142857	1,165
22	1,66	0,767857143	1,331
23	1,77	0,803571429	1,520
24	1,8	0,839285714	1,742
25	1,8	0,875	2,013
26	1,87	0,910714286	2,370
27	1,88	0,946428571	2,899
28	2,54	0,982142857	4,016

Annexes des Tableaux

**Tableau 62: Variations de l'hydraulicité des cours d'eau du massif.**

	O.Yabous	O.Chemora	O.Abdi	O.Lhai	O.Labiod	O.El Arab
1974	3,05	2,55	3,02	2,25	2,28	2,77
1975	0,43	0,48	0,77	1,24	0,19	1,09
1976	3,11	2,03	0,80	1,13	1,03	1,38
1977	3,24	2,83	1,70	1,43	1,52	1,08
1978	1,40	1,07	2,56	2,40	0,37	1,45
1979	0,15	0,54	0,68	1,27	0,37	2,12
1980	0,49	1,96	0,86	1,27	0,91	1,52
1981	1,34	1,42	1,11	1,24	1,54	1,69
1982	0,12	0,33	0,68	1,49	1,06	1,34
1983	0,49	0,29	1,17	1,06	2,82	1,37
1984	0,79	0,64	0,43	2,48	0,73	1,03
1985	1,83	0,58	0,59	1,02	1,21	1,37
1986	0,61	1,09	0,86	0,63	1,33	3,91
1987	1,34	1,55	0,96	0,49	1,82	1,00
1988	0,85	0,65	0,83	0,73	1,27	1,03
1989	2,26	0,28	0,49	1,05	1,12	1,38
1990	1,34	0,75	0,86	1,41	0,78	1,35
1991	0,23	0,67	0,80	2,06	0,79	1,03
1992	0,73	0,14	0,83	2,11	0,15	2,55
1993	0,55	0,45	0,52	1,81	0,75	2,72
1994	1,65	1,94	0,43	1,48	2,45	2,89
1995	1,65	1,32	0,31	1,90	0,72	1,32
1996	0,06	0,16	1,64	0,97	1,03	2,77
1997	0,49	0,54	1,08	2,54	0,82	1,31
1998	0,61	0,16		1,19	0,27	1,51
1999	0,61	0,61		2,03	1,00	2,23
2000	0,55	0,43		2,13	2,01	2,88
2001	0,61	0,13		1,76	1,46	1,42
2002	0,12	0,42		2,97	1,03	
2003	0,55	1,00		2,48	0,28	
2004	1,83	0,55		1,11	0,66	
2005	0,61	0,65		1,00	0,37	
2006	0,61	0,65		1,62	1,36	
2007	0,61	0,35		1,40	2,63	
2008	0,06	4,22		1,43	4,42	

## Annexes des Tableaux

**Tableau 63: Coefficients de l'écoulement des Bassins versants étudiée**

	O.Yabous	O.Chemora	O.Lhai	O.Labiod	O.El Arab	O.Abdi
1974	11,34	15,45	6,70	8,87	6,75	11,78
1975	1,87	3,59	3,86	0,86	2,84	3,47
1976	11,53	12,91	3,53	4,32	3,56	3,60
1977	11,89	16,69	4,41	6,20	2,80	7,18
1978	5,76	7,53	7,08	1,64	3,71	10,26
1979	0,65	3,99	3,95	1,64	5,31	3,07
1980	2,12	12,54	3,95	3,85	3,90	3,86
1981	5,53	9,61	3,86	6,25	4,30	4,88
1982	0,54	2,54	4,59	4,44	3,45	3,07
1983	2,12	2,22	3,34	10,62	3,52	5,13
1984	3,38	4,69	7,29	3,13	2,69	1,99
1985	7,31	4,30	3,20	5,02	3,52	2,67
1986	2,63	7,62	2,04	5,47	9,14	3,86
1987	5,53	10,35	1,59	7,28	2,61	4,25
1988	3,63	4,79	2,33	5,25	2,69	3,73
1989	8,79	2,11	3,29	4,67	3,56	2,27
1990	5,53	5,48	4,37	3,31	3,49	3,86
1991	1,03	4,89	6,19	3,37	2,69	3,60
1992	3,13	1,13	6,32	0,66	6,28	3,73
1993	2,38	3,38	5,49	3,19	6,65	2,40
1994	6,65	12,46	4,55	9,42	7,02	1,99
1995	6,65	9,02	5,75	3,07	3,41	1,43
1996	0,27	1,24	3,06	4,32	6,75	6,95
1997	2,12	3,99	7,45	3,49	3,37	4,76
1998	2,63	1,24	3,72	1,19	3,86	
1999	2,63	4,50	6,10	4,21	5,55	
2000	2,38	3,28	6,36	7,96	6,99	
2001	2,63	1,02	5,36	5,98	3,64	
2002	0,54	3,17	8,54	4,32		
2003	2,38	7,07	7,29	1,25		
2004	7,31	4,09	3,48	2,83		
2005	2,63	4,79	3,15	1,64		
2006	2,63	4,79	4,95	5,59		

Annexes des Tableaux

**Tableau 64: Ajustement des Débits maximaux selon la loi de Gumbel**

Station Timgad			Station Reboa		
Q max (m <sup>3</sup> /s)	U(Gumbel)	F	Qjmax (m <sup>3</sup> /s)	U(Gumbel)	F
10,1	-1,555234799	0,00877193	20,28	-1,56945328	0,00819672
10,8	-1,291320319	0,02631579	21,00	-1,30979358	0,02459016
10,8	-1,139997496	0,04385965	21,59	-1,1614566	0,04098361
11	-1,026144924	0,06140351	21,72	-1,05016088	0,05737705
11	-0,931760012	0,07894737	22,16	-0,95812206	0,07377049
11,3	-0,849425528	0,09649123	22,16	-0,87801789	0,09016393
12,1	-0,77530262	0,11403509	23,30	-0,80606135	0,10655738
12,6	-0,707123183	0,13157895	23,43	-0,74001686	0,12295082
12,6	-0,643423761	0,14912281	24,62	-0,67844346	0,13934426
12,7	-0,583198081	0,16666667	25,50	-0,62035177	0,1557377
12,8	-0,52571976	0,18421053	25,62	-0,56502889	0,17213115
12,9	-0,470443678	0,20175439	25,94	-0,5119411	0,18852459
14,5	-0,41694735	0,21929825	27,36	-0,46067602	0,20491803
15,4	-0,364894181	0,23684211	29,10	-0,4109064	0,22131148
15,5	-0,31400941	0,25438596	29,10	-0,36236637	0,23770492
15,5	-0,264063776	0,27192982	30,72	-0,31483544	0,25409836
15,5	-0,214862064	0,28947368	31,36	-0,26812723	0,2704918
15,7	-0,166234846	0,30701754	33,30	-0,22208137	0,28688525
16,9	-0,11803237	0,3245614	34,05	-0,17655759	0,30327869
17,3	-0,070119918	0,34210526	34,28	-0,13143116	0,31967213
18	-0,022374202	0,35964912	34,90	-0,08658952	0,33606557
18,3	0,025319518	0,37719298	35,40	-0,04192947	0,35245902
18,5	0,073069787	0,39473684	39,06	0,00264494	0,36885246
19,2	0,120980941	0,4122807	39,06	0,047224276	0,3852459
20,4	0,169154839	0,42982456	40,44	0,091895196	0,40163934
20,5	0,217692416	0,44736842	42,06	0,136741784	0,41803279
21,2	0,266695134	0,46491228	45,30	0,181846712	0,43442623
22,2	0,316266388	0,48245614	48,00	0,227292321	0,45081967
22,7	0,366512921	0,5	48,86	0,273161637	0,46721311
23,2	0,417546286	0,51754386	49,75	0,319539369	0,48360656
24,3	0,469484429	0,53508772	50,80	0,366512921	0,5
24,4	0,522453429	0,55263158	53,31	0,414173438	0,51639344
24,4	0,576589467	0,57017544	53,92	0,462616938	0,53278689
24,6	0,632041114	0,5877193	55,78	0,511945542	0,54918033
25,2	0,688972021	0,60526316	56,16	0,562268859	0,56557377
27	0,747564146	0,62280702	57,88	0,613705575	0,58196721
27,5	0,808021684	0,64035088	58,10	0,666385289	0,59836066
28,2	0,870575923	0,65789474	59,65	0,72045069	0,6147541
28,3	0,935491323	0,6754386	59,89	0,776060154	0,63114754
30,9	1,003073237	0,69298246	65,85	0,833390897	0,64754098
31,4	1,07367787	0,71052632	66,10	0,892642835	0,66393443

## Annexes des Tableaux

32	1,147725307	0,72807018	72,24	0,954043387	0,68032787
32,5	1,225716863	0,74561404	76,20	1,017853501	0,69672131
34,5	1,308258602	0,76315789	80,20	1,084375338	0,71311475
34,8	1,396093906	0,78070175	80,20	1,153962195	0,7295082
35,8	1,490149602	0,79824561	87,16	1,227031497	0,74590164
36,4	1,591603126	0,81578947	87,50	1,304082126	0,76229508
37,6	1,701983355	0,83333333	96,20	1,385717915	0,77868852
37,8	1,823327725	0,85087719	96,80	1,47268019	0,79508197
38,5	1,958438109	0,86842105	99,16	1,565893892	0,81147541
39	2,111320878	0,88596491	102,50	1,66653471	0,82786885
39,7	2,287997411	0,90350877	119,20	1,776129911	0,8442623
43	2,498136602	0,92105263	131,55	1,896715436	0,86065574
45,5	2,758770808	0,93859649	131,55	2,031091777	0,87704918
48	3,104419067	0,95614035	166,40	2,183264018	0,89344262
48,3	3,624281669	0,97368421	207,20	2,359252344	0,90983607
52,5	4,731796368	0,99122807	224,00	2,568724536	0,92622951

Annexes des Tableaux

**Tableau 65: Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel**

Qjmax (M <sup>3</sup> /S)	U	F(%)	Qjmax (M <sup>3</sup> /S)	U	F(%)
20,02	-1,7071867	0,00403226	31,65	-0,4834185	0,19758065
20,52	-1,4849663	0,01209677	32,82	-0,458439	0,20564516
21,55	-1,3619993	0,02016129	33,8	-0,4338172	0,21370968
22,28	-1,2718703	0,02822581	33,99	-0,4095206	0,22177419
22,28	-1,1988208	0,03629032	35,16	-0,3855192	0,22983871
22,4	-1,1364004	0,04435484	36,1	-0,3617858	0,23790323
23,25	-1,0812896	0,05241935	37,25	-0,3382955	0,24596774
23,5	-1,0315385	0,06048387	37,5	-0,3150253	0,25403226
23,84	-0,9858972	0,06854839	37,5	-0,291954	0,26209677
24,04	-0,9435127	0,0766129	37,5	-0,2690619	0,27016129
24,1	-0,9037753	0,08467742	37,5	-0,2463304	0,27822581
24,5	-0,8662323	0,09274194	40,2	-0,2237425	0,28629032
24,92	-0,830538	0,10080645	41,55	-0,2012818	0,29435484
24,92	-0,7964219	0,10887097	41,55	-0,178933	0,30241935
25,8	-0,7636676	0,11693548	42,9	-0,1566818	0,31048387
25,8	-0,7320994	0,125	44,25	-0,1345142	0,31854839
25,8	-0,7015722	0,13306452	44,25	-0,1124172	0,3266129
26,5	-0,6719648	0,14112903	44,25	-0,0903782	0,33467742
26,97	-0,6431745	0,14919355	44,25	-0,068385	0,34274194
28,14	-0,6151138	0,15725806	48,3	-0,0464261	0,35080645
29,31	-0,587707	0,16532258	49,65	-0,02449	0,35887097
30,48	-0,5608885	0,1733871	51	-0,0025659	0,36693548
30,48	-0,5346005	0,18145161	51	0,01935689	0,375
31,5	-0,5087922	0,18951613	51	0,04128892	0,38306452
31,65	-0,4834185	0,19758065	51,25	0,06324041	0,39112903
32,82	-0,458439	0,20564516	52,2	0,08522146	0,39919355
33,8	-0,4338172	0,21370968	54,6	0,10724203	0,40725806
33,99	-0,4095206	0,22177419	57	0,12931201	0,41532258
35,16	-0,3855192	0,22983871	57	0,15144123	0,4233871
36,1	-0,3617858	0,23790323	59,4	0,17363946	0,43145161
37,25	-0,3382955	0,24596774	60,6	0,19591651	0,43951613
37,5	-0,3150253	0,25403226	60,6	0,21828221	0,44758065
37,5	-0,291954	0,26209677	63	0,24074642	0,45564516
37,5	-0,2690619	0,27016129	64,2	0,26331912	0,46370968
37,5	-0,2463304	0,27822581	64,2	0,28601039	0,47177419
40,2	-0,2237425	0,28629032	64,8	0,30883046	0,47983871
41,55	-0,2012818	0,29435484	66,6	0,33178974	0,48790323
41,55	-0,178933	0,30241935	67,8	0,35489882	0,49596774
42,9	-0,1566818	0,31048387	67,8	0,37816856	0,50403226
44,25	-0,1345142	0,31854839	69	0,40161006	0,51209677
44,25	-0,1124172	0,3266129	69	0,42523473	0,52016129
44,25	-0,0903782	0,33467742	69	0,44905433	0,52822581
44,25	-0,068385	0,34274194	70,5	0,47308097	0,53629032
48,3	-0,0464261	0,35080645	72,6	0,49732719	0,54435484
49,65	-0,02449	0,35887097	75	0,52180599	0,55241935
51	-0,0025659	0,36693548	75	0,54653085	0,56048387
51	0,01935689	0,375	81,5	0,57151582	0,56854839
51	0,04128892	0,38306452	81,75	0,59677554	0,5766129
51,25	0,06324041	0,39112903	82,8	0,62232531	0,58467742
52,2	0,08522146	0,39919355	84,1	0,64818116	0,59274194
54,6	0,10724203	0,40725806	85,4	0,67435989	0,60080645
57	0,12931201	0,41532258	85,4	0,70087918	0,60887097
57	0,15144123	0,4233871	88	0,72775762	0,61693548

## Annexes des Tableaux

59,4	0,17363946	0,43145161	89,1	0,75501486	0,625
60,6	0,19591651	0,43951613	90,2	0,78267166	0,63306452
60,6	0,21828221	0,44758065	93,5	0,81075001	0,64112903
63	0,24074642	0,45564516	93,5	0,83927325	0,64919355
64,2	0,26331912	0,46370968	96	0,86826623	0,65725806
64,2	0,28601039	0,47177419	96	0,8977554	0,66532258
64,8	0,30883046	0,47983871	96,8	0,92776902	0,6733871
66,6	0,33178974	0,48790323	96,8	0,95833735	0,68145161
67,8	0,35489882	0,49596774	97,9	0,98949283	0,68951613
67,8	0,37816856	0,50403226	97,9	1,02127034	0,69758065
69	0,40161006	0,51209677	99	1,05370746	0,70564516
69	0,42523473	0,52016129	101,3	1,08684476	0,71370968
69	0,44905433	0,52822581	102,45	1,12072619	0,72177419
70,5	0,47308097	0,53629032	104,75	1,15539944	0,72983871
72,6	0,49732719	0,54435484	105,9	1,19091643	0,73790323
75	0,52180599	0,55241935	111,65	1,22733382	0,74596774
75	0,54653085	0,56048387	111,65	1,26471364	0,75403226
81,5	0,57151582	0,56854839	112,8	1,303124	0,76209677
81,75	0,59677554	0,5766129	122	1,34263996	0,77016129
82,8	0,62232531	0,58467742	122	1,38334449	0,77822581
84,1	0,64818116	0,59274194	127,6	1,42532967	0,78629032
85,4	0,67435989	0,60080645	127,6	1,46869811	0,79435484
85,4	0,70087918	0,60887097	129	1,51356461	0,80241935
88	0,72775762	0,61693548	130,4	1,56005822	0,81048387
89,1	0,75501486	0,625	134,6	1,6083247	0,81854839
90,2	0,78267166	0,63306452	136	1,6585296	0,8266129
93,5	0,81075001	0,64112903	136	1,710862	0,83467742
93,5	0,83927325	0,64919355	137,4	1,76553928	0,84274194
96	0,86826623	0,65725806	138,8	1,822813	0,85080645
96	0,8977554	0,66532258	138,8	1,88297661	0,85887097
96,8	0,92776902	0,6733871	147,2	1,94637523	0,86693548
96,8	0,95833735	0,68145161	147,2	2,01341868	0,875
97,9	0,98949283	0,68951613	150	2,08459869	0,88306452
97,9	1,02127034	0,69758065	153	2,16051239	0,89112903
99	1,05370746	0,70564516	153,2	2,24189483	0,89919355
101,3	1,08684476	0,71370968	162,5	2,32966503	0,90725806
102,45	1,12072619	0,72177419	170,4	2,42499311	0,91532258
104,75	1,15539944	0,72983871	180,7	2,5294011	0,9233871
105,9	1,19091643	0,73790323	183,4	2,64491998	0,93145161
111,65	1,22733382	0,74596774	190,7	2,77434558	0,93951613
111,65	1,26471364	0,75403226	197	2,92167857	0,94758065
112,8	1,303124	0,76209677	197	3,09293493	0,95564516
122	1,34263996	0,77016129	198,4	3,29777851	0,96370968
122	1,38334449	0,77822581	216,2	3,55323685	0,97177419
127,6	1,42532967	0,78629032	221	3,89382447	0,97983871
127,6	1,46869811	0,79435484	227,33	4,40873736	0,98790323
129	1,51356461	0,80241935	231	5,51140922	0,99596774
130,4	1,56005822	0,81048387			
134,6	1,6083247	0,81854839			
136	1,6585296	0,8266129			
136	1,710862	0,83467742			
137,4	1,76553928	0,84274194			
138,8	1,822813	0,85080645			
138,8	1,88297661	0,85887097			
147,2	1,94637523	0,86693548			
147,2	2,01341868	0,875			

## Annexes des Tableaux

150	2,08459869	0,88306452			
153	2,16051239	0,89112903			
153,2	2,24189483	0,89919355			
162,5	2,32966503	0,90725806			
170,4	2,42499311	0,91532258			
180,7	2,5294011	0,9233871			
183,4	2,64491998	0,93145161			
190,7	2,77434558	0,93951613			
197	2,92167857	0,94758065			
197	3,09293493	0,95564516			
198,4	3,29777851	0,96370968			
216,2	3,55323685	0,97177419			
221	3,89382447	0,97983871			
227,33	4,40873736	0,98790323			
231	5,51140922	0,99596774			

Annexes des Tableaux

**Tableau 66: Ajustement des débits maximaux a une loi de Gumbel**

	$Q_{\max,yabous}(m^3/s)$	FND	U
1	0,28	0,01388889	-1,45317376
2	2,4	0,04166667	-1,15626901
3	3,55	0,06944444	-0,98103981
4	3,98	0,09722222	-0,84619267
5	5,3	0,125	-0,73209937
6	7,14	0,15277778	-0,63061776
7	7,14	0,18055556	-0,53749682
8	7,6	0,20833333	-0,45019365
9	8,8	0,23611111	-0,367038
10	10,38	0,26388889	-0,28685208
11	12,01	0,29166667	-0,20875548
12	13,22	0,31944444	-0,13205572
13	13,32	0,34722222	-0,0561821
14	13,9	0,375	0,01935689
15	14,78	0,40277778	0,09500291
16	15,3	0,43055556	0,17116928
17	15,4	0,45833333	0,2482581
18	15,7	0,48611111	0,32667511
19	15,7	0,51388889	0,40684375
20	16,48	0,54166667	0,48921993
21	16,9	0,56944444	0,57430861
22	18,9	0,59722222	0,66268393
23	25,83	0,625	0,75501486
24	27,2	0,65277778	0,8520995
25	30,9	0,68055556	0,95491249
26	34,47	0,70833333	1,06467333
27	38,49	0,73611111	1,18294803
28	43,5	0,76388889	1,31180699
29	45	0,79166667	1,45408145
30	46,5	0,81944444	1,61380405
31	49,6	0,84722222	1,79701975
32	72,2	0,875	2,01341868
33	83,63	0,90277778	2,28005238
34	95,64	0,93055556	2,63145729
35	176	0,95833333	3,15684949
36	300,24	0,98611111	4,26968115

Annexes des Tableaux

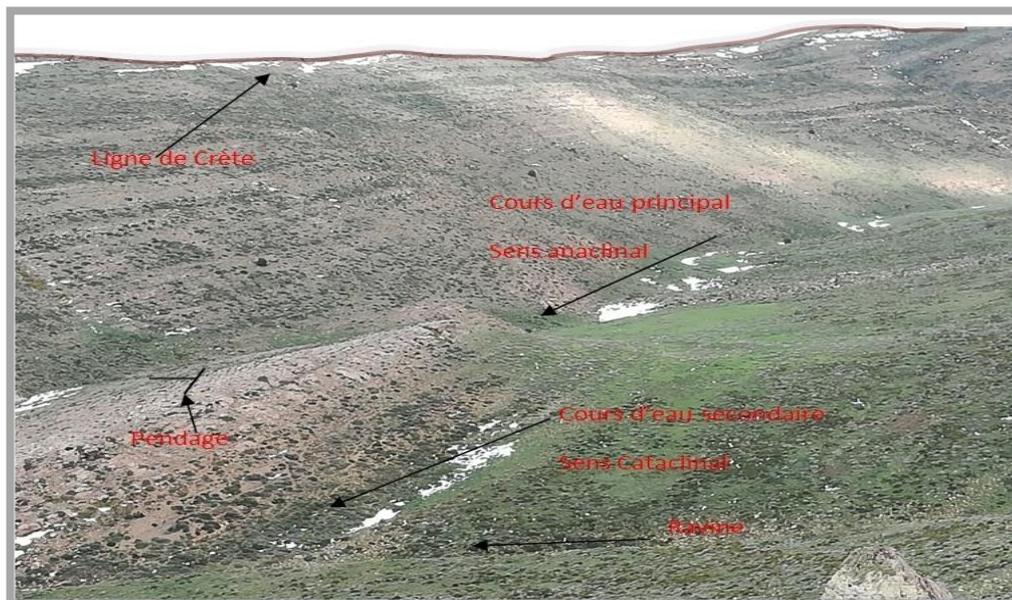
**Tableau 67: Ajustement des Débits maximaux a une loi de Gumbel  
(Stations d'Oued L'Hai)**

El-Kantara			Djemoura		
Qjmax (M <sup>3</sup> /S)	F	U	Qmax (M <sup>3</sup> /S)	F	U
24,55	0,00961538	-1,5356602	20,64	0,01041667	-1,5182757
26,36	0,02884615	-1,2657578	29,65	0,03125	-1,242925
29,86	0,04807692	-1,1101959	30,87	0,05208333	-1,0834683
31,71	0,06730769	-0,9926889	51,03	0,07291667	-0,962578
42,6	0,08653846	-0,8949308	54,06	0,09375	-0,8616756
47,09	0,10576923	-0,8093715	55,36	0,11458333	-0,7730912
53,83	0,125	-0,7320994	76,11	0,13541667	-0,6928466
74,12	0,14423077	-0,6608	81,36	0,15625	-0,6185842
79,2	0,16346154	-0,5939772	102,69	0,17708333	-0,5487772
89,36	0,18269231	-0,5306	105	0,19791667	-0,4823701
91,84	0,20192308	-0,4699214	109,44	0,21875	-0,4185957
97,45	0,22115385	-0,4113787	111,68	0,23958333	-0,3568727
102	0,24038462	-0,3545332	113,78	0,26041667	-0,2967452
109,01	0,25961538	-0,2990329	114,38	0,28125	-0,237844
111,95	0,27884615	-0,244588	114,94	0,30208333	-0,1798622
120,73	0,29807692	-0,1909539	124,25	0,32291667	-0,122537
122	0,31730769	-0,1379197	153,06	0,34375	-0,0656385
141,87	0,33653846	-0,0852992	153,08	0,36458333	-0,0089599
142,3	0,35576923	-0,032925	167,36	0,38541667	0,04768898
150	0,375	0,01935689	170,6	0,40625	0,10448696
166,03	0,39423077	0,07169062	187,9	0,42708333	0,16160626
169,77	0,41346154	0,12421404	212,92	0,44791667	0,21921618
178,2	0,43269231	0,17706132	215,78	0,46875	0,27748662
179,32	0,45192308	0,23036544	228	0,48958333	0,33659142
195,78	0,47115385	0,28426046	249,98	0,51041667	0,39671169
218	0,49038462	0,33888377	250,78	0,53125	0,45803939
219	0,50961538	0,39437832	296,36	0,55208333	0,52078122
220,66	0,52884615	0,45089502	331,5	0,57291667	0,5851631
223,7	0,54807692	0,50859539	331,5	0,59375	0,65143549
235,84	0,56730769	0,56765447	386,55	0,61458333	0,71987984
317,43	0,58653846	0,62826428	469,32	0,63541667	0,79081662
339,2	0,60576923	0,69063799	473,71	0,65625	0,86461553
350	0,625	0,75501486	477,54	0,67708333	0,94170875
382,9	0,64423077	0,82166652	511,53	0,69791667	1,02260845
402,79	0,66346154	0,89090471	516	0,71875	1,10793051
411,81	0,68269231	0,96309144	577,51	0,73958333	1,19842716
493,17	0,70192308	1,03865201	605	0,76041667	1,29503328
521,13	0,72115385	1,11809244	622,4	0,78125	1,39893359
523,4	0,74038462	1,20202312	649,98	0,80208333	1,51166364
613,5	0,75961538	1,29119131	815,75	0,82291667	1,63526693
657,44	0,77884615	1,38652741	821,97	0,84375	1,77255092
675,51	0,79807692	1,48921212	866,9	0,86458333	1,92752707
682,15	0,81730769	1,60077731	1010,36	0,88541667	2,10622146
705	0,83653846	1,72326315	1346,07	0,90625	2,31830731
763,7	0,85576923	1,85947404	1410,28	0,92708333	2,58082097
970,4	0,875	2,01341868	1706,69	0,94791667	2,92828514
991,31	0,89423077	2,19112059	1985	0,96875	3,44990355
1114	0,91346154	2,40225066	2015,68	0,98958333	4,55911711
1457,25	0,93269231	2,66384309			

## Annexes des Tableaux

**Tableau 68: Transport solide Annuel dans l'Oued Chemora et l'O. Labiod**

	O.Chemora	O.Labiod
Années	Ass(T/Km <sup>2</sup> /An)	Ass(T/Km <sup>2</sup> /An)
1974/75	161,53	610,91
1975/76	527,96	830,06
1976/77	1069,4	740,26
1977/78	216,12	590,28
1978/79	196,53	580,7
1979/80	402,29	630,23
1980/81	771,91	660,3
1981/82	296,31	690,21
1982/83	1333,37	760,3
1983/84	255,96	630,33
1984/85	693	580,53
1985/86	431,24	640,63
1986/87	444,76	630,52
1987/88	45,9	560,94
1988/89	411	600,75
1989/90	1967,18	820,65
1990/91	389,92	720,68
1991/92	630,49	770,18
1992/93	461,71	610,86
1993/94	106,7	570,21
1994/95	605,47	620,68
1995/96	1528,1	110,22
1996/97	114,04	560,78
1997/98	624,34	600,3
1998/99	110,69	680,05
1999/00	347,83	610,96
2000/01	160,98	630,36
2001/02	419,21	630,36
Moyenne	525,85	631,18



**Photo13 : Ecoulement nivale dans le domaine Karstique (Réseau hydrographique développé sur les calcaires de l'aptien de Hifekhsith, Monts de Timechtaouine)**

**(Latitude : 35°18'24.03"N, Longitude : 6°35'1.77"E)**



**Photo 14 : Ravin développé sur les marnes et les grés du miocène (Partie Amont d'Oued Labiod)**

**(Latitude : 35°17'55.51" , Longitude : 6°34'39.54"E)**



**Photo 15 : Effondrement et sapent des berges (Oued Al Arab)**

(Latitude : 35°16'44.31"N, Longitude : 6°44'56.20"E)



**Photo 16 : Oued Al Askeur : Formations alluviaux-colluviales affectée par l'érosion régressive.**

(Latitude : 35°16'51.44"N, Longitude : 6°44'49.16"E).



**Photo 17 : Banc sédimentaire latéral composé de cailloutis et de limons (Oued Al Azreg)**

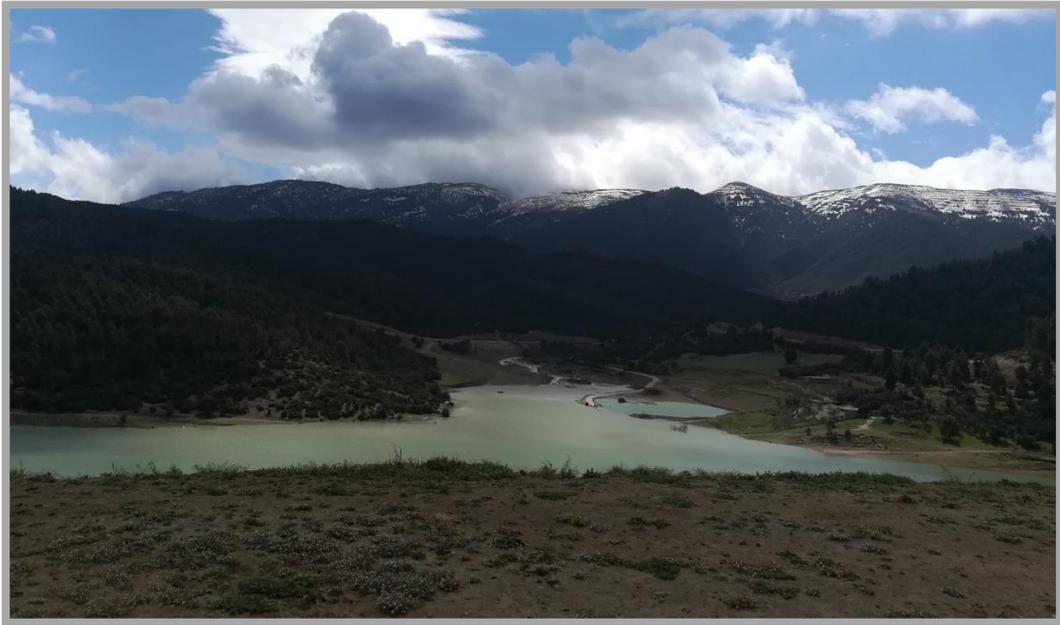
(Latitude : 35°19'30.83"N, Longitude : 6°46'10.37"E)



**Photo 18 : Ecoulement torrentielle (Oued Yabous)**

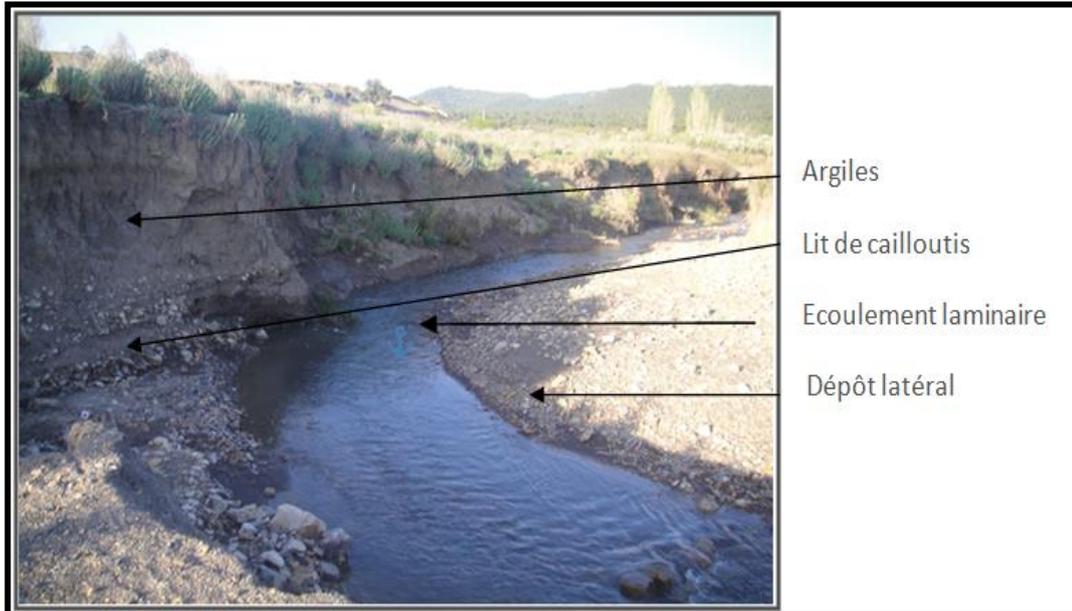
(Latitude : 35°21'2.51"N, Longitude 6°37'30.43"E).

Annexes des Photos



**Photo19 : Densité végétale Autours du barrage d'eau de Tagharist.**

(Latitude : 35°23'28.28"N, Longitude : 6°38'39.66"E)



**Photo 20 : Erosion latérale et sapement des berges sur la rive droite d'Oued Reboa**

(Latitude : 35°25'58.95"N, Longitude : 6°27'21.53"E) .

Annexes des Photos

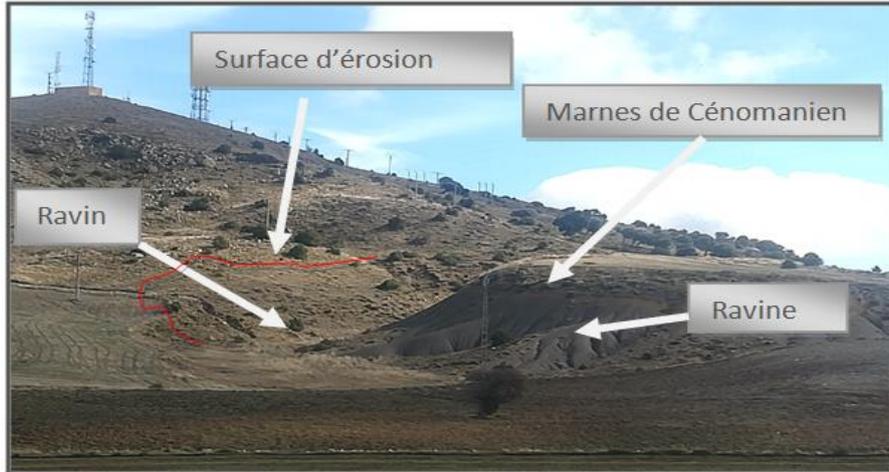


Photo 21 : Evolution de l'érosion par ravinement sur les marnes de Cénomanién (Vers Ichemoul).

(Latitude : 35°20'46.13"N, longitude : 6°28'15.68"E)

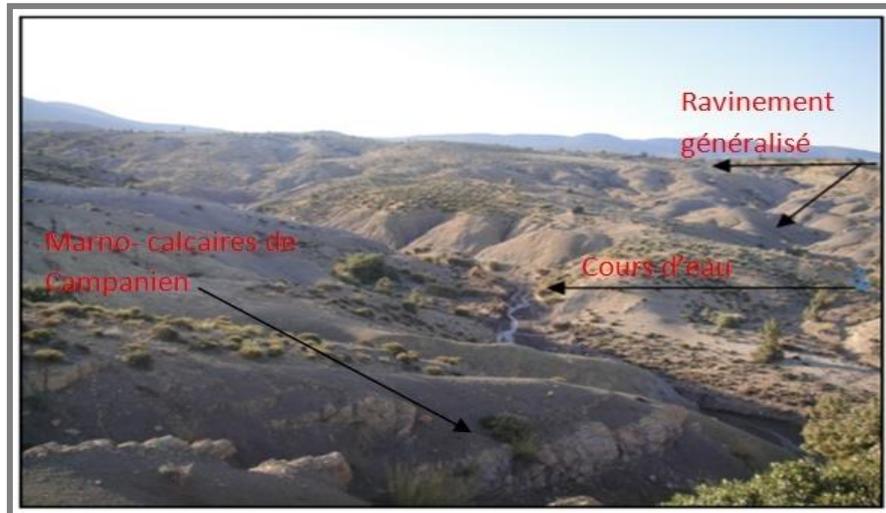
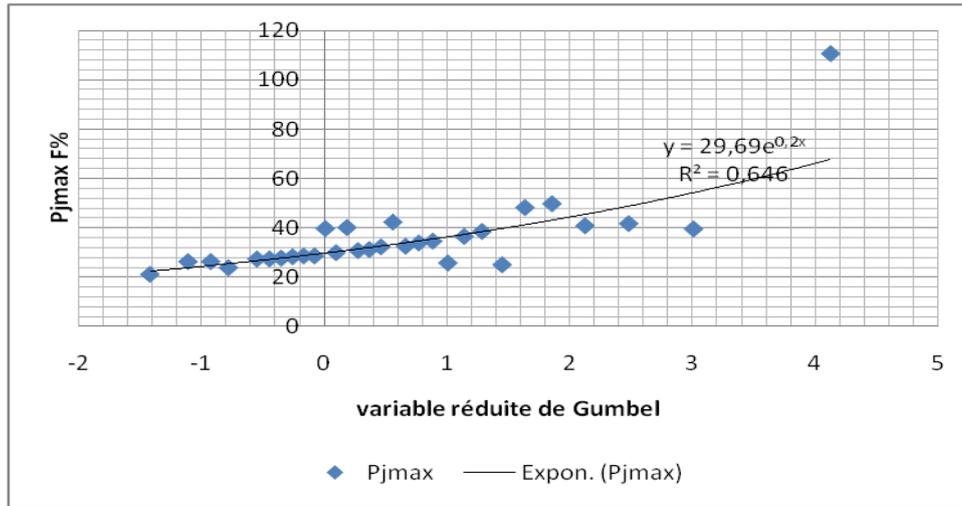
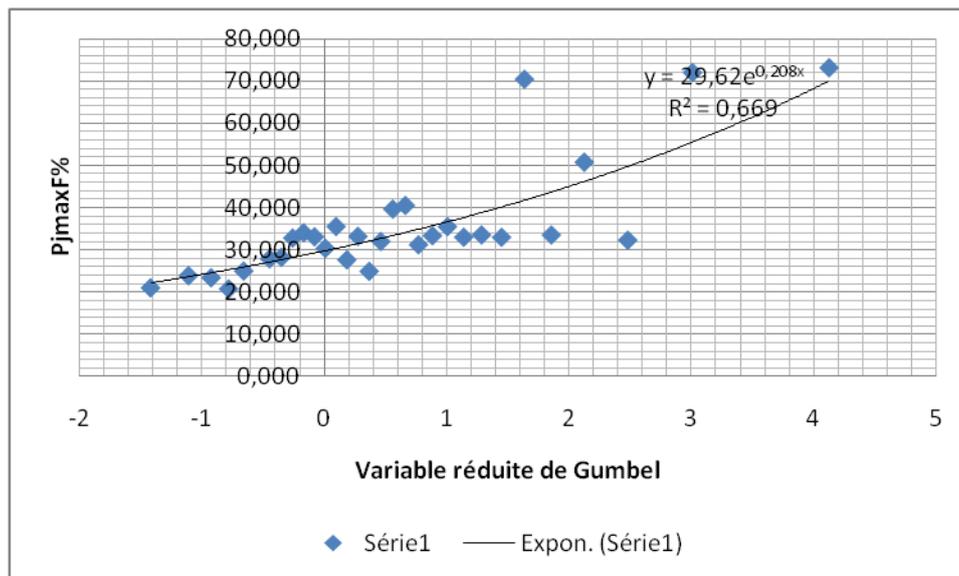


Photo 22 : Erosion par ravinement sur le versant nord de Chélia

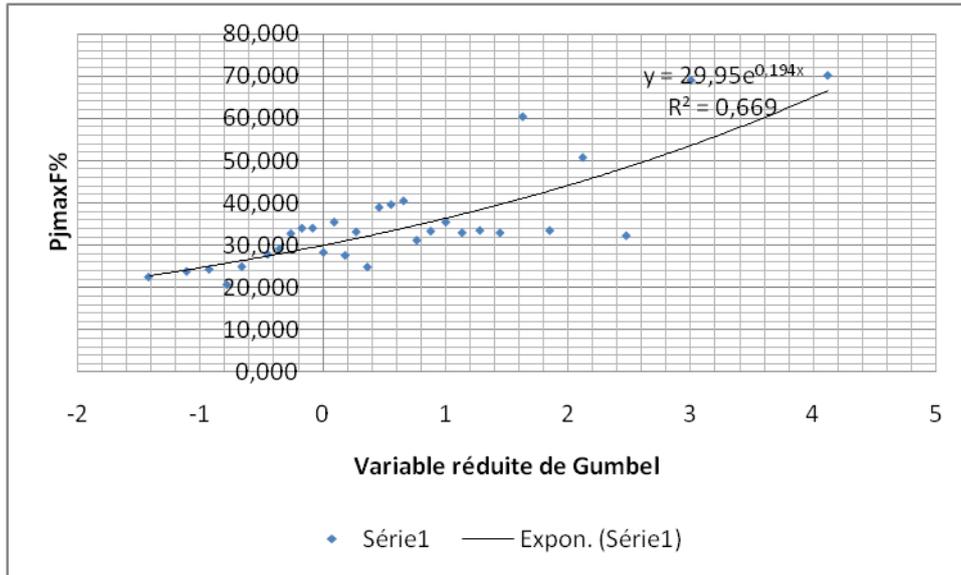
## Annexes des Figures



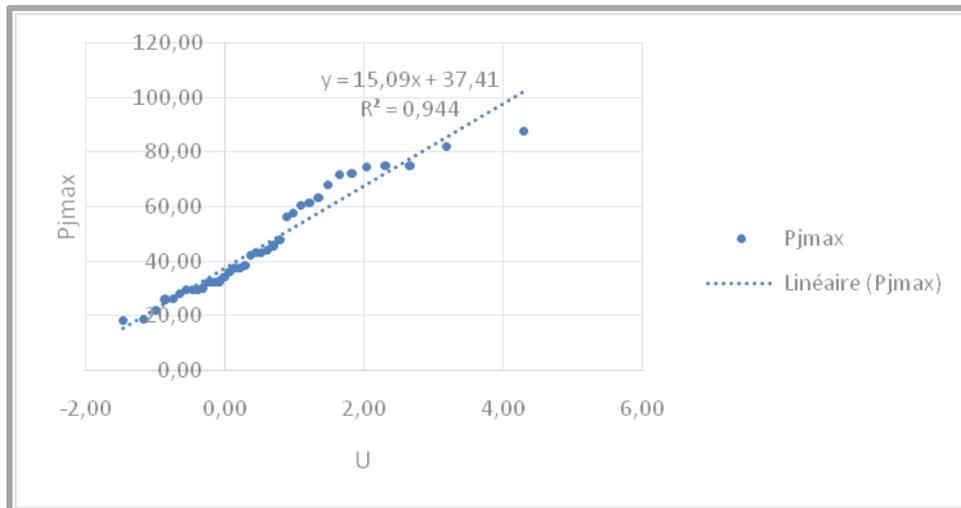
**Figure 92: Ajustement des pluies journalières maximales selon la loi de Gumbel**  
(Station de Yabous)



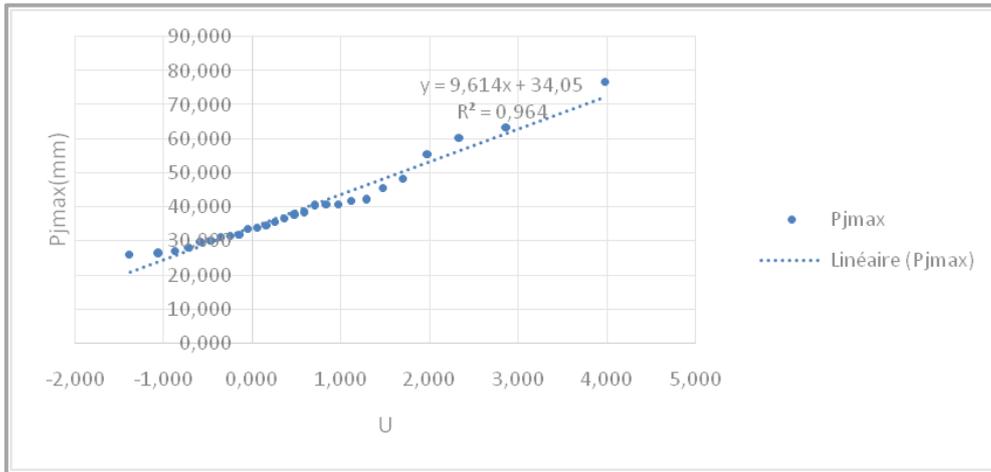
**Figure 93: Ajustement statistique des PJ max a une loi de Gumbel**  
(Station de Medina)



**Figure 94: Ajustement statistique des PJ max a une loi de Gumbel**  
(Station de Chemora)

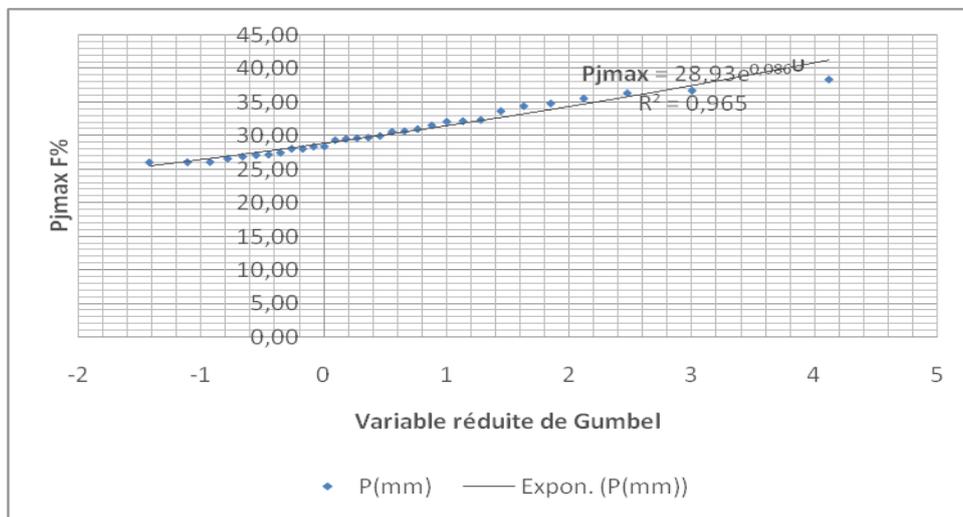


**Figure 95: Ajustement statistique des PJ max par la loi de Gumbel**  
(Station de Bouhmama)



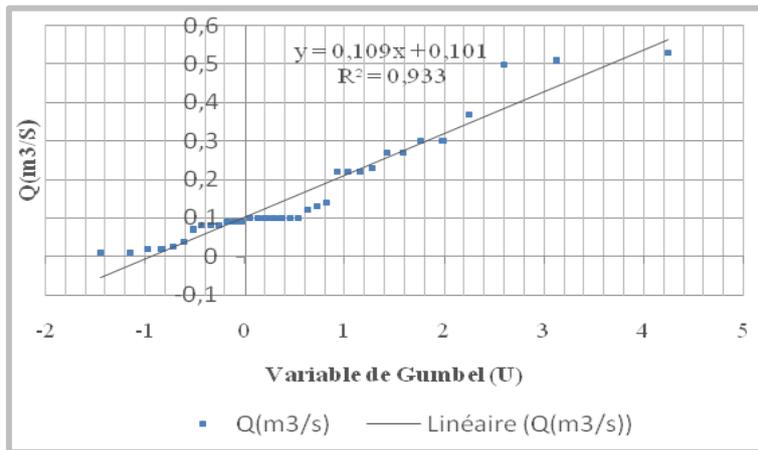
**Figure 96 : Ajustement statistique des PJ max par la loi de Gumbel**

(Station de Babar)

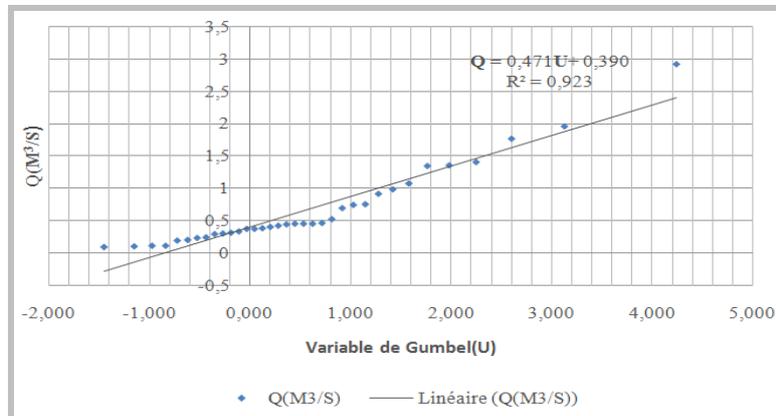


**Figure 97:Pluies journalières maximales fréquentielles**

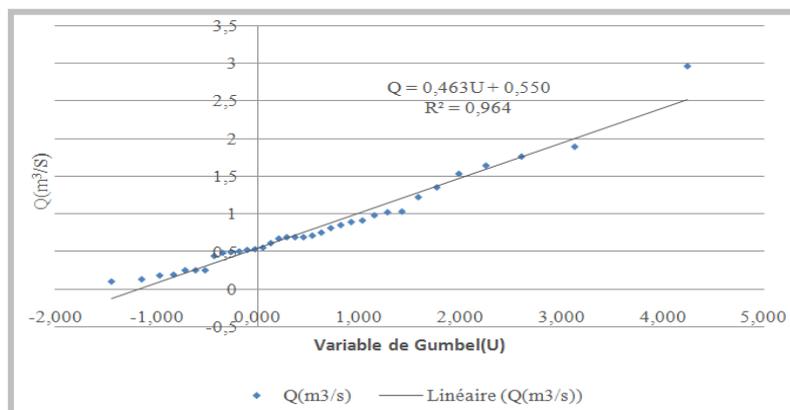
(Station Ain Touta.)



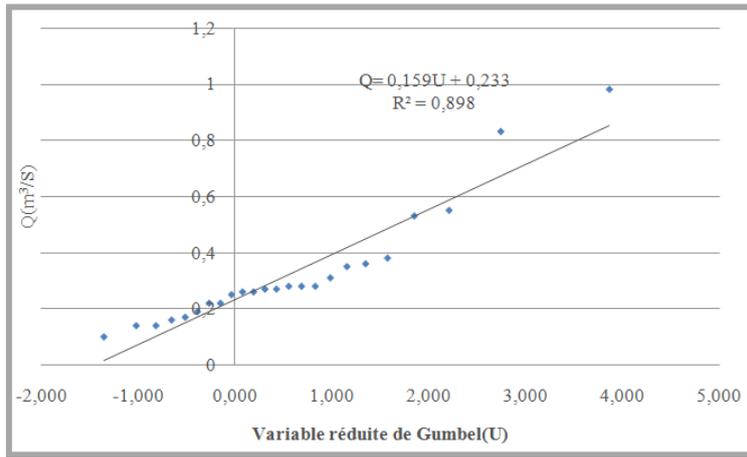
**Figure 98: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel**  
(Station de Yabous)



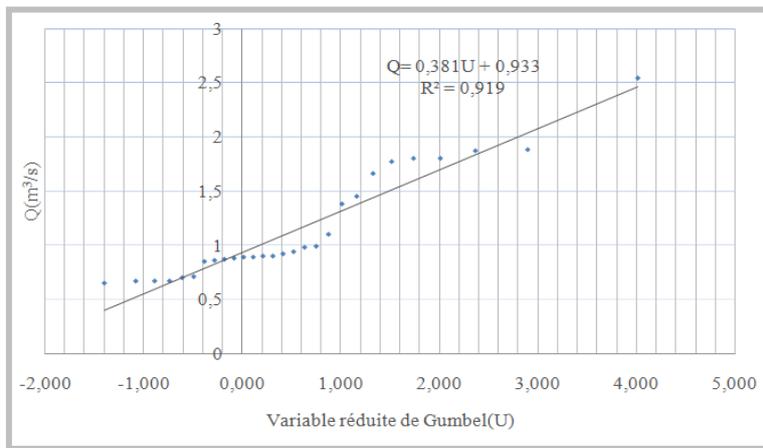
**Figure 99: Ajustement des débits Annuels a une loi de Gumbel**  
(Station de Chemora)



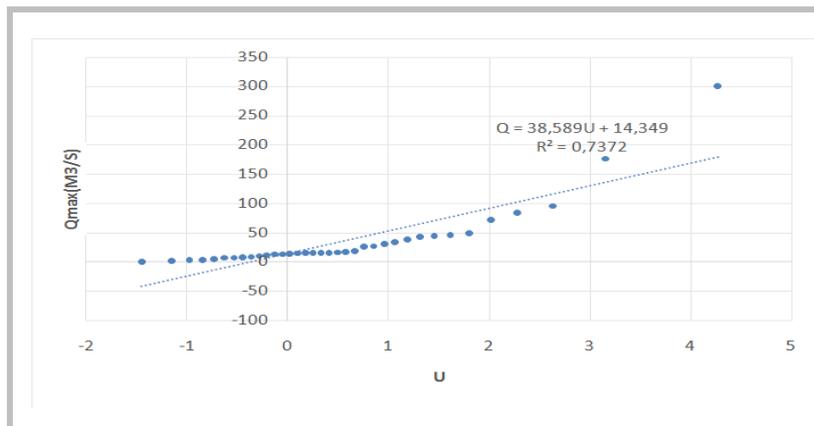
**Figure 100: Ajustement des débits a une loi de Gumbel**  
(Station d'El Kantara)



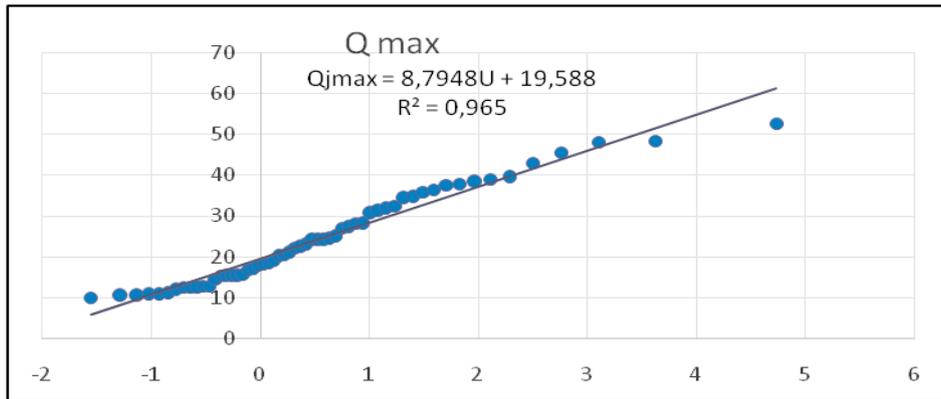
**Figure 101: Ajustement des débits a une loi de Gumbel (Station M'Chouneche)**



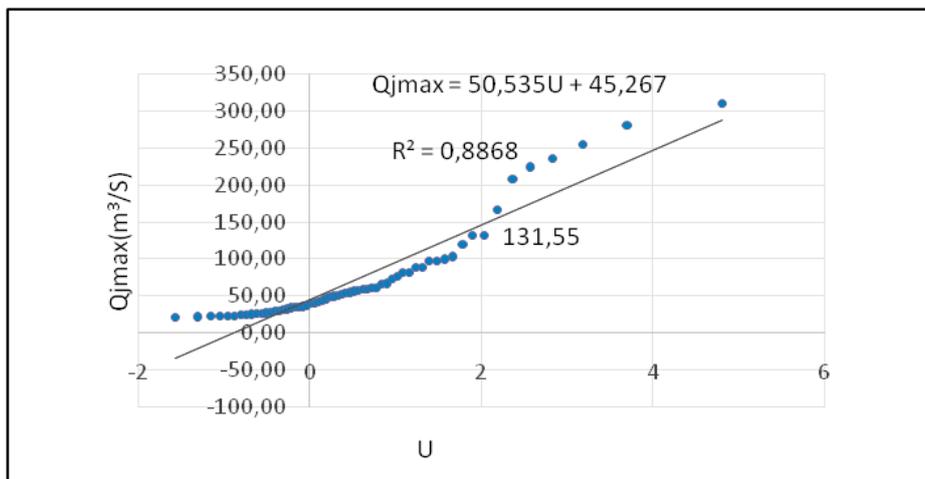
**Figure 102: Ajustement des débits annuels a une loi de Gumbel (Station de Sidi Nadji)**



**Figure 103: Ajustement des débits max a une loi de Gumbel (Station de Chemora)**



**Figure 104 : Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel  
(Station de Timgade).**



**Figure 105 : Ajustement des Qjmax a une loi de Gumbel  
(Station de Reboa).**

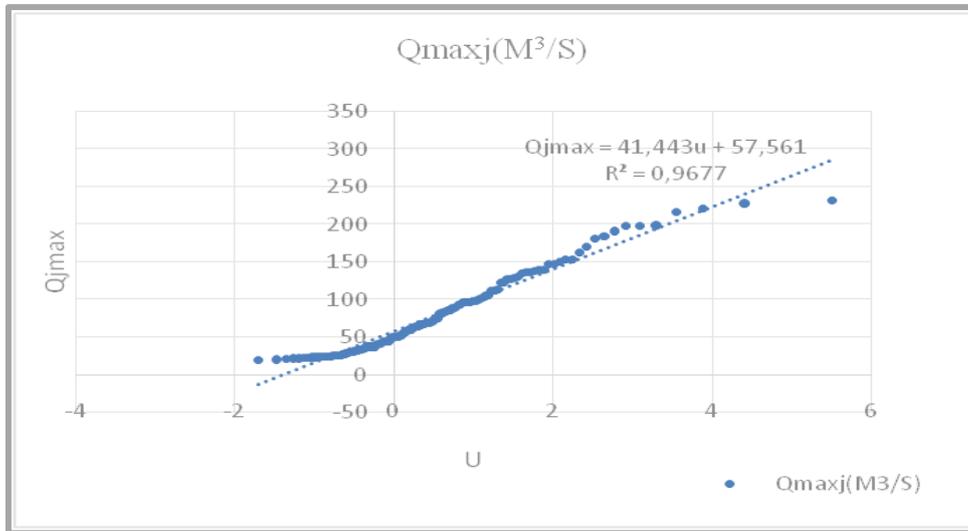


Figure 106: Ajustement des  $Q_{jmax}$  a une loi de Gumbel Station de Reboa.

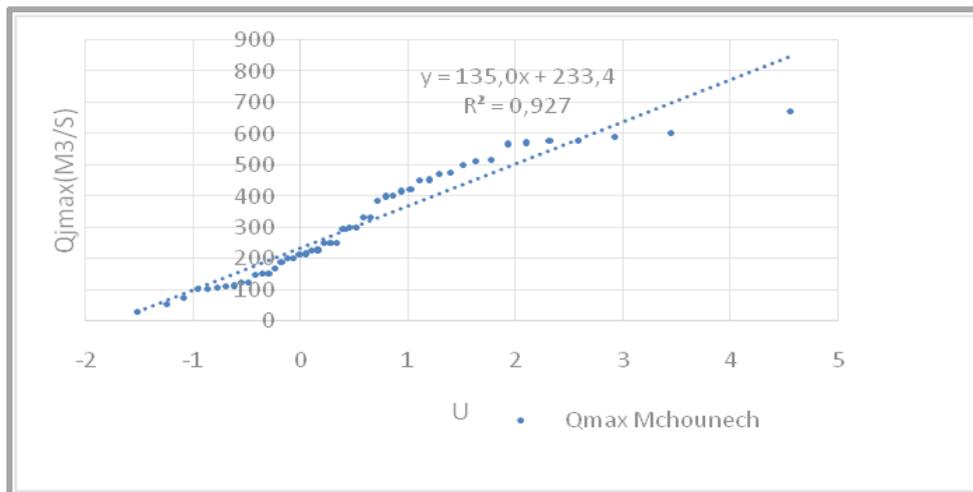
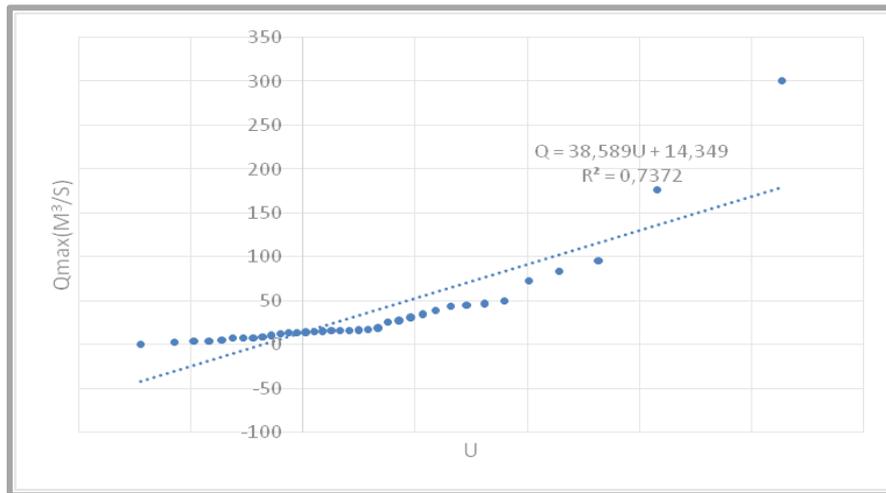
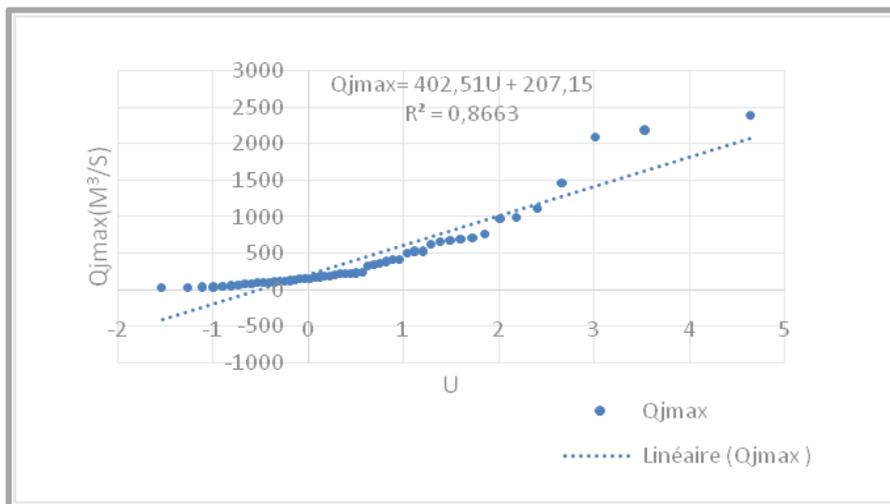


Figure 107: Ajustement des  $Q_{jmax}$  a une loi de Gumbel (Station M'Chouneche)



**Figure 108: Débits journalières maximums fréquentiels (station yabous).**



**Figure 109 : Ajustement des Débits maximums selon la loi de Gumbel (Station EL Kantara)**

## Résumé

Notre étude s'articule autour de trois grands thèmes de recherche portant sur la morpho dynamique fluviale, le transport solide, et la gestion des risques associés dans quelques vallées de l'Aurès. Nous avons essayé de modéliser les interactions entre les différents facteurs hydrologiques pour arriver à mieux exprimer la dynamique fluviale.

L'exploitation des valeurs instantanées des débits liquides et débits solides en suspension dans certaines vallées a été élaborée à différentes échelles, durant une période d'observation suffisante en vue de l'estimation des transports solides spécifiques, par ailleurs l'érosion par ravinement a touchée essentiellement oued El Arab, et oued El Hai de manière spectaculaire alors que, les vallées du versant méridional qui sont dotées de couverture végétale dense telle que la vallée de Yabous est moins affectée par ce type d'érosion. L'estimation du taux de sédimentation des barrages et de leur durée de vie nous a permis de connaître l'état actuel et futur de l'envasement pour certains barrages.

Des inondations fréquentes et importantes se produisent dans la zone d'étude, comme les inondations des 3 et 4 mai 2006, qui ont causées d'importantes pertes matérielles, ce qui demande une connaissance approfondie aux inondations avant l'exécution des outils de décision (Plans de prévention et d'intervention). Au final on peut dire que la dynamique fluviale est contrôlée par plusieurs facteurs Climatiques géomorphologiques et hydrologiques.

**Mots clés :** Aurès, Dynamique fluviale, Erosion, envasement, inondation, Gestion des risques.

## ملخص

تدور دراستنا حول ثلاثة مواضيع بحثية رئيسية تتعلق بالديناميكية المورفولوجية النهرية ، والنقل الصلب وإدارة المخاطر المرتبطة ببعض وديان الأوراس . لقد حاولنا نمذجة العلاقات بين العوامل الهيدرولوجية المختلفة من أجل التعبير بشكل أفضل عن ديناميكية الواد.

تم استغلال القيم الأنية للصبوبات السائلة و الصبوبات الصلبة العالقة في بعض الأودية على نطاق موسمي وبيسنوي، خلال فترة مراقبة كافية لتقدير الحمولة الصلبة النوعية ؛ لوحظ تباين قوي للحمولة الصلبة مع قدرة تآكل تختلف من حوض لآخر. تأثر وادي العرب ووادي الحي بشكل مذهل بالتعرية الخطية ، ان أودية السطح الشمالي التي تتمتع بغطاء نباتي كثيف مثل وادي بيوس أقل تأثراً بهذا النوع من الانجراف . سمح لنا تقدير معدل الترسيب للسودود وعمرها بمعرفة الحالة الحالية والمستقبلية لتراكم الطمي لبعض السودود.

تحدث فيضانات متكررة وكبيرة في منطقة الدراسة مثل فيضانات 3 و 4 مايو 2006 والتي تسببت في خسائر مادية كبيرة مما يتطلب معرفة معمقة بالفيضانات قبل تنفيذ أدوات اتخاذ القرار ( خطط الوقاية والتدخل). في النهاية ، يمكننا القول أن ديناميكية الأودية تتحكم فيها عدة عوامل : مناخية ، جيومورفولوجية وهيدرولوجية .

**الكلمات المفتاحية :** الأوراس، حركية الأودية، التعرية، التوحد، الفيضان، تسيير الأخطار.

## Summary

Our study revolves around three major research themes relating to fluvial morphodynamics, solid transport, and the management of associated risks in a few valleys of the Aurès.

We have tried to model the interactions between the different hydrological factors in order to better express the river dynamics , otherwise the use of instantaneous values of liquid flows and suspended solid flows in certain valleys has been developed on a seasonal and interannual scale, during a period of observation sufficient for the estimation of specific solid transports. Erosion by gullyng mainly affected Wadi El Arab, and Wadi El Hai in a spectacular way, however, the valleys of the southern slope which are endowed with dense vegetal cover such as the valley of Yabous are less affected by this type of erosion. It should be noted that the estimation of the sedimentation rate of the dams and their lifespan allowed us to know the current and future state of the siltation. Frequent and significant floods occur in the study area, such as the floods of May 3 and 4, 2006, which caused significant material losses, which requires in-depth knowledge of flooding before executing the decision tools ( Prevention and intervention plans). In the end, we can say that river dynamics are controlled by several climatic, geomorphological and hydrological factors.

**Keywords :** Aurès, Fluvial dynamics, Erosion, siltation, flooding, Risk management.