



## MEMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Hydraulique*

**Option : OUVRAGES HYDROTECHNIQUES**

**THEME :**

**ETUDE D'AMENAGEMENT D'OUED BELIMOUR  
COMMUNE BELIMOUR**

**Présenté par :**

**LEBACHICHE OUSSAMA**

**Devant les membres du jury**

**Nom et Prénoms**

**Grade**

**Qualité**

**B. BENLAOUKLI**

**M.C.A**

**Président**

**I.ZAIBAK**

**M.A.A**

**Examineur**

**M.BENSALEH**

**M.A.B**

**Examineur**

**D.DJODAR**

**M.C.A**

**Promotrice**

**Session Octobre 2020**

# œ Dédicace œ

*Du fond du cœur, je dédie cette thèse en signe  
d'amour, de respect et de reconnaissance :*

## ***A mes chers parents :***

*Lakhdar et halima Pour leur soutien,  
patience et leurs sacrifices durant mes  
études et durant ce projet. Je vous dois ce  
que je suis aujourd'hui et ce que je serai  
demain et je ferais toujours de mon mieux  
pour rester votre fierté et ne jamais vous  
décevoir que dieu le tout puissant, vous  
préserve, vous accorde santé, bonheur et  
vous protège de tout mal.*

## ***A mes chers frères et sœurs :***

*Imene ,Ibtissem,ahmed,ayoub,anesse,mariya, jawad et yasser*

## ***A ma grande famille :***

*Lebachiche et bouchouchane pour leur soutien.*

## ***A ma femme :***

*Feryel pour leur soutien.*

## ***A mes amis de toujours :***

*Messoud,hichem,mami,islam ,housem ,  
fouad,ayoub,yanis,toumi,hassom,,hocine graychi,said abdellah  
amayass ,riyadh,youness,khaled,liyass,moumen ,krimou,idir,lbech,brayka,nadhi  
r,terbch,3abassi,hamdani,kamal,.*

# Remerciement

*Au terme de cette étude, fruit de mes années de labeur, je tiens à remercier en premier lieu dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, les moyens et les personnes qui m'ont aidé à l'élaboration de ce modeste travail.*

*Je tiens à présenter ma reconnaissance et mes remerciements à Mmm. **Djoudar Dahbia** , pour le temps consacré à la lecture, les conseils et l'orientation qui ont rythmé les différentes étapes de mon mémoire. Je le remercie aussi pour sa sympathie et sa disponibilité à encadrer ce travail à travers ses critiques et ses propositions.*

*Je tiens à remercier du fond du cœur aussi : L'ensemble du personnel et enseignants de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique (ENSH), qui ont veillé à ma formation.*

*Je remercie toutes les personnes du département de l'hydraulique urbaine , qui m'ont aidé durant cette année d'étude.*

*J'adresse également mes sincères remerciements et mon profond respect aux membres de jury, qui m'on fera l'honneur d'apprécier mon travail.*

## ملخص

يعتبر واد بليمور الذي يمر عبر مدينة بليمور بولاية برج بوعريريج، مصدرا للفيضانات الناجمة عن الأمطار التي تعرفها المنطقة سنويا. وعليه تطلب وضع دراسة فعالة للوادي للحد من خطر الفيضانات وحماية المدينة. وفي هذا الإطار تضمنت الدراسة المحاور التالية: وصف مفصل للمنطقة من أجل تحديد مصدر التدفق وانتقاله الى المنفذ، القيام بالنمذجة الهيدروليكية، وفي الأخير تم مناقشة الحلول المختلفة واختيار الحل الأنسب من الناحية التقنية والاقتصادية.

**الكلمات المفتاحية:** فيضان، هطول، تدفق، النمذجة الهيدروليكية، حماية، واد بليمور

## Résumé

Chaque année les précipitations dans la commune de BELIMOUR wilaya de BORDJ BOU ARRERIDJ causes des débordements au niveau d'oued belimour. Ce phénomène engendre des dégâts humains et matériels, il devient nécessaire de proposer un système d'aménagement efficace du cours d'eau. Notre étude vise à estimer le niveau d'eau des inondations de la rivière, ainsi que la modélisation du cours d'eau naturel par logiciels HEC-RAS. Afin de choisir la meilleure solution technico-économique.

**Mots clés :** Inondation, Précipitation, Protection, Crue, Modélisation, oued belimour

## Abstract

Each year the heavy rainfall in the region of wilaya bordj bou arreridj causes overflows at Oued belimour. It becomes a necessity to sort out an effective management of the watercourse as for this phenomenon is the reason for a massive human and material damage. The objective of our study is to estimate the water level of the river's flooding, as well as modeling the natural watercourses and make a map for the flood zones by HEC-RAS software. To come up with a best technico-economic solution.

**Keywords:** Flood, Precipitation, Protection, Flood, Modeling, Oued belimour

## Sommaire

### Chapitre I : Généralité sur les inondations

<b>Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>I-Définitions</b> .....	<b>3</b>
I-1 Inondation .....	<b>3</b>
I-2 Les zones inondables.....	<b>3</b>
<b>II-Type d'inondations</b> .....	<b>4</b>
1. Les inondations par crues torrentielles.....	4
2. Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) .....	5
3. Les inondations par accumulation d'eau ruisselée.....	6
4. Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique .....	7
5. Les inondations par submersion marine .....	7
<b>III- La Crue</b> .....	<b>7</b>
1. Crues lentes .....	7
2. Crues rapides ou brutales ou éclair .....	7
<b>IV- Facteurs déclenchant une inondation</b> .....	<b>8</b>
<b>V- Les causes et origines des inondations</b> .....	<b>9</b>
1. Facteurs naturels .....	9
2. L'impact des activités de l'homme .....	9
<b>VI -Conséquences engendrées par les inondations</b> .....	<b>10</b>
<b>VII -Cours d'eau</b> .....	<b>11</b>
<b>VIII- Les inondations en Algérie</b> .....	<b>14</b>
<b>VIII-Historique des inondations catastrophiques en Algérie (1990 - 2020)</b> .....	<b>15</b>
<b>IX- Les inondations dans le monde</b> .....	<b>20</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>24</b>

### CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

<b>Introduction</b> .....	<b>25</b>
I-Présentation de la zone d'étude .....	<b>25</b>

I-1 Localisation géographique .....	25
I-2 Aperçu sur le relief de la zone d'étude: .....	27
I-3 Synthèse géologique .....	28
I-4 ETUDE CLIMATIQUE .....	29
I-5 Sismicité de la région d'étude .....	35
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>

### **Chapitre III : Etude Hydrologique**

<b>Introduction .....</b>	<b>38</b>
<b>I- Caractéristiques principales du bassin versant .....</b>	<b>38</b>
I-1 Bassin versant .....	38
I-2 Caractéristiques géographiques du bassin versant .....	39
<b>II Caractéristiques morphologiques du bassin versant (Touaïbia, 2004) .....</b>	<b>39</b>
1. Surface du bassin versant .....	39
2. Périmètre du bassin versant .....	39
3. La forme .....	39
4. Application numérique .....	41
5. Le relief .....	41
6. Les courbes hypsométriques .....	41
7. Les pentes du bassin versant .....	45
8. Dénivelée spécifique .....	47
<b>III Les caractéristiques des écoulements dans les bassins versants .....</b>	<b>48</b>
1. Réseau hydrographique .....	48
2. La densité de drainage .....	49
3. La densité hydrographique .....	50
4. Le coefficient de torrencialité « Ct » .....	50
5. Longueur moyenne des versants .....	51
6. Temps de concentration .....	51
7. Vitesse moyenne de ruissellement .....	53
<b>IV Etude des précipitations .....</b>	<b>55</b>
1. Calcul des paramètres statistiques de la série ; .....	55
2. Pluie maximale journalière .....	56
3. Les caractéristiques de la série pluviométrique .....	57
4. Ajustement de la série des pluies annuelles et maximales journalières .....	58
<b>V Pluies de courtes durées et leur intensité de différentes fréquences .....</b>	<b>62</b>

<b>VI Etude des apports (Laborde, 2003)</b> .....	<b>66</b>
1. Apports moyens interannuels .....	66
<b>VII ETUDE DES APPORTS SOLIDES</b> .....	<b>69</b>
1. Estimation de l'apport solide .....	69
2. Résultats et discussion : .....	71
<b>VIII ETUDE DES CRUES</b> .....	<b>72</b>
1. Détermination des débits maximums fréquents .....	72
2. Hydrogramme de crue .....	74
<b>IX Choix de la crue du projet</b> .....	<b>77</b>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>78</b>

## **Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique**

<b>Introduction</b> .....	<b>80</b>
<b>I- Généralités (Graf et al, 1993)</b> .....	<b>80</b>
1. Ecoulement à surface libre .....	80
2. Canaux à ciel ouvert.....	80
3. Différents types de Canaux .....	80
4. Les canaux naturels.....	80
5. Section mouillée $S_m$ .....	81
6. Périmètre mouillé $P_m$ .....	81
7. Largeur au miroir B .....	81
8. Tirant d'eau .....	81
9. Rayon hydraulique .....	81
10. Largeur au radier .....	81
11. Pente d'un canal .....	81
12. Canal prismatique.....	81
13. Les canaux artificiels .....	81
<b>II- Types d'écoulement</b> .....	<b>82</b>

II-1 Variabilité dans le temps .....	82
II-1-1 Ecoulement permanent .....	82
II-1-2 Ecoulement non permanent .....	83
II-2 Variabilité dans l'espace.....	83
II-2-1 Ecoulement uniforme .....	83
II-2-2 Ecoulement non uniforme.....	84
<b>III- Régime d'écoulement.....</b>	<b>84</b>
<b>IV- Calcul de la ligne d'eau.....</b>	<b>86</b>
1- Equation de la ligne d'eau.....	86
2- Les différentes formes de courbe de remous .....	87
<b>V- Calcul du ressaut .....</b>	<b>90</b>
<b>VI- Modélisation de l'écoulement .....</b>	<b>92</b>
<b>VII- Présentation du logiciel HEC-RAS .....</b>	<b>92</b>
<b>VIII- Données nécessaires pour l'application du code de calcul HEC-RAS .....</b>	<b>93</b>
<b>IX- Estimation de la rugosité n de Manning.....</b>	<b>94</b>
<b>X- Les données de l'écoulement et les conditions aux limites .....</b>	<b>95</b>
1- Données d'écoulement .....	95
2- Condition aux limites .....	95
<b>XI- Calcul avant l'aménagement de l'oued.....</b>	<b>96</b>
<b>XII- Résultats de la simulation.....</b>	<b>96</b>
<b>XIII- Interprétation .....</b>	<b>98</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>99</b>

## Chapitre V : Etudes des variants d'aménagement

<b>Introduction.....</b>	<b>101</b>
<b>I- Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude .....</b>	<b>101</b>
1- Reprofilage .....	101
2- Curage.....	101
3- Protection des berges.....	102

4-	Réalisation de canaux.....	102
5-	Création des canaux périphériques.....	102
<b>II-</b>	<b>Les différents types d'aménagements .....</b>	<b>102</b>
<b>III-</b>	<b>Les formules de dimensionnement des canaux .....</b>	<b>102</b>
<b>IV-</b>	<b>Choix des paramètres de dimensionnement.....</b>	<b>103</b>
1.	La pente du projet .....	103
2.	Le coefficient de rugosité.....	103
3.	Marge de sécurité dans les canaux (Revanche) .....	104
4.	Vitesse d'érosion.....	104
<b>V-</b>	<b>Etude des variantes .....</b>	<b>105</b>
<b>VI-</b>	<b>Canal en béton armé.....</b>	<b>105</b>
1-	Dimensionnement .....	105
2-	Les paramètres d'écoulement .....	106
3-	Estimation du coût de la variante.....	107
<b>VII-</b>	<b>Canal en gabion.....</b>	<b>107</b>
1-	Dimensionnement .....	108
2-	Les paramètres d'écoulement .....	108
3-	Estimation du coût de la variante.....	109
<b>VIII-</b>	<b>Choix de la variante d'aménagement .....</b>	<b>110</b>
1-	Critères d'évaluation.....	110
2-	La variante choisie .....	110
	Conclusion .....	113

## **Chapitre VI : Organisation de chantier**

<b>Introduction.....</b>	<b>115</b>
<b>I- Rôles des intervenants sur le chantier .....</b>	<b>115</b>
I-1 Le maître de l'ouvrage.....	115
I-2 Le maître d'œuvre .....	115

I-3	L'entreprise .....	116
I-4	L'entrepreneur .....	116
<b>II-</b>	<b>Travaux préparatoires et installation de l'entreprise.....</b>	<b>116</b>
1-	Installations destinées au personnel .....	116
2-	Installations destinées au stockage des matériaux .....	116
3-	Installations destinées à la réparation des engins .....	116
4-	Installation destinée pour la préfabrication .....	117
<b>III-</b>	<b>Succession des opérations du chantier .....</b>	<b>117</b>
<b>IV-</b>	<b>Exécution de l'ouvrage.....</b>	<b>117</b>
<b>V-</b>	<b>Les moyens de chantier.....</b>	<b>118</b>
1-	Les moyens humains.....	118
2-	Les moyens matériels.....	118
<b>VI-</b>	<b>Devis quantitatif et estimatif du projet .....</b>	<b>122</b>
<b>VII-</b>	<b>Évaluation des risques .....</b>	<b>122</b>
<b>VIII-</b>	<b>Protection collective .....</b>	<b>123</b>
1-	Ergonomie de l'engin.....	123
2-	Sécurité du chantier.....	123
<b>IX-</b>	<b>Protection individuelle .....</b>	<b>123</b>
<b>X-</b>	<b>Planification (BENLAOUKLI ,2004) .....</b>	<b>125</b>
1-	Méthodes basées sur le réseau .....	125
2-	Méthodes basées sur le graphique .....	127
<b>XI-</b>	<b>Les étapes de la planification .....</b>	<b>127</b>
<b>XII-</b>	<b>les paramètres de la méthode C.P.M.....</b>	<b>127</b>
<b>XIII-</b>	<b>Chemin critique (C.C) .....</b>	<b>128</b>
<b>XIV-</b>	<b>Diagramme de Gantt .....</b>	<b>129</b>
<b>XV-</b>	<b>Elaboration du réseau selon la méthode CPM.....</b>	<b>129</b>
	<b>Conclusion .....</b>	<b>133</b>

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre I : Généralité sur les inondations

<b>Tableau I-1</b> : Les caractéristiques des crues observées sur plusieurs oueds du centre du pays. .....	15
<b>Tableau I-2</b> : Débit max de crue de stations hydrométriques, ANRH 2004. ....	16

### CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

<b>Tableau II-1</b> : Les coordonnées UTM à l'exutoire .....	26
<b>Tableau II-2</b> : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle (ANRH) .....	30
<b>Tableau II-3</b> : Répartition mensuelle de la température (1980-1995). ....	31
<b>Tableau II-4</b> : Répartition mensuelle de la vitesse des vents (1981-1984). ....	32
<b>Tableau II-5</b> : Répartition mensuelle de l'évaporation (1963/64-1992/93). ....	33
<b>Tableau II-6</b> : Répartition mensuelle de l'humidité relative (1990-2002) .....	34
<b>Tableau II-7</b> : Coefficients d'accélération du séisme. ....	36

### Chapitre III : Etude Hydrologique

<b>Tableau III-1</b> : Caractéristiques morphologiques du bassin versant : .....	41
<b>Tableau III-2</b> : Caractéristiques morphologiques du bassin versant : .....	41
<b>Tableau III-3</b> : Coordonnées de la courbe hypsométrique BASSIN VERSANT .....	43
<b>Tableau III-4</b> : Les résultats de calcul d'altitude du bassin versant. ....	45
<b>Tableau III-5</b> : Les résultats de calcul de l'Indice de pente globale « $I_g$ » .....	46
<b>Tableau III-6</b> : Les résultats de calcul de l'Indice de pente moyenne « $I_{pm}$ » .....	46
<b>Tableau III-7</b> : Les résultats de calcul de l'Indice de pente ROCHE $I_p$ .....	47
<b>Tableau III-8</b> : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief .....	47
<b>Tableau III-9</b> : Dénivelée spécifique et type de relief .....	47
<b>Tableau III-10</b> : La densité de drainage pour le bassin versant .....	50
<b>Tableau III-11</b> : résultats du calcul de densité hydrographique .....	50
<b>Tableau III-12</b> : Le coefficient de torrentialité $C_t$ .....	51
<b>Tableau III-13</b> : Longueur moyenne des versants .....	51
<b>Tableau III-14</b> : Récapitulatif du temps de concentration. ....	53
<b>Tableau III-15</b> : Récapitulatif les caractéristiques du bassin versant. ....	54

<b>Tableau III-16</b> : Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant .....	54
<b>Tableau III-17</b> : Coordonnées de la station pluviométrique de bordj ghedir .....	55
<b>Tableau III-18</b> : Paramètres statistiques des précipitations annuelles de l'échantillon. ....	55
<b>Tableau III-19</b> : Série des pluies maximales journalières de la station d'bordj ghedir .....	56
<b>Tableau III-20</b> : Les quantiles pour différentes périodes de retour (Gumbel) .....	59
<b>Tableau III-21</b> : Les quantiles pour différentes périodes de retour .....	60
<b>Tableau III-22</b> : test de Khi-deux d'adéquation .....	62
<b>Tableau III-23</b> : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour T. ....	64
<b>Tableau III-24</b> : Récapitulatif des résultats des apports et les lames d'eau écoulées .....	68
<b>Tableau III-25</b> : Récapitulatif des résultats de l'apport solide .....	71
<b>Tableau III-26</b> : Récapitulatif des pluies de courte durée pour différentes périodes de retour .....	73
<b>Tableau III-27</b> : Détermination des débits maximaux fréquentiels par les formules empiriques .....	74
<b>Tableau III-28</b> : Débits de crues pour différentes périodes de retour (m <sup>3</sup> /s) .....	75
<b>Tableau III-29</b> : Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue $\delta$ .....	76
<b>Tableau III-30</b> : Valeurs des débits de crues en fonction du temps. Temps de montée et de décrue, temps de base .....	76

#### **Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique**

<b>Tableau IV 1</b> : Différentes formes de courbes de remous.....	90
<b>Tableau IV 2</b> : Différents types de ressaut. ....	92

#### **Chapitre V : Etudes des variants d'aménagement**

<b>Tableau V 1</b> : Les valeurs du coefficient de rugosité (uclouvain.be). ....	104
<b>Tableau V 2</b> : Revanches utilisées (Freeboard) (degoutti, 2008) .....	104
<b>Tableau V 3</b> : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés .....	105
<b>Tableau V 4</b> : Dimensions de l'aménagement d'Oued belimour (canal en béton armé). ....	106
<b>Tableau V 5</b> : Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé .....	106
<b>Tableau V 6</b> : Devis de la variante (canal en béton armé). ....	107
<b>Tableau V 7</b> : Caractéristiques géométriques de la section gabionnée. ....	108
<b>Tableau V 8</b> : Dimensions de l'aménagement d'Oued BELIMOUR (canal en gabion). ....	108

<b>Tableau V 9:</b> Paramètres d'écoulement de la variante canal en gabion .....	109
<b>Tableau V 10 :</b> Devis de la variante (canal en gabion). .....	109
<b>Tableau V 11 :</b> critères de comparaison entre le béton armé et le gabion et leurs avantages et Les deux Inconvénients. ....	110

## **Chapitre VI : Organisation de chantier**

<b>Tableau VI 1 :</b> Engins utilisés .....	118
<b>Tableau VI. 2 :</b> Le devis des différents travaux de l'aménagement des oueds de la zone d'étude .....	122
<b>Tableau VI.3 :</b> Les moyens de protection individuelle .....	124
<b>Tableau VI.4 :</b> Les différentes tâches et leurs durées .....	130
<b>Tableau VI.5 :</b> Succession des taches .....	131

## **LISTE DES FIGURES**

### **Chapitre I : Généralité sur les inondations**

<b>Figure I-1 :</b> Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle .....	5
<b>Figure I-2 :</b> Débordement direct .....	6
<b>Figure I-3 :</b> Stagnation des eaux pluviales .....	6
<b>Figure I -4 :</b> Eléments descriptif d'une crue .....	8
<b>Figure I-5 :</b> Lit mineur d'un cours d'eau .....	11
<b>Figure I-6 :</b> Lit moyen d'un cours d'eau .....	12
<b>Figure I-7 :</b> Lit majeur d'un cours d'eau .....	12
<b>Figure I-8 :</b> Carte préliminaire des zones à risque d'inondation identifiées dans le cadre de l'élaboration de la stratégie nationale.....	14
<b>Figure I-9 :</b> courbe de nombre de mort par type de catastrophe. ....	20
<b>Figure I-10 :</b> courbe de nombre totale de personnes affectées par type de catastrophe.....	21
<b>Figure I-11 :</b> courbe de fréquence par type de catastrophe. ....	22
<b>Figure I-12 :</b> courbe de coût totale (en millier de dollars) par type de catastrophe. ....	23

### **CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude**

<b>Figure II-1 :</b> Localisation de l'oued sur image satellite google earth .....	26
<b>Figure II-2 :</b> Situation géographique de la zone d'étude.....	27
<b>Figure II- 3 :</b> Extrait de la carte géologique au niveau de la zone d'étude .....	29

<b>Figure II- 4 :</b> Extrait de la carte pluviométrique de l'ANRH au niveau de la zone d'étude	30
<b>Figure II-5 :</b> Répartition mensuelle de la pluviométrie	31
<b>Figure II-6 :</b> Répartition mensuelle de la température	32
<b>Figure II-7 :</b> Répartition mensuelle de l'évaporation	33
<b>Figure II-8 :</b> Répartition mensuelle de l'humidité relative	34
<b>Figure II-9:</b> Carte de zonage sismique de territoire nationale selon R.P.A 99	35

### **Chapitre III : Etude Hydrologique**

<b>Figure III-1 :</b> Délimitation du bassin versant d'oued belimour	38
<b>Figure III-2 :</b> carte hypsométrique du bassin versant d'oued belimour	42
<b>Figure III-3 :</b> courbe hypsométrique de bassin versant	43
<b>Figure III-4 :</b> courbe de niveau du bassin versant d'oued belimour	48
<b>Figure III-5 :</b> carte hydrographique de bassin versant d'oued belimour	49
<b>Figure III-6 :</b> Caractéristiques de série pluviométrique	57
<b>Figure III-7 :</b> Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.	59
<b>Figure III-8 :</b> Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.	61
<b>Figure III-9 :</b> Pluies de Courtes durées	65
<b>Figure III-10 :</b> Intensité –Durée –Fréquence	65
<b>Figure III-11 :</b> Extrait de la carte des écoulements moyens annuels de l'ANRH	69
<b>Figure III-12 :</b> Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour	77

### **Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique**

<b>Figure IV 1 :</b> caractéristiques d'un lit d'oued.	80
<b>Figure IV. 2</b> Canaux artificiels à ciel ouvert	82
<b>Figure IV. 3</b> Schéma d'un écoulement permanent	83
<b>Figure IV. 4</b> Schéma d'un écoulement non permanent	83
<b>Figure IV 5 :</b> Passage du régime fluvial au régime torrentiel	86
<b>Figure IV 6 :</b> Différentes formes de courbes de remous.	89
<b>Figure IV 7 :</b> schéma d'un ressaut hydraulique.	91

<b>Figure IV 8 :</b> Typologie des ressauts. ....	91
<b>Figure IV 9 :</b> l'interface de logiciel HEC-RAS .....	93
<b>Figure IV 10 :</b> Définition du tracé de l'oued et des sections .....	93
<b>Figure IV 11 :</b> Définition de la crue et des conditions aux limites .....	95
<b>Figure IV 12 :</b> Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK 25) .....	96
<b>Figure IV 13 :</b> Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK 300) .....	97
<b>Figure IV 14 :</b> Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK 1525) .....	97
<b>Figure IV 15 :</b> Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK150).....	98

### **Chapitre V : Etudes des variants d'aménagement**

<b>Figure V 1 :</b> Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses .....	103
<b>Figure V 2 :</b> Coupe en travers d'un canal en gabion .....	107

### **Chapitre VI : Organisation de chantier**

<b>Figure VI 1 :</b> les types des casques de chantier .....	124
<b>Figures VI.2 :</b> Réseau de planification des tâches par la méthode CPM. ....	132
<b>Figures VI.3 :</b> Réseau de planification des tâches par la méthode CPM. ....	132

## **Liste des planches**

**Planche N°01:** PLANS TOPOGRAPHIQUE DE L'OUDE BELIMOUR (W.DOURDJ BOU ARRERIDJ)

**Planche N°02:** PLAN D'AMENAGEMENT .

**Planche N°03:** PLAN D'IMPLANTATION.

**Planche N°04:** PROFIL EN TRAVERS OUED BELIMOUR.

**Planche N°05:** PROFIL EN LONG.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**ONM** : Office national météorologique ;

**ANRH** : Agence national des ressources hydriques ;

**SCS-CN** : Soil Conservation Service- Curve Number;

**HEC-RAS** : Hydrologic Engineering Center's River Analysis System;

**DRE** : direction des ressources en eau.

**PK** : Point kilométrique.

**RN** : Route national.

**MNT** : Modèle numérique de terrain.

**LTP** : Laboratoire de travaux publique.

**Water surface** : la surface de l'eau

**Energie grade line** : la ligne de l'énergie

# Introduction générale

Sur le territoire Algérien les inondations sont considérées comme un risque dominant. Elles se manifestent souvent suite aux débordements des cours d'eau habituellement à sec (les oueds) dans les plaines agricoles. Cependant, au cours des dernières décennies, elles apparaissent de plus en plus fréquemment en zones urbaines, causant des pertes humaines et matérielles. En effet, le non maîtrise de l'urbanisation des zones inondables, là où se sont développées des habitations ou des activités et la construction accrue de grands équipements et de structures routières et autoroutières, favorisent l'expansion des crues. D'ailleurs, les statistiques de la protection civile montrent qu'un tiers des communes sont susceptibles d'être inondées.

En raison de pressions économiques, sociales, foncières, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des populations et des biens.

Les inondations sont classées au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, elles entraînent la mort d'environ 500 000 personnes dans le monde par an (BACHI,2011), la destruction des villes et des villages, la propagation des maladies dangereuses et le gel de toute activité contribuant au développement des différents secteurs économiques et sociaux.

Dans ce mémoire, on a suivi une méthodologie de travail qui se subdivise en plusieurs parties, la première étape donne une présentation détaillée de la zone d'étude, puis on entamera une étude hydrologique qui sert à prévoir les débits des crues d'Oued belimour correspondants aux différentes périodes de retours. Cette étude est basée sur une analyse statistique fréquentielle des données pluviométriques disponibles. Ensuite, en deuxième étape, on a fait une étude hydraulique qui consiste à avoir les hauteurs des tirants, d'eaux correspondantes aux débits prévus précédemment. Pour cela, les résultats issus de l'étude hydrologique ont été réunis avec la géométrie, la pente et la rugosité d'Oued belimour pour être utilisés comme données d'entrée dans le modèle hydraulique HEC-RAS afin d'avoir en sortie les lames d'eaux correspondantes et par suite présenter les résultats de la modélisation hydraulique en associant les fonctionnalités des deux logiciels Autodesk Civil 3D et HEC-RAS. Dès lors, on saura proposer des solutions sous forme de différentes variantes dont on choisira la mieux adaptée. Enfin, on fera une étude d'organisation de chantier visant à gérer le bon déroulement du projet afin d'avoir une idée sur le coût et le délai de réalisation de l'aménagement.

# **Chapitre I :**

## **Généralité sur les inondations**

### **Introduction :**

Evénement récurrents partout dans le monde, les inondations constituent le risque naturel majeur le plus répandu sur le globe. Tantôt bénéfique, tantôt dévastatrices, elles font partie du cycle saisonnier. Ainsi, pour conquérir plus le territoire, l'homme a depuis longtemps composé avec la nature, soit en vivant simplement à ses côtés, soit en tentant de la domestiquer. Au cours des derniers siècles, les progrès techniques et scientifiques ont permis de mettre au point des dispositifs d'utilisation et de protection contre la puissance des eaux, autorisant une colonisation du milieu encore plus efficace et effective. Les sciences ont donné les moyens d'exercer une maîtrise extrêmement forte sur la nature.

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs et aggravée par d'autres dont l'activité de l'homme qui fait souvent parti de l'un de ces facteurs. Les dégâts engendrés par cette catastrophe, qu'ils soient humains ou matériels sont généralement de statistiques lourdes. (Hafiane et Benzaid 2019)

### **I-Définitions**

#### **I-1 Inondation :**

Débordement d'eau qui submerge les terrains environnants. Elle peut être bénéfique quand elle est lente : apport de limons fertilisants. Elle peut être désastreuse quand elle est violente : ravine le sol et dépôt de matériaux grossiers et stériles. Si l'inondation concerne des zones habitées, il se transforme rapidement en risque et entraîne des conséquences plus ou moins graves sur les populations, leurs biens et l'environnement. ([https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/inondation.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/inondation.php4))

#### **I-2 Les zones inondables :**

Une zone inondable est une **zone sujette à la submersion**. Cette submersion peut avoir déjà eu lieu, ou être possible. Les inondations peuvent être naturelles ou être la conséquence des activités humaines. Les zones inondables sont recensées et classées sous 2 appellations :

- Les **zones classées en PPRI** (Plans de Prévention des Risques Inondations),

## CHAPITRE I GENERALITE SUR LES INONDATION

- Les **zones mentionnées dans l'AZI** (Atlas des Zones Inondables).
- Les zones sont classées inondables selon que l'origine de l'inondation soit :
- La remontée de nappe,
- Le débordement de rivières ou fleuves,
- Les inondations torrentielles dues aux orages, aux épisodes Cévenols,
- La rupture de digue,
- Les submersions littorales par tempêtes, tsunamis.

<https://www.innoclair.fr/>

### II-Type d'inondations :

Même si d'autres causes sont possibles (rupture de barrage, raz de marée, etc...), les Inondations résultent généralement des crues.

Selon la rapidité d'évolution du phénomène, on distingue souvent les crues fluviales et les crues torrentielles (ou crues rapides), même si le passage d'un type de crue à l'autre est continu.

Cependant il existe au moins cinq types d'inondations.

#### 1. Les inondations par crues torrentielles :

Les **crues torrentielles** sont des phénomènes brusques et violents issues d'épisodes pluvieux d'une importante intensité. Le ruissellement de ces eaux charrie une grande quantité de matériaux solides (sédiments, bois morts, etc.) qui font, en quelque sections, colmater le lit du cours d'eau et former des obstacles appelés **embâcles**. En cédant, ces embâcles libèrent brutalement l'eau qu'ils ont retenue. En conséquence à cela des dégâts très importants sont engendrés.

On parle de **crues torrentielles**, lorsque le **temps de concentration** d'un bassin est inférieur à 12h.

Elles touchent, généralement, les bassins de montagnes et les régions méditerranéennes mais aussi de petits bassins au relief accentué et à forte capacité de ruissellement peuvent être concernés.



**Figure I-1 : Embâcle sur un torrent, inondation par crue torrentielle**

**2. Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) :**

Les inondations de plaine résultent d'épisodes pluviaux de longue durée et d'intensité modérée. Le sol recevant ces pluies est caractérisé par une faible capacité de ruissellement (lent à déclencher). Par accumulation d'eau, dépassant sa capacité, le cours d'eau déborde, l'écoulement sort du lit mineur pour occuper les terres avoisinantes.

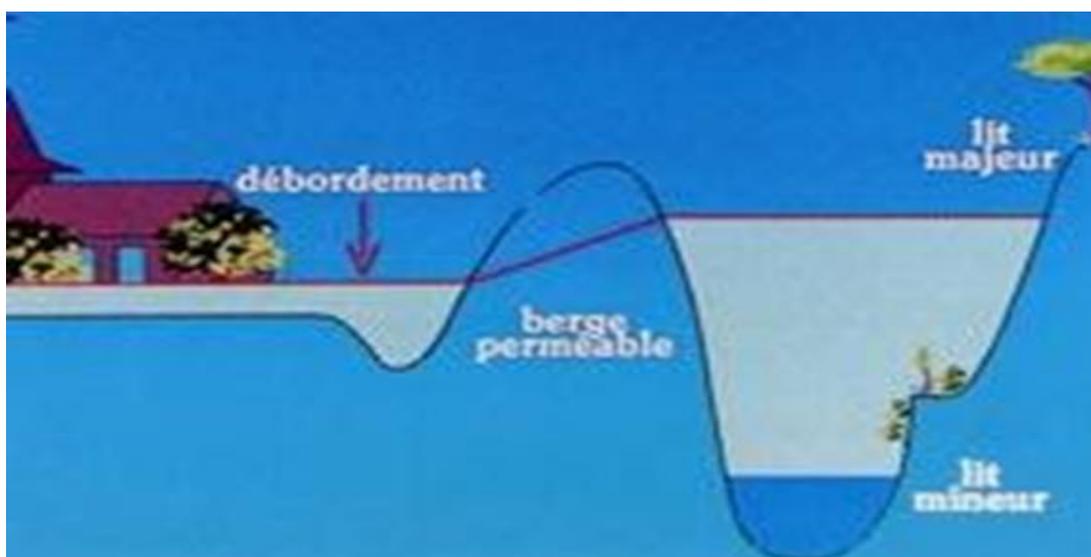


**Figure I-2 :** Débordement direct

### 3. Les inondations par accumulation d'eau ruisselée :

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies exceptionnelles ou d'orages violents s'abattant sur un sol de capacité d'infiltration et de drainage insuffisantes. Cette insuffisance est due essentiellement à deux facteurs :

- ✓ Soit, l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol,
- ✓ Ou bien, le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.



**Figure I-3 :** Stagnation des eaux pluviales

### 4. Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique :

L'**inondation** causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutal et extrêmement dangereux. En effet, cette rupture provoque la libération d'une énorme quantité d'eau munit d'une force dévastatrice gigantesque détruisant tous sur son passage. Les statistiques des dégâts matériels et humains engendrés sont inestimables.

La rupture d'un ouvrage est très difficile à prévoir par conséquent la prévention de la calamité est encore plus difficile.

### 5. Les inondations par submersion marine :

Une submersion marine est une inondation temporaire des régions côtières par des eaux salées provenant de la mer avoisinante. Elle est due à des événements météorologiques ou océanographiques de dimensions inhabituelles, tels que : marée haute de vives eaux exceptionnelle, phénomène de la surcote et l'élévation du niveau de la mer suite à une fonte importante des glaciers.

<https://sedipec.com/>

## III- La Crue

La **crue** correspond à la montée des eaux d'un cours d'eau, l'**inondation** est le phénomène qui en résulte, l'eau débordant, se répandant sur les terrains alentours. Elle est due à des précipitations en forte quantité, auxquelles peut s'ajouter un sol imperméable ou devenu imperméable suite à une sécheresse importante : le sol n'absorbe plus la quantité d'eau qui lui parvient.

Mais ce phénomène peut également être accentué par des causes : humaines directes (drainage, imperméabilisation des sols ...), humaines indirectes (changement climatique).

Différents types de crue existent :

- 1- **Crues lentes** : le débit du cours d'eau augmente lentement, suite à des pluies, la fonte des neiges ...
- 2- **Crues rapides ou brutales ou éclair** : elles résultent de pluies abondantes, d'orages violents, ... Elles peuvent devenir torrentielles, et sont les plus difficiles à prévoir.

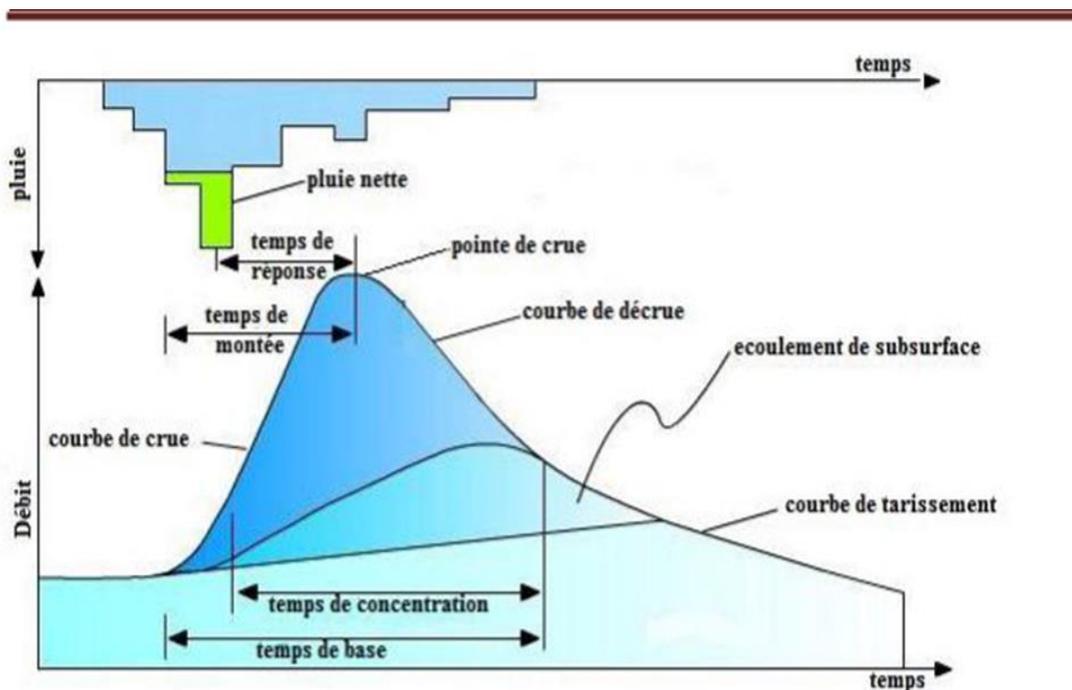
## CHAPITRE I GENERALITE SUR LES INONDATION

Une crue est une augmentation rapide et temporaire du débit d'un cours d'eau. Elle est caractérisée par quatre paramètres :

- ✓ Le débit.
- ✓ La hauteur d'eau.
- ✓ La vitesse d'écoulement.
- ✓ La durée .( <http://www.eau-poitou-charentes.org/>)

Une crue est décrite par quatre éléments qui sont:

- **Temps de concentration** : durée nécessaire à la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné du bassin pour atteindre l'exutoire.
- **Pointe de crue** : puissance de la crue et durée de la période critique.
- **Courbe de tarissement** : retour de la rivière au niveau antérieur à la crue.
- **Fréquence de retour** : une crue centennale a, chaque année, une chance sur cent (1/100) de se produire. (RAHMI 2019)



**Figure I -4** : Eléments descriptif d'une crue (Hafiane et Benzaid 2019)

### IV- Facteurs déclenchant une inondation :

Les facteurs physiques qui influencent les inondations sont :

- Le régime des pluies.

- Le relief.
- La taille du bassin versant.
- L'état des sols.
- Les facteurs aggravants le risque d'inondation sont :
- L'usage et l'occupation des sols.
- Aménagements du territoire.
- Le manque d'entretien des cours d'eau. (AMMAR2018)

### **V- Les causes et origines des inondations :**

Les inondations sont souvent aggravées par des facteurs naturels mais aussi à cause de l'activité de l'homme. Nous allons tout d'abord étudier les facteurs naturels puis l'impact des actes humains.

#### **1. Facteurs naturels :**

La pente du bassin et sa nature font que l'inondation sera plus ou moins importante. Plus la pente la pente est forte, plus l'inondation sera importante, mais l'inondation sera aussi aggravée si on trouve beaucoup de végétaux alors l'écoulement des eaux se fera plus lentement. De plus si les pluies sont très fréquentes dans la zone frappée, les nappes phréatiques et le sol auront beaucoup de mal pour absorber toute l'eau, donc l'écoulement de toute cette eau prendra plus de temps.

Les perturbations orageuses d'automne et les pluies océaniques en hiver et au printemps aggravent les inondations. De plus ces facteurs peuvent encore aggraver les inondations de par l'intensité et la durée des précipitations. A la sortie de l'hiver, les inondations sont aussi accentuées par la fonte des neiges qui facilite les inondations dans les principaux massifs montagneux.

#### **2. L'impact des activités de l'homme :**

L'Homme joue aussi un rôle important dans le développement des inondations. Par exemple le déboisement de grandes zones peut faciliter les inondations. Lorsque trop d'arbres sont abattus, le régime des pluies diminue, le ruissellement augmente et l'érosion des sols s'accélère car la terre n'est plus retenue par les racines.

Les constructions en zones inondables que l'Homme construit sont risquées du fait de leur emplacement mais ces constructions sont encore fréquentes. Il y a aussi l'imperméabilisation des sols pour que les villes puissent se développer, les travaux inadaptés sur les cours d'eau, la suppression des zones d'expansion naturelles des crues. Tout cela favorisent les inondations en zone urbaine qui sont souvent très dévastatrices.

<http://les-inondations.e-monsite.com/>

### **VI -Conséquences engendrées par les inondations :**

Les inondations touchent presque tous les pays du monde avec des influences très différentes, il y a différents types de conséquences. Il existe 2 principales conséquences des inondations : les dégâts matériels et les dégâts humains.

#### **Les dégâts matériels :**

- Les inondations peuvent être très dévastatrices.
- Les habitations, les immeubles, les ponts, sont très souvent dégradés. Ces habitations sont alors inhabitables car les dégradations sont irrémédiables. Et complètement détruite.
- Les inondations entraînent très souvent des pannes d'électricité.
- Les appareils électriques de la maison (électroménagers, appareils de communication,) sont alors trempés et se retrouvent hors circuit.
- L'accès à l'eau potable devient très difficile, il n'y en a plus beaucoup.
- Les petits commerces et agriculteurs sont touchés.
- -Les commerces peuvent être détruits et les commerçants ruinés car ils ont beaucoup de mal à se relancer.
- -Le matériel devient hors d'usage et les commerçants doivent fermer boutique.

#### **Les dégâts humains :**

- Beaucoup de personnes périssent au cours des inondations. Elles peuvent mourir noyées ou bien frappées par des décombres emportés par le courant
- Les habitants des maisons inondées s'occupent de la réparation des dégâts de la maison ainsi que du ravitaillement en nourriture qui devient très difficile
- Le manque d'eau potable entraîne un manque d'hygiène qui peut être favorable à l'eau propagation des épidémies.

- Sur le plan moral, les inondations peuvent être très douloureuses. Car elles entraînent la destruction d'objets sentimentaux très importants pour une personne et donc entraîner des traumatismes importants chez certaines de ces personnes.

<http://les-inondations.e-monsite.com/>

### VII -Cours d'eau :

- **Définition :**

Un cours d'eau est l'endroit (en surface ou en souterrain) où coule l'eau de façon continue ou temporaire.

Il y a des cours d'eau de tailles et de sortes très différentes. Les rivières, les torrents ou les fleuves sont des cours d'eau. Par contre les ouvrages artificiels comme les canaux n'en sont pas <https://fr.wikidia.org/>

- **Paramètres fondamentaux du cours d'eau :**

#### **Lits du cours d'eau :**

Le lit d'une rivière étant façonné par les eaux qu'il transporte on conçoit que ses dimensions soient fortement liées aux régimes hydrologiques :

**Lit mineur** : qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage où

Pour les crues fréquentes (crues annuelles comprise entre un an à deux ans) (Merabet, 2006).



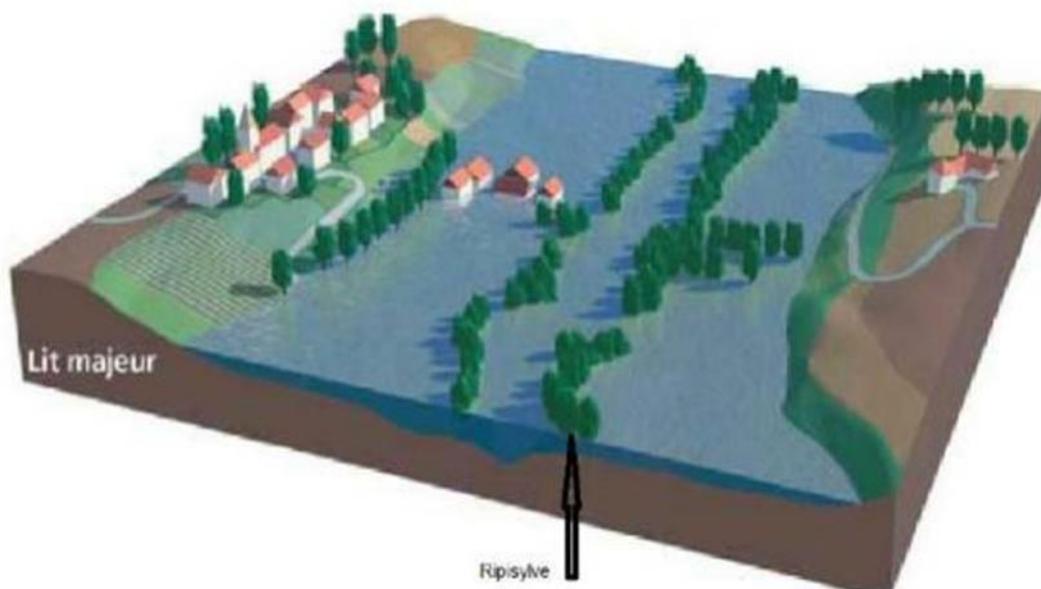
**Figure I-5:** Lit mineur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006).

**Lit moyen :** Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve.



**Figure I-6 :** Lit moyen d'un cours d'eau (Ledoux, 2006)

**Lit majeur :** comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une Distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.



### **Figure I-7 : Lit majeur d'un cours d'eau (Ledoux, 2006)**

Le lit majeur alors fait partie intégrante de la rivière ; si en s'y implantant, on s'installe donc dans la rivière elle-même. Cet espace (lit majeur) occupé par un cours d'eau lors d'une inondation peut -être partagé en deux zones :

- Une zone d'écoulement, au voisinage du lit mineur, où le courant.
- Une zone de stockage des eaux, où la vitesse est faible. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue, c'est -à-dire la réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval.

(Merabet, 2006).

### **Rive – berge :**

La berge est le talus incliné qui sépare le lit mineur et le lit majeur. Tandis que la rive est le milieu géographique qui sépare les milieux aquatique et terrestre. Elle démarre au sommet de la berge et constitue une partie plate plus ou moins étendue qui reste sous l'influence du milieu aquatique (Merabet,2006).

### **Ripisylve :**

C'est la formation végétale naturelle située sur la rive. Elle peut être une véritable forêt alluviale s'étendant sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres de part et d'autre du lit mineur. Le rôle de la Ripisylve sur les crues peut être important ; lorsqu'elle occupe une part significative du lit majeur, elle augmente notablement la rugosité du lit, d'où deux conséquences de nature hydraulique :

- Une diminution des vitesses dans le lit majeur, et donc une réduction des effets érosifs du courant.
- Un écrêtement des crues pour l'aval. (Merabet,2006).

### **Alluvions et substratum :**

Les alluvions sont les grains fins ou grossiers alternativement déposés ou repris par le courant. Elles recouvrent le substratum qui est une couche formée d'une roche dure ou plus ou moins tendre (schistes, grés, marnes...). (Benmia, 2012)

### VIII- Les inondations en Algérie :

De par sa situation géographique et les aléas auxquels elle est soumise, l'Algérie est exposée à plusieurs risques naturels importants qui nécessitent une gestion de crise adéquate.

En outre, la vulnérabilité de nos villes et cités à ces différents aléas s'est accentuée en raison notamment de la concentration urbaine des mégapoles qui se sont développées de manière souvent anarchique et à proximité de grands pôles industriels.

Parmi les risques naturels auxquels notre pays demeure exposé, figurent les inondations

Au cours des deux dernières décennies, l'Algérie a été durement touchée notamment par une série d'inondations ayant provoqué des pertes en vies humaines et des dégâts importants.

Les événements naturels (séismes, inondations, etc.) font lorsqu'ils sont violents un grand nombre de victimes. Leur violence et leurs conséquences ne sont heureusement pas toujours catastrophiques

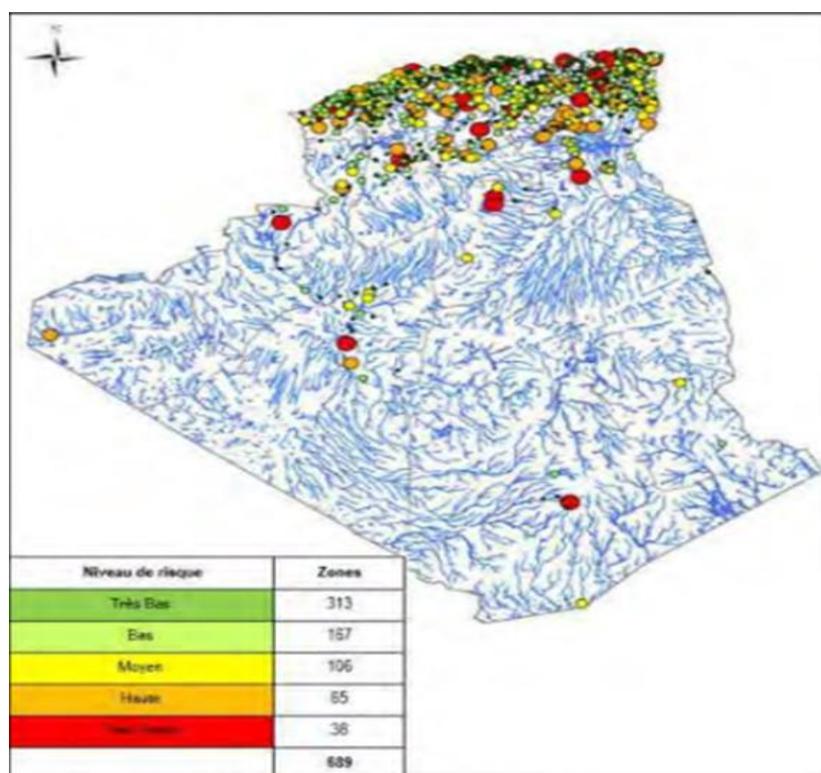


Figure I-8 : Carte préliminaire des zones à risque d'inondation identifiées dans le cadre de l'élaboration de la stratégie nationale. <https://interieur.gov.dz/>

**VIII-Historique des inondations catastrophiques en Algérie (1990 - 2020) :**

**Le 03 Juin 1991:** un Orage local et très violent s’est abattu sur la ville de **Ghardaïa** durant 8 mm en 03 h, les dégâts enregistrés sont :

- 09 morts et pertes importantes en cheptel et de palmeraies.
- Destruction partielle de la digue d’El Atteuf.
- Ponts, chaussés et réseaux d’assainissement avoisinant oued Mzab dégradés

**26 - 27 Janvier 1992 :** Caractérisé par de fortes pluies généralisées du 24 au 28 janvier 1992 sur plusieurs régions du centre du pays engendrant des inondations catastrophiques au niveau des wilayas : Alger, Blida, Tipaza, Chlef, AinDefla, Medea...les dégâts recensés sont :

- Des morts et un nombre important de blessés.
  - 637 familles sinistrées (361 à Alger, 106 à Tipaza, 87 à Médéa, 36 à Ain Defla et 23 à Chlef).
  - D’importants dégâts des infrastructures routières et aux exploitations agricoles :
- Le pont reliant Bougara à Bouinan emporté.
  - Le pont reliant l’ Arbaa à Bougara endommagé.

**Tableau I-1 : Les caractéristiques des crues observées sur plusieurs oueds du centre du pays.**

Station	Oued	Hmax (m )	Qmax (m3/s)
Arbaa gorges	DJEINA	2.10	96
Rocher des piégeons	EL HAMMAM	4.40	550
Baraki	EL HARRACH	6.33	1500
Gorges Chiffa	CHIFFA	3.30	122
Attatba	BOUROUMI	5.70	297
fer à Cheval	MAZAFRAN	8.00	378
Arib Chellif	CHELLIF	9.32	472
Lakhdaria	ISSER	10.00	860

source(ANRH2004)

**20 Octobre 1993 :** Pluies orageuses intenses au niveau de la ville de Oued Rhiou causant crues violentes d’Oued Grigra, petit cours d’eau situé en amont de la ville d’Oued Rhiou. Les dégâts enregistrés sont :

## CHAPITRE I GENERALITE SUR LES INNONDATION

- 22 morts, 20 blessées et plusieurs disparus.
- Des dizaines de familles sinistrées et d'importants dégâts matériels.

Les débits de crues de l'oued Rhiou mesurés aux deux stations hydrométriques sont:

**Tableau I-2** : Débit max de crue de stations hydrométriques, ANRH 2004.

Station	Oued	Qmax (m <sup>3</sup> /s)
<b>Ammi Moussa</b>	Rhiou	296
<b>Djidiouia RN 04</b>	Rhiou	164

**23 Septembre 1994** : Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays; les régions les plus touchées sont: Bordj Bou Arréridj, Msila, Djelfa, Medea, Bouira, Ain Defla et Tiaret.

Dégâts:

- 27 morts, 84 blessés et 941 familles sinistrées.

**29 Septembre au 02 Octobre 1994**: Inondations catastrophiques dans plusieurs régions du pays (Ghardaia, Laghouat, Biskra, Mascara, Tissemsilt, Sidi Bel Abbés). Les dégâts constatés sont :

- Ghardaia: Dégâts matériels évalués à 270 millions DA.
- Laghouat: Dégâts matériels évalués à 05 millions DA dans le secteur de l'hydraulique.
- Biskra: 08 morts, 22 familles sinistrées et routes endommagées.
- Mascara: 02 morts et importants dégâts matériels.
- Tissemsilt: 09 morts
- Sidi Bel Abbés: 02 morts.

**04 Avril 1996**: Inondations catastrophiques dans les wilayas d'Annaba et El Tarf. Les dégâts sont les suivants:

- Annaba : 05 morts et 10 blesses

## CHAPITRE I GENERALITE SUR LES INNONDATION

- El Tarf : 04 ouvrages endommagés et pertes agricoles aux plaines de Bouteldja et El Iam.

**06 Octobre 1998:** Pluies diluviennes et inondations catastrophiques au niveau de la wilaya de DJELFA. Les dégâts observés et recensés sont:

- 200 hectares de récoltes inondées et pertes importantes en cheptel.
- Un petit barrage détruit à Thaadmint et 20 puits d'irrigation éboulés.

**14 Janvier 1999:** Fortes chutes de pluies ( 74 mm à Adrar ) à l'ouest du Sahara provoquant de graves inondations à Adrar. Des dégâts sont à déplorer et qui sont :

- 12 morts et plusieurs disparus.
- 174 habitations en tout détruites dans les localités de: Reggane, Timmimoun et Adrar.

**14 Octobre 2000:** Fortes pluies (56 mm en l'espace de 04 h) dans la wilaya de AIN TEMOCHENT et crues catastrophiques de l'oued El Maleh. Les dégâts sont :

- 04 morts et plusieurs disparus.
- plusieurs habitations démolies et immenses dégâts matériels

**23 Octobre 2000:** Pluies torrentielles à la wilaya de **NAAMA** engendrant des inondations catastrophiques aux régions de: **Ain Sefra et Mechria.**

**Dégâts:**

- 05 morts et une douzaine portée disparus.
- Pertes importantes en cheptel.
- La voie ferrée reliant Ain Sefra - Beni ounif endommagée.

**9 et 10 novembre 2001 :** L'inondation spectaculaire et catastrophique sur l'Algérois à Bab El Oued (Bassin versant de l'oued Koriche).

**Dégâts :**

- fit plus de 750 morts, 115 disparus
- 30 millions de dinars de pertes matériels.

**1 et 2 octobre 2008** : Les pluies torrentielles, inhabituelles et incessantes, pendant 48h sur la région semi-désertique de Ghardaïa, ont fait monter les eaux des différents cours d' eau (oued M'Zab dont le débit atteint 900 m<sup>3</sup>/s)

**Dégâts :**

- Le décès d'au moins 34 personnes et fait des dizaines de blessés et de sinistrés
- Des centaines de maisons ont été détruites.
- Les dégâts matériels ont été estimés à environ 2500 millions de dinars.
- Dont 2000 millions dinars pour les infrastructures.

**01 octobre 2011** : Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à ElBayadh, M'sila, Djelfa, Biskra, Laghouat et une partie d'El Oued.

**Dégâts :**

Les inondations ont causé le décès d'au moins 08 personnes et 3 disparus et fait des dizaines de blessés et de sinistrés, des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées.

**23 aout 2015** : les fortes pluies qui sont abattus ont causé l'inondation de nombreuse habitations à travers plusieurs communes TaghaFesdis, Halka1, Halka3, Ain djasser, et bien d'autres localité le plupart des zones touchés sont des constructions délabré ou les services de la protection civile sont intervenus toute la nuit pour pomper les eaux pluviales.

- 9 aout 2017 : Plusieurs inondations catastrophiques sont enregistrées à Tamanrasset, Bordj baji mokhtar, Ain gezam, , .

**Dégâts :**

le décès d' au moins 04 personnes et 8 disparus et fait des dizaines de blessés et de sinistrés, des centaines de maisons ont été détruites, de nombreuses routes ont été coupées.

**26 Avril 2018** : Des voitures ont été complètement submergées par les eaux et d'autres ont été charriées par la crue à travers les rues du chef-lieu de la wilaya Tiaret.

**Dégâts :**

Les inondations ont provoqué le décès de deux personnes à Tiaret et de lourds dégâts matériels

## CHAPITRE I GENERALITE SUR LES INNONDATION

**5 août 2018** : Les pluies diluviennes qui se sont abattues sur la wilaya de Tamanrasset

**Dégâts:**

Troisdécès alors qu'une quatrième personne est portée disparue.

**15 juin 2019** : La wilaya d'Illizi a connu depuis le 30 mai dernier, de fortes précipitations de pluies ayant causé des inondations au niveau de plusieurs localités, particulièrement, le chef-lieu d'Illizi et la ville de Djanet.

**Dégâts :**

Routes complètement dégradées, infrastructures endommagées, maisons écroulées, le réseau d'assainissement fortement touché.

**13 septembre 2019** : Les pluies torrentielles qui se sont abattues, à Alger, ont entraîné une élévation du niveau d'eau dans les routes et les rues de plusieurs communes ainsi qu'une paralysie du trafic routier, a-t-on constaté.

**Dégâts :**

Routes et infrastructures ont été submerge,le décès,de la jeune fille de 21 ans.

**16 août 2020** : Ruisseau, Hussein Dey, Kouba, Belouizdad, Mohammadia, et les Sablettes, des lieux qui ont sombré dans le déluge des eaux de pluies

**Dégâts :**

Routes et infrastructures ont été submerge, aucune perte humaine n'a été enregistrée

### IX- Les inondations dans le monde :

Le nombre des inondations augmente partout et elles entraînent beaucoup de pertes. C'est de loin la plus grande menace pour le monde, y compris l'Europe

Elle dresse ce constat au regard des données recueillies depuis des décennies par le CRED. Dans les années 1990, 87 inondations avaient lieu en moyenne chaque année. Depuis les années 2000, le chiffre a presque doublé : 165 inondations sont comptabilisées en moyenne dans le monde tous les ans.

Par inondation, le CRED entend, comme pour les autres catastrophes naturelles, tout événement qui a soit causé plus de 10 morts, soit affecté plus de 100 personnes, soit qui a fait l'objet d'une déclaration d'état d'urgence ou de catastrophe naturelle, ou enfin pour lequel les autorités ont dû lancer un appel à l'aide internationale.

Parmi les catastrophes naturelles d'origine météorologique, hydrologique et climatologique, les inondations sont celles qui ont le plus augmenté, derrière les températures extrêmes qui présentent une hausse de 140%.

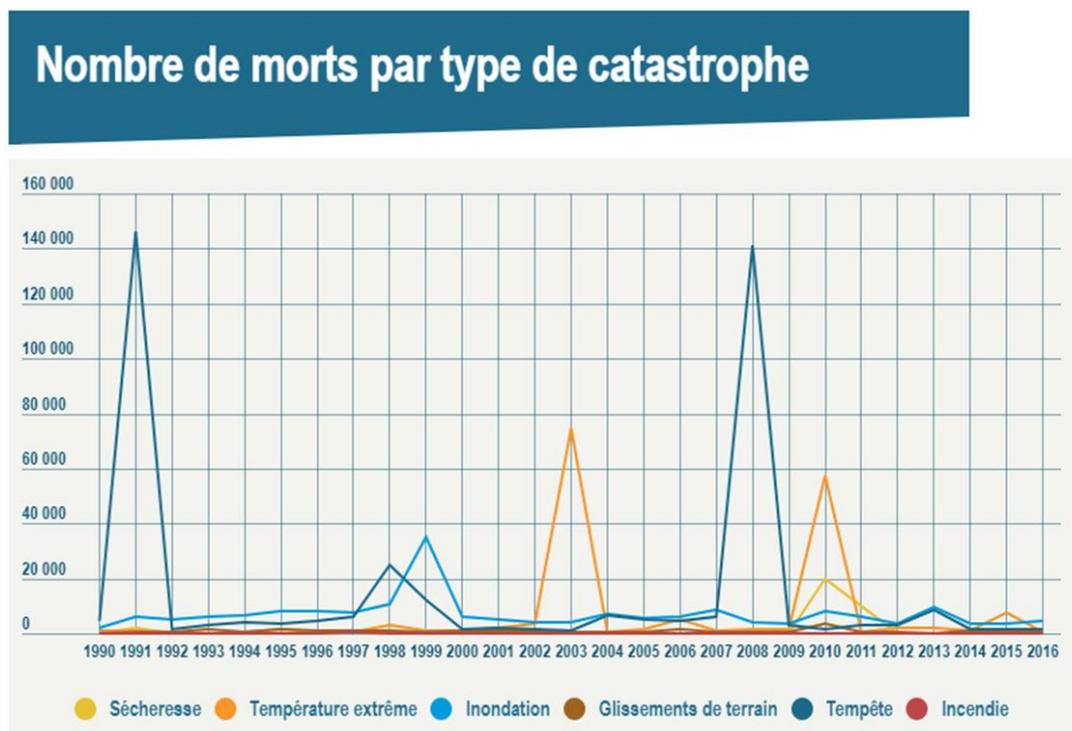


Figure I-9 : courbe de nombre de mort par type de catastrophe.

145 millions de personnes touchées par les inondations tous les ans

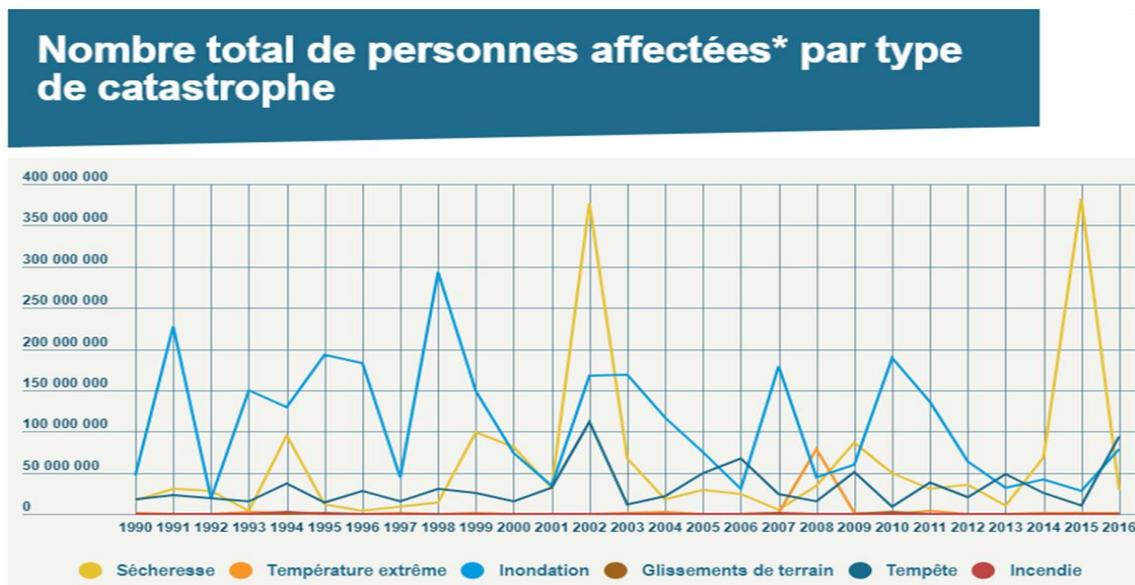
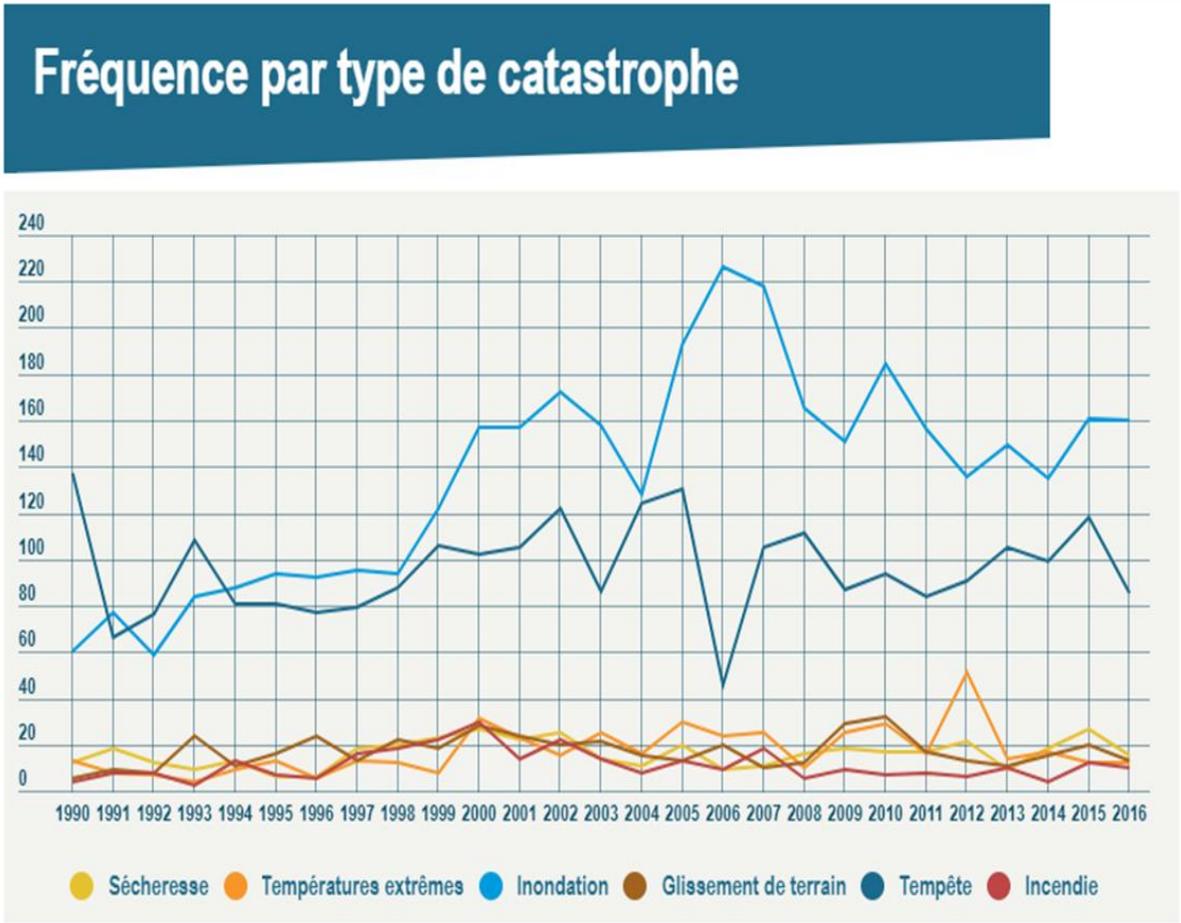


Figure I-10 : courbe de nombre totale de personnes affectées par type de catastrophe.

**Moins de morts mais plus de dégâts :**

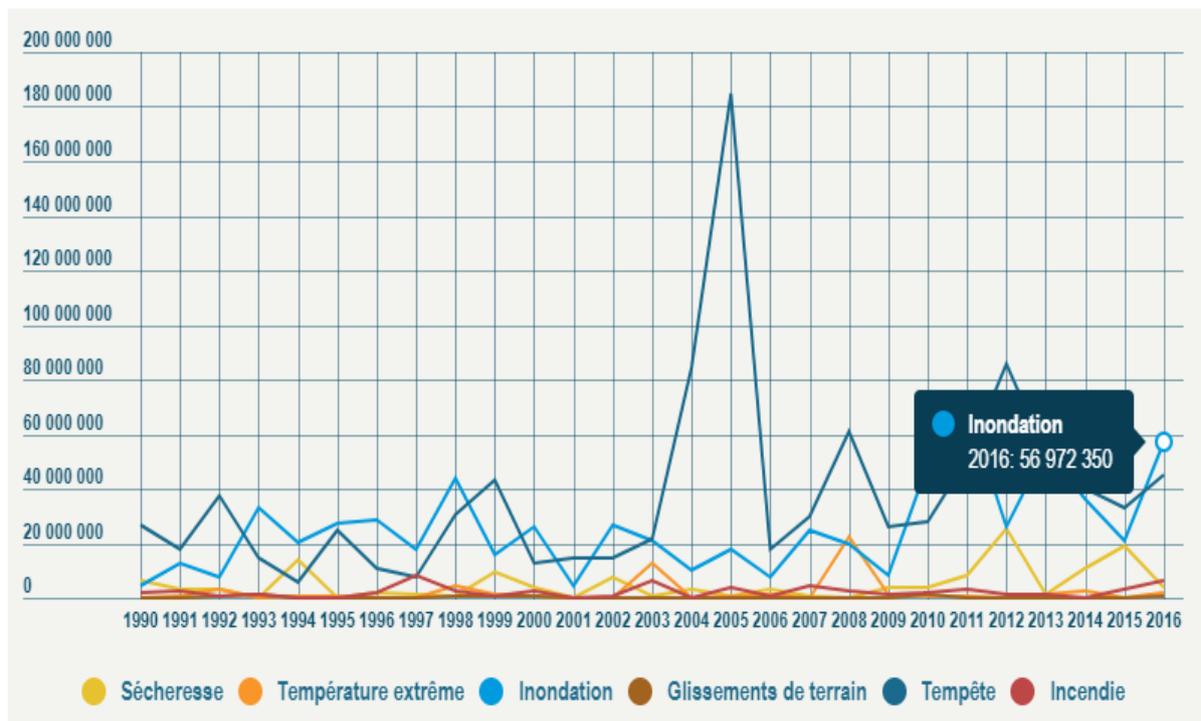
Le bilan des pertes humaines imputables aux inondations est en baisse : dans les années 1990, on dénombrait environ 9 550 victimes d’inondations en moyenne chaque année, tandis que depuis les années 2000, la moyenne se situe à 5 500 victimes, soit une baisse de 44% environ.



**Figure I-11** : courbe de fréquence par type de catastrophe.

En 2016, les inondations représentent presque 50% des coûts des catastrophes météorologiques, hydrologiques et climatologiques, avec un montant total de 56 milliards de dollars.

## Coût total (en millier de dollars) par type de catastrophe



**Figure I-12** : courbe de coût totale (en millier de dollars) par type de catastrophe.

<https://fr.euronews.com/>

### **Conclusion**

Une crue est un niveau inhabituel observé dans un cours d'eau, son intensité varie spatialement et temporairement. Les conséquences qu'elle engendre en milieu naturel sont moindres tandis qu'en milieu urbain, on ne peut jamais prévoir quelle ampleur peuvent atteindre les dégâts humains et matériels entraînés par les inondations qui se produisent.

La problématique des inondations est particulièrement complexe à gérer. La protection des Agglomérations de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres qui contribuent dans leur formation ainsi que les solutions appropriées.

**CHAPITRE II :**  
**Présentation de la zone d'étude**

### Introduction

La présentation du site d'étude est une phase très importante avant tout projet d'aménagement d'un Oued, afin de donner les caractéristiques géographiques et physiographiques. La collecte complète des données fiables est donc nécessaire, malgré leur indisponibilité, pour mener à bien le projet.

### I-Présentation de la zone d'étude

#### I-1 Localisation géographique

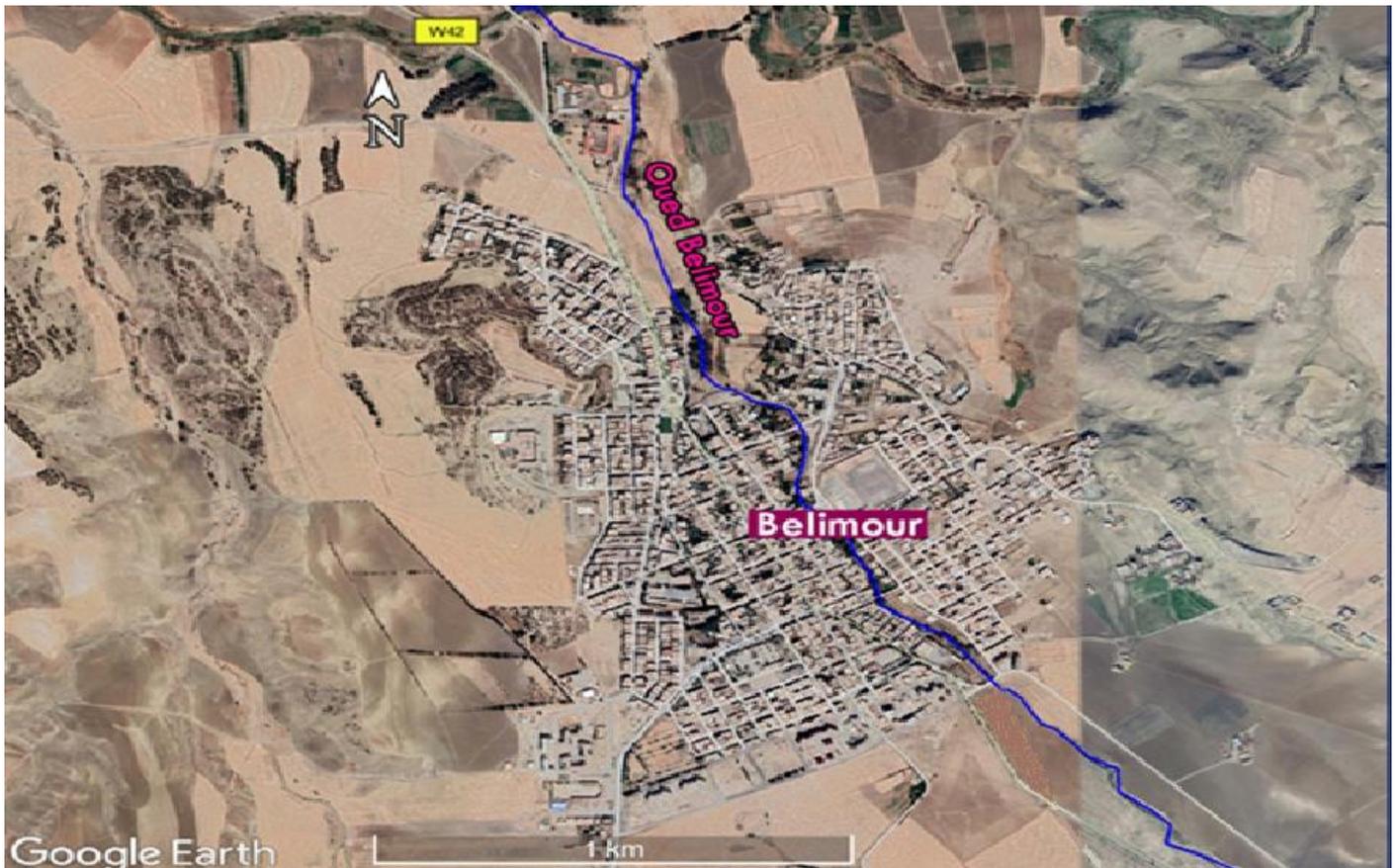
BELIMOUR est une commune de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj, elle est située à 920 mètres d'altitude. BELIMOUR est aussi connu Avant l'indépendance de l'Algérie comme, Cerez.

Elle est limitée par les coordonnées géographiques : 35°58'52" N et 4°52'44" E en DMS (degrés, minutes, secondes) ou 35.9811 et 4.87889 (en degrés décimaux).

La commune de BELIMOUR est caractérisée par une population importante, évaluée à 11 019 habitants répartie sur une superficie de 65 Km<sup>2</sup>. **(RGPH, 2008)** . Le recensement Général de la Population et de l'Habitat

La commune de BELIMOUR est limitée administrativement comme suit :

- Au Nord par la commune de El Anasser;
- Au Sud par la commune de Bordj Ghedir;
- A l'Ouest par la commune d'El Hammadia;
- A l'Est par la commune d'Ain Tassera.

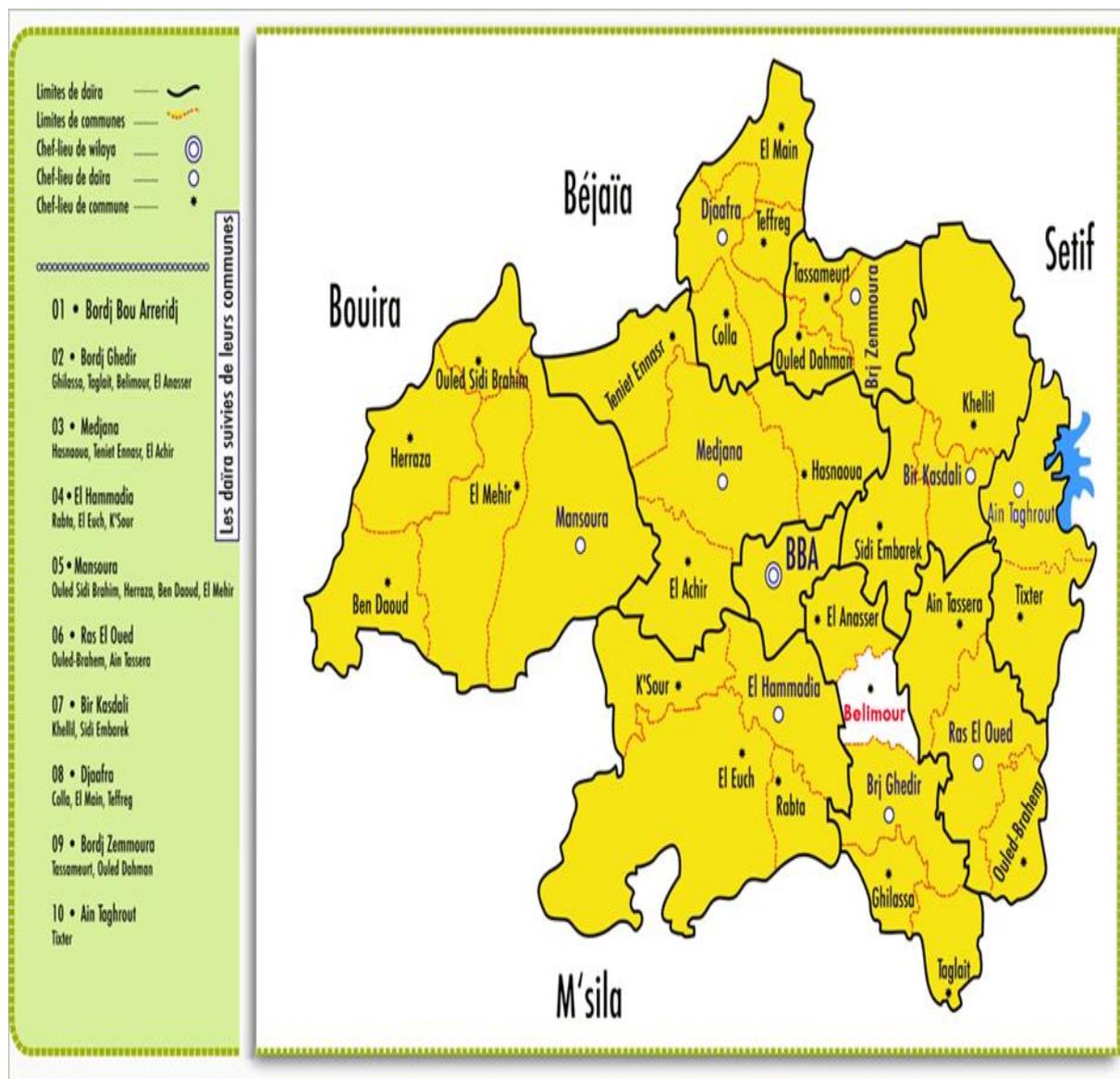


**Figure II-1** : Localisation de l'oued sur image satellite google earth

Les coordonnées UTM de la zone d'étude sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau II-1** : Les coordonnées UTM à l'exutoire

<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m, NGA)</b>
<b>668861.70</b>	<b>3984826.88</b>	<b>897.00</b>



**Figure II-2 :** Situation géographique de la zone d'étude (despase.univ-djelfa.dz)

### I-2 Aperçu sur le relief de la zone d'étude :

Nous sommes en présence d'un terrain moins accidenté où on rencontre des fluctuations orographiques peu homogènes ; un relief faible avec une majorité de terrain agricole.

La plus haute altitude est de 1478 m tandis que la plus basse altitude elle est de 897m au niveau du lit d'Oued BELIMOUR en aval du bassin versant.

Le réseau hydrographique de notre petit bassin versant est composé de quelques petits CHAABATS (Oueds) drainant les eaux du Sud vers le Nord. L'oued BELIMOUR est à sec pendant la saison chaude.

### I-3 Synthèse géologique

Du point de vue géologique la région d'étude fait partie de la zone Sud Tellienne. Il s'agit d'un édifice à structure complexe, formé par des séries du Secondaires et du Tertiaire du sillon Tellien chevauchant l'avant pays Néritique du Crétacé et de l'Eocène des monts du Hodna.

Il renferme les formations géologiques suivantes :

- Quaternaire.
- Terrains plus récents.
  - «A» : Alluvions récentes.
  - «Av» : Terres végétale, éluvium marneux
- Terrains plus anciens.
  - «qL» : limons, sables et cailloutis rougeâtres
  - «qc» : Croutes calcaires isolées ou interstratifiées dans qL.

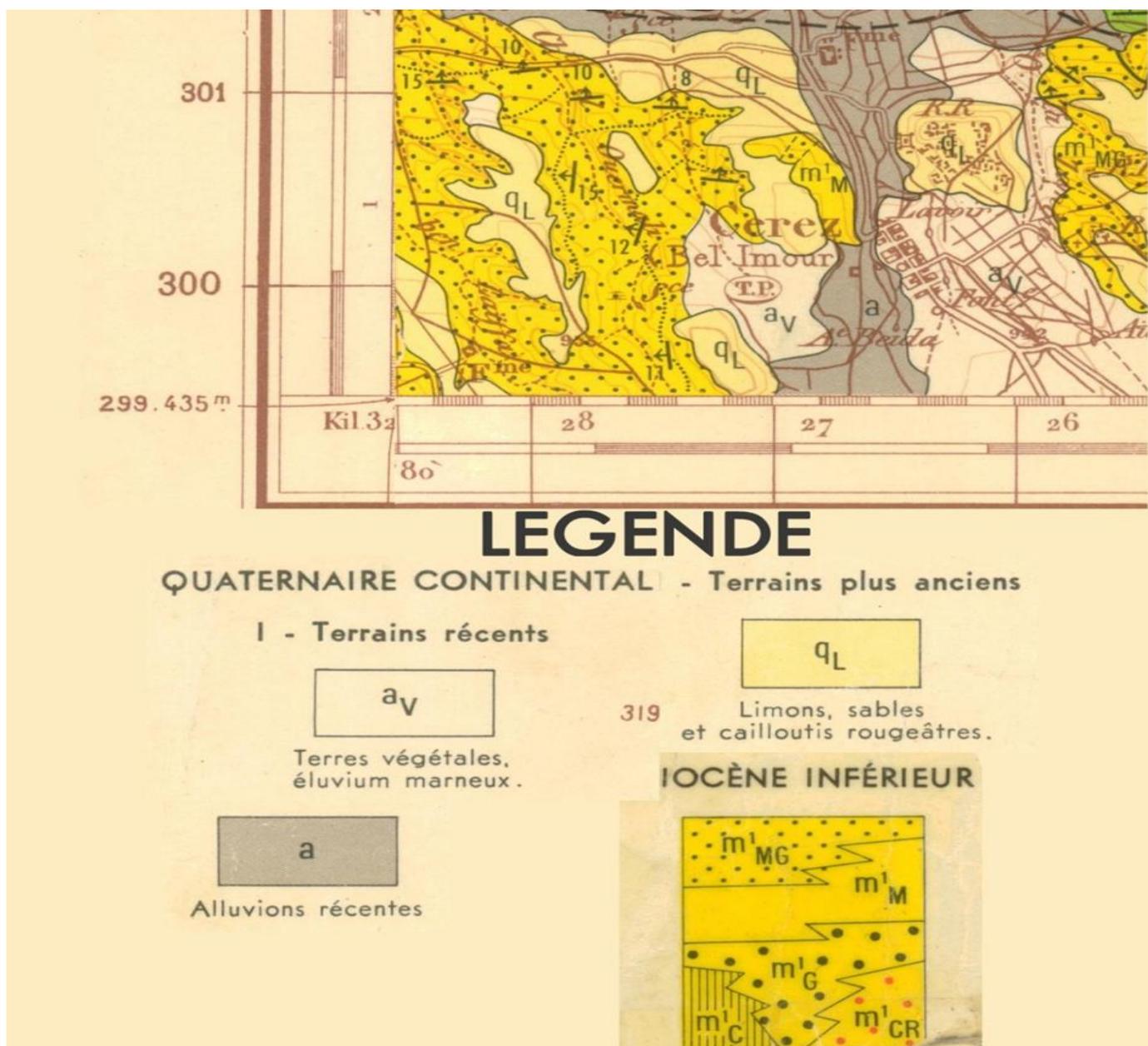


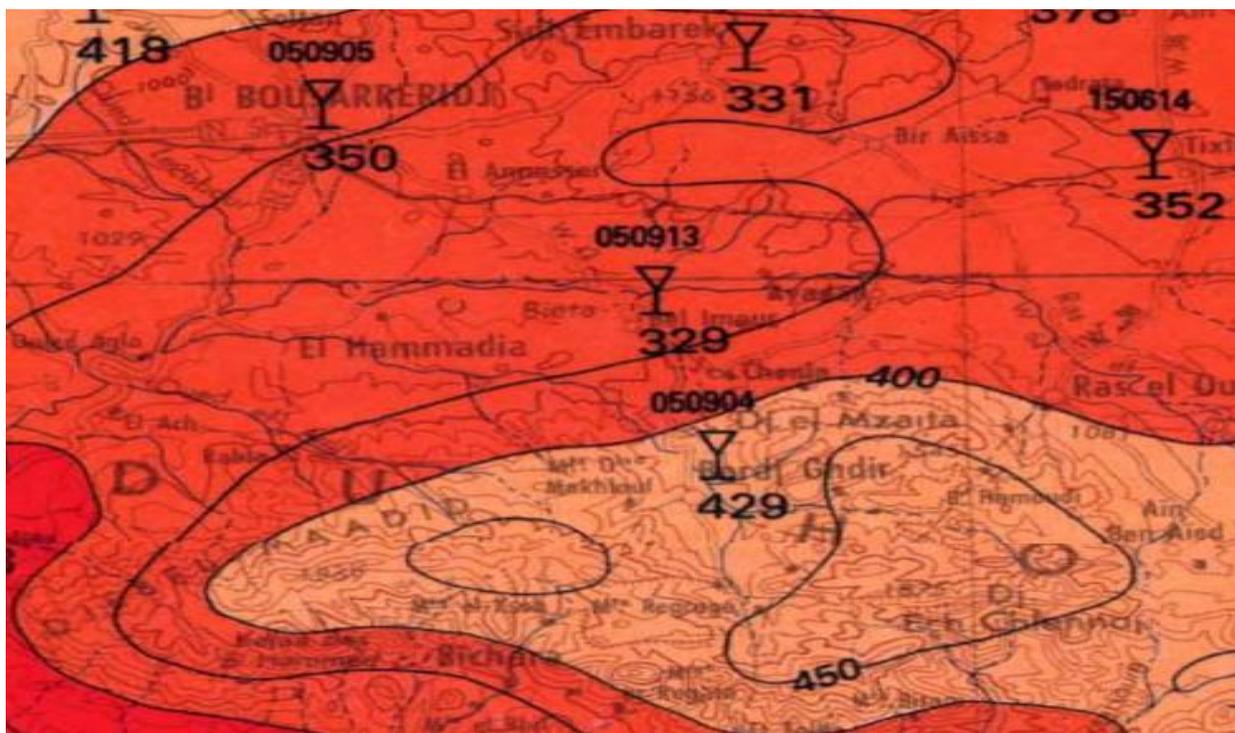
Figure II- 3 : Extrait de la carte géologique au niveau de la zone d'étude

#### I-4 ETUDE CLIMATIQUE

L'Oued BELIMOUR draine un bassin versant d'une superficie d'environ 11.0 km<sup>2</sup>.

Comme le bassin de de l'oued BELIMOUR, ne dispose d'aucune mesure pluviométrique, nous avons fait appel aux données disponibles de la station de BORDJ GEHDIR (05-09-04), station la plus représentative du bassin.

La série d'observation que nous avons utilisé dans la présente étude est de 31 années de 1980 à 2010. Elle se caractérise par une pluie moyenne annuelle de 372.00mm, une valeur proche de celle lue sur la carte pluviométrique de l'ANRH qui est de 350 à 400mm.



**Figure II- 4 : Extrait de la carte pluviométrique de l'ANRH au niveau de la zone d'étude**

Pour les autres paramètres climatiques nous utilisons les données de la station de Sétif (ONM, Longitude : 5.41667 Latitude : 36.1833) la plus représentative de cette région.

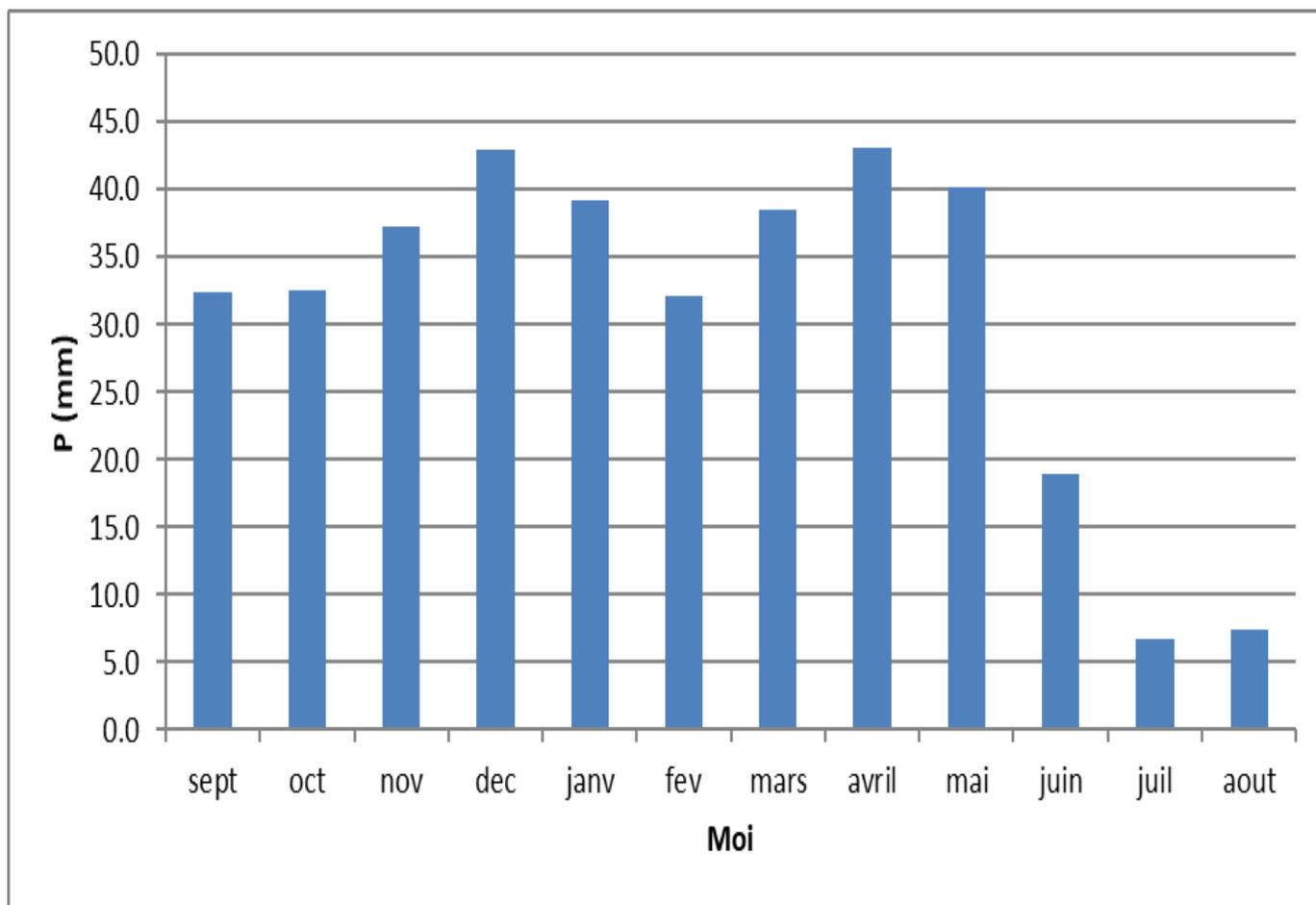
➤ **Pluviométrie :**

L'étude des précipitations joue un rôle très important sur tout pour le choix du type d'aménagement.

La station pluviométrique utilisée est celle de la station de Sétif étant la plus proche de la zone considérée et qui possède une série d'observation de 31ans d'observations. Cette période d'observation assez longue nous permettra de bien caractériser le régime pluviométrique de la zone d'étude.

**Tableau II-2 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle (ANRH)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	32.4	32.6	37.3	42.9	39.2	32.1	38.6	43.1	40.1	19.0	6.8	7.5	371.56



**Figure II-5 : Répartition mensuelle de la pluviométrie**

➤ **Température :**

Elle caractérise deux périodes distinctes :

Une période chaude qui s'étend du mois de juin à Septembre (max. 26°C en juillet et aout)

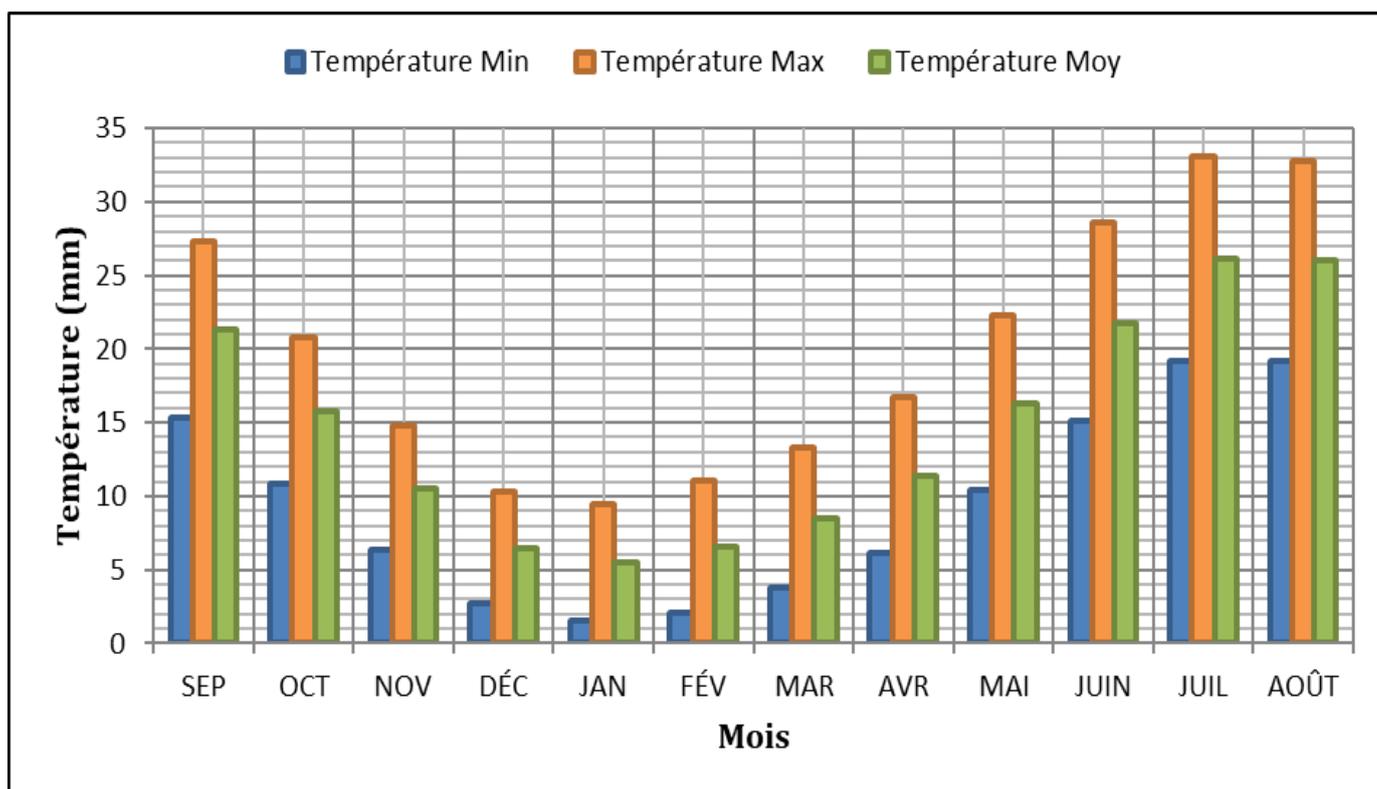
Une période froide où les gelées sont à craindre allant du mois d'octobre au mois d'mars

**Tableau II-3 : Répartition mensuelle de la température (1980-1995).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
<b>Temp Min (°C)</b>	15,30	10,80	6,30	2,70	1,50	2,10	3,80	6,10	10,4	15,10	19,20	19,20	9,38
<b>Temp Max (°C)</b>	27,3	20,80	14,80	10,30	9,40	11,10	13,30	16,70	22,30	28,60	33,10	32,80	20,05

## CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

<b>Temp Moy (°C)</b>	21,30	15,80	10,50	6,50	5,45	6,60	8,50	11,40	16,30	21,80	26,10	26,00	14,70
----------------------	-------	-------	-------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



**Figure II-6 : Répartition mensuelle de la température**

### ➤ Régime des vents :

**Tableau II-4 : Répartition mensuelle de la vitesse des vents (1981-1984).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
<b>Vmoy (m/s)</b>	2,8	3,2	3,5	3,5	3,1	3,2	3,1	3	2,9	2,7	2,9	2,9	2,8

Les vents dominants sont de secteur nord (NE 22%, N 12%, NO 27%). Les vitesses moyennes mensuelles sont de 3 m/s environ, sans grandes variations d'un mois sur l'autre (les minimales à 2,5 m/s et les maximales à 3,2 m/s) d'après les mesures de la station Sétif pour la période 1981 – 1984

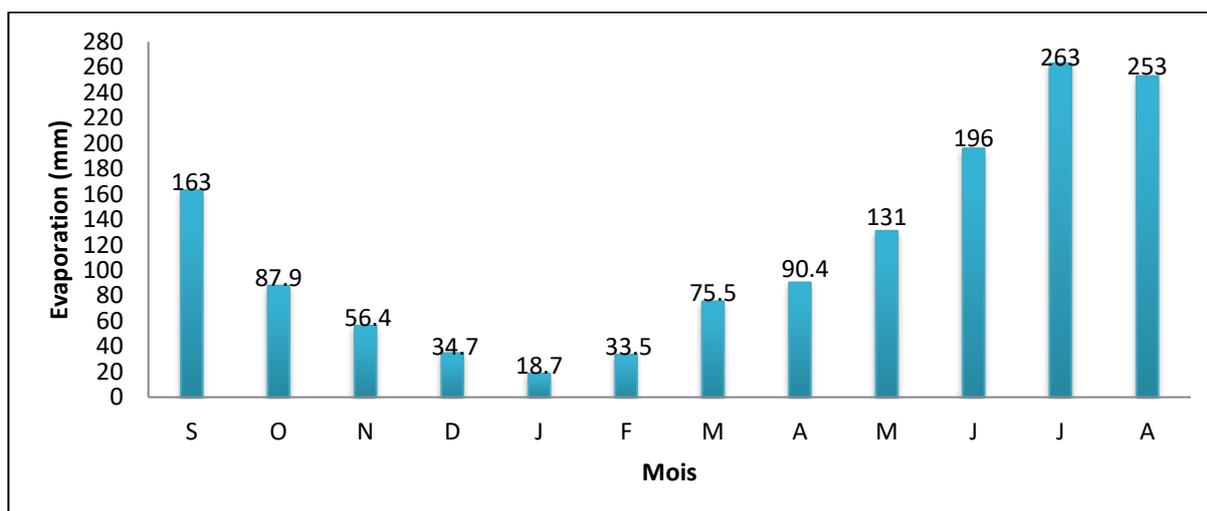
## CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

### ➤ Evaporation :

**Tableau II-5 : Répartition mensuelle de l'évaporation (1963/64-1992/93).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Ev (mm)	163	87,9	56,4	34,7	18,7	33,5	75,5	90,4	131	196	263	253	1403

L'évaporation moyenne annuelle retenue est donc de **1403mm**, comme on le remarque dans le tableau précédent, Elle est minimale durant les mois d'hiver (**Janvier et Février**), alors qu'elle est maximale pour les mois d'été (**Juillet et Août**).



**Figure II-7 : Répartition mensuelle de l'évaporation**

### ➤ Humidité relative :

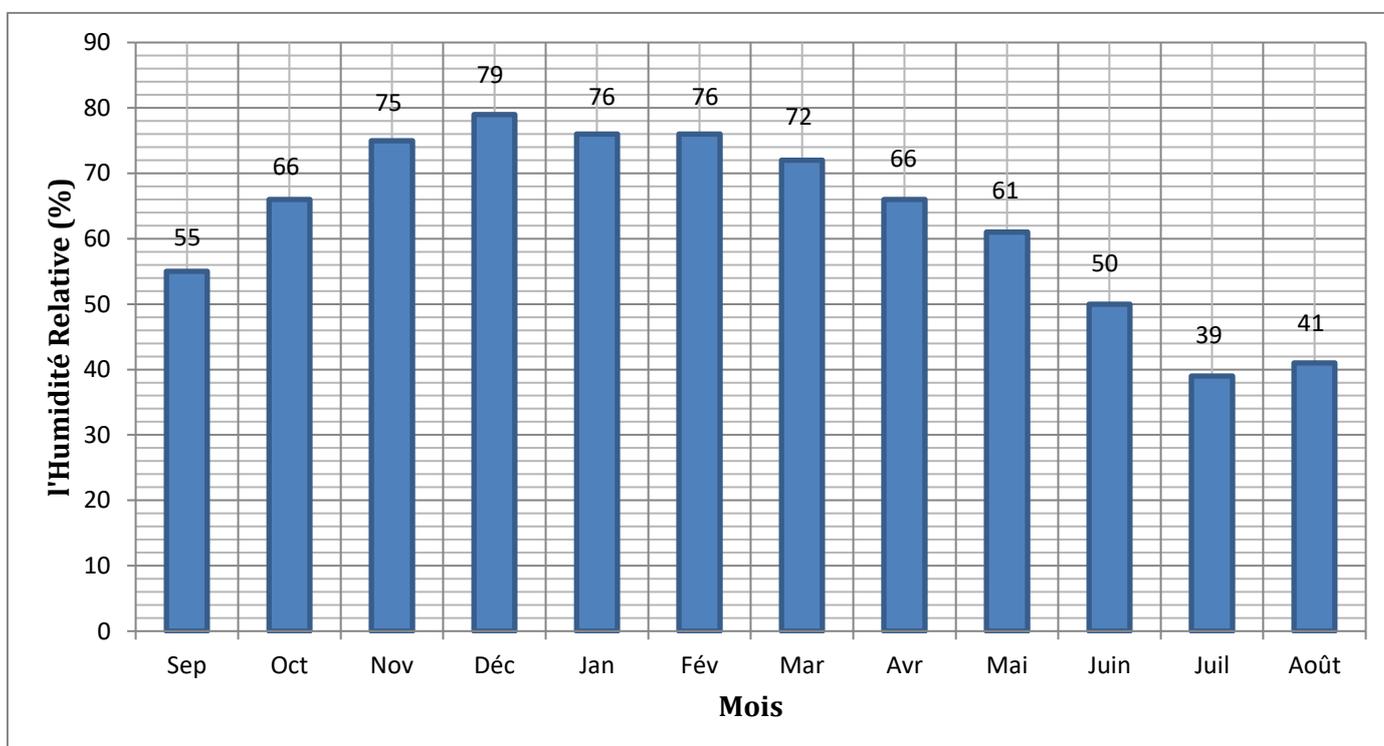
Elle représente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation à la même température.

**Tableau II-6** : Répartition mensuelle de l'humidité relative (1990-2002)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
<b>H (%)</b>	55	66	75	79	76	76	72	66	61	50	39	41	63

L'humidité relative moyenne est de 63%. Elle présente un maximum en Décembre (79 %) et un minimum en Juillet (39 %).

L'humidité se manifeste durant sept mois dans l'année soit du mois d'octobre au mois d'avril où les valeurs sont toutes supérieures à la moyenne annuelle. Le reste de l'année, notamment la période qui coïncide avec les fortes températures, l'humidité ne s'abaisse pas au-dessous de 39 %.

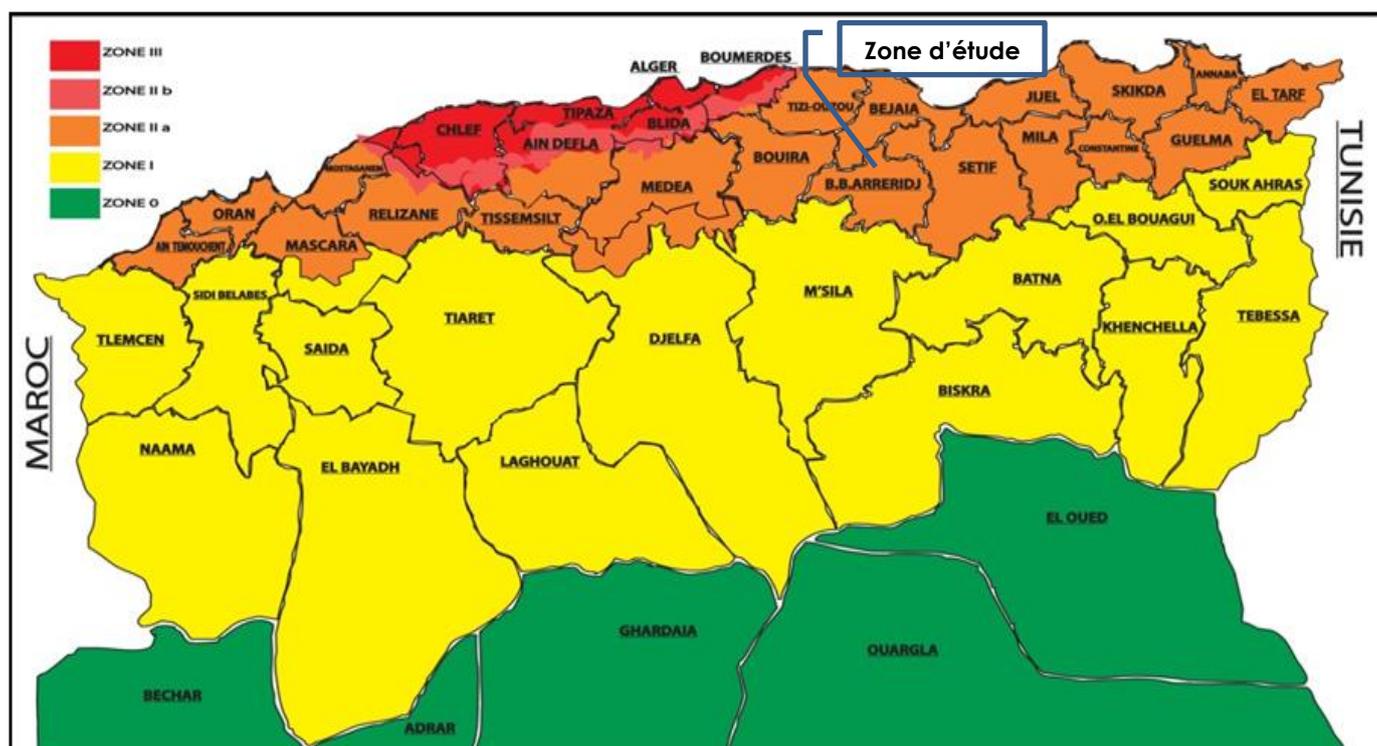


**Figure II-8** : Répartition mensuelle de l'humidité relative

### I-5 Sismicité de la région d'étude

La classification des zones sismiques est fonction de l'intensité sismique. De ce fait l'Algérie est découpée en quatre zones sismiques. Selon le R.P.A 99 modifié en 2003.

- Zone I- Faible sismicité
- Zone II - Moyenne sismicité
- Zone III - Forte sismicité



**Figure II-9** : Carte de zonage sismique de territoire nationale selon R.P.A 99 modifié en 2003

Quant au coefficient d'accélération de la zone d'étude, le tableau suivant représente les coefficients d'accélération du séisme selon la zone qu'on doit utiliser dans les différents calculs de toutes sortes d'ouvrages :

## CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

**Tableau II-7** : Coefficients d'accélération du séisme.

Groupe	Zone I	Zone II- a	Zone II- b	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
1A	0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale
1B	0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance
2	0.10	0.15	0.20	0.25	Ouvrages courants
3	0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance

Dans le cadre de la présente étude, le coefficient d'accélération à adopter pour notre ouvrage ,il correspond à 0,15.

## CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude

### Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons collecté toutes les données nécessaires concernant la région d'étude (topographie, géologie, climatologie). Ces données nous serviront à mener à bien le présent projet de fin d'étude à savoir :

-La zone d'étude se caractérise par un terrain accidenté où on rencontre des fluctuations orographiques peu homogènes dans lequel s'observent un relief faible avec une majorité de nature terrain agricole.

-La géologie de la commune BELIMOUR est caractérisée par des formations géologiques suivantes :

- **Quaternaire**
- Terrains plus récents
- Terrains plus anciens

-le coefficients d'accélération du séisme à adopter dans le cadre de la présente étude correspond à 0,15.

- L'évaporation moyenne annuelle retenue est donc de **1403mm**, Elle est minimale durant les mois d'hiver (**Janvier et Février**), alors qu'elle est maximale pour les mois d'été (**Juillet et Août**).

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 14,70°C.

-L'humidité relative moyenne est de 63%. Elle présente un maximum en Décembre (79 %) et un minimum en Juillet (39 %).

**Chapitre III :**  
**Etude Hydrologique**

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### Introduction

L'hydrologie peut être définie brièvement comme science qui étudie l'eau sous ses aspects quantitatif et qualitatif durant les différentes phases de son cycle dans la nature.

Dans le cadre de l'étude de protection de belimour wilaya de bordj bouarréridj contre les inondations, une étude hydrologique doit être établie dont la détermination des principaux paramètres hydrologiques de la zone d'étude après avoir délimité le bassin versant de l'oued « belimour » de la ville de belimour et déterminer ces caractéristiques en utilisant le logiciel ArcGIS. Estimer les périodes de retours et déterminer les débits de crue nécessaire pour la conception de l'aménagement de l'oued qui servira à la protection de la zone contre les inondations.

### I- Caractéristiques principales du bassin versant

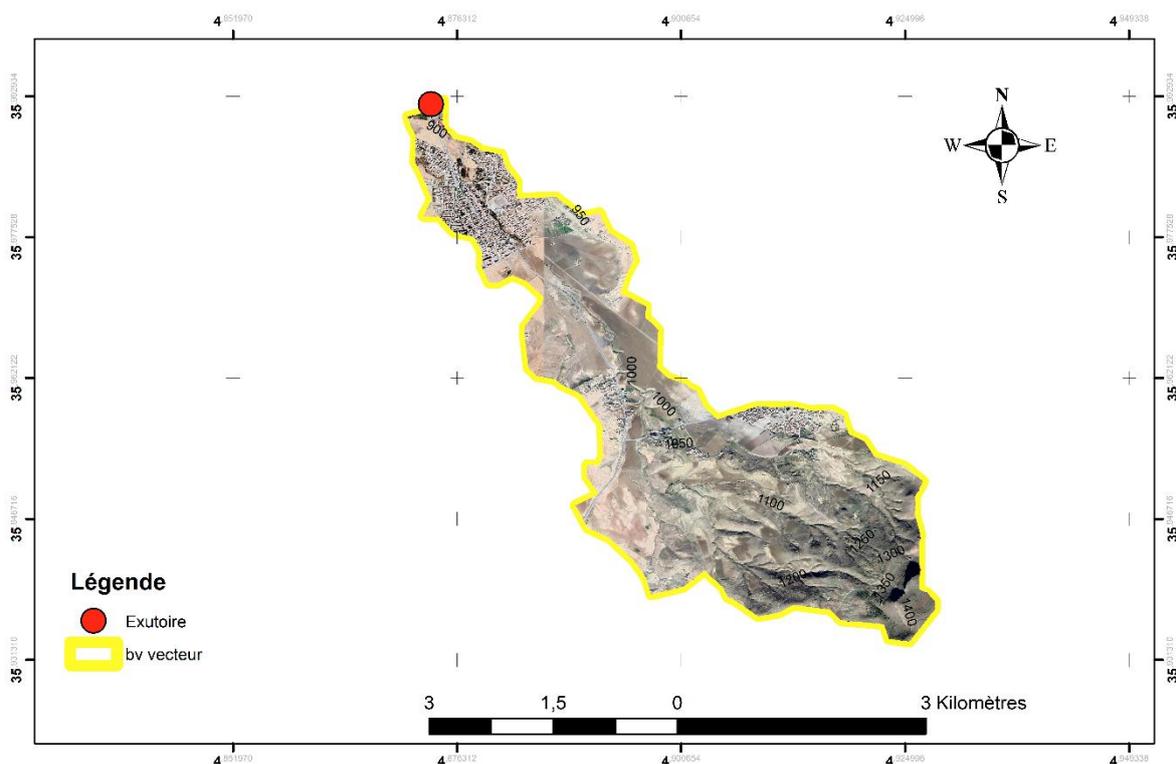


Figure III-1 : Délimitation du bassin versant d'oued belimour

#### I-1 Bassin versant

On appelle bassin versant d'un cours d'eau (permanent ou temporaire) l'ensemble des terrains tels que les eaux de pluie, qui y tombent et y ruissellent, atteignent finalement le cours d'eau en question.

## Chapitre III : Etude Hydrologique

Un bassin versant est donc limité par une ligne de crête qui est la ligne de partage des eaux de ruissellement. Le premier travail consiste à délimiter le bassin versant.

### I-2 Caractéristiques géographiques du bassin versant :

Les coordonnées UTM de l'exutoire de notre bassin versant d'oued belimour

**ZONE 31**

**LONGITUDE X=669.06586 km**

**LATITUDE Y =3984.79458 KM**

**L'ALTITUDE Z= 900 m**

### II- Caractéristiques morphologiques du bassin versant (Touaïbia, 2004)

#### 1- Surface du bassin versant :

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques.

#### 2- Périmètre du bassin versant :

Il correspond à la limite extérieure du bassin.

Ces deux paramètres ont été déterminés en utilisant le logiciel ArcGIS.

#### 3- La forme :

##### 3-1 Indice de compacité Kc :

Cet indice caractérise la forme du bassin versant, il est défini comme le rapport périmètre du bassin P et la circonférence du cercle P' du rayon R ayant la même superficie que celle du bassin versant.

$$Kc = \frac{P}{Pc} = \frac{P}{2\sqrt{S}} = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{S}} \quad \text{III.1}$$

Kc : Indice de compacité

S : Surface bassin-versant [Km<sup>2</sup>]

P : Périmètre du bassin versant [Km]

Pc : Périmètre du cercle [Km]

##### 3-2 Coefficient d'allongement :

## Chapitre III : Etude Hydrologique

Ce coefficient est obtenu par la relation

$$C_a = L^2 / S \quad \text{III.2}$$

L : la longueur du talweg principal

S : la superficie du bassin versant.

### 3-3 Rectangle équivalent :

C'est une transformation purement géométrique de la forme du bassin en rectangle de dimension L et l, de même superficie et même périmètre : elle permet la comparaison des bassins entre eux de point de vue de l'influence de la forme sur l'écoulement.

Les dimensions sont tirées comme suit :

$$S=L.l \quad P/2=L+l \quad \text{III.3}$$

Avec : L : longueur de rectangle équivalent.

$$l = \frac{P}{2} - L \quad \text{III.4}$$

l : largeur de rectangle équivalent. ....

Donc :

$$L, l = \frac{Kc\sqrt{S}}{1.128} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right] \quad \text{III.5}$$

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### 4- Application numérique :

Les résultats obtenus sont résumés dans les deux tableaux suivants :

**Tableau III-1** : Caractéristiques morphologiques du bassinversant :

	S (km <sup>2</sup> )	P (km)	L <sub>cp</sub> (km)	K <sub>C</sub>	Ca	Type de bassin
<b>BV</b>	11	18.50	8.60	1.56	6.72	Allongé

**Tableau III-2** : Caractéristiques morphologiques du bassin versant :

	S (km <sup>2</sup> )	P (km)	L <sub>cp</sub> (km)	K <sub>C</sub>	Ca	Rectangle équivalent	
						L (km)	l (km)
<b>BV</b>	11.00	18.50	8.60	1.56	6.72	7.77	1.48

### 5- Le relief

Le relief possède une influence directe sur les facteurs climatiques et une influence indirecte sur la formation des écoulements de surface. Il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

- La courbe hypsométrique.
- Les altitudes caractéristiques.
- L'indice de pente globale.
- L'indice de pente moyenne.

Notre but recherché est la détermination de la classe du relief.

### 6- Les courbes hypsométriques

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en

## Chapitre III : Etude Hydrologique

ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs sous bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul sous bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications sur le comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

A partir du tableau, le pourcentage des aires partielles est déterminé et la courbe hypsométrique est tracée sur laquelle l'altitude médiane est lue.

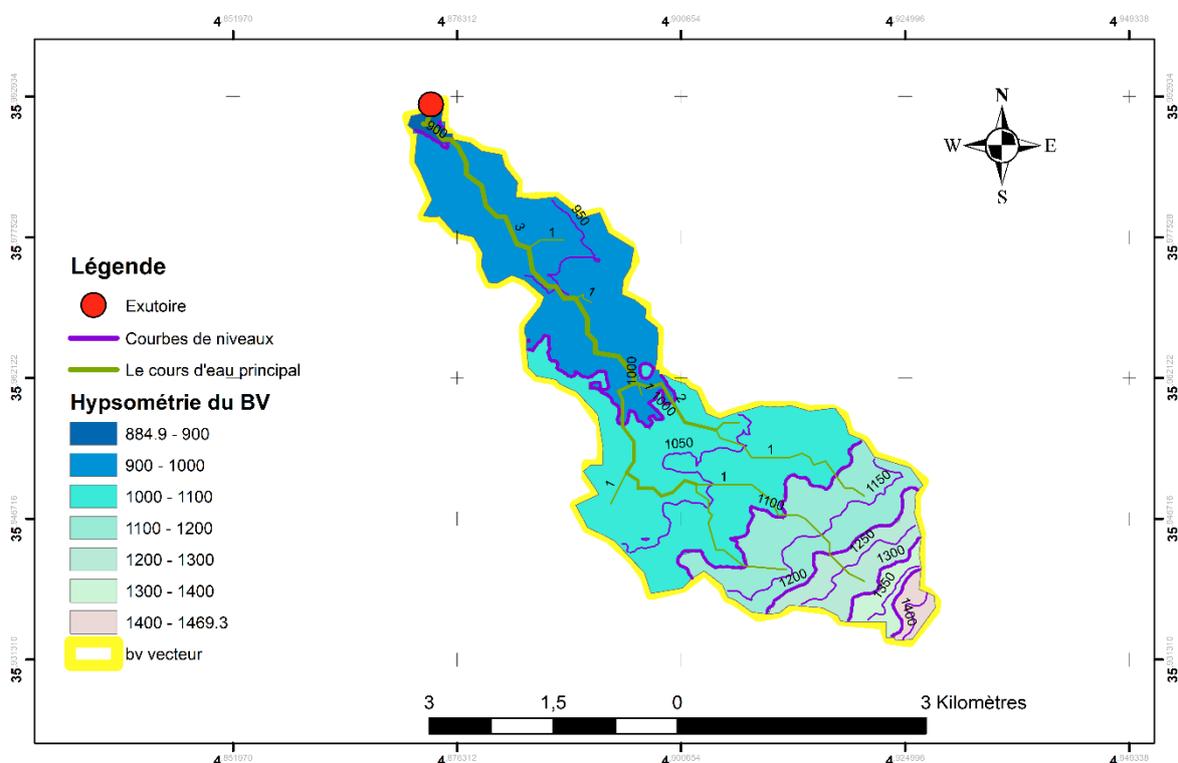
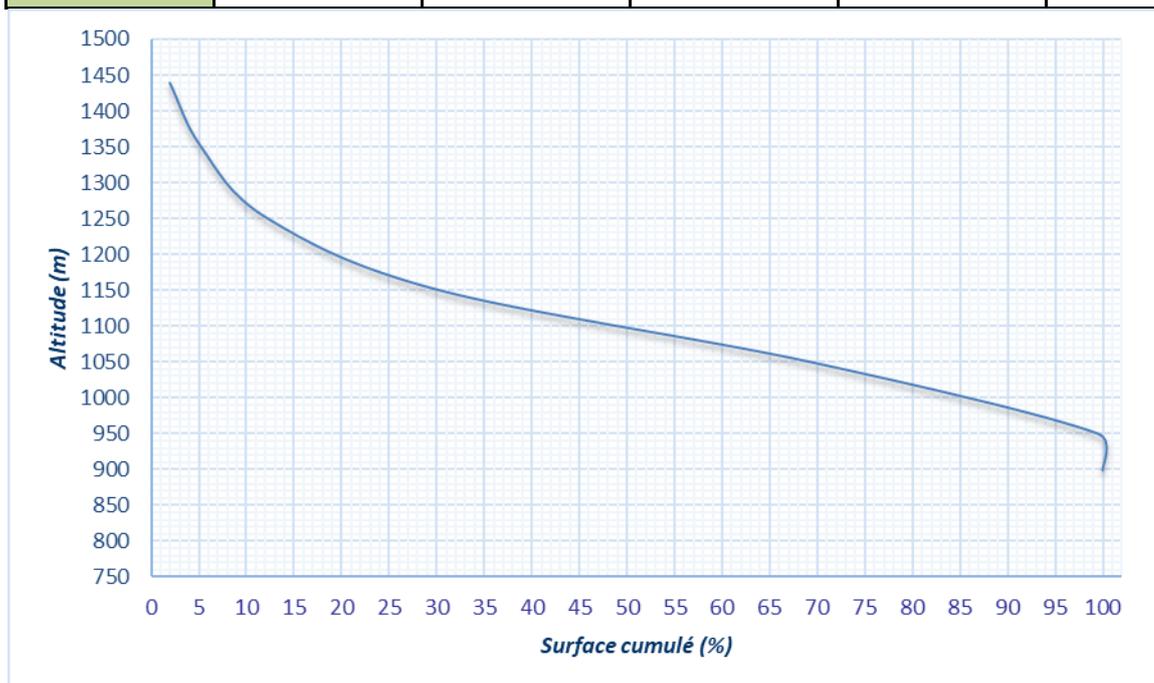


Figure III-2 : carte hypsométrique du bassin versant d'Oued Belimour

## Chapitre III : Etude Hydrologique

**Tableau III-3** : Coordonnées de la courbe hypsométrique BASSIN VERSANT

Altitude (H <sub>i</sub> )	Altitude moyenne	Surfaces partielles (S)	Surfaces partielles (S)	Surfaces cumulées	Surfaces cumulées
(m)	(m)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
1478-1400	1439	0.21	1.91	0.21	1.91
1400-1300	1350	0.36	3.27	0.57	5.18
1300-1200	1250	0.77	7.00	1.34	12.18
1200-1100	1150	1.98	18.00	3.32	30.18
1100-1000	1050	4.29	39.00	7.61	69.18
1000-900	950	3.33	30.27	10.94	99.45
900-897	898.5	0.06	0.55	11.00	100.00



**Figure III-3** : courbe hypsométrique de bassin versant

### A. L'altitude maximale et minimale « H max, H min »

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale représente le point le plus bas du bassin qui est généralement l'exutoire. Ces altitudes sont tirées directement de la carte topographique.

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### B. L'altitude médiane « H 5% »

C'est la projection du point qui correspond à 5% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

### C. L'altitude médiane « H 50% »

C'est la projection du point qui correspond à 50% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

### D. L'altitude médiane « H 95% »

C'est la projection du point qui correspond à 95% de la surface cumulée sur la courbe hypsométrique.

### E. L'altitude moyenne « H moy »

Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum S_i \cdot H_i}{S} \quad \text{III.6}$$

Avec :

$$H_i = \frac{H_{i+1} + H_i}{2} \quad \text{III.7}$$

$H_i$  : Altitude moyenne entre 2 courbes de niveaux consécutives en m

$S_i$  : Surface partielle comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives en  $\text{km}^2$

$S$  : Surface totale du bassin versant en  $\text{km}^2$

### F. L'altitude maximale et minimale : Lues sur la carte topographique.

Les résultats de calcul pour le bassin sont résumés dans le tableau suivant :

## Chapitre III : Etude Hydrologique

**Tableau III-4** : Les résultats de calcul d'altitude du bassin versant.

	H <sub>med</sub> (m)	H <sub>moy</sub> (m)	H <sub>max</sub> (m NGA)	H <sub>min</sub> (m NGA)
<b>BV</b>	1095	1068	1478	897

### 7- Les pentes du bassin versant

#### A. Pente moyenne du bassin versant « Im »

Elle est calculée par la formule suivante :

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5L_1 + L_2 + \dots + 0.5L_n)}{S} \quad \text{III.8}$$

Avec :

$\Delta H$  : Dénivelés entre deux courbes de niveaux successives L1L2 ....

$L_n$  : les longueurs des courbes de niveaux (Km)

$S$  : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>)

#### B. Indice de pente globale « Ig »

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent. On prend deux points S1, S2 sur l'axe des abscisses tels que 90% de la surface du bassin soit comprise entre ces deux valeurs et que 5% de la surface totale du bassin soit inférieure à S1 et 5% soit supérieure à S2.

Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique. L'indice de pente global est donné par la formule suivante

$$I_g = D/L \quad \text{III.9}$$

Avec :

$D$  : Dénivelée entre H5% et H95% (m)

$L$  : longueur du rectangle équivalent (Km)

H5% et H95% : sont respectivement les altitudes correspondantes à S5% et S95%

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### C. Indice de pente moyenne « I pm »

L'indice de pente moyenne représente le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$I_p = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \quad \text{III.10}$$

### D. Indice de pente ROCHE Ip :

Ip est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérées par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau Hi est Hi-1. Il est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{S_i \cdot (H_i - H_{i-1})} \quad \text{III.11}$$

L : longueur de rectangle équivalent (m)

Si : surface partielle (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives Hi et Hi+1

### E. Application numérique :

Les résultats de pentes, d'indices de pentes et indice de pente roche du bassin versant sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III-5 : Les résultats de calcul de l'Indice de pente globale « Ig »**

	H5% = (m)	H95% = (m)	D (m)	Ig (m/Km)
BV	1357	970	387	49.80

**Tableau III-6 : Les résultats de calcul de l'Indice de pente moyenne « I pm »**

	Hmax (m)	Hmin (m)	L (m)	Ipm (%)
BV	1478	897	7.77	7.48

## Chapitre III : Etude Hydrologique

**Tableau III-7 : Les résultats de calcul de l'Indice de pente ROCHE  $I_p$**

	L (m)	$I_p$ (%)
<b>BV</b>	7770	0.82

### 8- Dénivelée spécifique :

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa surface. Elle est donnée par la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \quad \text{III.12}$$

**Tableau III-8 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)**

Relief		Ds (m)
1	Très faible	<10
2	Faible	25
3	Assez faible	50
4	Modéré	100
5	Assez modéré	250
6	Fort	500
7	Très fort	>500

**Tableau III-9 : Dénivelée spécifique et type de relief**

S (km <sup>2</sup> )	$I_g$ m/Km	Ds(m)	Relief
11.0	49.80	165.1	Assez modéré
		7	

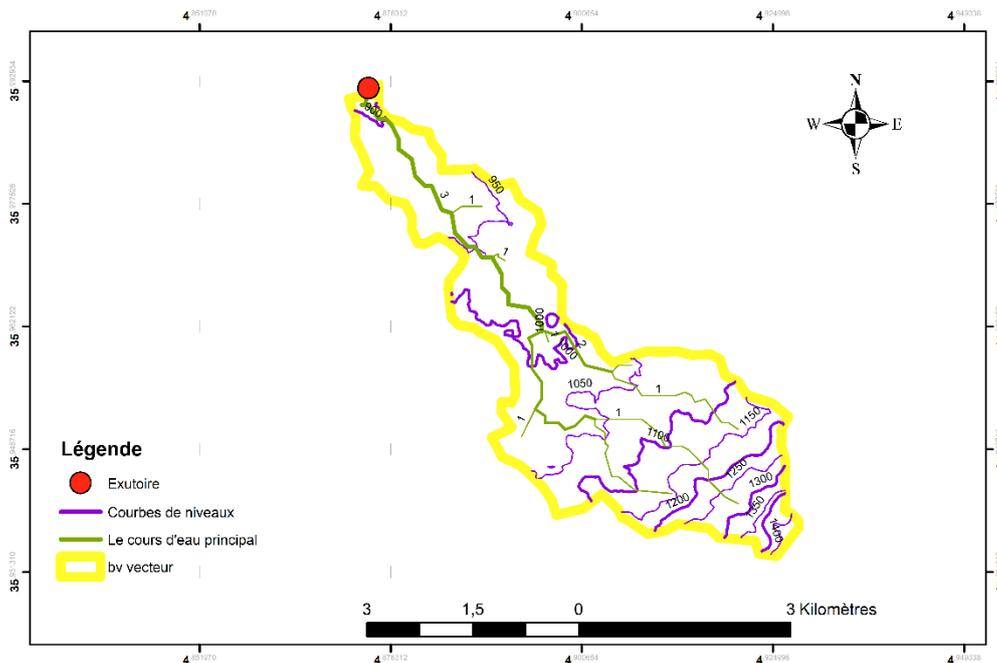


Figure III-4 : courbe de niveau du bassin versant d’oued belimour.

### III- Les caractéristiques des écoulements dans les bassins versants

#### 1- Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin versant est dû à quatre facteurs principaux :

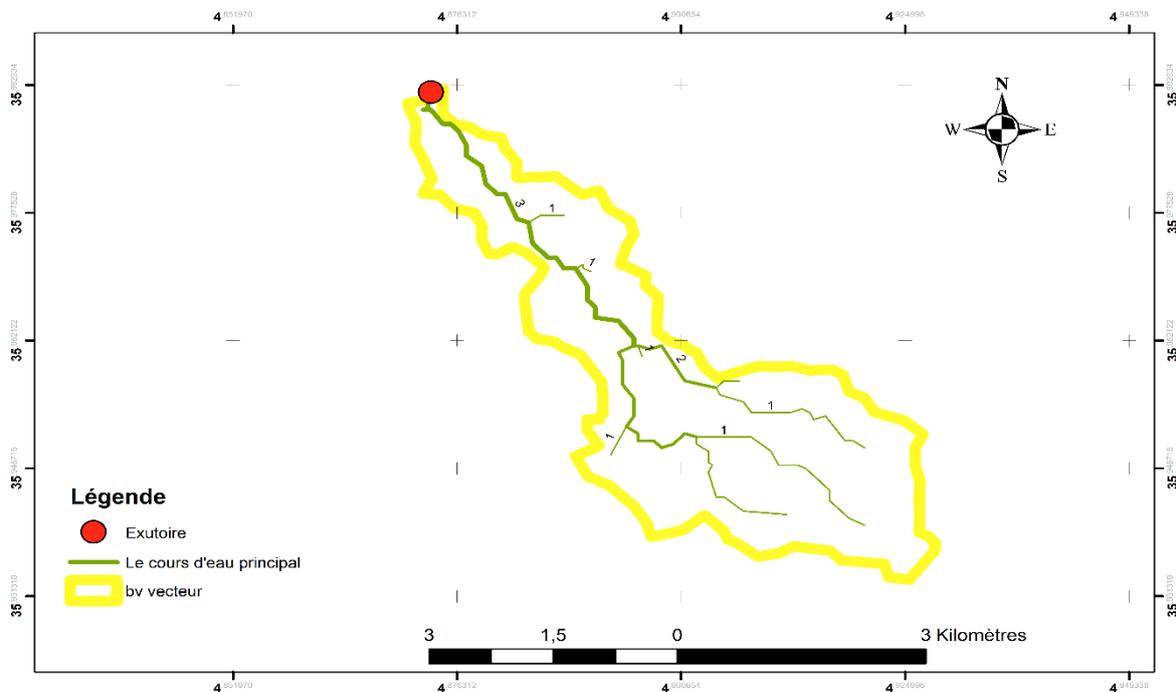
- **La géologie** : par sa plus ou moins grande sensibilité à l'érosion.
- **Le climat** : le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et en tend à disparaître dans les régions désertiques.
- **La pente du terrain** : détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- **La présence humaine** :

## Chapitre III : Etude Hydrologique

Le drainage des terres agricoles, la construction de barrages, l'endiguement, la protection des berges et la correction des cours d'eau modifient continuellement le tracé originel du réseau hydrographique.

La classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- ✓ Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre 1.
- ✓ Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordres différents prend l'ordre le plus élevé des deux.
- ✓ L'ordre du cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de 1. Un bassin versant à l'ordre le plus élevé de ses cours d'eau, soit l'ordre du cours d'eau principal à l'exutoire.



**Figure III-5** : carte hydrographique de bassin versant d'oued belimour .

### 2- La densité de drainage

La densité de drainage, est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin, à la surface totale  $S$ . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité de chevelure hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en  $(\text{Km} / \text{Km}^2)$ .

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

Avec:

- ✓ **Dd** : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;
- ✓ **Li**: longueur du cours d'eau [km] ;
- ✓ **S** : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III-10:** La densité de drainage pour le bassin versant

	S (km <sup>2</sup> )	$\sum L_i$ (km)	$D_d$ (km/km <sup>2</sup> )
BV	11.0	38.60	3.51

### 3- La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

Avec :

**F** : densité hydrographique [km<sup>-2</sup>].

**Ni** : nombre de cours d'eau.

**S** : superficie du bassin [km<sup>2</sup>].

**Tableau III-11 :** résultats du calcul de densité hydrographique

	S (km <sup>2</sup> )	N <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>
BV M	11.0	49	1.37

### 4- Le coefficient de torrentialité « Ct »

Le coefficient de torrentialité C<sub>t</sub> est calculé par l'expression suivante :

$$C_t = D_d \cdot F_1$$

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$F_1$ : le rapport entre le nombre des talwegs d'ordre 1 et la surface globale du bassin

versant :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \quad \text{III.15}$$

$D_d$  : densité de drainage.

**Tableau III-12 : Le coefficient de torrentialité  $C_t$**

	S (km <sup>2</sup> )	N <sub>1</sub>	$F_1$	$C_t$ (km <sup>-3</sup> )
BV M	11.0	49	1.37	6.09

### 5- Longueur moyenne des versants :

$$L_i = \frac{L}{2D_d} \quad \text{III.16}$$

$D_d$  : densité de drainage en (km/km<sup>2</sup>).

$L$ : longueur du rectangle équivalent en (km).

**Tableau III-13 : Longueur moyenne des versants**

	L (km)	$D_d$ (km/km <sup>2</sup> )	$L_i$ (km)
BV	7.70	4.45	0.86

### 6- Temps de concentration :

Une fois connue la zone d'où proviennent les eaux de ruissellement, il reste à définir la façon dont ce bassin versant réagit à une pluie. Il importe en particulier de savoir au bout de quelle durée de pluie les eaux provenant de la totalité du bassin versant, atteignant l'exutoire, donnant ainsi le débit maximum. On peut estimer que le débit de la crue est atteint lorsque le temps de concentration est atteint, et ceci par plusieurs formules empiriques tels :

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### Formule de GIANDOTTI :

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad \text{III.17}$$

Avec :

TC : Temps de concentration (h).

LP : Longueur du talweg principal (Km).

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

HMOY : Altitude moyenne du bassin versant (m).

HMIN : Altitude minimale du bassin versant (m).

### Formule de KIRPICH :

$$T_C = (0.0195(1000.L_p)^{0.77}) / (I_g^{0.385} * 60) \quad \text{III.18}$$

Avec :

Tc : le temps de concentration (min).

L : la longueur du Talweg (m).

I : la pente moyenne du talweg principal (m/m).

### Formule de TURRAZA

$$T_C = 0,108 \frac{\sqrt[3]{S.L_p}}{\sqrt{I}} \quad \text{III.19}$$

Avec : T<sub>C</sub>: Temps de concentration (h).

S: Superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

L<sub>P</sub>: Longueur du talweg principal (Km).

I : Pente moyenne du cours d'eau (m/Km).

**Formule de CALIFORNIA :**

$$T_c = \left( \frac{0.87L^3}{H_{\max} - H_{\min}} \right)^{0.386} \quad \text{III.20}$$

**L** : longueur du talweg principal en [Km];

**Hmoy, Hmin** : respectivement la hauteur moyenne et minimale du B.V en [m].

**Tableau III-14** : Récapitulatif du temps de concentration.

Formules	Tc(h)
<b>GIANDOTTI</b>	2.50
<b>KIRPICH</b>	1.10
<b>CALIFORNIA</b>	1.98
<b>TURRAZA</b>	1.56

**L'analyse des résultats nous permet d'avancer ce qui suit :**

D'après ces résultats, on voit bien que trois méthodes nous donnent des résultats extrêmes (GIANDOTTI, TURRAZA et CALIFORNIA), tandis que les résultats de la méthode de (KIRPICH) donnent des valeurs minimales On prend la valeur obtenue par KIRPICH.

### **7- Vitesse moyenne de ruissellement :**

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L_P}{T_C}$$

$L_p$  : longueur du talweg principal.

$T_C$  : temps de concentration.

Ci-dessous le tableau suivant récapitule les caractéristiques du bassin versant.

**Tableau III-15** : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant.

$L_p(km)$	$T_c(h)$	$V_r(km/h)$
8.60	1.10	7.79

**Tableau III-16** : Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant

Désignation		Symbole	Unités	BV BELIMOU R
Superficie		S	km <sup>2</sup>	11.00
Périmètre		P	km	18.50
Longueur du thalweg principal		$L_P$	km	8.60
00Indice de compacité		$K_C$	-	1.56
Coefficient d'allongement		Ca	-	6.72
Rectangle Equivalent	Longueur	$L_r$	km	7.77
	Largeur	$l_r$	Km	1.48
Altitudes	Maximale	$H_{max}$	m	1478
	Moyenne	$H_{moy}$	m	1068
	Médiane	$H_{med}$	m	1095
	Minimale	$H_{min}$	m	897
Pente moyenne du BV		$I_g$	%	4.98
Indice de pente moyenne		$I_{pm}$	%	7.48
Dénivelé spécifique		$D_s$	m	165.22
Temps de concentration		$T_c$	h	1.10

## Chapitre III : Etude Hydrologique

Vitesse de ruissellement	$V_r$	Km/h	7.79
--------------------------	-------	------	------

### IV-Etude des précipitations

En Algérie, les inondations découlent principalement après la provenance d'un évènement pluvieux extrême ; ce qui nous pousse à faire une étude des pluies maximales journalières afin d'aboutir aux pluies extrêmes suivant différentes périodes de retour et ainsi faire le calcul des pluies de courte durée.

On a choisi de travailler directement sur les données de mesure de la station pluviométrique de bordj ghedir (050904) pour son emplacement qu'on estime assez proche de la zone d'étude, et ayant des données complètes et consécutives sur une longue période.

**Tableau III-17** : Coordonnées de la station pluviométrique de bordj ghedir

Code	Source	Coordonnées			Années	N
		X(Km)	Y(Km)	Z(m)		
050904	A.N.R.H	742	328.6	1030	1980-2010	31

#### 1- Calcul des paramètres statistiques de la série ;

**Tableau III-18** : Paramètres statistiques des précipitations annuelles de l'échantillon.

<b>Nombre d'observations</b>	<b>31 ans</b>
<b>Moyenne des Pmax j en (mm)</b>	<b>34.6</b>
<b>Ecart-type (<math>\sigma_x</math>)</b>	<b>13.0</b>
<b>Coefficient de variation (Cv)</b>	<b>0.377</b>
<b>Coefficient d'asymétrie (Cs)</b>	<b>0.067</b>
<b>L'exposant climatique (b)</b>	<b>0,28</b>

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### 2- Pluie maximale journalière

#### 2-1 Estimation des pluies maximales journalières

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie de durée et de période de retour donnée.

Dans l'objectif de déterminer les pluies maximales probables, on a établi à partir des mesures de la station de bordj ghedir une série de pluies maximales journalières. Le travail sur cette dernière se fera de la manière suivante :

- ✓ Calcul des paramètres statistiques de la série ;
- ✓ Ajustement à une loi statistique (choix de la loi adéquate) ;
- ✓ Calcul des quantiles pour différentes périodes de retour ;
- ✓ Calcul des pluies et intensités de courte durée.
- ✓

**Tableau III-19** : Série des pluies maximales journalières de la station d'**bordj ghedir**

Station pluviométrique BORDJ GHEDIR 050904													P max J (mm)	
Données traités														
Année/mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel	
1980	2	34.5	3	10.4	15.7	2	10.6	32	20.8	6	9.8	0	34.5	
1981	5.7	11.5	24.1	27	33.6	16.5	13.4	8.5	19	22.9	2.5	0.8	33.6	
1982	13.6	14.4	15.8	10.1	6.9	6.4	11.5	14.1	0.9	49.2	0	2.5	49.2	
1983	42.2	0	9.2	11	1.8	8	46	17.5	10.4	17.3	3.5	0.3	46	
1984	13.7	18.9	9.4	1.8	4.7	14.5	5.3	4.3	15.4	3.3	12.1	2.4	18.9	
1985	18	13.2	16.7	10.8	1.2	29.9	16.2	28.2	22	48.7	9.6	20.6	48.7	
1986	12.5	13.5	23.8	14.5	36.9	1	2.3	18.2	23.7	5.2	0	7.6	36.9	
1987	3	17.9	25.6	2.6	6.7	6.1	4	25.7	10.4	4.5	0	10.1	25.7	
1988	1.6	14.3	4.5	4.5	26.7	5.2	10	29.5	6	37.3	1.6	1.5	37.3	
1989	26.9	12.7	4.2	2	6.1	6.3	22.8	14.4	12.7	6.4	1	0	26.9	
1990	10	2	19.5	23.2	1	22	19.6	9	9.7	9	2	5.8	23.2	
1991	8.8	15.9	1.5	10.7	12.5	18.6	47.2	25.5	33.5	13.7	1.4	1.5	47.2	
1992	29.1	22.4	48	10.2	0	24.5	5.9	31	7.2	8	1.6	23.6	48	
1993	0	5	5.5	6	22.5	30.6	10.6	13.5	13	6.5	5.5	3.4	30.6	

## Chapitre III : Etude Hydrologique

1994	1.5	13.5	0	0	19.1	12.3	16.5	14.5	12	3.3	0	0	19.1
1995	45.6	29.8	28	47.4	16.9	9.3	32	8	19.6	14	6	2.2	47.4
1996	16.6	11.8	17.5	24.9	24.7	16.3	2.5	12	22.2	3.2	18.7	4.5	24.9
1997	3.6	21	21.8	46.5	8.9	14.8	6.2	23	20	20	0	0	46.5
1998	12	6	22	20	3.1	13	8.5	52	2.6	21.6	6.6	17.5	52
1999	22	6	12	10	26.5	0	16	19.6	27.4	1.4	5.6	6.4	27.4
2000	7	6	14	22.8	3.3	10.7	31.9	7	11.6	4	0.6	0	31.9
2001	9.6	43	11	8.6	15.1	18	12.7	12.2	20	22	14.4	0.3	43
2002	20	6.5	30	22.5	6.6	12	12.6	5.5	15.5	6	2.6	1	30
2003	12.5	7.6	20	24	11	13	10.7	4	0	0	0	7	24
2004	42	42	3	7	7.6	6.4	10	15	2.6	10.5	0	1.3	42
2005	27	9.6	5.2	31	28.6	11	11	17	55	5	10.7	10.5	55
2006	15.9	13.5	14.7	15.5	12.7	11.6	14.3	16.7	16.5	12.2	4.2	4.9	16.7
2007	15.9	13.5	14.7	15.5	12.7	11.6	14.3	16.7	16.5	12.2	4.2	4.9	16.7
2008	18.4	5	8.3	5.9	9.6	3.5	5.8	10.9	2.6	2.8	0	3	18.4
2009	28.6	10.8	20	23	0.6	0.6	10	4	58.6	1	1	6	58.6
2010	7.6	4.2	2.6	12	9.6	4.6	3	8	3.6	1.1	6.4	3.4	12

### 3- Les caractéristiques de la série pluviométrique

Les caractéristiques de la série sont déterminées à l'aide du logiciel « HYFRAN »

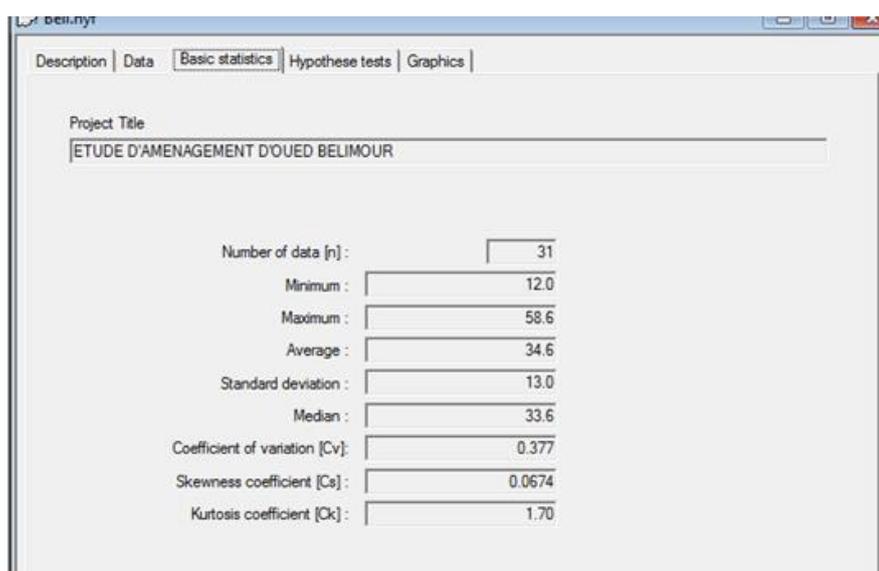


Figure III-6 : Caractéristiques de série pluviométrique

### 4- Ajustement de la série des pluies annuelles et maximales journalières

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de :

- La loi de probabilité.
- La taille de l'échantillon.
- Certaines caractéristiques de l'échantillon.

Toutefois, de nombreuses études comparatives, empiriques et théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

Les lois d'ajustement choisies sont :

- la loi de GUMBEL (droite de HENRY).
- la loi de log-normale (droite de GALTON).

#### 4-1 Ajustement à la loi de GUMBEL

Elle est dite aussi loi doublement exponentielle ou loi des valeurs extrêmes. La fonction de répartition de la loi s'exprime de la manière suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x) = e^{-e^{-u}} \\ u = \frac{x - x_0}{\alpha} \end{array} \right. \quad \text{III.22}$$

Avec :

- $u$  : la variable réduite de Gumbel.
- $x$  : la précipitation maximale journalière (mm)
- $x_0$  : le paramètre de position (ordonnée à l'origine).
- $\alpha$  : le paramètre d'échelle

Les résultats de calcul des fréquences expérimentales et des valeurs théoriques sont présentés dans le tableau III-20

Tableau III-20 : Les quantiles pour différentes périodes de retour (Gumbel)

Période de retour T (ans)	Probabilité (q)	Précipitation (m)	Intervalle de confiances	
			95 %	
1000	0.999	98.9	72.4	125
200	0.995	82.5	62	103
100	0.990	75.5	57.5	93.5
50	0.980	68.4	52.9	83.8
20	0.950	58.9	46.8	71
10	0.9000	51.6	42	61.2
5	0.8000	44	36.9	51.1
2	0.5000	32.5	28.2	36.7

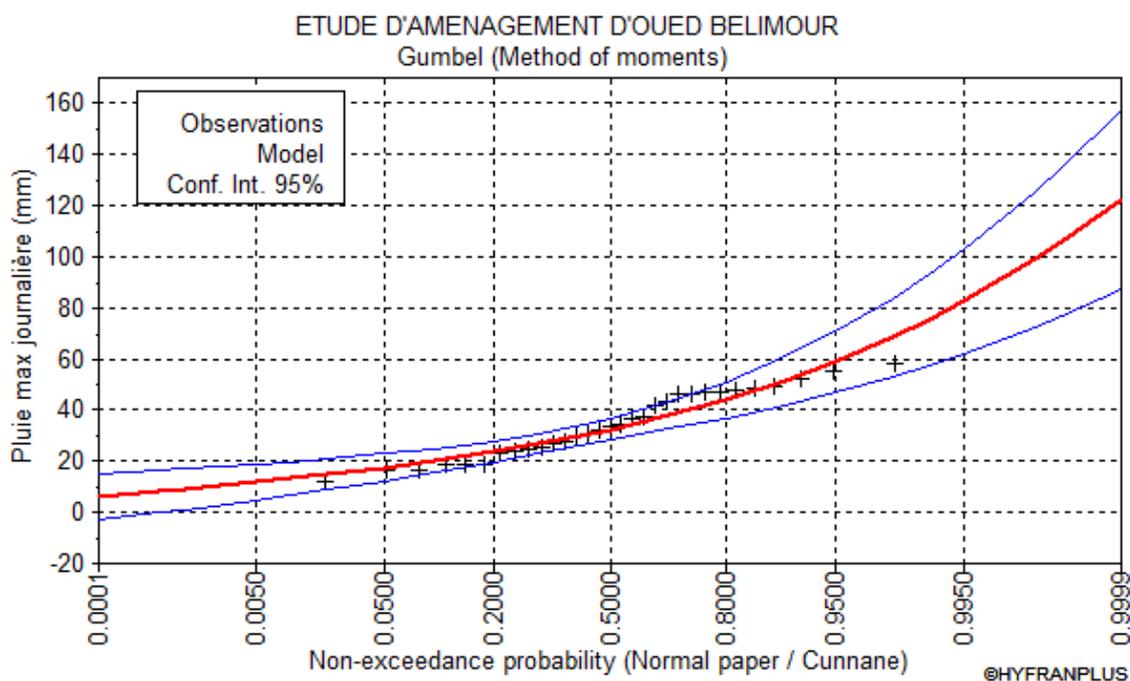


Figure III. 1 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

#### 4-2 Ajustement à la loi log normale

La loi de Galton s'appelle également loi log-normale ou loi de Gibrat-Gauss. La fonction de répartition est donnée par la représentation suivante :

## Chapitre III : Etude Hydrologique

III.23

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

La variable réduite est de la forme :

$$u = \frac{\ln x - \overline{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \quad \text{III.24}$$

Avec :

- $u$  : la variable réduite de Galton.
- $\overline{\ln x}$  : la moyenne de la série  $\ln x_i$ .
- $\sigma_{\ln x}$  : écart type de la série  $\ln x_i$

Donc l'équation de la droite présentée sur le papier Gausso-logarithmique sera :

$$\ln x = \overline{\ln x} + \sigma_{\ln x} u \quad \text{III.25}$$

Le résultat de l'estimation des paramètres de la loi de Galton sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau III-21 : Les quantiles pour différentes périodes de retour**

Période de retour T (ans)	Probabilité (q)	Précipitation (m)	Intervalle de confiances	
			95 %	
1000	0.999	116	74.6	158
200	0.995	93.8	64.8	123
100	0.990	84.5	60.3	109
50	0.980	75.4	55.6	95.2
20	0.950	63.6	49.1	78
10	0.9000	54.6	43.7	65.5
5	0.8000	45.5	37.7	53.3
2	0.5000	32	27.3	36.7

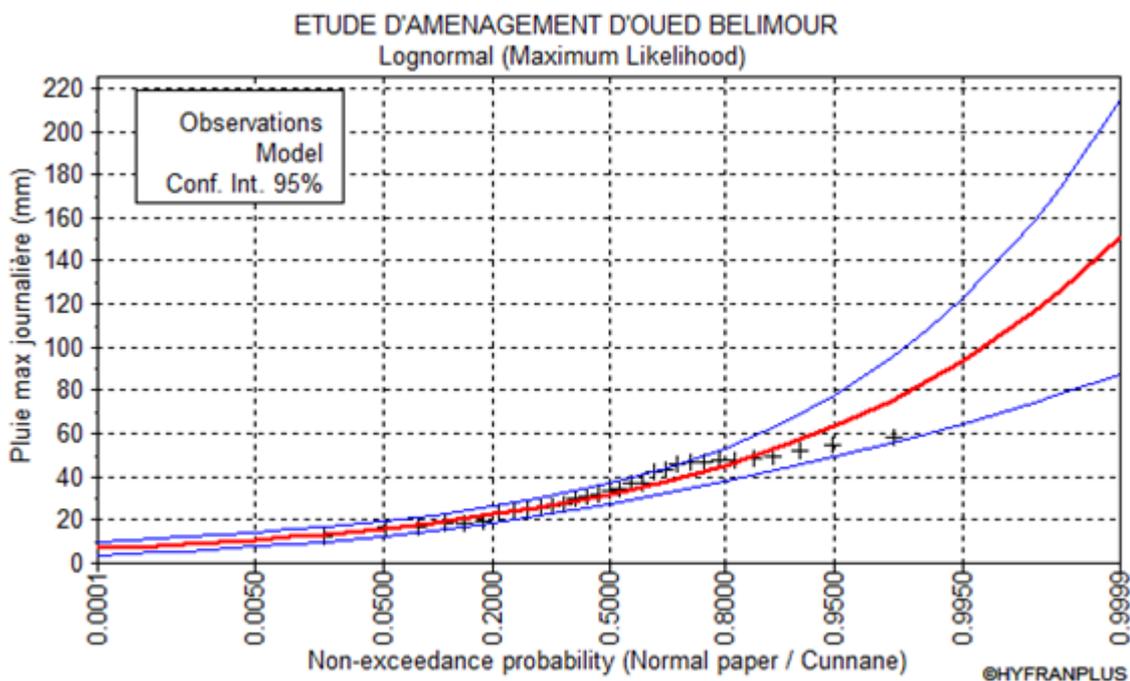


Figure III. 2 : Représentation graphique de l’ajustement à la loi de Galton.

**4-3 Inspection visuelle de la distribution :**

Cette procédure permet dans ce cas, de vérifier la qualité de l’ajustement des fonctions. Notons qu’une estimation juste des valeurs extrêmes demande un bon ajustement de la partie supérieure du graphique, qui correspond aux probabilités cumulées élevées.

En interprétant la figure si dessous, on voit bien que la distribution Gumbel est la plus adaptée à l’échantillon. La loi Log normal est moins adaptée

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### 4-4 Test d'adéquation

Utilisant le logiciel de calcul HYFRAN pour le test Khi-deux

**Tableau III-22** : test de Khi-deux d'adéquation

	Log-Normal	Gumbel
<b>Hypothèses</b>		
H <sub>0</sub> : L'échantillon provient d'une loi Gamma inverse		
H <sub>1</sub> : L'échantillon ne provient pas d'une loi Gamma inverse		
<b>Résultats</b>		
Résultat de la statistique : $\chi^2$	7.16	3.55
p-value	0.1276	0.4706
Degrés de liberté	4	4
Nombre de classes	7	7
Nous pouvons accepter H <sub>0</sub> au niveau de signification de 5% ?	Accepter	Accepter

### 4-5 Constatations :

La loi de Gumbel, convient à la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de valeurs. Le maximum annuel d'une variable étant considéré comme le maximum de 365 valeurs journalières. Cette loi doit être capable de décrire les séries de maxima annuels. Il est à remarquer que plus le nombre de paramètres d'une loi est grand plus l'incertitude dans l'estimation est importante. Puisque la loi de Gumbel présente deux paramètres donc les résultats favorables des tests d'adéquation vont permettre à cette loi de sortir gagnante de la compétition du choix du modèle adéquat d'ajustement.

## V- Pluies de courtes durées et leur intensité de différentes fréquences

Le calcul des pluies de courtes durées pour différentes fréquences a été effectué à l'aide de la relation de Body exprimée par :

$$P_{tc} = P_{\max j} \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad \text{III.26}$$

$P_{tc}$  : pluies de courte durée (mm) de fréquence égale à celle de  $P_{\max j}$ .

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$P_{maxj}$ : pluies maximales fréquentielles.

$T$ : temps en heure.

$B$ : exposant climatique ( $b = 0,28$ ).

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante :

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t} \quad \text{III.27}$$

Avec :

- **I ct** : intensité maximale d'une durée  $t$  (h) correspondante à une période de retour  $T$  (ans).
- **P ct** : pluie de courte durée correspondante à une fréquence donnée (mm).
- **t** : durée de l'averse (h).

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de calcul.

### Chapitre III : Etude Hydrologique

**Tableau III-23** : Pluies et intensités maximales de durée t (h) et de période retour T.

Période	2		5		10		20		50		100		1000	
Fréquence (%)	50		20		10		5		2		1.00		0.10	
P <sub>maxj,p</sub> (%) (mm)	32.5		44		51.6		58.9		68.4		75.5		98.9	
T (h)	P <sub>maxj,p</sub> %	I <sub>0</sub>												
	(mm)	(mm/h)												
0.3	9.05	36.22	12.26	49.03	14.38	57.50	16.41	65.64	19.06	76.22	21.03	84.13	27.55	110.21
0.5	10.99	21.99	14.88	29.77	17.45	34.91	19.92	39.85	23.14	46.27	25.54	51.08	33.45	66.91
0.8	12.32	16.42	16.67	22.23	19.55	26.07	22.32	29.76	25.92	34.56	28.61	38.15	37.48	49.97
1.0	13.35	13.35	18.07	18.07	21.19	21.19	24.19	24.19	28.09	28.09	31.01	31.01	40.62	40.62
1.1	13.71	12.46	18.56	16.87	21.77	19.79	24.85	22.59	28.85	26.23	31.85	28.95	41.72	37.93
4	19.68	4.92	26.64	6.66	31.24	7.81	35.66	8.92	41.42	10.35	45.72	11.43	59.88	14.97
5	20.95	4.19	28.36	5.67	33.26	6.65	37.96	7.59	44.09	8.82	48.66	9.73	63.75	12.75
6	22.04	3.67	29.85	4.97	35.00	5.83	39.95	6.66	46.40	7.73	51.21	8.54	67.08	11.18
7	23.02	3.29	31.16	4.45	36.54	5.22	41.71	5.96	48.44	6.92	53.47	7.64	70.04	10.01
9	24.70	2.74	33.43	3.71	39.21	4.36	44.76	4.97	51.97	5.77	57.37	6.37	75.15	8.35
12	26.77	2.23	36.24	3.02	42.50	3.54	48.51	4.04	56.33	4.69	62.18	5.18	81.45	6.79
15	28.49	1.90	38.57	2.57	45.24	3.02	51.64	3.44	59.97	4.00	66.19	4.41	86.70	5.78
18	29.98	1.67	40.59	2.26	47.61	2.64	54.34	3.02	63.11	3.51	69.66	3.87	91.25	5.07
21	31.31	1.49	42.39	2.02	49.71	2.37	56.74	2.70	65.89	3.14	72.73	3.46	95.27	4.54
24	32.50	1.35	44.00	1.83	51.60	2.15	58.90	2.45	68.40	2.85	75.50	3.15	98.90	4.12

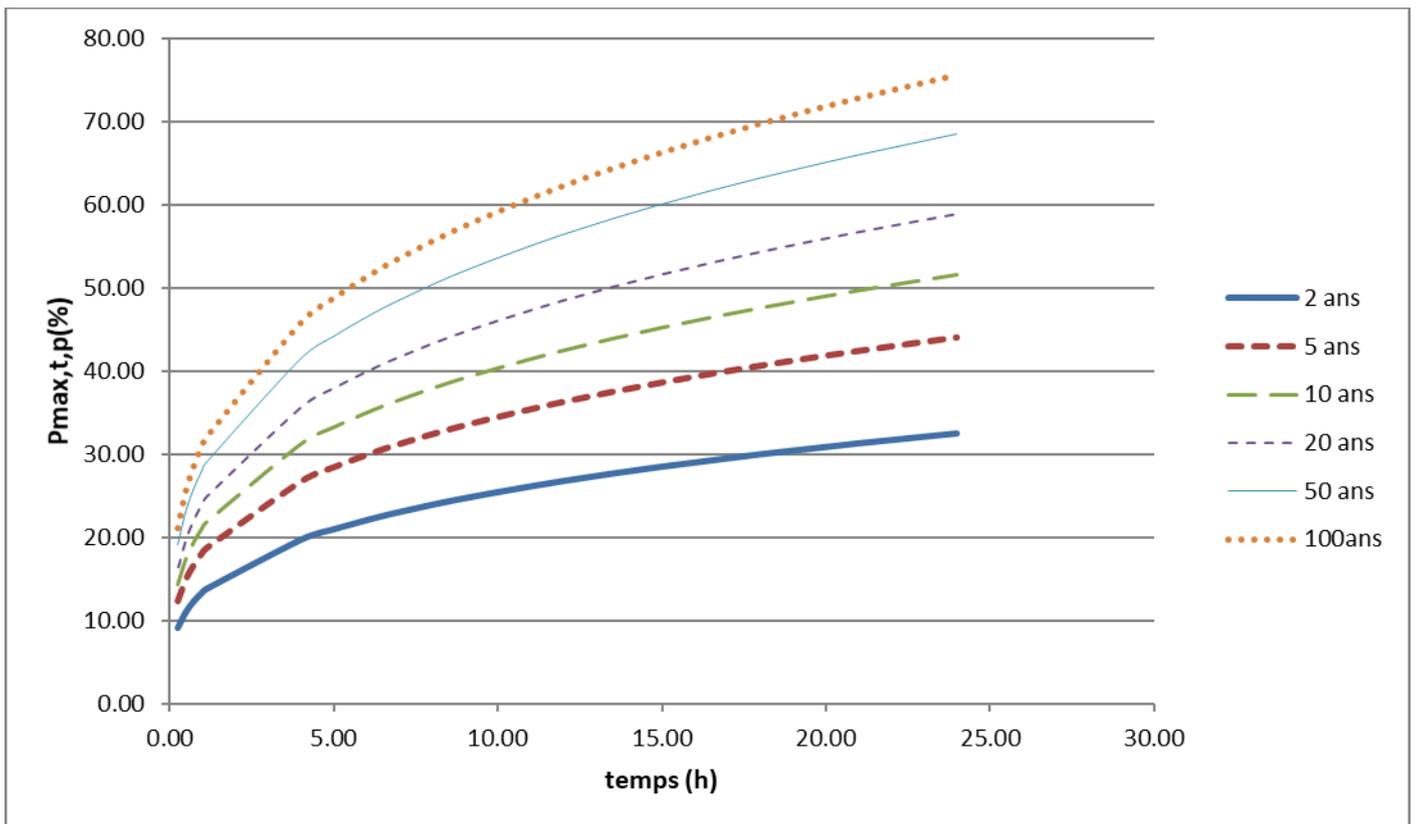


Figure III-9 : Pluies de Courtes durées

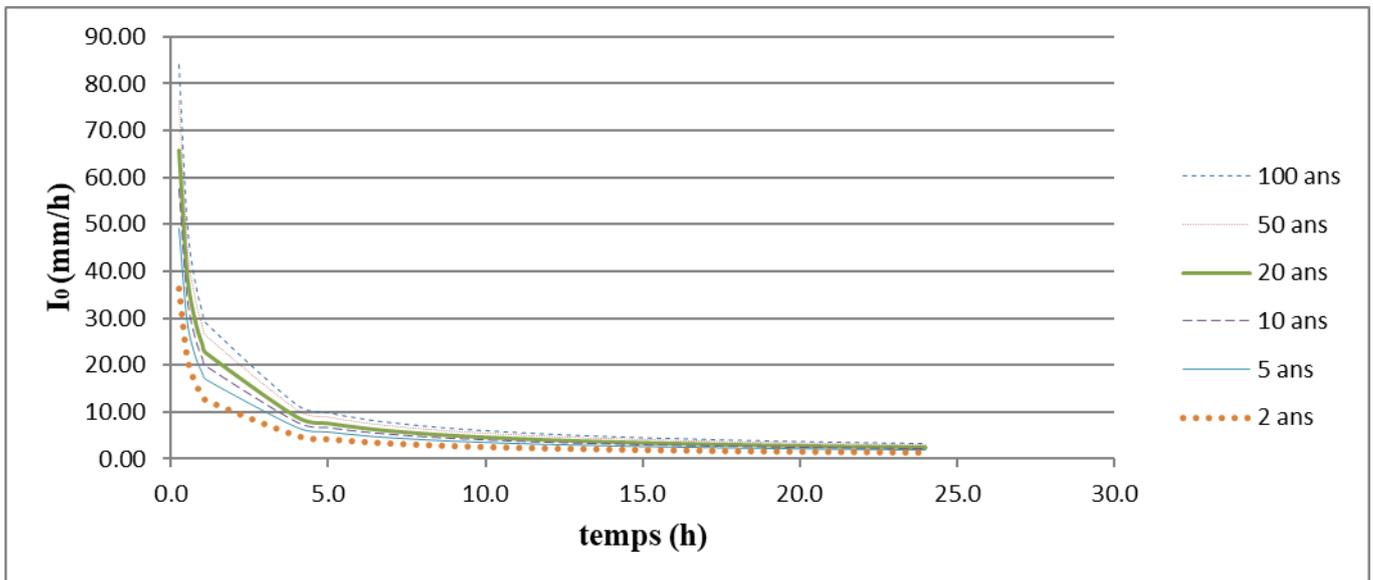


Figure III-10 : Intensité –Durée –Fréquence

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### VI-Etude des apports (Laborde, 2003)

Pour l'évaluation des apports du site, on utilise les formules empiriques vu l'inexistence des stations hydrométriques sur les cours d'eaux.

#### 1- Apports moyens interannuels

Il existe de nombreuses formules pour l'estimation des apports moyens annuels, parmi les quelles :

##### a). Formule de SAMIE:

L'expérience a montré que la relation simple s'ajuste convenablement pour l'apport moyen annuel des petits bassins en donnant la pluie efficace :

$$A = L_e \cdot S \quad \text{III.28}$$

$$L_e = P^2(293 - 2.2\sqrt{S}) \quad \text{III.29}$$

Où :

$L_e$  : lame d'eau écoulée (mm).

$P$  : précipitation moyenne (m).

$S$ : la superficie en  $\text{Km}^2$  du bassin versant.

##### b) Formule de MEDINGER:

$$L_e = 1.024(P - 0.26)^2 \quad \text{III.30}$$

$P$  : précipitation moyenne (m).

$L_e$ : lame d'eau écoulée (mm).

$$A = L_e \cdot S \quad \text{III.31}$$

##### c) Formule de COUTAGNE :

Elle donne le déficit découlent  $D$  tel que :

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{III.32}$$

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T_0} \quad \text{III.33}$$

$T_0$ : température moyenne dans la zone d'étude.  $T_0 = 15^\circ\text{c}$

La lame d'eau écoulée est alors :

$$L_e = P - D \quad \text{III.34}$$

$$A = L_e \cdot S \quad \text{III.35}$$

### Formule de MALLET-GAUTHIER

$$C_e = 0,6 \left( 1 - 10^{-0,36P^2} \right) \quad \text{III.36}$$

$$L_e = P \cdot C_e \quad \text{III.37}$$

$$A_0 = L_e \cdot S \quad \text{III.38}$$

Avec :  $C_e$  : Coefficient d'écoulement.

$\bar{P}$  : Précipitation moyenne (m) ;

$A_0$  : Apport moyen annuel ( $\text{Mm}^3$ ) ;

$L_e$  : Lame d'eau écoulée (m) ;

$S$  : Surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ ).

### Formule de TURC:

$$L_e = P - \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{III.39}$$

$$L = 300 + 25T_0 + 0,05 (T_0)^3 \quad \text{III.40}$$

$T_0$ : température moyenne dans la zone d'étude.

$$A = L_e \cdot S \quad \text{III.41}$$

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### Formule de l'ANRH :

L'apport moyen interannuel est donné par:

$$A_0 = 0.915 \cdot \bar{P}^{2.684} \cdot S^{0.842} \quad \text{III.42}$$

$\bar{P}$  : précipitation moyenne (m).  $S$ : superficie (en Km<sup>2</sup>).

### Formule de DERIE II

$$A_0 = 0,513 \bar{P}^{2,683} D_d S^{0,842} \quad \text{III.43}$$

Avec :  $A_0$  : Apport moyen annuel (Mm<sup>3</sup>) ;

$\bar{P}$  : Précipitation moyenne (m) ;

$D_d$  : Densité de drainage (km/km<sup>2</sup>).

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

**Tableau III-24** : Récapitulatif des résultats des apports et les lames d'eau écoulées

Formule	Lame d'eau écoulée Le (mm)	Apport moyen annuel (Hm <sup>3</sup> )
<b>SAMIE</b>	41.26	0.454
<b>MEDINGER</b>	14.75	0.162
<b>COUTAGNE</b>	49.79	0.548
<b>DERIE II</b>	116.55	1.282
<b>MALLET GAUTIER</b>	25.72	0.283
<b>TURC</b>	18.15	0.200
<b>ANRH</b>	46.67	0.513
<b>Moyenne</b>	<b>44.70</b>	<b>0.492</b>

En faisant référence à la carte des écoulement moyens annuels de l'ANRH, la lame d'eau écoulée moyenne au droit de la zone d'étude est environ de 20mm ce qui corespond à la valeur donnée par la formule de TURC,

Donc l'apport moyen annuel est estimé à : **A =0.20 Mm<sup>3</sup>**.

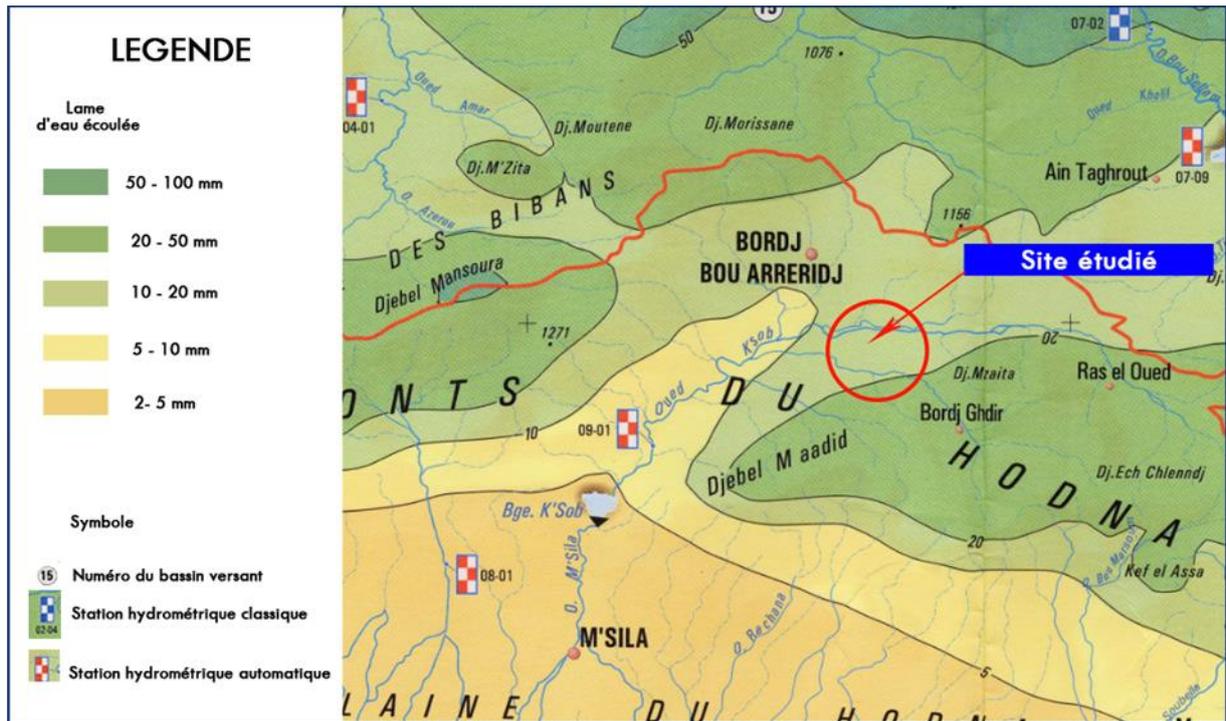


Figure III-11 : Extrait de la carte des écoulements moyens annuels de l'ANRH

## VII- ETUDE DES APPORTS SOLIDES

### 1- Estimation de l'apport solide

Les apports solides dépendent d'une part de l'étendue et du relief du bassin versant et d'autre part de la résistance du sol à l'érosion liée elle-même à :

- La couverture végétale.
- La nature géologique des roches.
- Le régime des pluies et des températures

Par défaut de manque de données sur les débits solides sur Oued **BELIMOUR** nous opterons pour un calcul empirique en utilisant les formules suivantes :

#### Formule de Tixeront :

Cette formule donne l'apport solide moyen annuel en suspension (en t/Km<sup>2</sup>/An), elle est exprimée par :

$$E_s = 92 \cdot L_e^{0.21} \quad \text{III.44}$$

Où :

$E_s$ : Apport solide moyen annuel en suspension (t/Km<sup>2</sup>/An).

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$L_e$ : lame d'eau écoulee. ( $L_e = 18.15\text{mm}$ )

$S$ : superficie du bassin versant en  $\text{Km}^2$ .

$E_s = 169.10 \text{ t/Km}^2/\text{An}$ ).

### Formule de Fournier :

Le transport solide est donné par la formule suivante :

$$T_a = \frac{1}{36} \left( \frac{P_m^2}{P_a} \right)^{2.65} \left( \frac{h^2}{S} \right)^{0.46} \quad \text{III.45}$$

Avec :  $E_s$  : érosion spécifique ( $\text{t/Km}^2/\text{an}$ )

$P_m$  : Pluie mensuelle du mois le plus pluvieux (mm).  $P_m = 43.1\text{mm}$ .

$P_a$  : Pluie moyenne interannuelle (mm)  $P_a = 379.00\text{mm}$ .

$h = 45\% (H_{\max} - H_{\min})$  (m);

$h_{\max}$ : Altitude maximale = 1478m.

$H_{\min}$  : Altitude minimale = 897m.

$S$  : Surface du bassin versant ( $\text{km}^2$ ),  $S = 11 \text{ Km}^2$

**A.N:**

$h = 261.45$ .

**$E_s = 104.23\text{t/km}^2/\text{an}$**

### Formule de Gravitovitch :

Cette relation largement utilisée en Algérie, fait intervenir des caractéristiques physiques et un indice climatique du bassin versant.

$$T_a = T_{sp} * G_{rm} \quad \text{III.46}$$

Avec :

$$T_{sp} = T * P_{moy} * \pi * \sqrt{Z^3} \quad \text{III.47}$$

$$T = (t/10)^{0.5} + 0.1 \quad \text{III.48}$$

$$G_{rm} = \frac{(\sqrt{P} + H_{moy})}{0.2(L + 10)} \quad \text{III.49}$$

$T_a$  : taux d'abrasion ( $\text{t/Km}^2/\text{an}$ ).

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$T_{sp}$  : le taux de la production annuel des matériaux en ( $m^3/km^2/an$ ).

$G_{rm}$  : taux de rétention des sédiments produits par le bassin.

$T$  : coefficient thermique.

$Z$  : coefficient d'érosion relative en fonction de la description du bassin versant ( $z=0.55$ ).

$P_{moy}$  : Pluie moyenne interannuelle (mm).

$t$  : température moyenne annuelle ( $^{\circ}C$ ).  $t=15^{\circ}C$

$P$  : périmètre du bassin versant (Km).  $P=18.50km$ .

$L$  : longueur du talweg principal (Km).  $L=8.60 km$ .

$H_{moy}$  : Altitude moyenne (km).  $H_{moy}=1,068 km$ .

$T_a=635.77 t/km^2.an$

### Formule de Sami :

$$E=P^2/(293.2*2S^{0.5})$$

$E$  : apport solide ( $t/km^2/an$ ).

$P$  : pluie moyenne sur le bassin versant (mm).

$S$  : surface du bassin versant ( $km^2$ ).

A.N :  $E=73.86 t/km^2/an$

**Tableau III-25 : Récapitulatif des résultats de l'apport solide**

Formule	Apport solide $t/km^2/an$
<b>Tixeront</b>	169.10
<b>Fournier</b>	104.23
<b>Gravilovitch</b>	635.77
<b>SAMIE</b>	73.86
<b>Moyenne</b>	245.74

### 2- Résultats et discussion :

D'après les résultats obtenus par les différentes formules empiriques, nous constatons que la valeur donnée par la formule de **Gravilovitch** est élevée tandis que celles données par la formule de SAMIE et petite et les valeurs données par **Tixeront** et **Fournier** sont moyennes, nous allons choisir valeur donnée par la formule de **Tixeront**

Donc le taux d'envasement annuel est de :  $169.10 t/km^2/an=1860 t/an$

### VIII- ETUDE DES CRUES

. L'étude des crues a comme but la détermination des hydrogrammes de crue afin de déterminer les débits maximums probable.

La construction des hydrogrammes de crues passe d'abord par l'estimation des débits maximum fréquentiels.

#### 1- Détermination des débits maximums fréquentiels

En l'absence de données pour les débits maximums, on a décidé de calculer les débits maximums par les formules empiriques.

##### 1-1 Détermination des débits maximaux fréquentiels par les formules empiriques

**Formule de Giandotti:**

$$Q_{\max \%} = \frac{C.S.(H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} \cdot P_{tc} \quad \text{III.50}$$

$Q_{\max (\%)}$ : débit maximum de crue en m<sup>3</sup>/s de même fréquence que celle de la pluie de courte durée.

C : Coefficient fonction des conditions topographiques généralement pris égal à 120-160 pour des petits bassins, on prend une moyenne C=140, [ANBT]

S: superficie du bassin versant.

L: longueur du talweg principal.

$H_{\text{moy}}$ , et  $H_{\text{min}}$  : altitudes moyennes et minimales (en m).

$P_{tc}$ : pluies de courte durée.

**Formule de Sokolovsky :**

$$Q_{\max \%} = \frac{0.28.S.\alpha.P_{ct}.f}{T_c} \quad \text{III.51}$$

S: superficie du bassin versant.

$P_{tc}$ : pluies de courte durée.

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$T_c$ : temps de concentration.

$\alpha$ : coefficient de ruissellement du bassin versant ( $0,6 < \alpha < 0,8$ )

$f$ : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue  $f = 1.2$ .

**Tableau III-26** : Récapitulatif des pluies de courte durée pour différentes périodes de retour

Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
Pct (mm)	<b>13.71</b>	<b>18.56</b>	<b>21.77</b>	<b>24.85</b>	<b>28.85</b>	<b>31.85</b>	<b>41.72</b>

### Formule de Mallet-Gauthier:

$$Q_{\max \%} = 2k \text{Log}(1 + AP) \cdot \frac{S}{\sqrt{L_p}} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{Log}T - \text{Log}S} \quad \text{III.52}$$

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

$L_p$ : longueur du talweg principal (Km).

$A$ : coefficient régional pris égal à 20.

$k$ : constante comprise entre 1 et 3 on prend une valeur moyenne 2.

$P$ : précipitation moyenne interannuelle.

$T$ : période de retour en années

### Formule de POSSENTI:

On a:

$$Q_p \% = \frac{\mu P \max j \% S}{L_p} \quad \text{III.53}$$

$P_{\max p \%}$  : Pluie maximale journalière correspondante à la période de retour donnée.

$\mu$ : Coefficient compris entre 700 – 800 ; On prend  $\mu = 750$ .

$L_p$  : Longueur du cours d'eau principal (Km).

### Formule d'Alexeev:

$$Q_{\max \%} = 0.34 P_{tc}^{4/3} \quad \text{III.54}$$

## Chapitre III : Etude Hydrologique

$P_{tc}$ : pluies de courte durée.

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau 16

**Tableau III-27** : Détermination des débits maximaux fréquentiels par les formules empiriques

Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
<b>GIANDOTTI</b>	10.55	14.28	16.75	19.12	22.21	24.51	32.11
<b>SOKOLOVSKY</b>	32.24	43.65	51.19	58.44	67.86	74.91	98.12
<b>MALLET-GAUTIER</b>	22.06	28.26	32.17	35.65	39.79	42.66	51.03
<b>ALEXEEV</b>	11.16	16.71	20.66	24.65	30.09	34.32	49.19
<b>POSSENTI</b>	31.18	42.21	49.50	56.50	65.62	72.43	94.88
<b>Moyenne</b>	<b>21.44</b>	<b>29.02</b>	<b>34.06</b>	<b>38.87</b>	<b>45.11</b>	<b>49.76</b>	<b>65.07</b>

D'après les résultats obtenus par les différentes formules empiriques, nous constatons que les valeurs données par les formules de GIANDOTTI, ALEXEEV, SOKOLOVSKY et POSSENTI sont des valeurs extrêmes, nous allons choisir les valeurs trouvées par la formule MALLET-GAUTIER.

**Tableau III-28** : Débits de crues maximums pour différentes périodes de retour

Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
<b><math>Q_{\max}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>	22.06	28.26	32.17	35.65	39.79	42.66	51.03

### 2- Hydrogramme de crue

La forme des crues (temps de montée et de décrue) est déterminée à l'aide de la méthode de Sokolovsky, qui assimile l'hydrogramme de crue à deux équations paraboliques l'une pour le temps de montée et définie par :

$$Q_t = Q_{\max} \% \left( \frac{t}{t_m} \right)^n \quad \text{III.55}$$

Et l'autre pour la décrue exprimée par:

$$Q_t = Q_{\max} \% \left( \frac{t_d - t}{t_d} \right)^m$$

$Q_{\max} (\%)$ : débit maximum de fréquence donnée.

$Q_t$ : débit instantané au moment (t).

$t_m, t_d$ : temps de montée et de décrue.

$m, n$ : puissances des paraboles pour les bassins de petits gabarits  $m=3$  et  $n=2$ .

Temps de base:  $t_b = t_m + t_d$

On considère généralement que:

$t_d = \delta * t_m$ .

Où  $\delta$  : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue.

**Tableau III-28** : Débits de crues pour différentes périodes de retour ( $m^3/s$ )

temps (h)	Période de retour (ans)						
	2	5	10	20	50	100	1000
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	1.14	1.46	1.61	1.84	2.06	2.20	2.64
0.5	4.56	5.84	6.44	7.37	8.22	8.81	10.54
0.75	10.26	13.14	14.49	16.57	18.50	19.83	23.72
1	18.23	23.36	25.76	29.46	32.88	35.26	42.17
<b>1.1</b>	<b>22.06</b>	<b>28.26</b>	<b>31.17</b>	<b>35.65</b>	<b>39.79</b>	<b>42.66</b>	<b>51.03</b>
1.2	19.74	25.29	27.89	31.90	35.61	38.17	45.66
1.3	16.77	21.49	23.70	27.11	30.25	32.44	38.80
1.4	14.12	18.09	19.95	22.82	25.47	27.31	32.66
1.5	11.76	15.07	16.62	19.01	21.22	22.75	27.21
1.6	9.68	12.41	13.68	15.65	17.47	18.73	22.40
1.7	7.87	10.08	11.11	12.71	14.19	15.21	18.19
1.8	6.29	8.06	8.89	10.16	11.35	12.16	14.55
1.9	4.94	6.33	6.98	7.98	8.91	9.55	11.43
2	3.80	4.87	5.37	6.14	6.85	7.35	8.79
2.1	2.85	3.65	4.03	4.60	5.14	5.51	6.59
2.2	2.07	2.65	2.93	3.35	3.74	4.01	4.79
2.3	1.45	1.86	2.05	2.34	2.62	2.81	3.36
2.4	0.97	1.24	1.37	1.56	1.75	1.87	2.24

### Chapitre III : Etude Hydrologique

2.5	0.61	0.78	0.86	0.98	1.09	1.17	1.40
2.6	0.35	0.45	0.49	0.56	0.63	0.67	0.81
2.7	0.18	0.23	0.25	0.29	0.32	0.34	0.41
2.8	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.14	0.17
2.9	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
3.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Tableau III-29 :** Coefficients de forme de l'hydrogramme de crue  $\delta$

Description du cours d'eau	Valeur de $\delta$
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables.	2,0 – 2,5
Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants brisés ou perméables, moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales.	3,0 – 4,0
Grands et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues.	4,0 – 7,0

On prend  $\delta=2,5$

$t_d = 2,5t_m$ , et  $t_m = t_c$  (pour des petits bassins).

Pour construire l'hydrogramme des crues, on a utilisé les valeurs des débits de crues de fréquence 50%, 20%, 10% ,5% ,2% ,1% ,0.1%,

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau III-30 :** Valeurs des débits de crues en fonction du temps.

Temps de montée et de décrue, temps de base

$T_m$ (h)	$T_d$ (h)	$T_b$ (h)
<b>1,10</b>	2.75	3,85

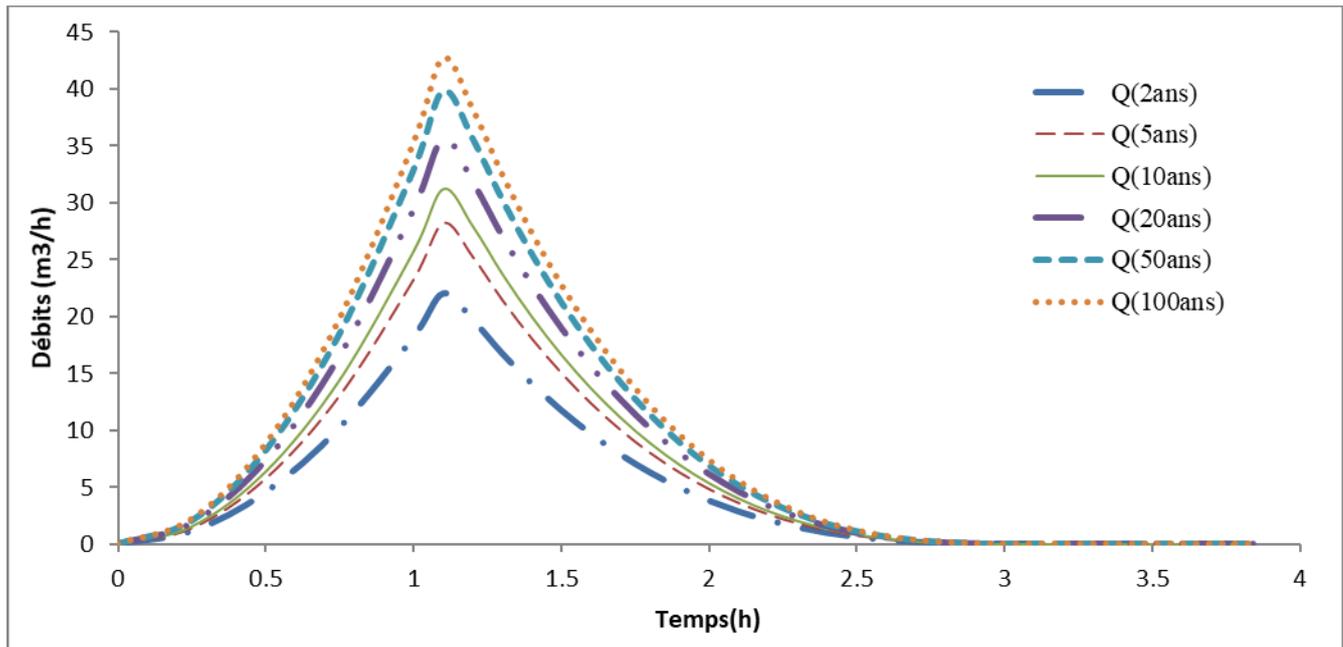


Figure III-12 : Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour

### IX-Choix de la crue du projet

Pour la détermination de la crue de projet on doit tenir compte des caractéristiques géologiques et hydrologiques du bassin versant (précipitations, superficie, perméabilité...etc.), donc on doit calculer l'indice global "I<sub>g</sub>" qui est lié à tous ces paramètres tel que :  $I_g = I_a * I_d * I_r$

Avec :

**I<sub>a</sub>**: représente la somme des indices mineurs (intensité des crues et les difficultés topographiques).

**I<sub>d</sub>**: représente la somme des indices des difficultés géologiques et géotechniques.

**I<sub>r</sub>**: représente les risques.

Pour notre cas on peut considérer que les difficultés géologiques et géotechniques sont un moins compliquées, les connaissances hydrologiques paraissent moyennes et que le risque en aval est moins élevé. Alors nous optons pour une crue de projet de probabilité de 1% (T = 100 ans)

D'où :

$$Q_{\text{crue projet}} = 42.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

## Chapitre III : Etude Hydrologique

### CONCLUSION :

A l'issue de ce chapitre, les différents paramètres morphométriques du bassin versant de l'oued étudié ont été déterminés, tout en donnant les calculs hydrologiques nécessaires pour la zone d'étude, cette étude nous a amené à déterminer les débits de crue centennale qui seront utiles pour l'aménagement d'oued Belimour.

**Tableau** : Récapitulatif du temps de concentration.

Formules	Tc(h)
<b>GIANDOTTI</b>	2.50
<b>KIRPICH</b>	1.10
<b>CALIFORNIA</b>	0.98
<b>TURRAZA</b>	0.06

**Tableau** Caractéristiques hydro-morphométriques du bassin versant

Désignation		Symbole	Unités	bV GLOBAL
Superficie		S	km <sup>2</sup>	11.00
Périmètre		P	km	18.50
Longueur du thalweg principal		L <sub>P</sub>	km	8.60
Indice de compacité		K <sub>C</sub>	-	1.56
Coefficient d'allongement		Ca	-	6.72
Rectangle Equivalent	Longueur	L <sub>r</sub>	m	7.77
	Largeur	l <sub>r</sub>	Km	1.48
Altitudes	Maximale	H <sub>max</sub>	m	1478
	Moyenne	H <sub>moy</sub>	m	1068
	Médiane	H <sub>med</sub>	m	1095
	Minimale	H <sub>min</sub>	m	897
Pente moyenne du BV		I <sub>g</sub>	%	4.98
Indice de pente moyenne		I <sub>pm</sub>	%	7.48
Dénivelé spécifique		D <sub>s</sub>	m	165.22

## Chapitre III : Etude Hydrologique

Temps de concentration	$T_c$	h	1.10
Vitesse de ruissellement	$V_r$	Km/h	7.79

Formule	Lame d'eau écoulee Le (mm)
<b>SAMIE</b>	41.26
<b>MEDINGER</b>	14.75
<b>COUTAGNE</b>	49.79
<b>DERIE II</b>	116.55
<b>MALLET GAUTIER</b>	25.72
<b>TURC</b>	18.15
<b>ANRH</b>	46.67
<b>Moyenne</b>	<b>44.70</b>

### Récapitulatif des résultats de l'apport solide

Formule	Apport solide t/km <sup>2</sup> /an
<b>Tixeront</b>	169.10
<b>Fournier</b>	104.23
<b>Gravilovitch</b>	635.77
<b>SAMIE</b>	73.86
<b>Moyenne</b>	245.74

**Tableau :** débits maximaux fréquents par les formules empiriques

Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000
<b>GIANDOTTI</b>	10.55	14.28	16.75	19.12	22.21	24.51	32.11
<b>SOKOLOVSKY</b>	32.24	43.65	51.19	58.44	67.86	74.91	98.12
<b>MALLET-GAUTIER</b>	22.06	28.26	32.17	35.65	39.79	42.66	51.03
<b>ALEXEEV</b>	11.16	16.71	20.66	24.65	30.09	34.32	49.19
<b>POSSENTI</b>	31.18	42.21	49.50	56.50	65.62	72.43	94.88
<b>Moyenne</b>	<b>21.44</b>	<b>29.02</b>	<b>34.06</b>	<b>38.87</b>	<b>45.11</b>	<b>49.76</b>	<b>65.07</b>

**Chapitre IV :**  
**Calcul et simulation hydraulique**

### Introduction

Le calcul hydraulique s'inspire de la règle des valeurs extrêmes (débit et vitesse d'écoulement), donc les canaux doivent satisfaire les conditions de l'évacuation rapide et continue de toutes les quantités des eaux. Notre objectif est d'avoir le comportement des lames d'eaux correspondantes aux différents débits issus de l'étude hydrologique pour être utilisées dans la détermination des zones inondables et par la suite, pour mettre en place un programme d'aménagement du cours d'eau répondant aux exigences bien définies.

#### I- Généralités (Graf et al, 1993)

##### 1. Ecoulement à surface libre

Il est défini comme un écoulement de liquide avec une interface libre entre l'aire et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique, ce cas d'écoulement se fait sous l'action de la force de gravité à cause de l'existence de la pente.

##### 2. Canaux à ciel ouvert

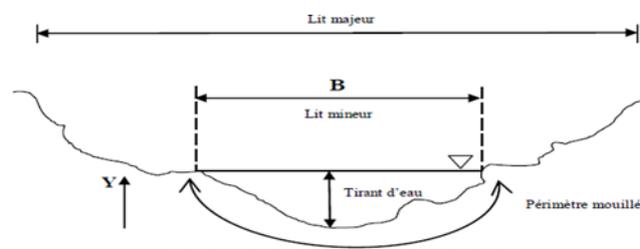
On appelle canal, un système de transport dans lequel l'eau s'écoule et dont la surface libre est soumise à la pression atmosphérique. Ils peuvent être des canaux naturels ou artificiels, caractérisés par une pente «  $i$  » et un coefficient de rugosité «  $n$  ». **Degoutte, G., 2006**

##### 3. Différents types de Canaux

On distingue deux catégories de canaux :

##### 4. Les canaux naturels

Ce sont les cours d'eau qui existent naturellement sur (ou sous) terre ; tels que les ruisselets, torrents, rivières, fleuves et estuaires. Les propriétés géométriques et hydrauliques des canaux naturels sont généralement assez irrégulières. L'application de la théorie hydraulique ne donne que des résultats approximatifs obtenus moyennant certaines hypothèses.



**Figure IV 1** : caractéristiques d'un lit d'oued.

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

### 5. Section mouillée $S_m$

Partie de la section du canal limitée par les parois et la surface libre.

### 6. Périmètre mouillé $P_m$

Longueur de la surface d'écoulement en contact avec le lit (fond + berges), c'est-à-dire le périmètre de la section d'écoulement moins la largeur au miroir.

### 7. Largeur au miroir $B$

Largeur de la section d'écoulement au niveau de la surface libre. La pression du fluide à cette interface est égale à celle de l'atmosphère.

### 8. Tirant d'eau

Profondeur maximale d'une section d'écoulement ;

### 9. Rayon hydraulique

Le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillé.

### 10. Largeur au radier

La base du canal ou la largeur de la section mouillée au niveau du fond.

### 11. Pente d'un canal

La tangente de l'angle d'inclinaison du lit par rapport à l'horizontale.

### 12. Canal prismatique

On dit qu'un canal est prismatique si et seulement si la géométrie de celui-ci est constante dans sa direction longitudinale.

### 13. Les canaux artificiels

Ce sont des cours d'eau réalisés par l'homme sur (ou sous) terre tels que: les canaux découverts construits au ras du sol (canaux de navigation, d'adduction et d'évacuation, d'irrigation et de drainage) ou les canaux couverts dans lesquels les liquides ne remplissent pas toute la section (tunnels hydrauliques, aqueducs, drains, égouts). Les propriétés hydrauliques des canaux artificiels sont généralement assez régulières. L'application de la théorie hydraulique donne souvent des résultats satisfaisants.

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

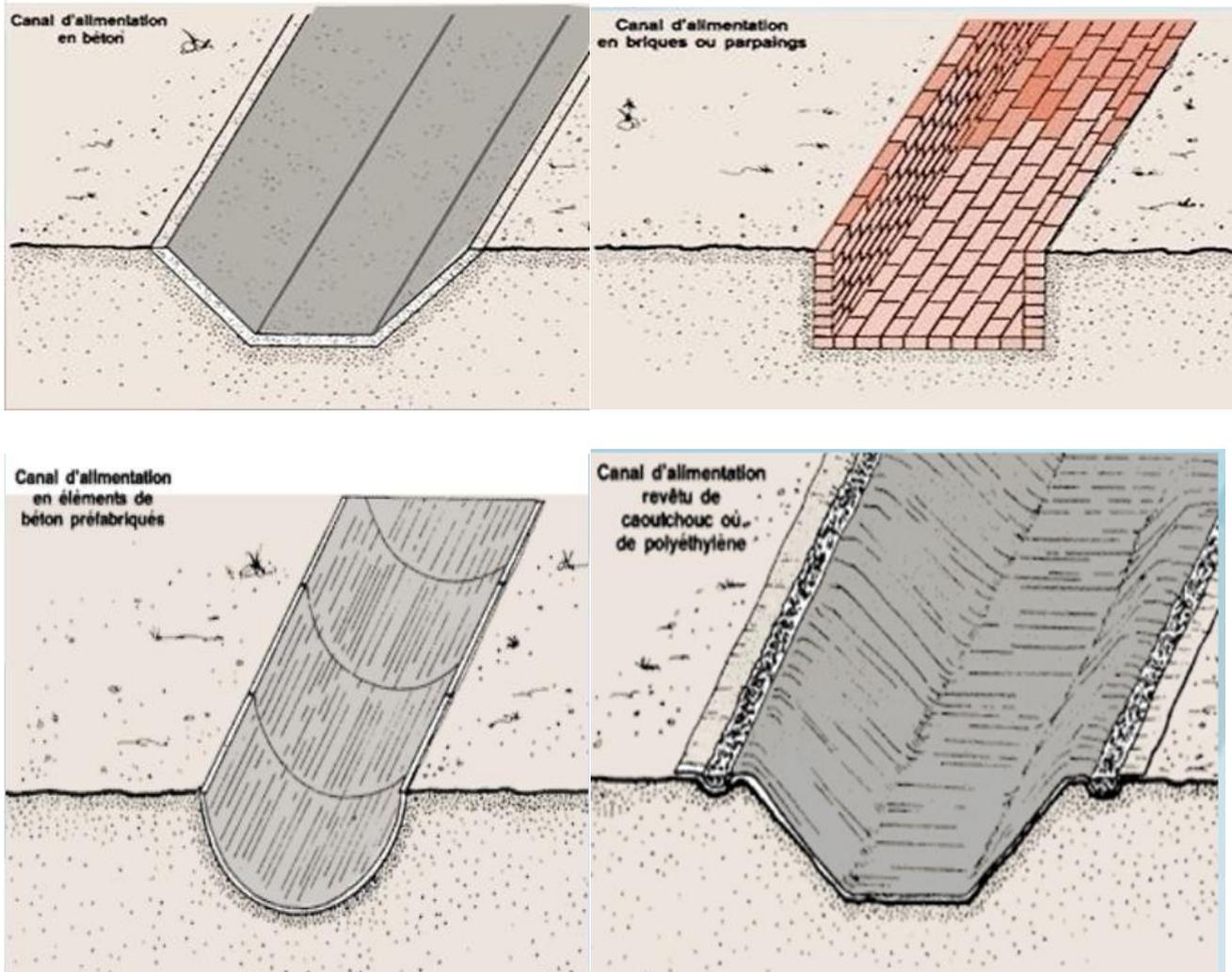


Figure IV. 2 Canaux artificiels à ciel ouvert

### II- Types d'écoulement

#### II-1 Variabilité dans le temps

Les types d'écoulement qu'on peut avoir en hydraulique fluvial sont comme suit :

##### II-1-1 Ecoulement permanent :

L'écoulement est dit permanent si la profondeur de l'eau et les autres paramètres varient lentement avec le temps, c à dire :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dh}{dt} = \frac{du}{dt} = 0$$

IV.1

Il se divise en :

- Uniforme

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

- Non uniforme

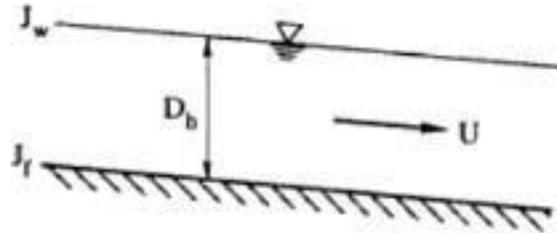


Figure IV. 3 Schéma d'un écoulement permanent

### II-1-2 Ecoulement non permanent :

L'écoulement est non uniforme si la profondeur de l'eau et les autres paramètres varient avec le temps, c'est à dire :

$$\frac{dv}{dt} \neq \frac{dQ}{dt} \neq \frac{dh}{dt} \neq \frac{du}{dt} \neq 0$$

- Uniforme
- Non uniforme : peut-être graduellement ou rapidement variée.

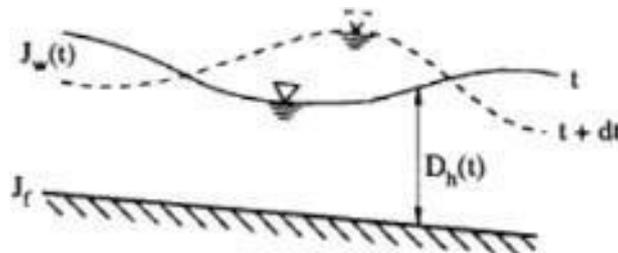


Figure IV. 4 Schéma d'un écoulement non permanent

### II-2 Variabilité dans l'espace

#### II-2-1 Ecoulement uniforme

Un écoulement est uniforme si les paramètres suivants : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section restent invariables dans l'espace. C'est à dire :

$$\frac{dv}{dx} = \frac{dQ}{dx} = \frac{dh}{dx} = \frac{du}{dx} = 0$$

### II-2-2 Ecoulement non uniforme

Un écoulement est non uniforme si les paramètres suivants : vitesse, pente, rugosité, profondeur et section se varient dans l'espace. C'est à dire :

$$\frac{dv}{dx} \neq \frac{dQ}{dx} \neq \frac{dh}{dx} \neq \frac{du}{dx} \neq 0$$

- Ecoulement non uniforme graduellement varié :

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très faible, typiquement si  $x$  désigne une longueur d'écoulement et  $h$  une variation de hauteur,

On a  $\Delta h/x \ll 1$ .

- Ecoulement non uniforme rapidement varié

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très importante, En effet à l'approche d'une singularité ou bien en cas de ressaut hydraulique, l'écoulement peut entrer dans un régime rapidement varié.

- **Régime non uniforme graduellement varié :**

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très faible, typiquement si «  $x$  » désigne une longueur d'écoulement et  $\Delta h$  une variation de hauteur, on a  $\Delta h/x \ll 1$ .

- **Régime non uniforme rapidement varié :**

Régime d'écoulement où la variation de hauteur dans la direction d'écoulement est très importante, En effet à l'approche d'une singularité ou bien en cas de ressaut hydraulique, l'écoulement peut entrer dans un régime rapidement varié.

### III- Régime d'écoulement

Il existe deux régimes d'écoulement : écoulement fluviale et écoulement torrentiel. La détermination du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre adimensionnel nommé nombre de Froude, dont le carré représente le rapport de l'énergie cinétique du liquide en mouvement à l'énergie potentielle de la pesanteur. (GRAF.W.H and ALTINAKAR.M. S ;1993, Hydraulique Fluviale).

C'est-à-dire :

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

$$Fr = \sqrt{(Q^2L/gS^3)} \quad \text{IV.3}$$

Il s'écrit aussi :

$$Fr = V \sqrt{(g*Ym)} \quad \text{IV.4}$$

Avec :

$$y_m = S/L: \quad \text{IV.5}$$

le tirant d'eau moyen dans la section.

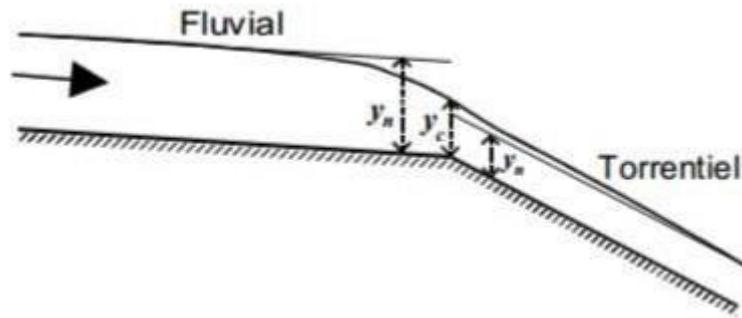
Lorsque :

- $Fr = 1$  : le régime est critique.
- $Fr < 1$  : le régime est fluvial.
- $Fr > 1$  : le régime est torrentiel.

La notion de régime fluvial, torrentiel ou critique s'applique évidemment au cas particulier du Régime uniforme.

Lorsque :

- $Y_n < Y_c$  : écoulement uniforme torrentiel.
- $Y_n > Y_c$  : écoulement uniforme fluvial.



**Figure IV5 :** Passage du régime fluvial au régime torrentiel

Un autre nombre adimensionnel utilisé dans l'étude hydraulique s'ajoute au nombre de Froude pour former quatre autres régimes, le nombre de Reynolds.

Le nombre de Reynolds est le rapport entre les forces de viscosité et celles d'inertie. C'est à dire :

$$Re = (V * h) / \nu \quad \text{IV.6}$$

Le rôle du nombre de Reynolds est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- $Re < 500$  : écoulement laminaire.
- $Re < 2000$  : écoulement turbulent.
- $500 < Re < 2000$  : écoulement de transition

Donc la combinaison des deux nombres donne la classification suivante :

- $Fr < 1, Re < 500$  : écoulement fluvial-laminaire.
- $Fr < 1, Re > 2000$  : écoulement fluvial-turbulent.
- $Fr > 1, Re < 500$  : écoulement torrentiel-laminaire.
- $Fr > 1, Re > 2000$  : écoulement torrentiel-turbulent.

### IV- Calcul de la ligne d'eau

#### 1- Equation de la ligne d'eau

L'équation de la surface libre de la ligne d'eau, est une équation liée à l'abscisse et à l'ordonnée de chaque point de la ligne d'eau pour un débit et une pente du canal donnée.

En basant sur l'équation d'énergie :

$$Re = (V * h) / \nu \quad \text{IV.7}$$

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

Et sur l'équation de la continuité :

$$Re = (V \cdot h) / \nu \quad \text{IV.8}$$

Dérivant l'équation (IV.24) par rapport à  $x$ , on trouve :

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{(Q/S)^2}{2g} \right) + \frac{dh}{dx} \quad \text{IV.9}$$

Comme :

$$\frac{dz}{dx} = -J_f \quad \text{IV.10}$$

IV.11

$$\frac{dH}{dx} = -J_e = -\frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h}$$

On trouve :

$$\frac{dh}{dx} = J_f \frac{1 - \frac{(Q/S)^2}{C^2 \cdot R_h \cdot J_f}}{1 - \frac{(Q/S)^2}{g \cdot S / B}} \quad \text{IV.12}$$

### 2- Les différentes formes de courbe de remous

Les courbes représentant la ligne d'eau d'un tel mouvement sont généralement appelées courbes de remous. D'après la formule (IV.5) on a :

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = S.C.\sqrt{R_h} = K \quad \text{IV.13}$$

$$S_n.C_n.\sqrt{R_h} = K_n \quad \text{IV.14}$$

Donc l'équation devient :

$$Fr^2 = \frac{(Q/S)^2}{g.S/B} \quad \text{IV.15}$$

Avec :

**Jf = i = pente de fond**

D'autre par :

$$\frac{dh}{dS} = J \frac{1 - \left(\frac{h_n}{h}\right)^2}{f \cdot 1 - Fr^2} \quad \text{IV.16}$$

Pour les différentes valeurs de pente du fond et pour un débit constant on a :

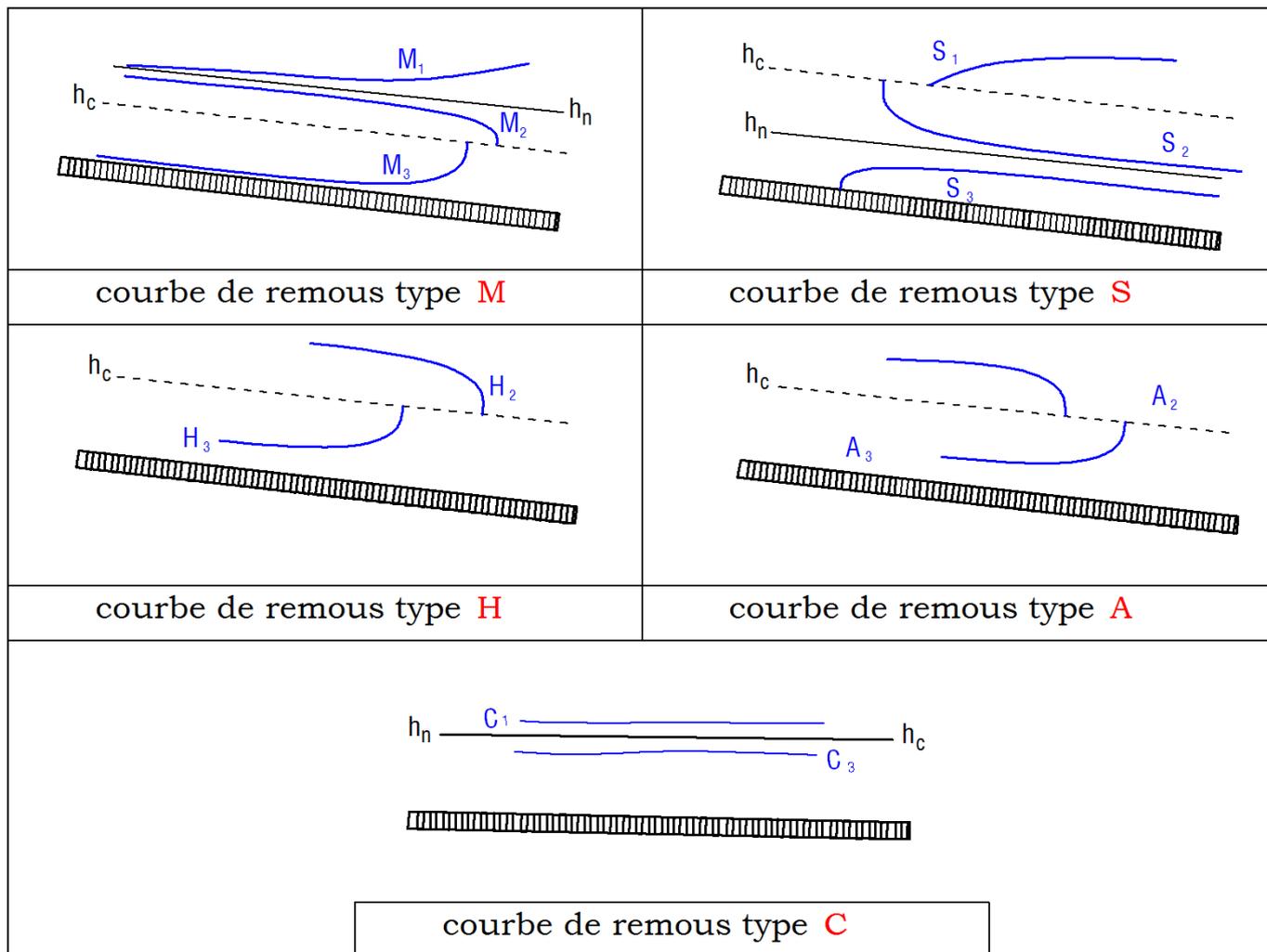


Figure IV 6 : Différentes formes de courbes de remous.

**Tableau IV 1** : Différentes formes de courbes de remous.

conditions	$(K_n/K) = (h_n/h)$	signe de numérateur	$Fr = (h_c/h_n)$	signe de dénumérateur	signe de $dh/dx$	nom de courbe
$i > 0$	$< 1$	+	$< 1$	+	+	M1
$i < i_c$	$< 1$	+	$> 1$	-	-	
$h_n > h_c$	$> 1$	-	$< 1$	+	-	M2
	$> 1$	-	$> 1$	-	+	M3
$i > 0$	$< 1$	+	$< 1$	+	+	S1
$i > i_c$	$< 1$	+	$> 1$	-	-	S2
$h_n < h_c$	$> 1$	-	$> 1$	-	+	S3
$i > 0$	$< 1$	+	$< 1$	+	+	C1
$i = i_c$	$< 1$	+	$> 1$	-	-	C2
$h_n = h_c$	$> 1$	-	$> 1$	-	+	C3
$i = 0$		-	$< 1$	+	-	H2
$h_n = 0$		-	$> 1$	-	+	H3
$i < 0$		-	$< 1$	+	-	A2
$h_n < 0$		-	$> 1$	-	+	A3

### V- Calcul du ressaut

Le ressaut hydraulique c'est un phénomène de dissipation d'énergie, il est inversible, se produit si un écoulement passe brusquement du régime sur critique  $Fr > 1$  (amont), au régime sous critique  $Fr < 1$  (aval). Il se manifeste par une brusque surélévation (discontinue) du niveau d'eau ( $h_2 - h_1$ ), sur une très courte distance. Il est accompagné par des mouvements très turbulents avec des instabilités à la surface. Le ressaut

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

provoque une dissipation importante de l'énergie mécanique ( $HRH = HS2 - HS1$ ), donc il se représente sous la forme d'une barre d'écume déferlant en rouleaux.

Les principales caractéristiques d'un ressaut sont les suivantes :

- Hauteurs conjuguée ( $h''$  et  $h'$ ).
- Hauteur de ressaut ( $h'' - h'$ ).
- La longueur approximative du ressaut ( $LRH$ ).

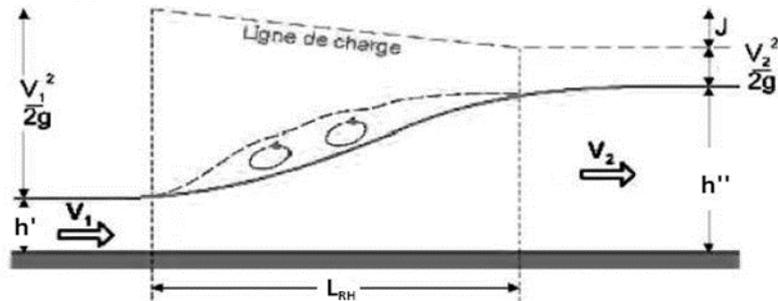


Figure IV 7 : schéma d'un ressaut hydraulique.

Selon le nombre de FROUDE " $Fr$ ", un ressaut peut correspondre à différents types d'écoulement. On peut avoir donc :

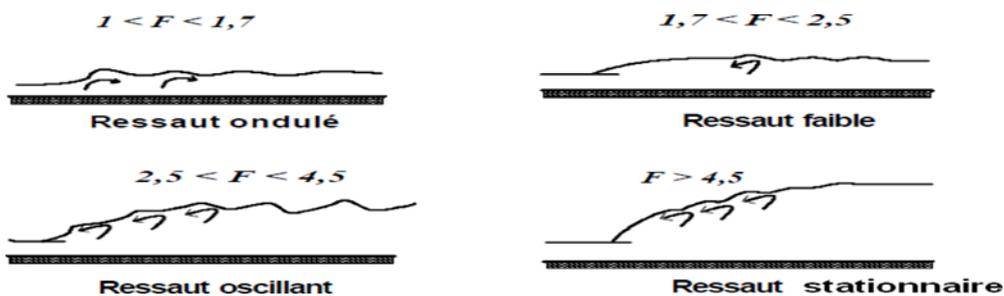


Figure IV 8 : Typologie des ressauts.

**Tableau IV 2 : Différents types de ressaut.**

type de ressaut	valeurs de Fr	Observation
Prés ressaut (ressaut ondulé)	1,7 ÷	La surface présente des ondulations, les hauteurs conjuguées sont trop proches de la hauteur critique $h_{cr}$
Un ressaut faible	1,7 ÷ 2,5	Des petits rouleaux apparaissent
Un ressaut oscillant	2,5 ÷ 4,5	Le jet oscille tantôt vers le fond, tantôt vers la surface du canal
Un ressaut stationnaire	4,5 ÷ 9	Forte dissipation d'énergie
Un ressaut fort	> 9	jet rapide est perturbé par la retombée des rouleaux et induit des ondes importantes vers l'aval,

Si le nombre de FROUDE "**Fr**" est supérieur à **4,5**; et suivant la vitesse d'écoulement; un bassin d'amortissement est projeté à fin de minimiser la longueur du ressaut, d'assurer une efficacité de contrôle et sans provoquer des effets indésirables dans le lit du canal. C'est seulement en réalisant ces objectifs que le potentiel d'énergie mécanique peut être contrôlé entièrement et économiquement, sans imposer de restriction sur l'écoulement à l'amont et à l'aval du dissipateur.

Dans notre cas on utilise le logiciel **Hec-Ras**.

### VI-Modélisation de l'écoulement

Pour le calcul d'écoulement et la modélisation de cours d'eau, on doit passer par des équations (la surface libre de la ligne d'eau, la pente critique...etc.). On peut distinguer pour cela 3 méthodes de calcul :

- La méthode par approximation successive.
- La méthode par intégration directe.
- La méthode par intégration graphique.

Dans notre cas, on utilise le logiciel HEC-RAS, outil de calcul développé US *Army Corps Of Engineers*, qui calcul et simule d'écoulement. Ce logiciel nécessite une banque de données bien fournie concernant le tronçon de l'oued considéré

### VII- Présentation du logiciel HEC-RAS

HEC-RAS est un logiciel intégré pour l'analyse hydraulique qui permet de simuler les écoulements

À surface libre et d'évaluer les débits et hauteurs d'eau sur l'ensemble des sections d'une rivière. Il a été conçu par l'Hydrologique Engineering Center de l'U.S.Armey Corps of Engineers.

Pour la modélisation, HEC-RAS permet d'utiliser est une nouvelle version d'un modèle hydraulique auparavant nommé HEC-2, qui comporte maintenant une interface graphique permettant d'éditer, modifier et visualiser les données d'entrée, de même qu'observer les résultats obtenus. Il est présentement utilisé dans plusieurs firmes d'ingénierie et organismes gouvernementaux.

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

La nouvelle version 4.1 du code permet de simuler les écoulements permanents et non permanents, le transport de sédiments et certaines fonctions facilitant la conception d'ouvrages hydrauliques. Ce logiciel utilise des équations d'hydraulique à surface libre (Saint-Venant 1D, Manning- Strickler...) pour le calcul des différents paramètres hydrauliques qui nous permettent d'analyser de la capacité de cours d'eau (risques de débordement, inondations).

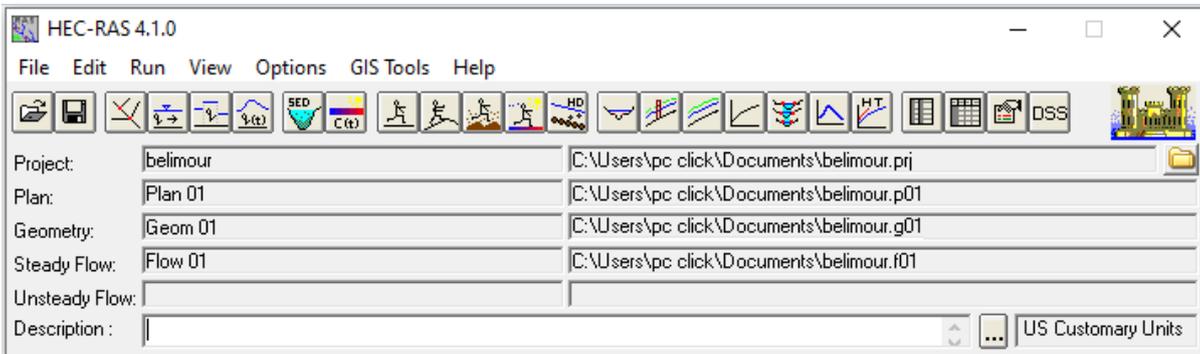


Figure IV 9 : l'interface de logiciel HEC-RAS

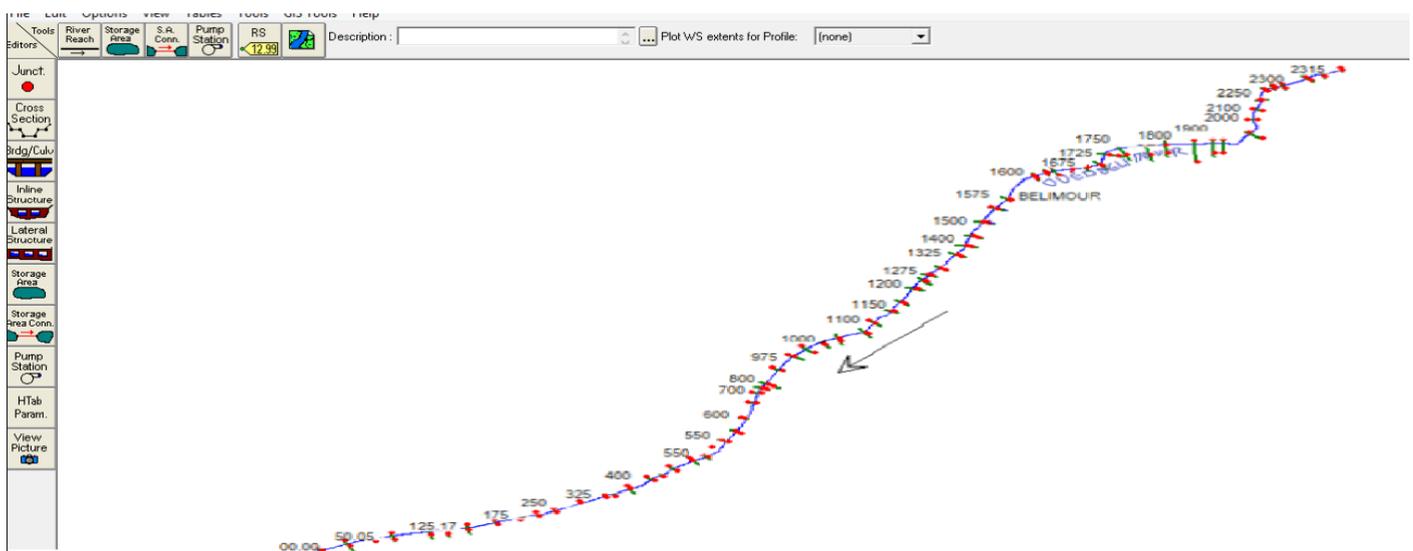


Figure IV 10 :Définition du tracé de l'oued et des sections

### VIII- Données nécessaires pour l'application du code de calcul HEC-RAS

#### 1- Les données géométriques

Les données géométriques nécessaires, consiste à l'établissement de la connectivité de l'information pour le système de rivière (schéma de système de rivière), les données des sections transversales, et les données d'ouvrage hydraulique existants ou projets (ponts, levées, structures latérales, déversoirs, etc.).

La saisie des données géométriques se fait en deux étapes distinctes :

Le traçage du schéma de système de rivières.

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

Le schéma de système de rivière est un diagramme représentatif du réseau hydrographique d'une manière plus au moins réelle en prenant en considération les méandres (sinuosités) de la rivière. Il est tracé tronçon par tronçon, de l'amont vers l'aval (dans le sens d'écoulement positif).

La saisie des données pour les sections en travers du cours d'eau et les ouvrages hydrauliques. Ces données incluent :

- 2- **Les coordonnées X et Y de la section** : chaque point de la section en travers doit être identifié par sa distance par rapport à un point de référence et son élévation.
- 3- **La distance à la section suivante** : c'est la longueur décrivant la distance entre la section courante et la prochaine section aval. Ces distances sont définies pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite.
- 4- **Les valeurs de rugosité n de Manning** : la valeur de la rugosité ou le coefficient de Manning n est indiqué pour la rive gauche, le canal principal, et la rive droite. Nous avons utilisé des valeurs de n suivant les repères dans le levé topographique. Ces valeurs sont tirées du manuel d'utilisation de HEC-RAS.
- 5- **Situation des rives du canal principal (lit mineur)** : les stations des rives du canal principal, sont employées pour séparer le lit mineur des deux parties du lit majeur en rive gauche, et rive droite.
- 6- **Coefficients de contraction et d'expansion** : les coefficients de contraction et d'expansion sont utilisés pour évaluer la quantité de perte d'énergie qui se produit en raison d'une contraction ou d'une expansion d'écoulement.

### IX-Estimation de la rugosité n de Manning

Les valeurs de rugosité choisies pour le lit (lit mineur) et les terrasses d'inondations (lit majeur) de l'oued sont généralement considérées biaisées (avec une certaine marge d'erreur) pour toute variable hydraulique ou hydrologique du modèle hydraulique étudié. Le choix d'une valeur de n est considéré comme un art plutôt qu'une science et il n'existe pas de règle solide et précise permettant à l'ingénieur hydraulicien de définir avec exactitude (avec un degré de confiance élevé) la valeur de n pour une situation hydraulique donnée. Les facteurs qui affectent la rugosité des lits d'oued comprennent :

- Matériaux de lits et dimension moyenne de particules solides ;
- Irrégularités des surfaces des lits d'oued ;
- Formes des lits d'oued (comme les rides, dunes, chutes et autres) ;
- Caractéristiques d'érosion et de sédimentation ;
- Tendances à la formation de méandres ;
- Obstacles à l'écoulement (arbres déracinés, souches d'arbres, remblais et autres) ;
- Changement dans la géométrie entre les sections d'oueds ;
- Végétation sur les terrasses d'inondations et le lit mineur de l'oued.

Il est vraiment très difficile de tenir compte de tous ces paramètres dans une seule et unique valeur représentant le coefficient de rugosité de Manning. Pour estimer le coefficient n des terrasses d'inondations, l'ingénieur hydraulicien se base généralement sur les valeurs relatives à la végétation, l'occupation des sols ou les deux ensembles.

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

Des tests de contrôle doivent être réalisés pour évaluer l'effet de la variation de la valeur de rugosité  $n$  sur le résultat hydraulique final. Une bonne estimation est celle s'écartant de 20% environ de la "vraie" valeur de  $n$ . En plus de l'expérience acquise, tous les moyens techniques, comme les tables, la formule ou technique Cowan ou d'autres approches pour estimer les valeurs de  $n$  les plus plausibles pour le tronçon d'oued considéré et ce en tenant compte des différents ouvrages en place. Une moyenne arithmétique ou pesée de toutes les estimations, obtenues à partir de ces techniques, peut être utilisée et appliquée comme valeur de rugosité adoptée. Par exemple, les valeurs de rugosité  $n$  des terrasses d'inondations ou même du lit mineur d'oued estimées à partir des tables, peuvent être modifiées en utilisant les observations et visites in situ de terrains et même des images aériennes récentes (ou images satellitaires Google, par exemple) montrant la densité et les changements dans la végétation locale.

### X- Les données de l'écoulement et les conditions aux limites

Après avoir saisi les données géométriques de chaque section, l'étape suivante de la modélisation hydraulique par HEC-RAS est de spécifier les débits d'entrée et toutes les conditions aux limites nécessaires pour pouvoir exécuter le calcul des profils de la surface de l'eau en chaque section du système de rivière.

#### 1- Données d'écoulement :

Les données d'écoulement sont saisies de l'amont à l'aval pour chaque tronçon. Une valeur d'écoulement est écrite à l'extrémité en amont du système de rivière. Le débit appliqué est le résultant de la simulation hydrologique retenue en utilisant le modèle HEC-RAS pour le débit de 100 ans.

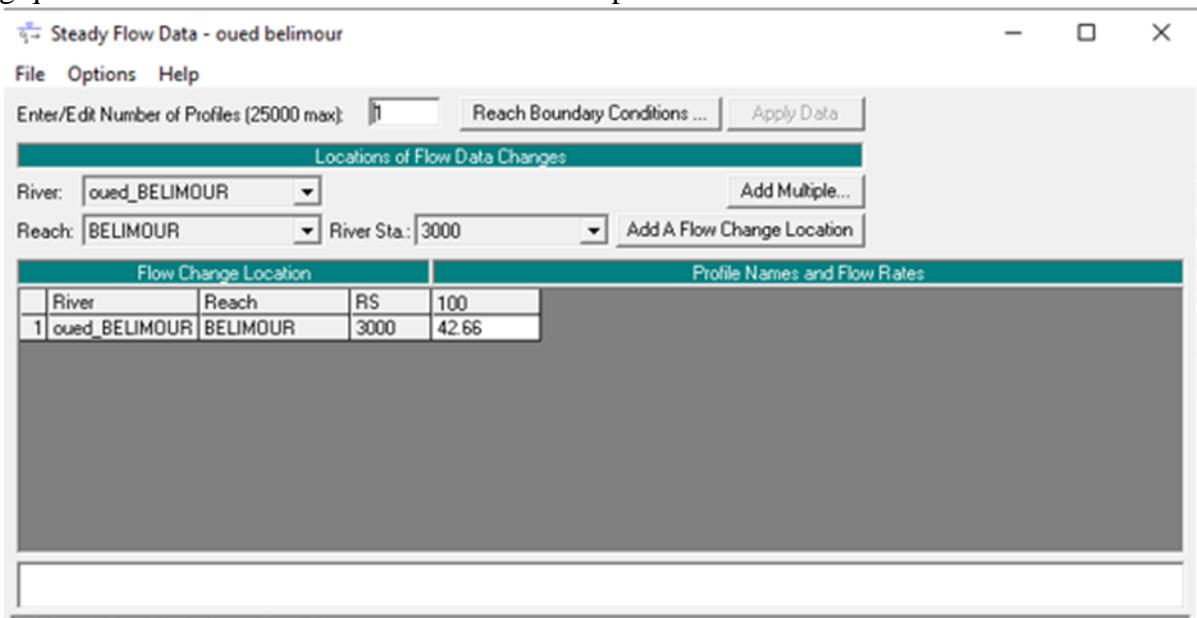


Figure IV 11 : Définition de la crue et des conditions aux limites

#### 2- Condition aux limites

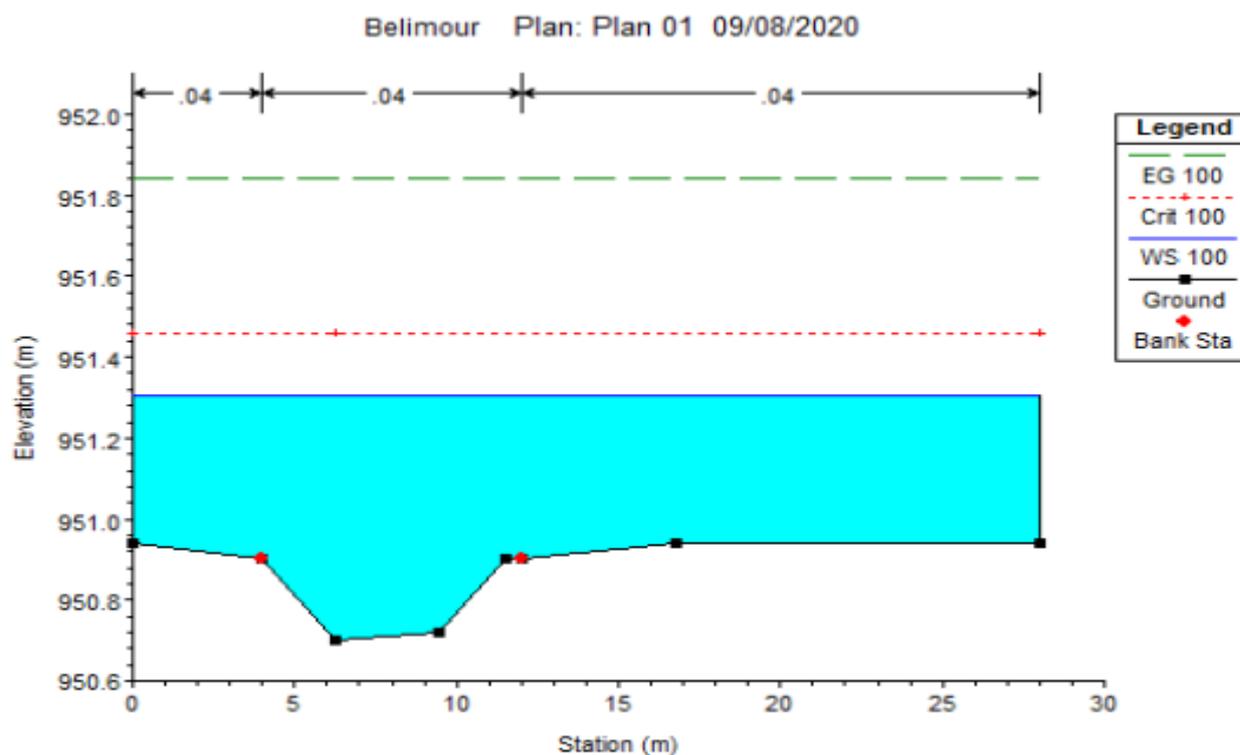
Les calculs peuvent être effectués pour plusieurs débits simultanément, soit en régime torrentiel, soit en régime fluvial, ou pour les deux régimes d'écoulements. Dans ce dernier cas, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement pour déterminer les changements de régime torrentiel fluvial.

### XI-Calcul avant l'aménagement de l'oued

Pour un cours d'eau naturel, la géométrie du lit est souvent très complexe. Un cours d'eau doit laisser transiter un débit qui varie en fonction du temps. En général, celui-ci peut varier d'une année sur l'autre d'une façon extrêmement variable en fonction des précipitations enregistrées. En basant sur les données locales de l'agglomération on fait le calcul de certaines sections de l'oued là où il y a des inondations lors des fortes chutes de pluie. Pour déterminer la zone inondable pour le débit de projet, on a utilisé les résultats de simulation par le logiciel HEC-RAS, les résultats numériques des paramètres hydrauliques pour la fréquence centennale sont donnés dans le tableau en annexe.

### XII- Résultats de la simulation

Les figures suivantes représentent une section en travers d'oued BELIMOUR et les autres sections sont présentées en annexe.



**Figure IV 12** : Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK 25)

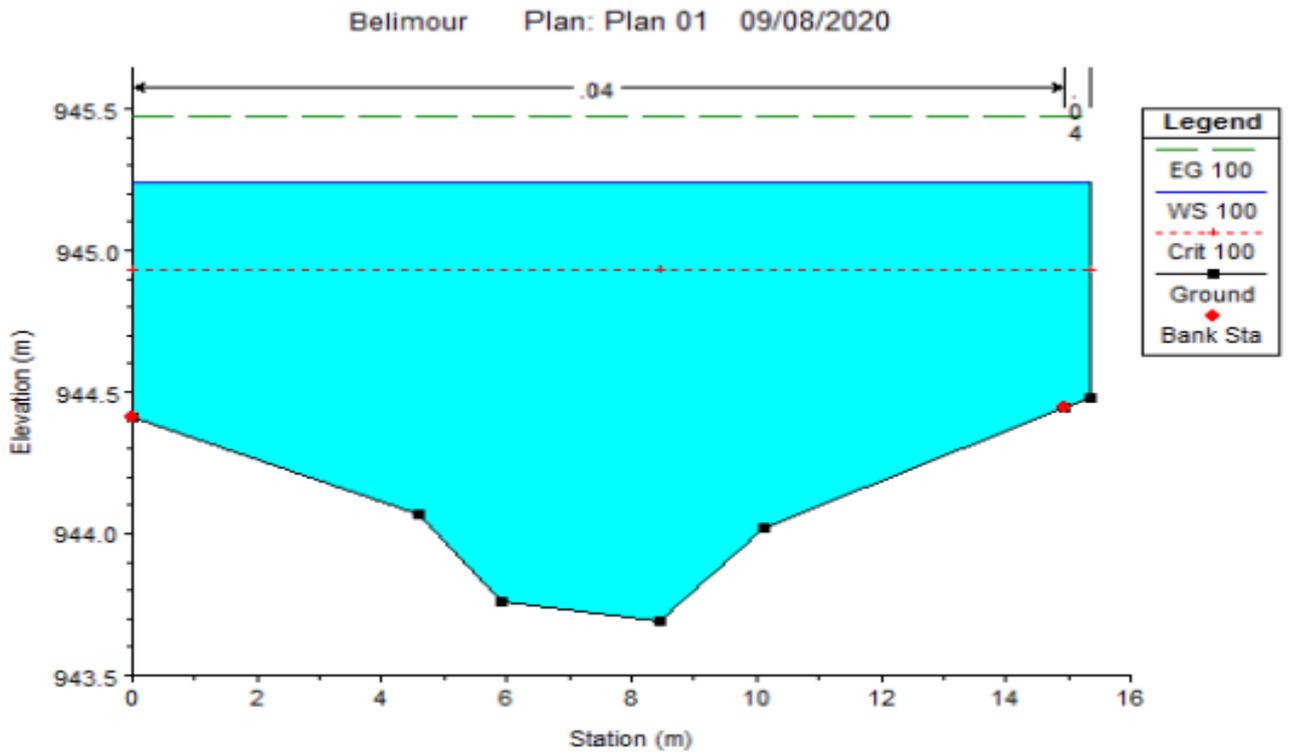


Figure IV 13 : Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK 300)

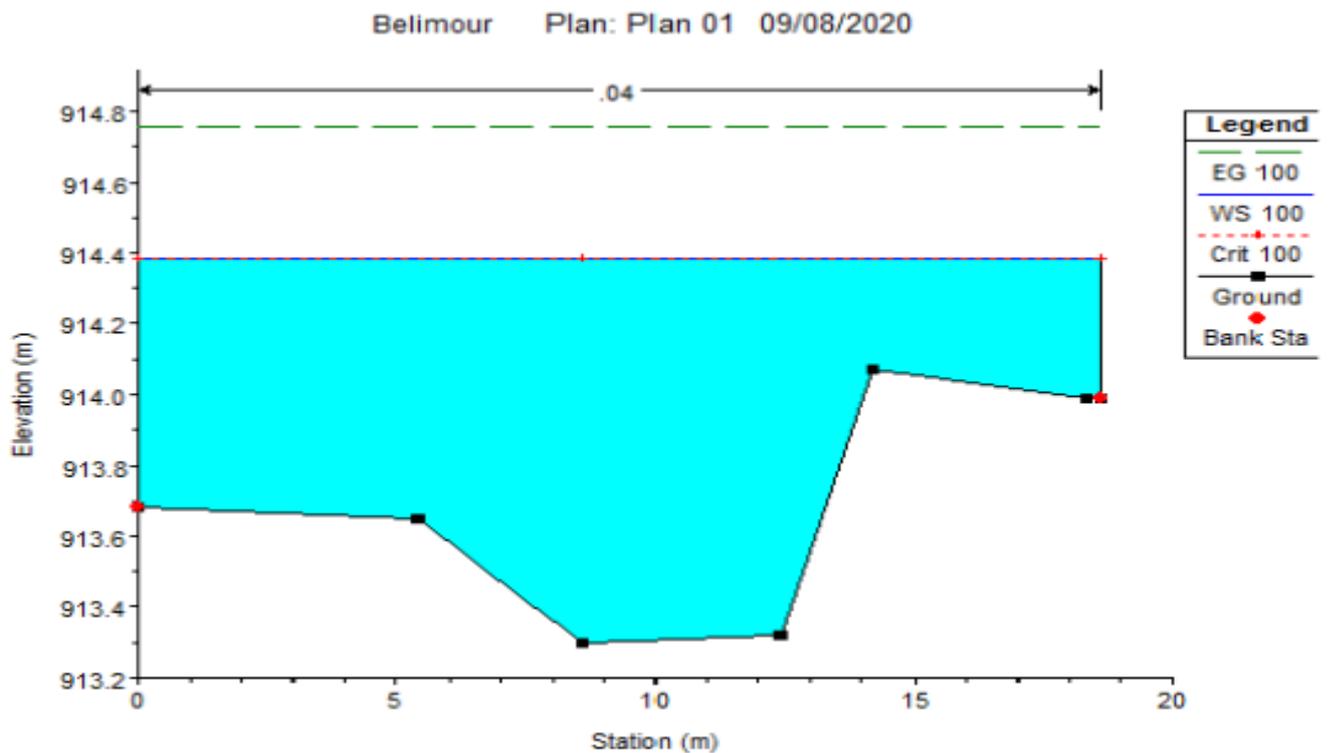


Figure IV 14 : Section en travers d'Oued BELIMOUR (PK 1525)

## Chapitre IV : Calcul et simulation hydraulique

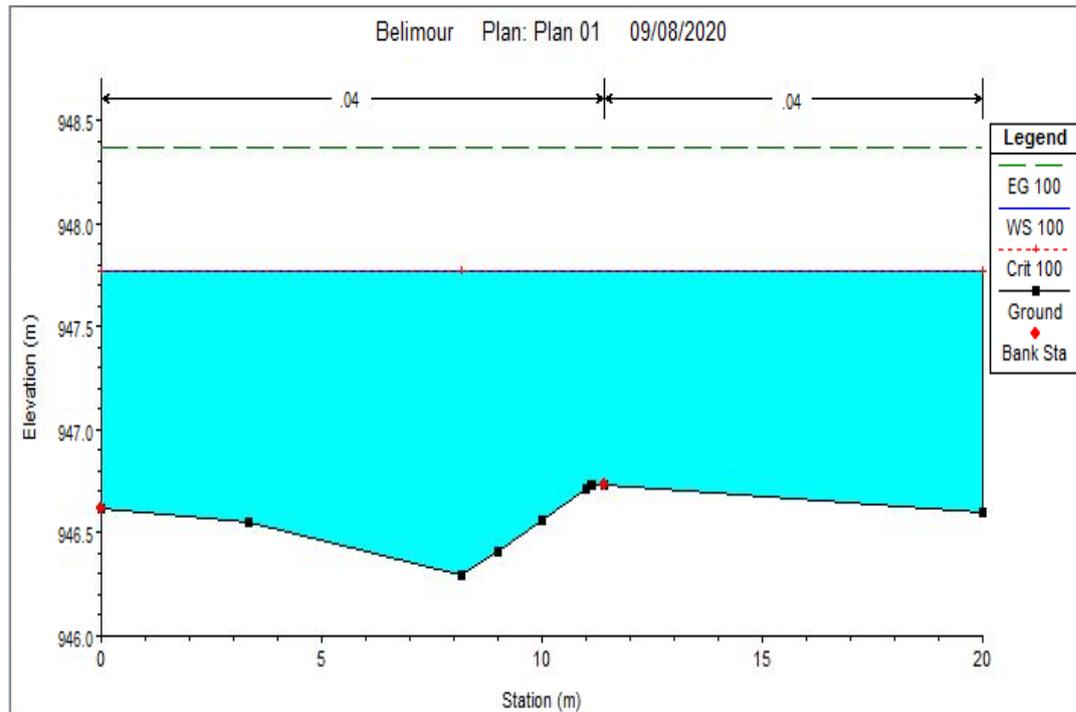


Figure IV 15 : Section en travers d'Oued BELIMOUR(PK150)

### XIII- Interprétation :

- La vitesse d'écoulement moyenne dans l'Oued est entre 2.1 et 9.83 m/s.
- La hauteur d'eau moyenne varie entre 0.33m et 2.73 m.
- Le nombre de Froude varie entre 0.61 et 4.96.

### **Conclusion**

Cette étape nous a permis de bien connaître la situation de notre zone d'étude, sa réponse vis-à-vis des inondations et de pouvoir localiser les différentes zones envahies par l'inondation occasionnée par la crue centennale.

La détermination des zones inondables par la modélisation hydraulique d'Oued BELIMOUR donne une vision claire et simple pour les différentes variantes optimales et scénarios d'aménagement à être réalisés afin de protéger cette ville.

**Chapitre V :**  
**Etudes des variantes d'aménagement**

## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

### Introduction

Le but de cette étude est de sélectionner les meilleures solutions d'aménagements après la proposition des différentes variantes sur la base des résultats obtenus à partir des chapitres précédents et en fonction de l'analyse de notre zone compte tenu des conditions naturelles pour bien protéger la ville de belimour contre les inondations.

#### I- Processus de l'aménagement dans le cadre de l'étude

Les variantes ont été sélectionnées dans le souci de protéger les localités de la ville de belimour contre les inondations, par l'évacuation des eaux des crues vers l'exutoire, en respectant toutes les conditions d'écoulement, de stabilité des berges et n'oubliant pas l'impact de cet aménagement sur l'environnement. Donc le choix de variante se déterminer par de différents processus.

#### II- Les différents types d'aménagements

##### 1- Reprofilage

Modification et homogénéisation du profil en long du cours d'eau (pente), dans le but d'accroître sa capacité d'évacuation. Le reprofilage d'un cours d'eau consiste à uniformiser sa pente, modifiant la zonation du profil en long. Ce type d'opération nécessite la suppression de la végétation rivulaire et des embâcles du lit. (AFB.2018)

##### 2- Curage

Il s'agit de nettoyer le cours d'eau des sédiments, pour diminuer la rugosité et accroître la débitante.

## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

### 3- Protection des berges

Suite à une crue importante les berges de l'oued seront soumises à des courants perturbateurs d'eau, ces derniers provoquent le transport de quelques parties de terre, ainsi le glissement de terre due aux infiltrations des eaux après la crue, cela nécessite des ouvrages qui maintiennent la stabilité des terres.

### 4- Réalisation de canaux

Permet une régénération du couloir initial de l'oued. Cette solution est indispensable dans le cas où le lit de l'oued et son domaine hydraulique ont été complètement occupé de bâtiments ou par la voirie.

### 5- Création des canaux périphériques

De dérivation des eaux vers les oueds permettant de les restituer vers des zones situées en dehors des aires à protéger. Cette déviation pourrait concerner une partie ou la totalité de eaux d'un oued vers un autre.

## III- Les formules de dimensionnement des canaux

Pour le dimensionnement on utilise la formule de Manning-Strickler, donnée par la relation suivante :

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} S_m I^{\frac{1}{2}}$$

V.1

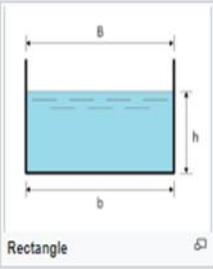
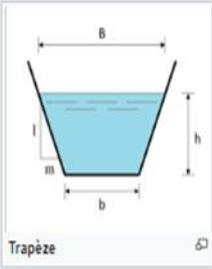
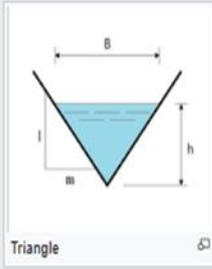
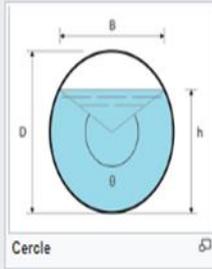
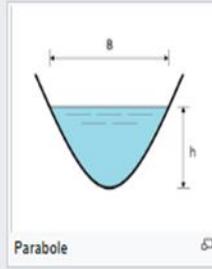
Avec :

- **Q** : débit de dimensionnement (m<sup>3</sup>/s).
- **n** : rugosité du canal.
- **S<sub>m</sub>** : section mouillée du canal (m<sup>2</sup>).
- **I** : pente du tronçon de cours d'eau (m/m).
- **R<sub>h</sub>** : rayon hydraulique (m) tel que R<sub>h</sub>=S<sub>m</sub>/P<sub>m</sub>.

## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

➤ **Pm** : périmètre mouillé (m).

Le tableau suivant donne les formules des éléments géométriques pour cinq différents types de section de canaux :

					
Largeur, $B$	$b$	$b + 2 \times mh$	$2 \times mh$	$(\sin \frac{\theta}{2}) \cdot D$ ou $2\sqrt{h \cdot (D - h)}$	$\frac{3 S}{2 h}$
Surface, $S$	$b \times h$	$(b + mh) \cdot h$	$m \times h^2$	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta) \cdot D^2$	$\frac{2}{3} Bh$
Périmètre mouillé, $P$	$b + 2h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{1}{2} \theta \cdot D$	$B + \frac{8 h^2}{3 B}$
Rayon hydraulique, $R_h$	$\frac{bh}{b + 2h}$	$\frac{(b + mh) \cdot h}{b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{mh}{2 \cdot \sqrt{1 + m^2}}$	$\frac{1}{4} \left[ 1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2B^2 h}{3B^2 + 8h^2}$
Profondeur hydraulique, $D_h$	$h$	$\frac{(b + mh)h}{b + 2 \times mh}$	$\frac{1}{2} h$	$\left[ \frac{\theta - \sin \theta}{\theta} \right] D$	$\frac{2}{3} h$
Angle du segment circulaire, $\theta$				$\theta = 2 \arccos \left( \frac{\frac{D}{2} - h}{\frac{D}{2}} \right)$	

**Figure V 1** : Eléments géométriques pour des sections ouvertes diverses (W.H. Graf.2000)

### IV-Choix des paramètres de dimensionnement

#### 1. La pente du projet :

Le choix de la pente du projet relève d'une grande importance avant de procéder au calcul hydraulique. Pour notre cas, nous avons choisis une pente uniforme de l'ordre 2%, dans certaine variante et varie entre 2.8 et 1.2%.

#### 2. Le coefficient de rugosité

## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

La rugosité du canal dépendant de la nature du revêtement, les valeurs de la rugosité de certain revêtement à titre d'exemple est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau V 1** : Les valeurs du coefficient de rugosité (uclouvain.be).

Caractéristiques du lit ou du revêtement	Valeur de la rugosité n
Canal avec revêtement en béton.	0.014
Canal en terre	0.022
Canal en pierre	0.025
Canal en Gabion.	0.030

### 3. Marge de sécurité dans les canaux (Revanche)

Dans les canaux à surface libre, une perte de charge non prévue provoque une élévation de la surface libre et un risque de débordement. C'est pourquoi il faut toujours prévoir une marge de sécurité au-dessus de la ligne d'eau calculée afin de tenir compte de l'accumulation de dépôt solide, de croissance de la végétation, des vagues provoquées par le vent, ...etc.

La marge de sécurité oscille, généralement, entre 0,30 m pour les petits canaux, et 0.60 à 1.20 m pour les grands canaux. Il est donc indispensable de tenir compte de toutes les circonstances qui peuvent conduire à modifier ces indications. (Lencastre, 2008)

**Tableau V 2** : Revanches utilisées (Freeboard) (degoutti, 2008)

Débit (m <sup>3</sup> /s)	<0.75	0.75 à 1.5	1.5 à 8.5	>8.5
Revanche (m)	0.45	0.6	0.75	0.9

### 4. Vitesse d'érosion

Afin éviter les ruptures du fond et des berges des canaux sur l'action dynamique d'un courant d'eau, la vitesse de celui-ci ne doit pas être supérieure à la vitesse limite maximale. Les valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés sont données dans le tableau ci-dessous (Deggoute gerard,2012).

**Tableau V-3** : Valeurs de vitesse moyenne limite d'érosion pour les lits consolidés

Lit	Vitesse Ver (m/s)
Pavage de pierre à une couche	2.50-4.00
Gabions	4.00-6.00
Revêtement en béton	6.00-10.00
Béton amélioré	<10.00

### V- Etude des variantes

Les variantes proposées pour l'aménagement des oueds sont :

- Un canal en béton armé.
- Un canal en gabion.

Un calcul hydraulique de chaque variante sera fait en vérifiant l'état d'écoulement par une simulation avec HEC-RAS pour chaque tronçon du cours d'eau, et une description des variantes proposées pour pouvoir choisir la variante la plus adaptées du point de vue technique et économique.

### VI-Canal en béton armé

Cette variante est décomposée en trois parties : un canal trapézoïdal pour le tronçon 1 et 4 à l'entrée et à la sortie de la ville, un canal rectangulaire à ciel ouvert et fermé successivement pour le tronçon 2 et 3.

#### 1- Dimensionnement

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau V-4 :** Dimensions de l'aménagement d'Oued belimour (canal en béton armé).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Fruit de talus	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	0	175	175	2.8	1	5	1.5
2	175	725	550	1.3	-	6	2
3	725	1288	563	1.6	-	6	2
4	1288	2300	1012	1.2	1	8	1.5

### 2- Les paramètres d'écoulement

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V 5 :** Paramètres d'écoulement de la variante canal en béton armé

Profil	Débit Q (m <sup>3</sup> /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Tirant d'eau (m)	Section Mouillée (m <sup>2</sup> )	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	42.66	8.85	3.31	0.82	4.82	7.33	0.65	Régime torrentiel
2	42.66	6.75	2.1	1.05	6.31	8.1	0.77	Régime torrentiel
3	42.66	7.24	2.33	0.98!	5.89	7.96	0.73	Régime torrentiel
4	42.66	5.99	2.22	0.8	7.11	10.28	0.69	Régime torrentiel

### 3- Estimation du coût de la variante :

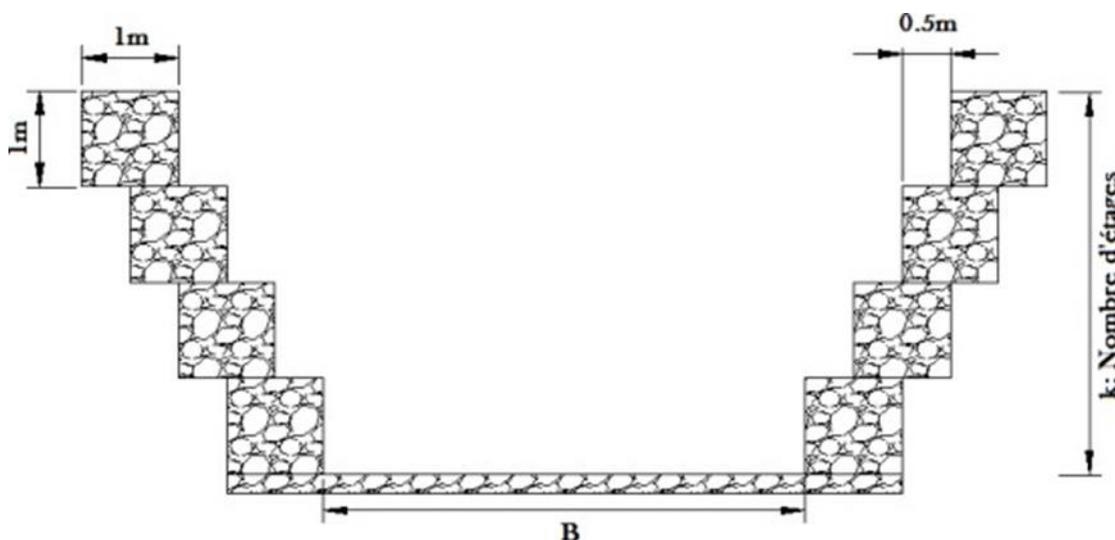
On prend une épaisseur de 15 cm pour le béton armé et pour le béton de propreté on prend une épaisseur de 10 cm. l'estimation du cout de la variante est donnée dans le tableau suivant :

**Tableau V-6 : Devis de la variante (canal en béton armé).**

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
Terrassement	Déblai	m3 /ml	21.74	450	9783
	Remblai	m3 /ml	9	500	4500
Béton de propreté		m3 /ml	2.23	8000	17840
Béton armé		m3 /ml	2.05	32000	65600
<b>Total</b>					<b>97723</b>

### VII- Canal en gabion

Les matelas en gabions sont utilisés principalement pour réaliser les revêtements et les protections anti-affouillements. Ils se présentent sous forme de dimensions variées, dont les plus courant sont 2.0×1.0×0.5 et 2.0×1.0×1.0. Les canaux en gabion, sont mis en œuvre d'une façon spéciale ; les sacs sont agencés de manière à créer un escalier qui permet la stabilité des berges.



## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

**Figure V-2** : Coupe en travers d'un canal en gabion

**Tableau V-7** : Caractéristiques géométriques de la section gabionnée.

Caractéristique	Section(m <sup>2</sup> )	Périmètre (m)	Rayon hydraulique (m)
Relation	$1/2 k (k-1) + bk$	$b + 3k - 1$	$0.5k (k - 1) + bk$ $3k - 1$

Avec

k : nombre d'étages.

b : base canal.

### 1- Dimensionnement :

Les dimensions de l'aménagement sont résumées dans le tableau ci-après :

**Tableau V-8** : Dimensions de l'aménagement d'Oued BELIMOUR (canal en gabion).

Tronçons	Section départ	Section arrivée	Longueur (m)	Pente projet (%)	Largeur du fond b (m)	Hauteur du canal H (m)
1	0	175	175	2.8	6	2
2	175	725	550	1.3	8	2
3	725	1288	563	1.6	8	2
4	1288	2300	1012	1.2	10	2

### 2- Les paramètres d'écoulement :

Les résultats de la simulation seront représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau V-9** : Paramètres d'écoulement de la variante canal en gabion

Tronçons	Débit Q (m <sup>3</sup> /s)	Vitesse (m/s)	Froude	Section Mouillée (m <sup>2</sup> )	Périmètre mouillé (m)	Rayon hydraulique (m)	Remarque
1	42.66	5.48	1.53	7.78	8.59	0.9	Régime torrentiel
2	42.66	3.99	1.1	10.68	10.67	0.1	Régime torrentiel
3	2.66	4.27	1.22	9.96	10.49	0.95	Régime torrentiel
4	42.66	3.68	1.09	11.58	12.31	0.94	Régime torrentiel

### 3- Estimation du coût de la variante

**Tableau V 10** : Devis de la variante (canal en gabion).

Désignation des travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA/ml)
<b>Terrassement</b>	Déblai	m <sup>3</sup> /ml	28.7	450	12915
	Remblai	m <sup>3</sup> /ml	22.89	500	11445
<b>Gabion</b>		m <sup>3</sup> /ml	14.5	600 0	87000
<b>Total</b>					111360

### VIII- Choix de la variante d'aménagement

#### 1- Critères d'évaluation :

Le choix de la variante se fera en fonction de plusieurs critères :

- Efficacité hydraulique : correspond au potentiel d'amélioration de la capacité hydraulique que peuvent apporter les mesures.
- Difficultés de réalisation : correspond au degré de difficulté de la réalisation technique.
- Enjeux environnementaux : ce critère tient compte de l'utilisation du sol au voisinage (zone urbaine, agricole,) et des déficits ou richesses environnementaux actuels.
- Durabilité : correspond à la durée de vie de l'aménagement.
- Entretien : correspond à l'ampleur et à la fréquence des entretiens nécessaires.
- Coût : correspond à l'appréciation du coût de construction.

#### 2- La variante choisie

Pour les deux variantes on a :

**Tableau V 11** : critères de comparaison entre le béton armé et le gabion et leurs avantages et Les deux Inconvénients.

Variantes	Avantages	Inconvénients
-----------	-----------	---------------

## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

<p><b>Canal en béton</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le rendement hydraulique est efficace.</li> <li>-Les résultats de calcul sont réalistes.</li> <li>-La durée de vie est importante.</li> <li>-Les matériaux de constructions sont disponibles.</li> <li>-La forme étroite est adaptée à la ville.</li> <li>-La durée de réalisation est courte par rapport à un revêtement en gabion.</li> <li>-Assure un bon écoulement hydraulique en exploitant la section économique du canal.</li> <li>-Très répandu dans la protection contre les inondations.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le cout de génie civil est peu élevé pour le revêtement en béton.</li> <li>-Risque réel d'être utilisé comme décharge par les riverains (ce problème peut être évité tout en procédant au curage périodique et l'entretien de l'ouvrage).</li> <li>-Volume très important du béton, surtout dans le cas des dalles.</li> <li>-Risque d'affouillement entre les parois verticaux et le terrain naturel.</li> </ul>
<p><b>Gabionnage</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Utilisation de la matière locale.</li> <li>-La mise en œuvre est facile.</li> <li>-Bonne protection contre l'érosion.</li> <li>-Le gabion est robuste, durable et modulable.</li> <li>-Assure un drainage naturel et forme une belle harmonie avec la nature car les matériaux utilisés sont des pierres naturelles.</li> <li>-Résiste à des crues importantes.</li> <li>Transport et stockage aisé, cout moins élevé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Faible stabilité surtout aux périodes des crues.</li> <li>-L'insuffisance des cailloux de diamètres demandés.</li> <li>-Modification du régime hydraulique le long du linéaire mis en place.</li> <li>-L'écoulement est en effet accéléré car on a diminué la rugosité de la berge.</li> <li>-L'amont et l'aval sont les points les plus sensibles de la ligne d'enrochement, si l'eau arrive à passer derrière les blocs amont tout l'ouvrage est menacé par l'érosion et peut assez rapidement s'effondrer, si on n'empêche pas l'implantation d'arbres, tels que les peupliers entre rochers, le déracinement de l'arbre lors de forts coups de</li> </ul>

## Chapitre V : Etudes des variantes d'aménagement

		vent ou de crues entraîne le déplacement des blocs dans Larivière et le reste de l'ouvrage n'est plus efficace.
--	--	---

Les deux variantes semblent pouvoir évacuer le débit de crue sans débordement mais d'UN point de vue financier, la variante du canal en béton armé paraît plus économique que la variante mixte

On opte pour la variante d'un canal en béton armé car :

- La simplicité de la réalisation.
- Cout moins élevé.
- Longue durabilité.
- Une bonne stabilité.

### **Conclusion**

Après avoir étudié les sections proposées pour la protection de la ville de Belimour. Par la suite, une étude technico-économique a été élaborée pour choisir la plus favorable. Le choix final consiste principalement à la projection d'un canal mixte. En projetant un canal rectangulaire en béton armé dans la zone urbaine, un canal trapézoïdal en dehors de cette zone.

**Chapitre VI :**  
**Organisation de chantier**

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### Introduction

L'organisation de chantier consiste à déterminer et à coordonner la mise en œuvre des moyens nécessaires pour accomplir dans les meilleures conditions possibles les travaux à exécuter avant d'aller sur chantier et avant le commencement de la réalisation. Pour cela il faut toujours commencer par une étude théorique et ensuite la partie pratique. Dans la première on détermine le temps de réalisation avec précision, le matériel à utiliser, la main d'œuvre nécessaire et les matériaux de construction nécessaires. Dans la deuxième partie on passe à l'exécution des travaux sur terrain.

Organiser un chantier revient donc à calculer tous les éléments ventilés en temps et de prendre toutes les mesures pour que la réalisation du projet se fasse :

- En conformité avec le projet.
- De bonne qualité.
- Au moindre délai.
- Au moindre coût.
- Sans accidents humains

### I- Rôles des intervenants sur le chantier

Il nous paraît indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

#### I-1 Le maître de l'ouvrage

Il est appelé couramment le client, c'est une personne physique ou morale pour le compte de laquelle sont exécutés les travaux. Son rôle est de définir le but à atteindre (programme), d'organiser un financement, de passer et de régler les marchés des travaux. Après la réception des ouvrages, il en est le propriétaire et parfois le gestionnaire.

#### I-2 Le maître d'œuvre

C'est une personne physique ou morale, chargée par le maître de l'ouvrage de recevoir l'ouvrage, d'établir le dossier de consultation des entreprises, d'assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres, de contrôler l'exécution des travaux et de proposer leur réception et leur règlement, après en avoir établi le décompte.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### I-3 L'entreprise

C'est la réunion des moyens mobiles et immobile et en personnel dont l'objectif est de réaliser les travaux, c'est un organisme contractuel.

### I-4 L'entrepreneur

Personne physique quand il est individuel ou moral quand est une société, titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux et, parfois de la conception détaillée des ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction tant que celui-ci n'a pas été réceptionné.

## II- Travaux préparatoires et installation de l'entreprise

L'implantation d'un chantier nécessite des terrains spacieux, afin de pouvoir aménager les diverses aires de stockages, ouvrir des pistes de circulation d'engins, les occupations progressives par les locaux, les engins, les postes fixes de travail. On peut distinguer les installations suivantes :

### 1- Installations destinées au personnel

Généralement, ce sont des dortoirs, des réfectoires, des installations sanitaires et des bureaux de chantier.

### 2- Installations destinées au stockage des matériaux

Pour les ciments, nous utilisons soit des silos métalliques, soit des baraquements en bois ou en métal. Les agrégats peuvent être stockés en plein air. Pour éviter leur mélange et faciliter le dosage du béton on doit prévoir un croisement entre les différents types d'agrégats. Les aciers sont stockés des baraquements ou des hangars afin d'éviter leur oxydation...etc.

### 3- Installations destinées à la réparation des engins

En général, les grosses réparations ne se font pas sur le chantier, mais il importe de disposer d'un atelier suffisamment équipé pour assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### 4- Installation destinée pour la préfabrication

Cette installation est constituée de hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage tels que les poutres, dalles, conduites.

#### III- Succession des opérations du chantier

- Travaux préparatoires
- Aménagement des pistes de circulation des engins et des aires de stockage de matériaux de construction.
- L'abattage des arbres et les roseaux.
- La démolition et / ou le démontage des constructions et / ou clôtures.

#### IV- Exécution de l'ouvrage

- Ils consistent essentiellement en :
- Installation du chantier.
- Décapage de la terre végétale et ouverture de piste.
- Le piquetage d'implantation pour le terrassement.
- L'exécution des déblais et des remblais y compris Compactage nécessaire
- Exécution de la couche du gravier  $d = 10$  cm.
- Exécution de la couche du béton de propreté  $d = 10$  cm.
- Exécution de béton armé :
- Pour les canaux rectangulaires  $d = 20$  cm.
- Pour les canaux trapézoïdaux  $d = 15$  cm.
- Ferrailage des parois
- Coffrage des parois
- Bétonnage des parois
- Décoffrage des parois
- Ferrailage de la dalle
- Coffrage de la dalle
- Bétonnage de la dalle
- Décoffrage de la dalle
- Déménagement du chantier

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### V- Les moyens de chantier

#### 1- Les moyens humains

En ce qui concerne les moyens humains pour la réalisation, on doit justifier la mise en œuvre du personnel compétant pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences.

#### 2- Les moyens matériels

Tableau VI 1 : Engins utilisés

Taches	Engins	Image de l'engins	Actions
Travaux de Préparation	<b>BULLDOZER</b>		<b>Enlever les obstacles et les herbes.</b>
	<b>CHARGEUR A PNEU</b>		
	<b>PELLE HYDRAULIQUE</b>		

## Chapitre VI : Organisation de chantier

	<b>CAMION A BENNE</b>		<b>Transport</b>
--	-----------------------	--	------------------

<b>Terrassement</b>	<b>Pelles</b>		<b>D'extraction</b>
	<b>Chargeurs</b>		<b>Donner la forme exacte du canal.</b>
	<b>Bulldozer</b>		<b>De réalisation et nettoyage de fossés</b>
			

## Chapitre VI : Organisation de chantier

	<b>Niveleuse</b>		<b>et de talus</b>
	<b>Camions</b>		
<b>Terrassement</b>	<b>Dumpers</b>		<b>Donner la forme exacte du canal.</b>

<b>Compactage</b>	<b>Tous types de compacteurs à rouleaux lisses</b>		<b>Consolider les berges de l'oued pour éviter l'affaissement.</b>
	<b>Compacteurs mixte</b>		

	<p><b>Compacteurs à pieds de mouton</b></p>		
<p>Fabrication du béton</p>	<p><b>centralea béton</b></p>		<p><b>Préparation du béton</b></p>
	<p><b>Camion malaxeur du béton</b></p>		<p><b>Transport du béton</b></p>
	<p><b>Pompe a Beton Girafe</b></p>		<p><b>La bon mise en plase du béton</b></p>

### VI- Devis quantitatif et estimatif du projet

Les estimations des prix des ouvrages et aménagements donnés :

- Prix unitaire des terrassements.
- Prix unitaire de fourniture et pose de béton armé.

Le tableau suivant donne les montants de réalisation de la variante retenue :

**Tableau VI. 2** Le devis des différents travaux de l'aménagement des oueds de la zone d'étude

Désignation travaux		Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Terrassement	Déblai	m3	50002	450	22.500.900
	Remblai	m3	20700	500	10.350.000
Béton de propreté		m3	5129	8000	41.032.000
Béton armé		m3	4715	32000	150.880.000
Montant Totale					224.762.900
TVA 19%					42.704.951
Total TTC					267.467.851

Le devis du projet est estimé à : deux cent soixante-sept millions quatre cent soixante-sept mille huit cent cinquante et un dinars algérien.

### VII- Évaluation des risques :

- Dans les fouilles de tranchées.
- En terrain très accidenté, les engins risquent de se renverser.
- Le danger de collision avec d'autres engins de chantier.
- Des obstacles cachés en creusant une tranchée.
- Le contact direct avec une ligne électrique aérienne peut être dangereux.
- L'exposition quotidienne du conducteur aux vibrations transmises à l'ensemble du corps  
Nombreuses contraintes posturales dues au travail sur sol accidenté.
- Le déplacement des engins sur chantier.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

- Des blessures peuvent être occasionnées au cours du changement sur le porte-engins de l'équipement de travail.
- Traumatismes suite à une chute lors de la descente de l'engin.
- Travail aux intempéries (chaleur, froid, vent, givre, pluie)

### VIII- Protection collective :

#### 1- Ergonomie de l'engin :

- Sécurisation de l'accès et de la cabine : marchepied antidérapant et échelle d'accès complétée par des poignées ou des mains courantes.
- Cabine insonorisée et climatisée
- Poste de conduite ergonomique avec siège adapté.
- Entretien régulier de l'engin : les engins de terrassement doivent faire l'objet de vérifications annuelles consignées sur le registre de sécurité.

#### 2- Sécurité du chantier :

- Entretien des pistes de circulation
- Signalisation temporaire et balisage du chantier.
- Plan de circulation du chantier (engins, véhicules légers, piétons)
- Consignes de sécurité propres au chantier précisées aux conducteurs
- Adéquation de l'engin à son usage

### IX- Protection individuelle :

- La conduite d'engins de chantier soumet les conducteurs à des vibrations qui, à la longue, peuvent provoquer des problèmes de dos. La récente réglementation impose de limiter l'exposition des travailleurs à ce type de vibrations. Des mesures de prévention peuvent permettre d'éviter des lombalgies qui sont reconnues comme maladies professionnelles. Afin de limiter leur apparition, de nombreuses mesures de prévention peuvent être mise en place : réduction des amplitudes vibratoires, choix du matériel et amélioration des conditions d'utilisation, port d'une ceinture de maintien lombaire.
- Le gilet de signalisation à haute visibilité de classe II fait partie des équipements de protection individuelle et doit être porté en permanence si le personnel travaille à proximité de la circulation routière.

## Chapitre VI : Organisation de chantier



**Figure VI 1 :** les types des casques de chantier

**Tableau VI.3:** Les moyens de protection individuelle

Moyens de protection individuelle	
<b>Gilet de signalisation</b>	
<b>Gants de manutention</b>	
<b>Casque de protection de la tête.</b>	
<b>Casque de protection auditive</b>	
<b>Botte de sécurité.</b>	
<b>Lunettes de sécurité.</b>	

### X- Planification (BENLAOUKLI ,2004)

La planification des travaux est un moyen qui permet de chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action à entreprendre. Son objectif est de s'assurer que les travaux se font dans un ordre correct a temps, aussi économique que possible. Elle consiste en (BENLAOUKLI,2004) :

- L'installation des postes de travail.
- L'observation instantanée.
- L'analyse des tâches.
- Le chronométrage.

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

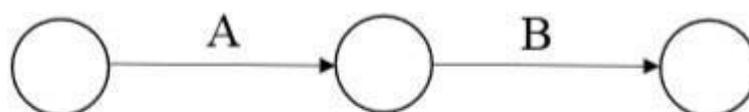
#### 1- Méthodes basées sur le réseau :

##### Définition :

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

##### 1-1 Réseau à flèches :

L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations par des nœuds.



L'opération A précède l'opération B.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### 1-2 Réseau à nœuds :

L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération B ne peut commencer que si l'opération A est complètement achevée.

### 1-3 Construction du réseau :

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six opérations suivantes :

- Etablissement d'une liste des tâches : Il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.
- Détermination des tâches antérieures : Après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.
- Construction des graphes partiels.
- Regroupement des graphes partiels.
- Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage.
- Construction du réseau.

### 1-4 Différentes méthodes basées sur le réseau (BENLAOUKLI,2004) :

#### ➤ Méthode C.P.M (Méthode française) :

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases.

1ère phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.

2ème phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenu.

3ème phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

#### ➤ Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical):

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### 2- Méthodes basées sur le graphique :

#### ➤ Méthode linéaire (ligne of balance technic) :

Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux son répétitifs.

#### ➤ Méthode à barres :

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (plan de travail).

## XI- Les étapes de la planification :

La planification est le processus de la ligne de conduite des travaux à réaliser, elle comprend des étapes suivantes :

### 1. Collection des informations :

L'établissement d'une synthèse d'analyse des informations acquises par des études comparatives permet l'usage correct du plan de réalisation du projet.

### 2. Décomposition du projet :

C'est une partie importante car chaque projet peut être analysé de diverses manières. Nous attribuons à chaque tâche un responsable et ses besoins en matériels.

### 3. Relations entre les tâches :

Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation. L'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

### 4. Choix de la méthode de calcul

Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode **C.P.M** car le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage construire.

## XII- Les paramètres de la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	T
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

## Chapitre VI : Organisation de chantier

- **T** : temps de réalisation de l'opération ;
- **DCP** : date de commencement au plus tôt (l'opération peut être commencée) ;
- **DCPP** : date de commencement au plus tard (l'opération doit être commencée).
- **DFP** : date de finition au plus tôt (date de l'opération peut être fini).
- **DFPP** : date de finition au plus tard (date de l'opération doit être fini).
- **MT** : marge totale (l'intervalle du temps).

$$\begin{cases} MT = DCPP - DCP \\ MT = DFPP - DFP \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} DFP = DCP + T \\ DCPP = DFPP - T \end{cases}$$

Pour calcul allé on a:

$$\begin{cases} DFP_i = DCP_i + T_i \\ DF_{pi} = DCP_j \end{cases}$$

Pour la dernière cellule on la convention suivante :

$$\begin{cases} DCPP = DCP \\ DFPP = DFP \end{cases}$$

### XIII- Chemin critique (C.C)

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0). Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$MT = 0 \text{ et } \sum \text{tr cc} = DTP$$

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### XIV- Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois etc.). Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- Les différentes tâches à envisager.
- La date de début et la date de fin de chaque tâche.
- La durée escomptée de chaque tâche.
- Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement.
- La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble.

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning).

### XV- Elaboration du réseau selon la méthode CPM

La méthode du CPM est une méthode de planification, elle a pour objectif de réduire le temps et le coût de réalisation de projet et augmenter le rendement du travail. Pour la construction du réseau il faut d'abord établir les différentes tâches des travaux et le temps de réalisation de chaque tâche.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

**Tableau VI.4 :** Les différentes tâches et leurs durées

<b>Notation</b>	<b>Opération</b>	<b>Durée [jour]</b>
A	Installation du chantier	15
B	Décapage de la couche de terre végétale	45
C	Piquetage	20
D	Déblais	50
E	Remblais	30
F	Travaux de terrassement du trancon 1 et 2	15
G	Compactage du trancon 1 et 2	20
H	Travaux de terrassement du trancon 3 et 4	25
I	Compactage du trancon 3 et 4	55
j	Aménagement du lit de pose	30
k	Travaux du ferrailage	25
L	La mise en place du béton de propreté pour le lit	35
M	La mise en place du béton armé pour le lit	50
N	La mise en place du béton armé pour les voiles	25
O	La mise en place du béton armé pour la dalle	35
P	Les essais d'étanchéités	25
Q	Travaux de finition.	35
R	Déménagement du chantier	15

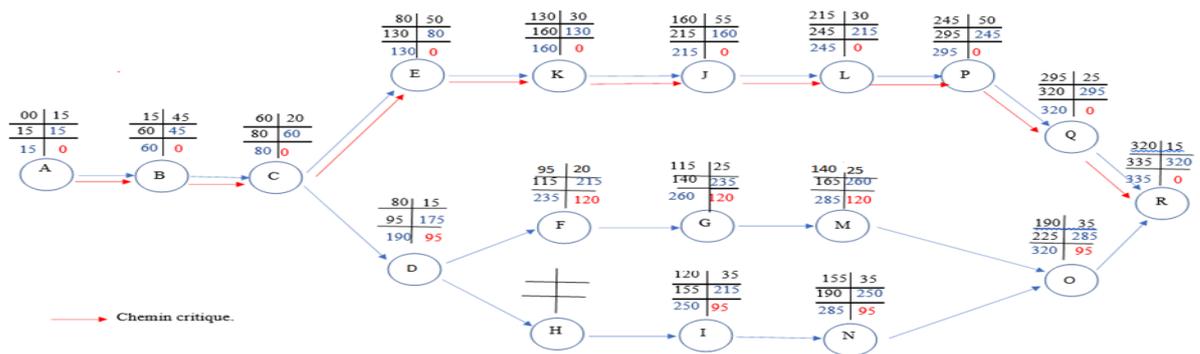
## Chapitre VI : Organisation de chantier

Dans le tableau suivant on présente chaque tache avec celles qu'elle précède :

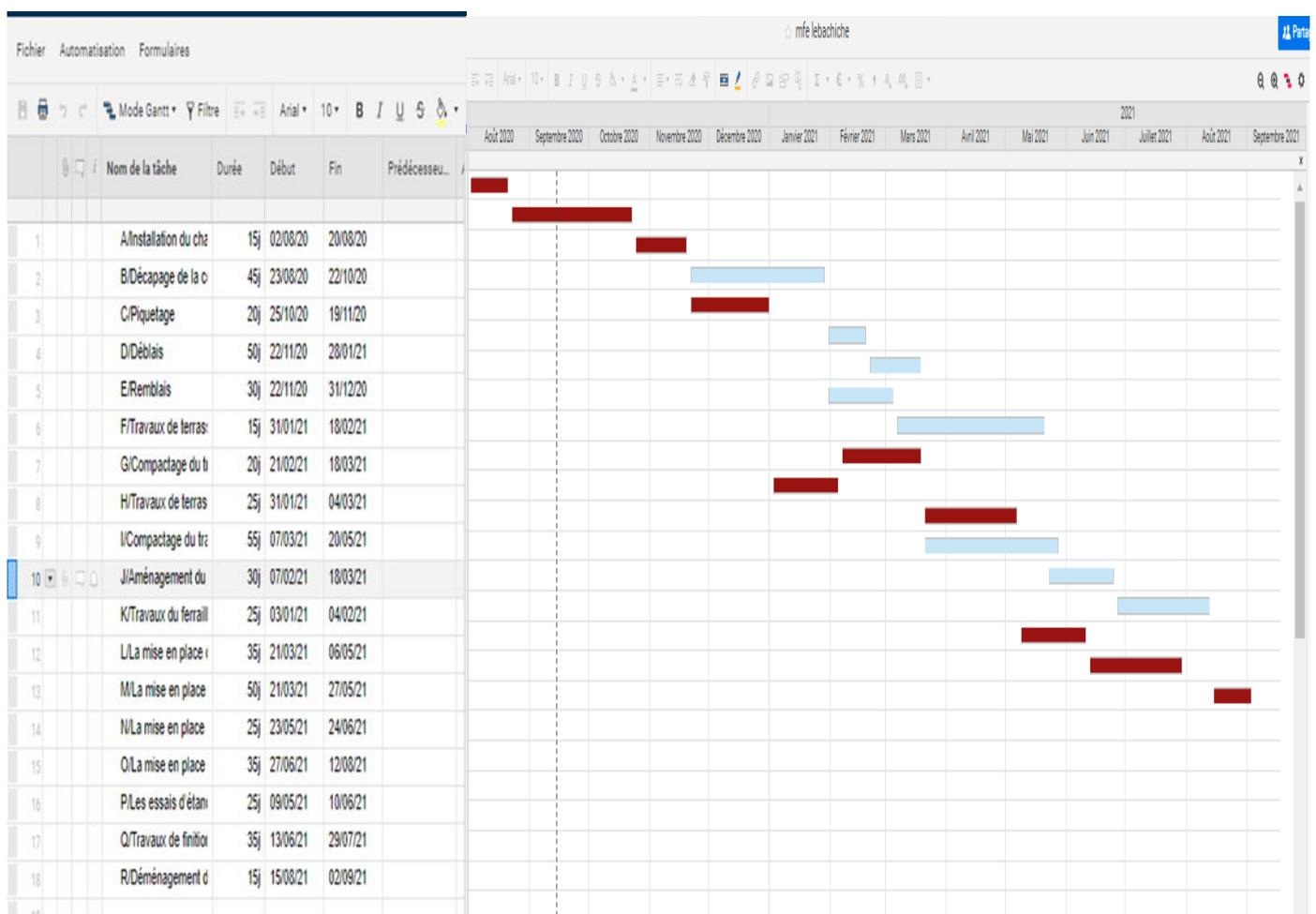
**Tableau VI.5 : Succession des taches**

Opération	Précède	Durée (Jours)
A	B	15
B	C	45
C	D, E	20
D	F,H	50
E	K	30
F	G	15
G	M	20
H	I	25
I	N	55
J	L	30
K	J	25
L	P	35
M	O	50
N	O	25
O	R	35
P	Q	25
Q	R	35
R	-	15

## Chapitre VI : Organisation de chantier



Figures VI.2 : Réseau de planification des tâches par la méthode CPM.



■ Chemin critique ;  
 ■ Le cheminement des tâches.

Figures VI.3 : Réseau de planification des tâches par la méthode CPM.

## Chapitre VI : Organisation de chantier

### **Conclusion :**

L'exécution d'un ensemble de travaux par gestion rationnelle de temps ; demande conjointement des moyens humains, techniques et matériels, afin d'aboutir à un but ultime qui est la livraison du projet dans les délais prévus, sans sortir des couts d'investissement initiaux. A l'issue de ce volet nous avons pu estimer le cout global du projet d'aménagement d'oued BELIMOUR est de 267.467.851.00DA pour un délai de réalisation de 13 mois.

# Conclusion générale

L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. La protection des sites urbains contre les crues et les inondations est une nécessité indispensable afin de réduire les risques humains, matériels et économiques.

A travers cette étude, on a pris conscience de la nécessité d'entretenir Oued belimourqui traverse la ville de belimour, pour empêcher le problème d'inondation et protéger leurs biens. On a englobé tous les points qui touchent à la réalisation de ce projet.

Nous avons d'abord présenté la zone d'étude. Puis L'étude hydromorphologique du bassin versant d'Oued belimour montre qu'il est d'une forme Allongé caractérisé par un relief faible avec une majorité de nature terrain agricole. Le temps de concentration assez faible rend les crues d'autant plus dangereuses.

Pour l'estimation de la pluie et le débit de crue fréquentiel, le choix s'est porté sur l'utilisation de la loi de Gumel pour l'ajustement de la série pluviométrique et l'estimation des débits maximales de la région avec les formules empiriques.

On a utilisé le logiciel HEC-RAS pour la détermination des zones inondables, en se basant sur le modèle de Saint-Venant monodimensionnel, de ce fait l'entretien de l'aménagement se débute de l'amont de la ville jusqu'à l'aval par deux types de canaux qui prennent en considération les éléments qui conditionnent un écoulement torrentiel.

Après nous avons proposé deux variantes, mais après une étude technico- économique une est éliminée pour finir par retenir la variante qui consiste en une réalisation d'un canal en béton constituer de quatre tronçon le premier et le dernier de forme trapézoïdale et les deux autre de forme rectangulaire ouvert et fermé.

Ensuite, dans le but de se raccorder le maximum à la bonne marche du chantier nous avons essayé de proposer une chronologie logique de l'exécution des tâches. Ainsi que des préventions à prendre pour pouvoir assurer la protection et la sécurité des ouvriers.

Le projet de réalisation de l'aménagement s'étale sur un délai de 13 mois, pour un coût de deux cent soixante-sept millions quatre cent soixante-sept mille huit cent cinquante et un dinars algérien.

Finalement, pour assurer la durabilité et le bon fonctionnement de nos ouvrages, les travaux d'entretien et de maintenance sont essentiels pour pérenniser l'aménagement et assurer qu'il remplit sa fonction en évacuant les débits de crues dans de bonnes conditions.

## Références Bibliographiques

- Yahiaoui A., B. Touaibia (2012).** Inondations Torrentielles Cartographie des Zones Vulnérables en Algérie du Nord (Cas de l'oued Mekerra, Wilaya de Sidi Bel Abbès). Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique. Algérie.
- Meddi M., Toumi,S,** Application of the L-moments approach to the analysis of regional flood
- NRCS.** Urban Hydrology for sma l l watersheds, TR-55. NRCS. Conservation engineering division. USA.163p 1986.
- Soil conservation service (SCS).**National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. SCS Department of Agriculture. Washington, Etat-Unis 1972.
- D.RAHMI,** ETUDE D'AMENAGEMENT D'OUED TIFREST POUR LA PROTECTION DE LA VILLE D'AZZEFOUN  
CONTRE LES INONDATIONS (WILAYA DE TIZI OUZOU)
- LAHLAH. Salah,les inondations en algerie** Ingénieur Hydrologue, chef de section. ANRH. ALGER décembre 2004
- ARMA DEGOUTTE, G.** Aide-mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF, 66 p 2006.des Dommages Causés par une Catastrophe Naturelle : cas de séisme .Mémoire de Magister, frequency in northern Algeria. Journal of Hydrology and Technology, Vol 7, No.1, 2017.
- H.Haroune,** Etude d'aménagement de oued Yllet et ses affluents pourcommunes de Yellel (W.Ghilizane).2018.
- NDO LANCATRE** Hydraulique Générale, édition Paris1996.
- TOUAÏBIA B.** Manuel pratique d'hydrologie, édition Madani2004.
- TOUATI A, 2010.** Intérêt de la modélisation des hydrogrammes de crues dans la protection contre les inondations. Cas de quelques oueds du nord Algérien. Mémoire de fin d'étude, ENSH Blida.
- BEN HAFID, MS. (1997)** Cours De Protection et Sécurité Du Travail ENSH.60 P.
- U.S. Army Corps of Engineers.** HEC-RAS River Analysis System Hydraulic reference manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Version 4.1 2010a.  
Université El Hadj Lakhder, Batna, 121 p.
- T.Rabhi,** etude d'un aménagement de protection contre les inondations Cas : de la ville de sougueur (w. Tiaret) 2018.
- taxonomy - Southern Ontario. Can. J Soil Sci. 64: 383-393.

## Annexe

Paramètres hydrauliques de toutes les sections d'oued Belimour avant l'aménagement (Hec-Ras)

Section	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fond du canal (m)	Altitud e ligne d'eau (m)	Altitud e de la ligne d'energ ie	Pente ligne d'énerg ie (%)	Véc (m/s)	Smouillé (m <sup>2</sup> )	Largeu r au meroir	Nombre de froude
2315	42,66	892,2	892,89	893,16	0,0183	4,35	10,53980 1	22,31	1,01
2300	42,66	892,69	893,2	893,69	0,1556	3,6	10,64572 86	20,17	2,65
2275	42,66	893,5	893,92	894,37	0,778	5,02	11,20899 47	18,57	2,04
2250	42,66	895,71	896,18	896,66	0,1162	5,07	11,96892 66	18,86	2,41
2225	42,66	896,21	896,75	897,15	0,3799	5,6	11,86834 73	17,75	4,21
2200	42,66	896,56	897,04	897,51	0,119	8,49	11,60821 92	18,39	2,51
2175	42,66	896,84	897,48	897,96	0,591	6,23	11,20899 47	19,23	1,83
2150	42,66	897,14	897,78	898,17	0,089	5,56	12,53550 3	20,33	2,21
2125	42,66	897,85	898,26	898,67	0,1569	5,57	12,35276 97	21,45	2,83
2100	42,66	898,54	898,72	899,16	0,0302	6,49	12,21037 46	19,67	1,3
2075	42,66	898,8	899,37	899,56	0,039	3,64	11,54495 91	18,75	1,5
2050	42,66	899	899,49	899,89	0,5549	3,94	11,29866 67	18,26	4,96
2025	42,66	899,21	899,63	900,07	0,1191	9,23	11,32887 7	18,59	2,47
2000	42,66	899,39	899,88	900,36	0,0442	5,83	11,86834 73	17,89	1,53
1975	42,66	899,9	900,42	900,76	0,0598	3,3	11,64010 99	17,15	1,76
1950	42,66	900,36	900,75	901,11	0,0619	4,05	11,00519 48	17,61	1,69
1925	42,66	901,08	901,57	901,98	0,162	3,37	13,49363 06	18,25	2,85
1900	42,66	902,26	902,89	902,99	0,029	6,43	11,86834 73	18,56	1,39
1875	42,66	903,56	903,97	904,13	0,0956	4,92	11,60821 92	18,92	2,28
1850	42,66	904,39	904,77	904,97	0,0497	2,88	11,03385 42	19,56	1,66
1825	42,66	905,14	905,51	905,88	0,0243	5,8	10,75380 71	20,16	1,13
1800	42,66	905,83	906,13	906,63	0,3869	4,29	11,38978 49	21,13	4,12

1775	42,66	906,61	906,96	907,36	0,0201	2,78	10,97668 39	20,86	1,11
1750	42,66	907,35	907,72	907,94	0,1998	7,5	10,41031 94	20,47	3,45
1725	42,66	908,06	908,61	908,72	0,0617	3,86	10,25907 99	19,86	1,66
1700	42,66	908,51	909,03	909,81	0,0389	9,83	10,18509 62	18,87	1,49
1675	42,66	909,84	910,16	910,49	0,0501	4,1	10,23429 95	18,66	1,68
1650	42,66	910,6	910,96	911,18	0,0126	4,42	10,41031 94	19,18	0,87
1625	42,66	911,28	911,74	911,96	0,2731	4,74	10,43596 06	19,64	3,49
1600	42,66	911,55	911,93	912,67	0,0437	2,75	10,38480 39	20,11	1,57
1575	42,66	911,97	912,54	913,14	0,0218	6,45	10,48762 38	19,78	1,15
1550	42,66	912,78	913,08	913,82	0,1261	4,34	11,96892 66	18,96	2,64
1525	42,66	913,3	914,38	914,76	0,0481	3,78	11,12073 49	18,63	1,82
1500	42,66	913,64	914,62	914,93	0,0203	6,82	11,86834 73	17,59	1,22
1475	42,66	914,58	915,1	915,32	0,0304	6,58	13,40822 78	17,31	1,45
1450	42,66	915,36	915,89	916,11	0,0243	4,99	13,36593 06	16,13	1,16
1425	42,66	916,02	916,67	916,92	0,0771	5,31	13,58012 82	15,81	2,12
1400	42,66	916,52	917,06	917,15	0,0351	3,88	13,07716 05	16,25	1,38
1375	42,66	917,22	917,79	917,97	0,0437	6,64	11,64010 99	16,33	1,74
1350	42,66	917,88	918,26	918,52	0,0199	4,58	11,54495 91	15,24	0,99
1325	42,66	918,57	918,91	919,14	0,1439	6,16	11,96892 66	14,69	2,41
1300	42,66	918,98	919,39	919,78	0,0203	2,14	11,12073 49	14,36	1,04
1275	42,66	919,38	919,69	920,04	0,0553	3,84	12,21037 46	14,12	1,72
1250	42,66	919,82	920,09	920,49	0,0079	2,61	11,26861 7	12,87	0,7
1225	42,66	920,17	920,54	920,86	0,1214	4,25	11,20899 47	12,58	2,38
1200	42,66	920,49	920,95	921,15	0,0194	2,47	10,75380 71	11,12	1,01
1175	42,66	920,95	921,31	921,76	0,0516	4,42	10,53980 1	11,81	1,63
1150	42,66	921,4	921,92	922,29	0,0206	2,71	10,56608 48	11,56	1
1125	42,66	922,07	922,57	922,89	0,0246	3,71	10,43596 06	10,96	1,1

1100	42,66	922,54	923,08	923,18	0,0167	2,45	10,53980 1	10,85	0,89
1075	42,66	923,26	923,48	923,77	0,1011	2,42	10,20963 86	10,36	2,31
1050	42,66	923,24	923,97	924,29	0,0141	3,17	10,16067 15	9,82	0,87
1025	42,66	925,47	925,85	926,03	0,0321	6,14	10,56608 48	11,36	1,28
1000	42,66	925,73	926,07	926,52	0,0193	2,23	10,64572 86	12,14	1
975	42,66	925,99	926,47	927,03	0,0179	3,16	10,67254 41	12,89	1
950	42,66	927,62	928,11	928,71	0,0112	2,42	11,64010 99	13,56	0,61
925	42,66	928	928,53	929,11	0,0755	2,73	12,57270 03	12,59	2,12
900	42,66	928,35	929,06	929,85	0,0165	0,75	13,62379 42	11,75	0,95
875	42,66	931,29	931,88	931,05	0,0615	4,38	13,19937 69	13,16	1,68
850	42,66	932,03	932,52	932,14	0,0173	1,97	12,10571 43	12,69	0,99
825	42,66	932,77	933,17	933,36	0,0184	3,67	12,80060 42	12,15	1,01
800	42,66	933,51	933,93	934,26	0,0381	3,67	11,90168 54	11,82	1,36
775	42,66	934,05	934,17	935,02	0,0176	2,88	11,64010 99	10,89	0,98
750	42,66	934,58	934,99	935,57	0,0301	3	12,57270 03	11,43	1,22
725	42,66	935,12	935,66	936,14	0,0341	3,18	12,14040 11	10,74	1,39
700	42,66	935,65	935,92	936,78	0,0076	4,05	12,24566 47	10,36	1,01
675	42,66	935,74	936,21	937,05	0,018	2,49	12,80060 42	9,95	0,92
650	42,66	935,83	936,44	937,61	0,0211	2,79	12,68562 87	11,12	1
625	42,66	935,92	936,56	937,92	0,0181	3,13	10,94832 04	12,32	0,93
600	42,66	936,01	936,82	938,06	0,0206	4,03	11,96892 66	12,56	1,04
575	42,66	936,78	937,09	938,46	0,16	2,22	12,53550 3	12,96	0,969106 16
550	42,66	937,55	937,93	939,04	0,15	2,33	12,57270 03	13,12	0,966238 98
525	42,66	938,32	938,95	939,66	0,14	2,3	12,35276 97	12,69	0,983442 05
500	42,66	939,08	939,64	940,16	0,18	2,56	11,86834 73	13,47	0,895521 89
475	42,66	939,39	939,71	940,65	0,19	2,1	11,09162 3	13,79	0,958233 5
450	42,66	939,7	940,08	941,17	0,24	2,67	10,67254 41	14,08	0,995860 47

425	42,66	940,01	940,41	941,79	0,25	4,11	10,30900 24	14,26	1,030978 98
400	42,66	940,32	940,72	942,13	0,28	4,08	10,38480 39	14,85	1,023453 59
375	42,66	940,82	941,05	942,61	0,34	3,47	12,21037 46	14,39	0,870437 24
350	42,66	941,32	941,78	942,98	0,27	3,64	11,64010 99	14,89	0,913081 14
325	42,66	941,82	942,26	943,24	0,26	3,78	11,20899 47	15,78	0,948199 65
300	42,66	943,69	944,94	945,36	0,29	3,51	12,07122 51	15,36	0,880471 1
275	42,66	943,2	943,73	944,19	0,27	3,48	12,17528 74	16,33	0,872945 71
250	42,66	944,07	944,66	944,72	0,24	3,64	11,64010 99	16,59	0,913081 14
225	42,66	944,95	945,31	945,42	0,22	3,58	11,83519 55	17,14	0,898030 35
200	42,66	945,82	946,16	946,31	0,23	3,54	11,96892 66	17,55	0,887996 49
175	42,66	946,59	947,08	947,1	0,22	3,96	10,69949 49	18,36	0,993352 01
150	42,66	947,36	947,79	947,92	0,23	3,95	10,72658 23	19,35	0,990843 55
125	42,66	948,13	948,67	948,76	0,27	4,05	10,46172 84	22,21	1,015928 19
100	42,66	948,9	949,37	949,56	0,3	3,82	11,09162 3	23,63	0,958233 5
75	42,66	949,36	949,96	950,48	0,29	3,97	10,67254 41	24,13	0,995860 47
50	42,66	949,82	950,37	950,89	0,34	3,87	10,94832 04	26,41	0,970775 83
25	42,66	950,71	951,3	951,84	0,32	4,06	10,43596 06	28,01	1,018436 66
0	42,66	950,86	951,77	951,92	0,33	4,07	10,41031 94	29,17	1,020945 12

Station pluviométrique BORDJ GHEDIR 050904													P max J (mm)	
Données traités														
Année/mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel	
1980	2	34.5	3	10.4	15.7	2	10.6	32	20.8	6	9.8	0	34.5	
1981	5.7	11.5	24.1	27	33.6	16.5	13.4	8.5	19	22.9	2.5	0.8	33.6	
1982	13.6	14.4	15.8	10.1	6.9	6.4	11.5	14.1	0.9	49.2	0	2.5	49.2	
1983	42.2	0	9.2	11	1.8	8	46	17.5	10.4	17.3	3.5	0.3	46	
1984	13.7	18.9	9.4	1.8	4.7	14.5	5.3	4.3	15.4	3.3	12.1	2.4	18.9	
1985	18	13.2	16.7	10.8	1.2	29.9	16.2	28.2	22	48.7	9.6	20.6	48.7	

1986	12.5	13.5	23.8	14.5	36.9	1	2.3	18.2	23.7	5.2	0	7.6	36.9
1987	3	17.9	25.6	2.6	6.7	6.1	4	25.7	10.4	4.5	0	10.1	25.7
1988	1.6	14.3	4.5	4.5	26.7	5.2	10	29.5	6	37.3	1.6	1.5	37.3
1989	26.9	12.7	4.2	2	6.1	6.3	22.8	14.4	12.7	6.4	1	0	26.9
1990	10	2	19.5	23.2	1	22	19.6	9	9.7	9	2	5.8	23.2
1991	8.8	15.9	1.5	10.7	12.5	18.6	47.2	25.5	33.5	13.7	1.4	1.5	47.2
1992	29.1	22.4	48	10.2	0	24.5	5.9	31	7.2	8	1.6	23.6	48
1993	0	5	5.5	6	22.5	30.6	10.6	13.5	13	6.5	5.5	3.4	30.6
1994	1.5	13.5	0	0	19.1	12.3	16.5	14.5	12	3.3	0	0	19.1
1995	45.6	29.8	28	47.4	16.9	9.3	32	8	19.6	14	6	2.2	47.4
1996	16.6	11.8	17.5	24.9	24.7	16.3	2.5	12	22.2	3.2	18.7	4.5	24.9
1997	3.6	21	21.8	46.5	8.9	14.8	6.2	23	20	20	0	0	46.5
1998	12	6	22	20	3.1	13	8.5	52	2.6	21.6	6.6	17.5	52
1999	22	6	12	10	26.5	0	16	19.6	27.4	1.4	5.6	6.4	27.4
2000	7	6	14	22.8	3.3	10.7	31.9	7	11.6	4	0.6	0	31.9
2001	9.6	43	11	8.6	15.1	18	12.7	12.2	20	22	14.4	0.3	43
2002	20	6.5	30	22.5	6.6	12	12.6	5.5	15.5	6	2.6	1	30
2003	12.5	7.6	20	24	11	13	10.7	4	0	0	0	7	24
2004	42	42	3	7	7.6	6.4	10	15	2.6	10.5	0	1.3	42
2005	27	9.6	5.2	31	28.6	11	11	17	55	5	10.7	10.5	55
2006	15.9	13.5	14.7	15.5	12.7	11.6	14.3	16.7	16.5	12.2	4.2	4.9	16.7
2007	15.9	13.5	14.7	15.5	12.7	11.6	14.3	16.7	16.5	12.2	4.2	4.9	16.7
2008	18.4	5	8.3	5.9	9.6	3.5	5.8	10.9	2.6	2.8	0	3	18.4
2009	28.6	10.8	20	23	0.6	0.6	10	4	58.6	1	1	6	58.6
2010	7.6	4.2	2.6	12	9.6	4.6	3	8	3.6	1.1	6.4	3.4	12