

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان-  
Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen –

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie



قسم الري  
Département d'Hydraulique



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique  
Option : Eau, Sol et Aménagement

Thème

PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES  
INONDATIONS  
CAS DU CENTRE D'EL GOUASSIR (W. TLEMEN)

Présenté par :

**HACHEMI Soumia Manel**

Soutenu publiquement en Juin 2015 devant le jury composé de :

M<sup>R</sup> M. Z. DEBBAL ..... Président  
M<sup>R</sup> A. BOUANANI ..... Examineur  
M<sup>R</sup> A. MEGNOUNIF ..... Examineur  
M<sup>R</sup> B. ROUISSAT ..... Encadreur  
M<sup>ME</sup> N. SMAIL..... Co-encadreur

*Année universitaire : 2014/2015*

# Remerciements

En premier lieu, je remercie **ALLAH** tout puissant qui m'a donné la force et la volonté pour finir ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à mon encadreur **M<sup>r</sup> B. T. ROUISSAT** Maître Assistant à l'Université de Tlemcen et mon co-encadreur **M<sup>me</sup> N. SMAIL**, pour leurs encadrements tout le long de ce travail, leurs conseils et leurs orientations efficaces.

Je remercie **M<sup>r</sup> Z. DEBBAL**, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également **M<sup>r</sup> A. BOUANANI** Professeur à l'Université de Tlemcen, et **M<sup>r</sup> A. MEGNOUNIF**, Maître de conférences à l'Université de Tlemcen, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et pour avoir accepté de l'examiner.

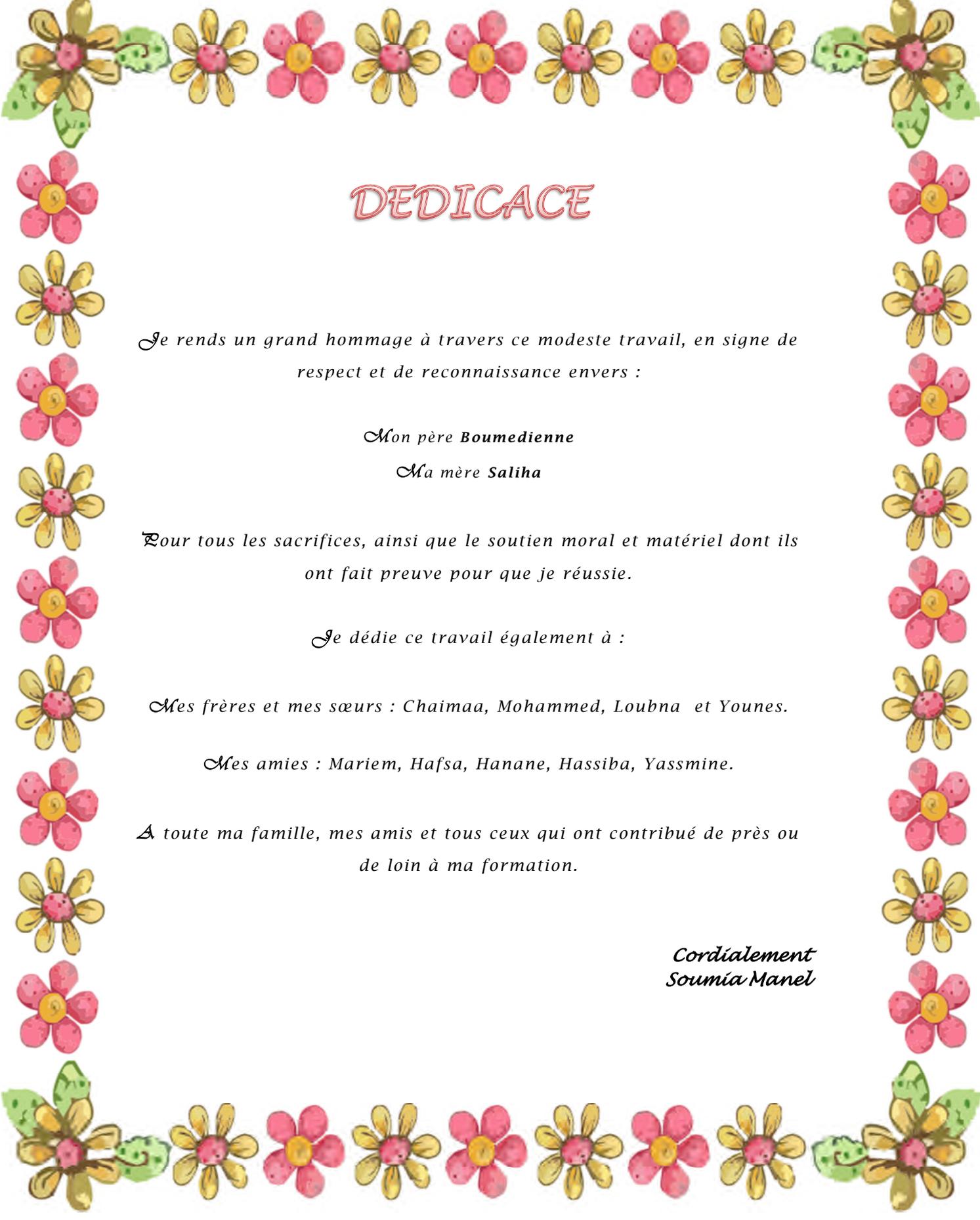
Mes plus vifs remerciements à toute ma famille : mon père **BOUMEDIENNE**, ma mère **SALIHA**, mes sœurs, mes frères, mes oncles, mes tantes et mes proches pour leurs encouragements et pour leurs soutient permanent.

Un très grand merci à **M<sup>r</sup> L. BENADDA**, **M<sup>r</sup> A. C. AZZOUZI** et **M<sup>lle</sup> H. BESSAKLIA** qui m'ont aidé pour accomplir ce travail.

Je tiens finalement à remercier, tous ceux qui m'ont enseigné depuis les études primaires jusqu'aux années du cursus universitaire pour l'obtention du diplôme de **MASTER**.

 Baraka **ALLAH** Fikrom

Soumia Manel



## DEDICACE

*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en signe de respect et de reconnaissance envers :*

*Mon père Boumedienne*

*Ma mère Saliha*

*Pour tous les sacrifices, ainsi que le soutien moral et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse.*

*Je dédie ce travail également à :*

*Mes frères et mes sœurs : Chaimaa, Mohammed, Loubna et Younes.*

*Mes amies : Mariem, Hafsa, Hanane, Hassiba, Yasmine.*

*À toute ma famille, mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.*

*Cordialement  
Soumia Manel*

## Résumé

La problématique des inondations est un sujet d'actualité qui suscite, en Algérie, un intérêt particulier pour sa prise en charge efficace. Ce phénomène naturel dont les dégâts sont impressionnants peut être causé par les crues s'écoulant dans les chevelus hydrographiques, et/ou les eaux pluviales drainées par des surfaces de ruissellement.

Le présent travail cible l'étude de protection du centre d'El Gouassir, Wilaya de Tlemcen, contre les inondations. Un thalweg longe le tissu urbain du centre et ce dernier est situé au pied d'un important versant, source d'écoulements de surface.

Sur la base des études au niveau du milieu physique morphométriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée et a permis de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et aux dimensionnements des ouvrages de protection du centre contre les inondations pour cette agglomération.

## Mots clés

Inondations, crues, eaux pluviales, protection, El Gouassir.

## Abstract

The problem of flooding is a topic that arouses, in Algeria, of a particular interest for its effective management. This natural phenomenon whose damages can be impressive can be caused by the floods flowing in the stream system, and / or by rainwater drained by runoff surfaces. This work concerns the center of the protection study against flooding of El Gouassir, Wilaya of Tlemcen. A thalweg runs along the urban fabric of the center which it is located at the foot of a large slope, source of surface runoffs. Based on studies in the physical, morphometric and climatic field, an hydrological study have been initiated, and have allowed to determine all of the parameters for the design and dimensioning of central protection works against floods.

## Keywords

Flood, Flooding, Rainwaters, Protection, El Gouassir

## الملخص

إشكالية الفيضانات تشكل موضوعا حدثا الذي يتطلب في الجزائر، أن يؤخذ بعناية فائقة حتى يتمكن من الإحاطة بمخاطره و التمكن منه.

هذه الظاهرة الطبيعية، غالبا ما تحدث خسائر معتبرة، بسبب المياه الطوفانية المتدفقة عبر الشعب الهيدروغرافية، أو بسبب حصر قنوات الصرف الصحي الخاصة بمياه الأمطار ذات الشدة في الغزارة.

هذا العمل يهدف إلى حماية منطقة القواسير (ولاية تلمسان) من الفيضانات، حيث يجتاز وسط هذه المنطقة السكنية واد مهم يحاذي مصب مياه كبير، إذ يعتبر هذا الوادي مصدرا للمياه الطوفانية.

على أساس دراسات و معطيات هيدروغرافية و مناخية، قمنا بدراسة هيدرولوجية مكنتنا من اقتناء معظم الخصائص التي تسمح بتصميم منشآت الري الموجهة لحماية القواسير من الفيضانات.

## كلمات مفتاحية

فيضانات، طوفان، مياه الأمطار، حماية، القواسير.

# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE .....	1
<b>CHAPITRE I : LES INONDATIONS GENESES, MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES</b>	
I. Introduction.....	3
II. Genèse des crues et des inondations.....	3
III Risque d'inondation.....	4
III.1. Les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI).....	4
III.2. Définition du concept du risque.....	5
IV. Inondations provoquées par les crues et les eaux de surfaces.....	8
IV.1. Influence du climat .....	8
IV.2. Les crues provoquées par les chevelus hydrauliques.....	8
IV.3. Le processus de formation des crues.....	9
IV.4. La période de retour de crues.....	9
IV.5. Paramètres influençant les inondations.....	10
IV.5.1. Facteurs anthropiques.....	10
IV.5.2. Facteurs naturels (pluie, neige).....	11
IV.5.3. Nature et occupation de sol.....	11
IV.6. Types d'inondations.....	12
IV.6.1. Inondations des plaines.....	12
IV.6.2. Ruissellement pluvial.....	13
IV.6.3. Remontées des nappes.....	14
IV.6.4. Rupture d'une digue.....	15
IV.6.5. Crues torrentielles.....	15
IV.6.6. Inondations marines.....	16
IV.7. Historique des inondations dans l'Algérie.....	16
V. Gestion du risque d'inondation.....	19
V.1. La réglementation.....	19
V.2. La prévision.....	19
V.3. L'aménagement du bassin versant.....	19

V.3.1. Au niveau des versants.....	19
V.3.2. Au niveau du lit.....	20
VI. Conclusion.....	22

## **CHAPITRE II : PROCÉDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS**

I. Introduction .....	23
II. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations.....	23
II. 1. Recalibrage du cours d'eau.....	23
II.1.1. Les conséquences d'un recalibrage.....	25
II.1.2. Les inconvénients du recalibrage .....	26
II.2. Endiguement du cours d'eau.....	27
II.3. Reboisement.....	31
II.4. Recalibrage des ouvrages d'art.....	33
II.5. Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau.....	33
II.6. Préservation — restauration — création des zones d'expansion des crues .....	33
II.7. Retenues d'eau.....	34
II.8. Barrage écrêteur .....	35
II.8.1. Conséquences et effets perturbateurs possibles .....	38
II.8.2. Dimensionnement hydraulique.....	38
II.8.3. Dimensionnement hydrotechnique de la digue.....	39
II.8.4. Détermination les caractéristiques du pertuis et du canal sous remblai d'un barrage écrêteur .....	41
II.9. Réservoirs d'orage.....	42
II.10. Correction torrentielle.....	42
II.11. Bassin d'Amortissement .....	44
II.11.1. Principe de fonctionnement d'un bassin d'Amortissement .....	44
II.11.2. Les avantages et les inconvénients .....	45
II.11.3. Conditions et domaine d'utilisation .....	46
II.12. Banquettes.....	46
II.13. Les épis .....	48
II.14. Ouvrages de stockage en dérivation.....	49
III. Conclusion.....	50

**CHAPITRE III : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE POUR LA PROTECTION DU  
CENTRE D'EL GOUASSIR CONTRE LES CRUES**

MOTIVATIONS DE L'ETUDE.....	51
A. MORPHOMETRIE.....	55
I. Introduction.....	55
II. Situation géographique .....	55
III. Description du tissu urbain.....	56
IV. Etude morphométrique.....	57
IV.1. Définition du bassin versant .....	57
IV.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant.....	58
IV.2.1. Paramètres géométriques.....	58
IV.2.2. Paramètres de relief.....	62
IV.2.3. Paramètres hydrographiques.....	69
V. conclusion .....	72
B. CLIMATOLOGIE.....	73
I. Introduction .....	73
II. Présentation de la station climatique retenue.....	74
III. Analyse des Précipitations.....	74
III.1. Précipitations moyennes annuelles.....	74
III.2. Précipitations moyenne mensuelles.....	75
III.3. Précipitations maximales journalières.....	77
III.4. Précipitations saisonnières.....	78
IV Analyse des Températures.....	78
IV.1. Températures moyennes mensuelles.....	78
IV.2. Variation des températures annuelles .....	79
V. Humidité relative.....	80
VI. Vent .....	81

VII.Synthèse bioclimatique .....	82
VII.1. Indice d'aridité annuel de De-Martonne.....	82
VII.2. Indice d'aridité mensuelle de De. MARTONNE .....	83
VII.3. Indice d'EMBERGER .....	84
VII.4. Diagramme ombrothermique .....	85
IX. Conclusion.....	86

## **CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET CONCEPTION DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION**

A. ETUDE HYDROLOGIQUE.....	87
I. Introduction.....	87
II. Analyse des données statistiques.....	87
III. Choix de la loi d'ajustement.....	88
IV. Etude des crues.....	93
IV.1. Différentes méthodes d'évaluation des crues.....	93
IV.1.1. Méthodes historiques.....	94
IV.1.2. Méthodes empiriques.....	94
IV.1.3. Courbes enveloppes.....	94
IV.1.4. Méthodes probabilistes.....	94
IV.1.6. Méthode de l'hydrogramme unitaire.....	94
IV.2. Application sur le bassin versant de Gouassir.....	95
IV.2.1. Formule de Mallet – Gauthier.....	95
IV.2.2. Formule de Turraza.....	95
IV.2.3. Formule de Sokolovski.....	96
IV.2.4. Formule de GIANDOTTI.....	96
IV.3. Hydrogrammes des crues.....	97
IV. Conclusion.....	98
B. ETUDES DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES CRUES .....	100

I. Introduction.....	<b>100</b>
II. Typologie des aménagements hydrauliques proposés pour la protection du centre d'El Gouassir contre les inondations.....	<b>100</b>
III. Etude des écoulements.....	<b>101</b>
III.1. Ecoulement uniforme et non uniforme .....	<b>102</b>
III.2. Ecoulement permanent et non permanent.....	<b>102</b>
III.3. Ecoulement fluvial, critique et torrentiel.....	<b>103</b>
IV Calcul des paramètres hydrauliques.....	<b>104</b>
IV.1. Profil en long du cours d'eau .....	<b>104</b>
IV.2. Choix des sections de contrôle et profils en travers .....	<b>106</b>
IV.3. Vérification des capacités de transit de l'oued .....	<b>106</b>
IV.4. Evaluation des surélévation de niveau d'eau dues aux courbures de l'oued .....	<b>112</b>
IV.5. Evaluation des revanches réglementaires pour les écoulements dans les canaux à surface libre.....	<b>113</b>
V. Protection des berges de l'oued.....	<b>115</b>
<b>C. ETUDE DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES EAUX PLUVIALES .....</b>	<b>116</b>
I. Critères topographiques de projection.....	<b>116</b>
II. Dimensionnement hydraulique du canal.....	<b>119</b>
II.1. Dimensionnement des canaux .....	<b>119</b>
II.1.1. Le choix de la section optimale.....	<b>120</b>
II.1.2. Calcul du rayon hydraulique maximal.....	<b>120</b>
II.2. Calculs hydrauliques du canal de protection.....	<b>121</b>
III. Conclusion.....	<b>123</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>124</b>

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I : LES INONDATIONS GENESES, MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES

<b>Figure I.1</b> : Illustration de l'augmentation du débit de pointe de crue due à l'urbanisation des bassins versants.....	5
<b>Figure I.2</b> : Model conceptuel du risque .....	6
<b>Figure I.3</b> : Chronologie du risque d'inondation .....	7
<b>Figure I.4</b> : Paramètres influençant les inondations .....	11
<b>Figure I.5</b> : Inondation de plaine .....	12
<b>Figure I.6</b> : Inondation par ruissellement pluvial.....	13
<b>Figure I.7</b> : Inondation par remontée de nappe .....	14
<b>Figure I.8</b> : Inondation par rupture d'une digue .....	15
<b>Figure I.9</b> : Manifestations des crues torrentielles .....	15
<b>Figure I.10</b> : Inondation marine .....	16
<b>Figure I.11</b> : Inondation sur lit mineur .....	20
<b>Figure I.12</b> : Inondation sur lit majeur .....	21
<b>Figure I.13</b> : Inondation sur lit moyen .....	22

## CHAPITRE II : PROCEDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS

<b>Figure II.1</b> : Recalibrage d'un cours d'eau.....	24
<b>Figure II.2</b> : Etat initial du cours d'eau .....	24
<b>Figure II.3</b> : Première intervention sur le cours d'eau .....	25
<b>Figure II.4</b> : Mécanismes de rupture des ouvrages en remblai .....	27
<b>Figure II.5</b> : Mécanisme du renard hydraulique dans une digue .....	28
<b>Figure II.6</b> : Positionnement de la digue par rapport aux cours d'eau .....	29

<b>Figure II.7</b> : Schéma d'une digue .....	<b>29</b>
<b>Figure II.8</b> : Coupe type d'une vallée endiguée .....	<b>30</b>
<b>Figure II.9</b> : Intervention sur le cours d'eau .....	<b>31</b>
<b>Figure II.10</b> : Intervention sur le cours d'eau.....	<b>32</b>
<b>Figure II.11</b> : Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue.....	<b>35</b>
<b>Figure II.12</b> : Coupe schématique d'un barrage écrêteur de crue .....	<b>36</b>
<b>Figure II.13</b> : Schéma de fonctionnement de barrage écrêteur .....	<b>38</b>
<b>Figure II.14</b> : Fonctionnement d'un barrage écrêteur .....	<b>41</b>
<b>Figure II.15</b> : Correction torrentiel. ....	<b>43</b>
<b>Figure II.16</b> : Schéma principal de bassin d'Amortissement. ....	<b>44</b>
<b>Figure II.17</b> : Principe de fonctionnement d'un bassin d'Amortissement .....	<b>45</b>
<b>Figure II.18</b> : Technique de banquettes .....	<b>46</b>
<b>Figure II.19</b> : Implantation des épis .....	<b>48</b>
<b>Figure II.20</b> : Fonctionnement d'ouvrage de stockage en dérivation.....	<b>49</b>

### **CHAPITRE III : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE POUR LA PROTECTION DU CENTRE D'EL GOUASSIR CONTRE LES CRUES**

<b>Figure III.1</b> : Situation géographique de la région d'étude .....	<b>56</b>
<b>Figure III.2</b> : Délimitation du bassin versant.....	<b>58</b>
<b>Figure III.3</b> : Tracé du rectangle équivalent du bassin versant.....	<b>61</b>
<b>Figure III.4</b> : Courbes de niveau du bassin versant -Extrait de carte .....	<b>63</b>
<b>Figure III.5</b> : Courbe hypsométrique du bassin versant.....	<b>63</b>
<b>Figure III.6</b> : Extrait de la carte d'état-major du bassin versant avec chevelu hydrographique .....	<b>70</b>

<b>Figure III.8:</b> Histogramme de Variation des Pluies Saisonnières.....	<b>78</b>
<b>Figure III.9:</b> Histogramme des températures moyennes mensuelles .....	<b>79</b>
<b>Figure III.10:</b> Variation entre Températures Moy, Min. et Max.....	<b>79</b>
<b>Figure III.11:</b> Humidité relative moyenne mensuelle .....	<b>80</b>
<b>Figure III.12:</b> Histogramme des vitesses des vents moyennes mensuelles .....	<b>81</b>
<b>Figure III.13:</b> Abaque pour le calcul d'indice d'aridité de De Martonne.....	<b>82</b>
<b>Figure III.14:</b> Etage bioclimatique de la région étudié selon le climagramme.....	<b>84</b>
<b>Figure III.15:</b> Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'étude.....	<b>85</b>

## **CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET CONCEPTION DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION**

<b>Figure IV.1:</b> Ajustement des précipitations maximales journalières.....	<b>90</b>
<b>Figure IV.2:</b> Variation des pluies fréquentielles.....	<b>91</b>
<b>Figure IV.3:</b> Courbes IDF.....	<b>93</b>
<b>Figure IV.4:</b> Hydrogrammes de crues.....	<b>98</b>
<b>Figure IV.5 :</b> Classification des écoulements à surface libre .....	<b>103</b>
<b>Figure IV.6 :</b> Profil en long de l'oued .....	<b>105</b>
<b>Figure IV.7:</b> vue en plan de l'oued .....	<b>107</b>
<b>Figure IV.8:</b> Profil en travers -sections 3.....	<b>108</b>
<b>Figure IV.9:</b> Profil en travers -sections 4.....	<b>108</b>
<b>Figure IV.10:</b> Profil en travers -sections 6.....	<b>108</b>
<b>Figure IV.11:</b> Profil en travers -sections 8.....	<b>108</b>
<b>Figure IV.12:</b> Profil en travers -sections 10.....	<b>109</b>
<b>Figure IV.13:</b> Profil en travers -sections 12.....	<b>109</b>
<b>Figure IV.14:</b> Profil en travers -sections 13.....	<b>109</b>
<b>Figure IV.15:</b> Profil en travers -sections 14.....	<b>109</b>
<b>Figure IV.16:</b> Profil en travers -sections 17.....	<b>110</b>

<b>Figure IV.17:</b> Profil en travers -sections 19.....	<b>110</b>
<b>Figure IV.18:</b> Profil en travers -sections 21.....	<b>110</b>
<b>Figure IV.19:</b> Profil en travers -sections 23.....	<b>110</b>
<b>Figure IV.20:</b> Profil en travers -sections 24.....	<b>111</b>
<b>Figure IV.21:</b> Profil en travers -sections 26.....	<b>111</b>
<b>Figure IV.22 :</b> Paramètres d'écoulement au niveau des courbures .....	<b>112</b>
<b>Figure IV.23:</b> Paramètres de surélévation du plan d'eau.....	<b>114</b>
<b>Figure VI.24:</b> Eléments constitutif d'un revêtement en enrochement classique .....	<b>115</b>
<b>Figure IV.25 :</b> Plan de masse avec implantation du canal de protection .....	<b>118</b>

# LISTE DES PHOTOS

## CHAPITRE I : LES INONDATIONS GENÈSES, MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES

<b>Photo I.1 :</b> Photographie aérienne d'inondation de Koeking (Moselle, France) .....	4
<b>Photo I.2 :</b> Route transformée en torrent, Ville de Ghardaïa Octobre 2008.....	17

## CHAPITRE II : PROCÉDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS

<b>Photo II. 1:</b> Oued Mekerra (Wilaya de Sidi Bel Abbés) recalibré dans la traversée de Ras El Ma.....	26
<b>Photo II.2 :</b> Digue enroché .....	31
<b>Photo II.3 :</b> Aménagement des berges de l'oued contre le glissement .....	32
<b>Photo II.4 :</b> Réalisation d'un ouvrage d'art .....	33
<b>Photo II.5 :</b> Barrage écrêteur de crues sur l'Huisne .....	37
<b>Photo II.6 :</b> Succession de seuils dans le chenal d'écoulement.....	42
<b>Photo II.7 :</b> Plantations fruitières et forestières sur banquettes Oued Tlata.....	47

## CHAPITRE III : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE POUR LA PROTECTION DU CENTRE D'EL GOUASSIR CONTRE LES CRUES

<b>Photo III.1 :</b> Configuration de l'oued El Gouassir.....	51
<b>Photo III.2 :</b> Irrégularité spatiale et altimétrique de l'oued.....	52
<b>Photo III.3 :</b> Vulnérabilité de l'oued à l'érosion réduisant les capacités de transit.....	52
<b>Photo III.4 :</b> Tracé de l'oued nécessitant un recalibrage.....	53
<b>Photo III.5 :</b> Ouvrage de travers obturé.....	53
<b>Photo III.6 :</b> Ecoulement étranglé au niveau des singularités.....	54

## CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET CONCEPTION DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION

<b>Photo IV.1 :</b> Canal naturel .....	101
<b>Photo IV.2 :</b> Canal artificiel en béton .....	102

# LISTE DES TABLEAUX

## CHAPITRE I : LES INONDATIONS, GENESES, MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES

Tableau I.1	: Habitations construites en zones inondables .....	18
-------------	---	----

## CHAPITRE III : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE POUR LA PROTECTION DU CENTRE D'EL GOUASSIR CONTRE LES CRUES

Tableau III.1	: Calculs hypsométriques .....	62
Tableau III.2	: Classification du relief Ig selon l'O.R.S.T.O.M.....	65
Tableau III.3	: Types de reliefs en fonction de $D_s$ .....	68
Tableau III.4	: Valeurs des paramètres de relief du bassin versant.....	68
Tableau III.5	: Calculs du temps de concentration par différents modèles.....	68
Tableau III.6	: Chevelu hydrographique du bassin versant.....	69
Tableau III.7	: Classification du Coefficient de ruissellement selon l'ANRH.....	71
Tableau III.8	: Caractéristiques de la station pluviométrique.....	74
Tableau III.9	: Caractéristiques des précipitations moyennes annuelles	75
Tableau III.10	: Précipitations moyennes mensuelles.....	75
Tableau III.11	: Caractéristiques des précipitations moyennes mensuelle.....	76
Tableau III.12	: Caractéristiques des précipitations maximales journalières	77
Tableau III.13	: Répartition des pluies saisonnières.....	78
Tableau III.14	: Températures moyennes mensuelles.....	78
Tableau III.15	: Variation des températures Moy, Min et Max annuelles.....	79
Tableau III.16	: Humidité relative moyenne mensuelle.....	80
Tableau III.17	: Variation des vitesses des vents moyennes mensuelles.....	81
Tableau III.18	: Indice d'aridité mensuel de DE.MORTONNE à la station de Zenâta.....	84

## CHAPITRE IV : ETUDE HYDROLOGIQUE ET CONCEPTION DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION

Tableau IV.1	: Précipitations maximales journalières.....	87
Tableau IV.2	: Caractéristiques de la série pluviométrique.....	88
Tableau IV.3	: Caractéristiques de Pluies de Fréquence.....	90
Tableau IV.4	: Calcul des pluies fréquentielles.....	91
Tableau IV.5	: Calcul des intensités pluviales.....	92
Tableau IV.6	: Débits de crues au bassin versant par différents modèles.....	97
Tableau IV.7	: Valeurs du débit de crues.....	98
Tableau IV.8	: Capacités des transits de l'oued.....	106
Tableau IV.9	: Evaluation des revanches.....	113
Tableau IV.10	: Calculs des hauteurs de surélévation provoquées par les courbures de l'oued.....	114
Tableau IV.11	: Capacités de transit de l'oued tenant compte des courbures de son tracé.....	114
Tableau IV.12	: Caractéristiques géométriques du canal de protection.....	116
Tableau IV.13	: Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale.....	120
Tableau IV.14	: Calculs des capacités de transit du canal de protection.....	121
Tableau IV.15	: Surfaces de drainage des eaux pluviales.....	122

***INTRODUCTION***  
***GENERALE***

## Introduction générale

Le phénomène des inondations des agglomérations est au cœur des préoccupations des scientifiques. Sa compréhension, son analyse et ses études font appel à de multiples disciplines et à de nombreuses connaissances allant de la caractérisation jusqu'à la conception des aménagements de protection.

De nombreuses zones en Algérie sont touchées par les inondations, les causes sont multiples : ampleur des phénomènes climatiques et hydrologiques, vulnérabilité des sols à l'érosion et au transport solide, configuration des tissus urbains par rapport aux écoulements de crues et pluviaux, contraintes physiques relatives aux urbanisations et en fin absence d'outils techniques et juridiques réglementant l'occupation des sols.

Les moyens de protection contre les inondations sont souvent des opérations délicates et onéreuses. Leur efficacité dépend à la fois de la fiabilité des paramètres hydrologiques évalués et aux critères de conception et de dimensionnement des ouvrages de protection. Partant de ces considérations, le présent travail vise une étude de protection contre les inondations du centre d'El Gouassir. Ce centre est situé sur l'axe routier RN 35 reliant Oran à Maghnia et par la suite à la frontière Marocaine.

Sur le plan de la configuration du centre par rapport aux sources d'inondations, un thalweg longe du Nord au Sud le centre et peut, en cas de crues importantes être une source de nuisance en terme d'inondations.

Aussi, le centre est localisé au pied d'un important versant marneux qui peut lui aussi drainer des eaux pluviales intenses provoquant des inondations.

Dans une première étape, et afin de rayonner sur l'ensemble des aspects et critères liés à ce phénomène complexe, une contribution bibliographique a été engagée englobant deux importants volets :

Les manifestations et les conséquences des inondations ainsi que les moyens de protection.

Dans une seconde étape et puisque le dimensionnement des ouvrages de protection n'est que la finalité, l'étude du milieu physique sur le plan morphométrique et climatique a été étroitement intégrée. Ensuite, il était impératif d'engager un volet relatif à l'étude hydrologique débouchant sur l'évaluation des paramètres servant à la conception des ouvrages tant en matière de crues qu'en matière d'eaux pluviales.

La phase finale de cette étude, et sur la base des paramètres évalués a concerné les calculs techniques des ouvrages de protection se résumant sur trois actions fondamentales : recalibrage et reprofilage de l'oued et la projection d'un canal de colature interceptant les eaux pluviales sur le flanc Est.

Pour réaliser toutes ces investigations, de multiples données ont été nécessaires et ont englobé les séries pluviométriques de la station de référence, les levés topographiques de la zone, la couverture cartographique ainsi que les multiples visites effectuées sur les lieux.

Pour l'ensemble des objectifs cités ci-dessus, le mémoire a été structuré, chronologiquement, en quatre chapitres en l'occurrence :

- Chapitre I : les inondations, genèses, manifestations et conséquences.
- Chapitre II : procédés de protection des agglomérations contre Les inondations.
- Chapitre III : étude du milieu physique pour la protection du centre d'El Gouassir contre les crues.
- Chapitre IV : étude hydrologique et conception des aménagements de protection.

# ***CHAPITRE I***

## ***LES INONDATIONS GENESES, MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES***

## **I. Introduction**

Les inondations sont des catastrophes naturelles qui touchent tous les pays du globe terrestre. Elles sont générées souvent par les débordements des cours d'eau traversant des villes et des agglomérations et ou des débits importants des eaux de surface. L'étude de ce phénomène est nécessaire pour limiter tous les dégâts et réduire l'impact sur les villes inondée.

Le but principal de ce chapitre est la présentation des notions et concepts fondamentaux liés au risque d'inondation, le phénomène naturel générateur de ce risque, ces types et ces causes ainsi que les enjeux et leur vulnérabilité.

## **II. Genèse des crues et des inondations**

Sous les termes de crues et d'inondations se cache un phénomène multiforme. Les crues, terme plutôt hydrologique, désigne le dépassement d'un certain débit ou d'une certaine hauteur par un cours d'eau. Cette hauteur d'eau peut être qualifiée en fonction de sa durée de retour ; par exemple une crue décennale est une hauteur d'eau ou un débit qui a une chance sur dix de se produire chaque année (Yahiaoui, 2012)

Le terme inondation est d'acceptation plutôt topographique ou géomorphologique. Il désigne le débordement d'un cours d'eau de son lit mineur, mais aussi le remplissage d'une cuvette topographique par les eaux de ruissellement local. Ce type d'inondations pluviales se distingue par la vitesse de l'eau, le volume d'eau écoulé et la hauteur d'eau. Ces paramètres sont essentiels pour comprendre les dommages et instaurer des politiques de prévention efficaces. (Yahiaoui, 2012)



*Photo I.1 : Photographie aérienne d'inondation de Koeking (Moselle, France). (Hostach, 2006)*

### **III. Risque d'inondation**

Le risque d'inondation reste aujourd'hui le risque le plus répandu, faisant le plus de victimes et de dégâts. Il contribue pour 58% dans le nombre des victimes des catastrophes naturelles et pour 31% dans le montant des pertes économiques. (Bravard, 1991)

#### **III.1. Les plans d'exposition aux risques des inondations (PERI)**

L'un des meilleurs moyens de prévention contre les risques d'inondation est d'éviter d'urbaniser les zones exposées à ce risque. Le PERI est parmi les anciens documents définissant les zones inconstructibles et des zones constructibles sous réserves de respecter certaines prescriptions. (Bravard, 1991)

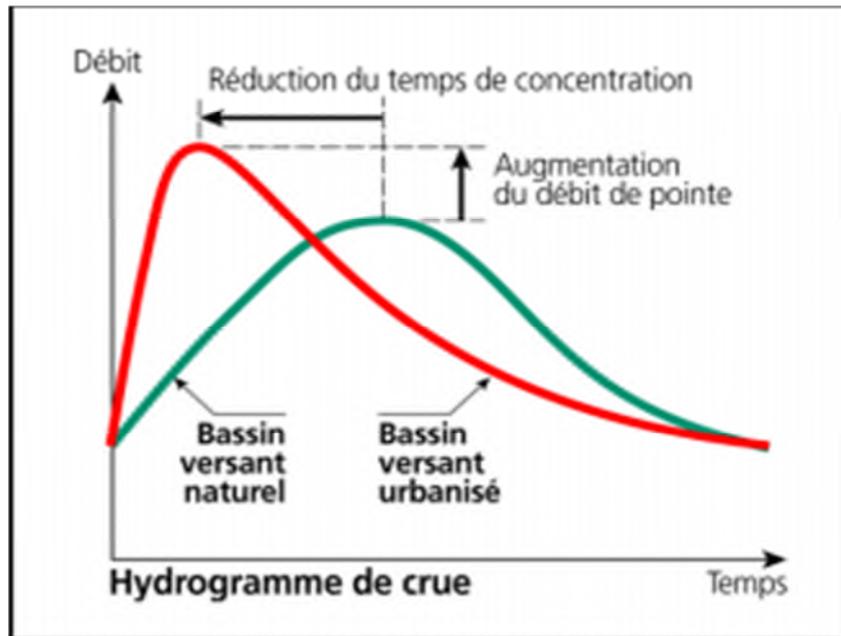


Figure 1.1 : Illustration de l'augmentation du débit de pointe de crue due à l'urbanisation des bassins versants (Hostach, 2006)

### III.2. Définition du concept du risque

Un aléa environnemental est défini comme un événement instantané ou un processus continu qui, lorsqu'il se réalise, induit la possibilité de dégrader la qualité de l'environnement, directement ou indirectement. (Gilli, 2008)

Le risque est la conjonction d'un aléa et d'un milieu vulnérable ; par conséquent, un aléa ne présente un risque que lorsqu'il est susceptible d'affecter quelque chose de valeur. (Gilli, 2008)

La notion de risque est communément définie comme la combinaison de deux composantes qui sont l'aléa et la vulnérabilité. En effet, d'après (Torterotot, 1993) :

**« Il n'y a pas de risque sans aléa naturel, il n'y en a pas sans élément vulnérable exposé ».**

- La crue représente le phénomène naturel au moyen de sa fréquence et de ses descripteurs physiques.
- La vulnérabilité exprime le niveau d'effet prévisible d'un phénomène naturel sur les enjeux.
- Les enjeux, quant à eux, représentent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. (Torterotot, 1993)

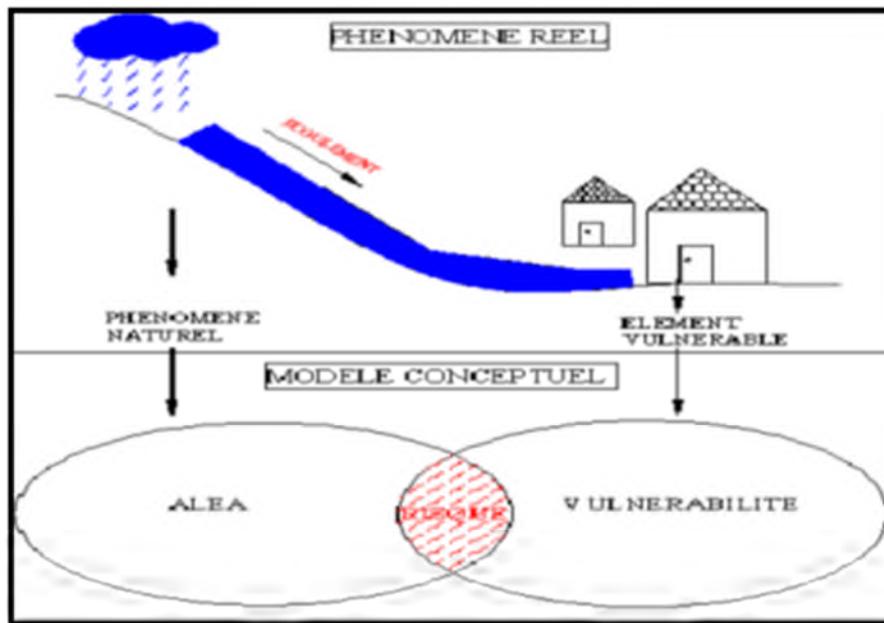


Figure 1.2 : Model conceptuel du risque (Berni, 2010)

La figure I.3 représente la chronologie des deux paramètres fondamentaux constituant le risque.

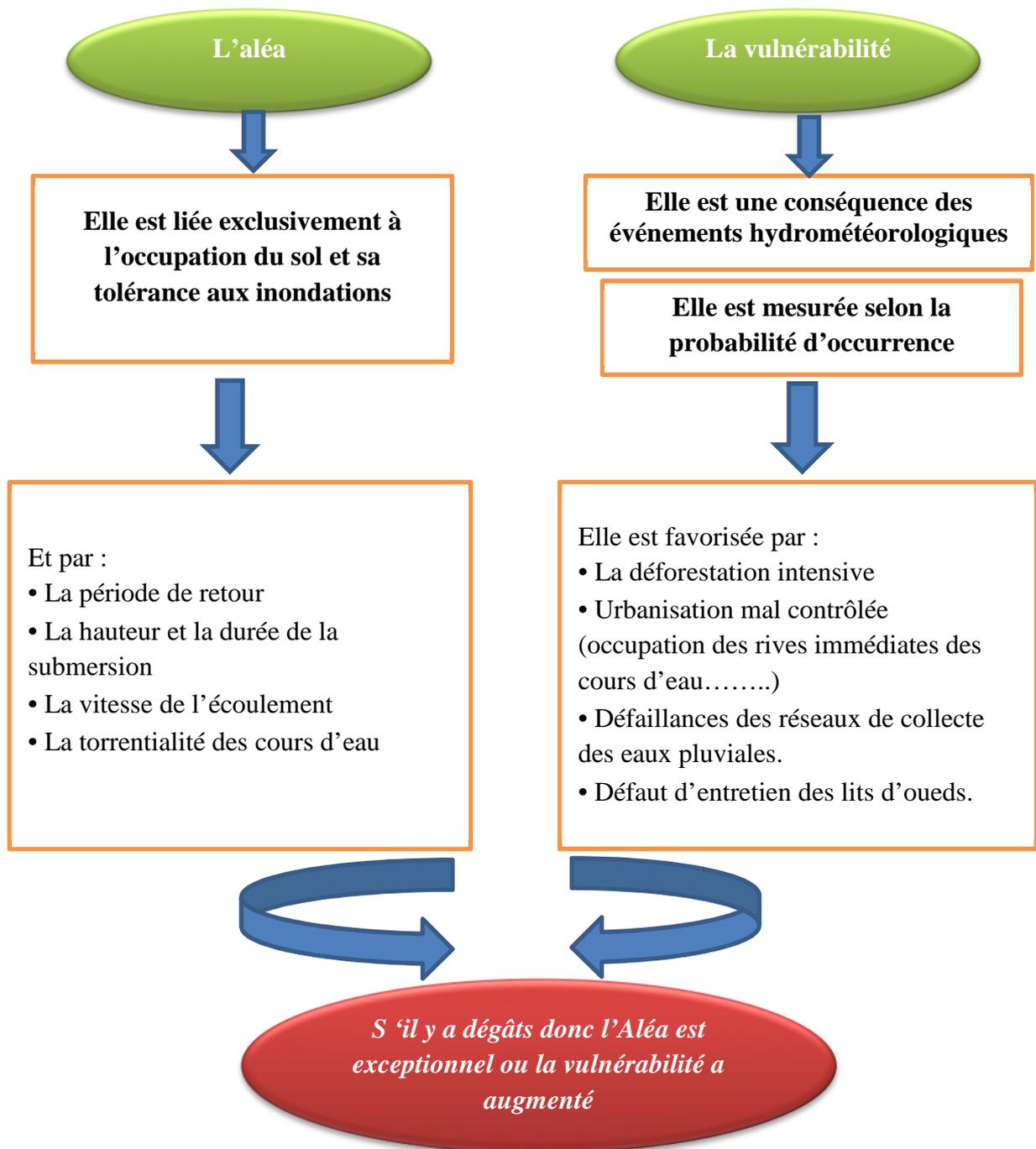


Figure I.3 : Chronologie du risque d'inondation (Agence spatiale Algérienne, 2012)

## **IV. Inondations provoquées par les crues et les eaux de surfaces**

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égouts. (Hostach, 2006)

### **IV.1. Influence du climat**

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel. Elles interviennent par :

- Leur répartition spatiale.
- Leur répartition temporelle.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (la température, l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité); des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin. (Talah, 2014)

### **IV.2. Les crues provoquées par les chevelus hydrauliques**

La crue correspond à l'augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule dans la rivière (débit) et peut concerner l'ensemble du lit majeur de la rivière. (Talah, 2014)

Elle dépend essentiellement de l'abondance et de l'intensité de la pluie : son évolution obéit principalement à la puissance et l'intensité de l'averse. Sa vitesse est largement influencée par le couvert végétal, la lithologie, par des paramètres morphométriques du bassin (indice de compacité, densité de drainage, rapports des confluences et des longueurs etc...), par la pente des thalwegs et la forme du lit. (Bouanani, 2004)

Le processus de la genèse de crue est le résultat de plusieurs processus concomitants. Il peut être le résultat de l'écoulement superficiel ou souterrain ou les deux ensembles. (Pierre, 2007)

Les crues sont de trois types :

- Les crues d'averses : Ce sont les crues les plus connues et plus répandues.
- Les crues de fonte de neige : Caractéristiques aux régimes climatiques neigeux. Elles sont liées à l'augmentation de température.
- Les crues d'embâcles : Généralement dues aux blocs de glaces ou troncs d'arbres qui s'accumulent formant des petits barrages et provoquant des inondations à l'amont. La débâcle est l'effet de la rupture de ces petits barrages résultant des inondations à l'aval. (Benmia, 2012)

### IV.3. Le processus de formation des crues

Comprendre ce processus de formation des crues revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau. En simplifiant, on distingue :

- **L'eau mobilisable** : constituée de l'eau reçue par le bassin versant.
- **Le ruissellement** : qui correspond à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de sa pente, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux.
- **Le temps de concentration** : qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci.
- **La propagation de l'onde de crue** : qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation. (Asnoui, 2014)

### IV.4. La période de retour de crues

On associe souvent à la notion de crue la notion de période de retour (crue décennale, centennale, millénaire, etc.) : plus cette période est grande, plus les débits et l'intensité sont importants.

Selon ce paramètre, on distingue:

- **Les crues fréquentes** : dont la période de retour est comprise entre un et deux ans.
- **Les crues moyennes** : dont la période de retour est comprise entre dix et vingt ans.
- **Les crues exceptionnelles** : dont la période de retour est de l'ordre de cent ans.
- **La crue maximale vraisemblable** : qui occupe l'intégralité du lit majeur. (Yahiaoui, 2012)

#### **IV.5. Paramètres influençant les inondations**

##### **IV.5.1. Facteurs anthropiques**

###### **a. L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables**

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle la concentration des personnes et l'accumulation des biens dans les champs d'inondation génèrent le risque d'inondation par accroissement des enjeux, augmentation des vulnérabilités et absence de prévention-précaution. (Bachi, 2011)

###### **b. L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau**

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Ces aménagements peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération des crues en aval et l'altération du milieu naturel. (Talah, 2014)

###### **c. L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants**

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux. (Talah, 2014)

###### **d. La diminution des champs d'expansion des crues**

Consécutives à l'aménagement urbain ou agricole, elles ont pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues. (Bachi, 2011)

#### IV.5.2. Facteurs naturels (pluie, neige)

Les causes naturelles liées aux phénomènes météorologiques et au climat. L'eau de pluie ou de la neige est retenue par le sol, absorbée par la végétation ou évaporée, L'excédent formera les eaux de ruissellement qui, en atteignant les cours d'eau sont à l'origine des crues ou des inondations par élévation des lits des rivières.

Les crues se produisent généralement en automne ou en hiver quand la pluie et la fonte des neiges augmentent considérablement la quantité des eaux de ruissellement et aussi lorsque le sol et la végétation ne peuvent pas assimiler toute l'eau de ruissellement et provoquent une élévation du lit du cours d'eau. (Talah, 2014)

Précipitation → crue → inondation

#### IV.5.3. Nature et occupation de sol

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également le même rôle. Ainsi, pour une même quantité de pluie, une crue apparaîtra ou non. (Ledoux, 2006)

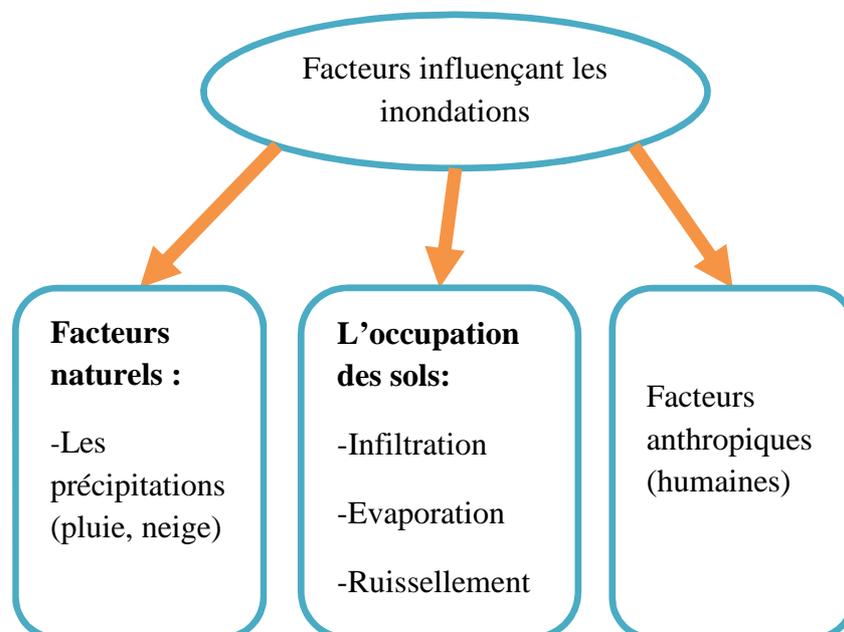


Figure I.4 : Paramètres influençant les inondations (Talah, 2014)

## IV.6. Types d'inondations

On distingue plusieurs types d'inondations provoquées par le débordement des cours d'eau et des rivières :

### IV.6.1. Inondations des plaines

Elles se traduisent par le débordement d'un cours d'eau qui sort de son lit habituel (lit mineur) et regagnant son lit majeur. Ce débordement peut être précédé ou suivi par des remontées des nappes phréatiques. Elles se caractérisent par une montée des eaux longue, peu rapide, et une durée de submersion pouvant atteindre quelques semaines. (Boubchir, 2007)

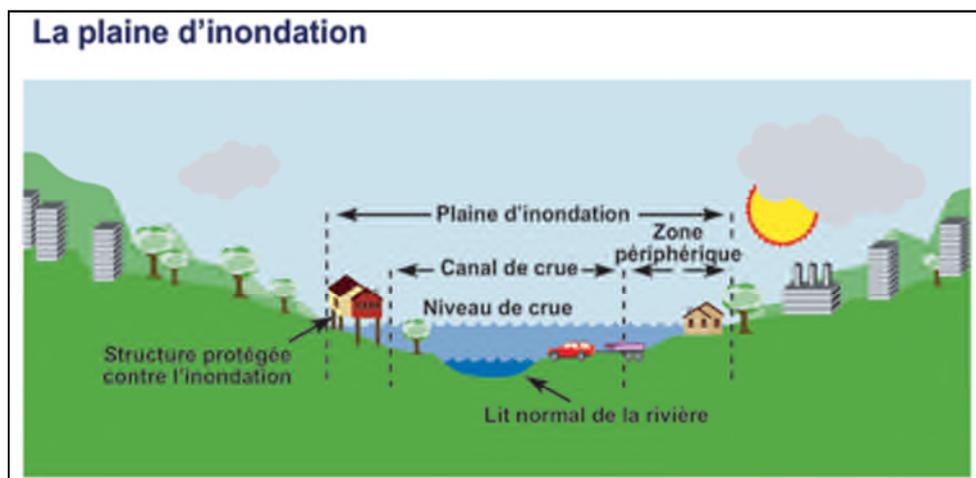


Figure I.5 : Inondation de plaine (Talah, 2014)

Ce type d'inondation a pour conséquences :

- Une montée des eaux généralement longue.
- Une durée de submersion pouvant atteindre quelques semaines.
- Des dommages principalement dus à la durée de submersion et aux hauteurs d'eau.
- Un délai d'alerte supérieur à la journée. (Talah, 2014)

#### IV.6.2. Ruissellement pluvial (rapide)

Il se manifeste soit en zone urbaine fortement imperméabilisée, soit en milieu rural avec érosions superficielles et réactivation des talwegs habituellement à sec. (Boubchir, 2007)

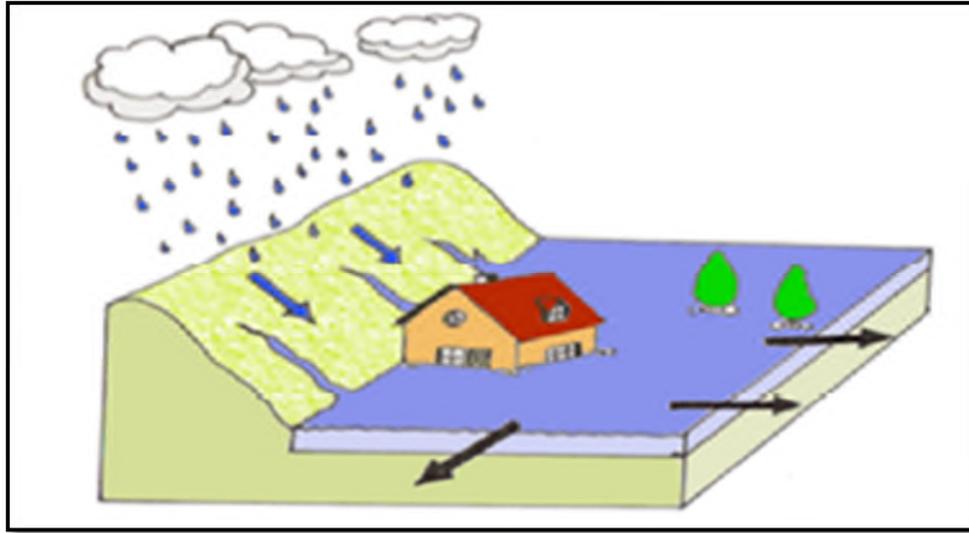


Figure I.6 : Inondation par ruissellement pluvial (Bachi, 2011)

Le ruissellement pluvial a pour conséquences :

- Une augmentation du pouvoir érosif par l'accélération des eaux causant notamment des effondrements des berges, un surcreusement des lits des cours d'eau, voire leur déconnexion avec le réseau hydrologique.
- Un transfert rapide des pollutions par lessivage vers le milieu récepteur.
- Des dommages dus à la violence du courant, à la durée de submersion et à une forte érosion. (Talah, 2014)

### IV.6.3. Remontées des nappes

Elles correspondent à une inondation par débordement indirect. Elles se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement. (Merabet, 2006)

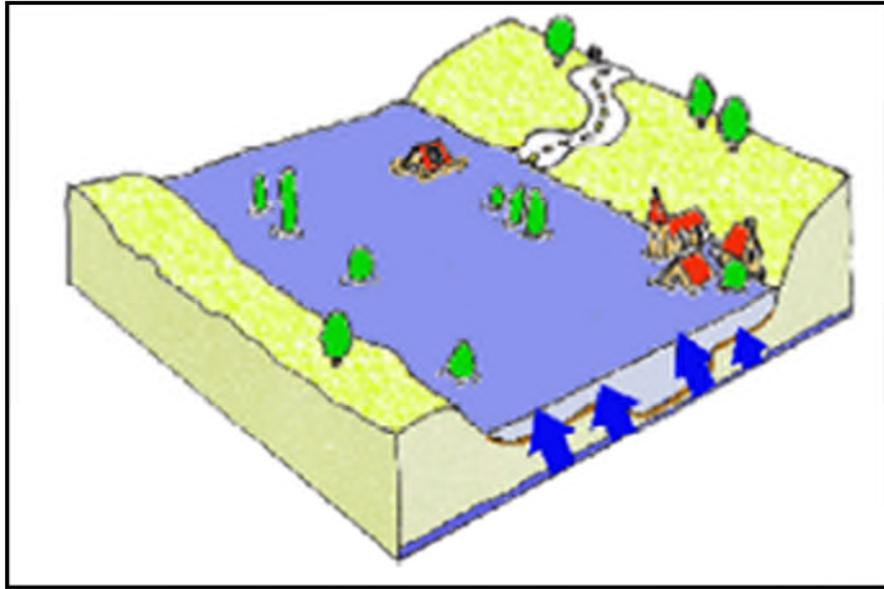


Figure I.7 : Inondation par remontée de nappe (Bachi, 2011)

Ce type d'inondation peut déboucher sur les conséquences suivantes:

- Réduction de la capacité portante des fondations.
- Sous pression, soulèvement des bâtiments et noyage des sous-sols.
- Corrosion des bétons.
- Pollution chimique liée aux remontées de nappes. (Talah, 2014)

#### IV.6.4. Rupture d'une digue

L'inondation consécutive à une rupture de digue est un phénomène très brutal et d'autant plus dommageable que le site étudié est proche de la digue. (Boubchir, 2007)

Une rupture peut provoquer l'entrée d'un mur d'eau de plusieurs mètres de haut. Il est très difficile de prévoir la rupture d'un ouvrage de protection, ce qui rend la prévention de ce type d'accident particulièrement incertaine. (Benmecherrane, 2013)

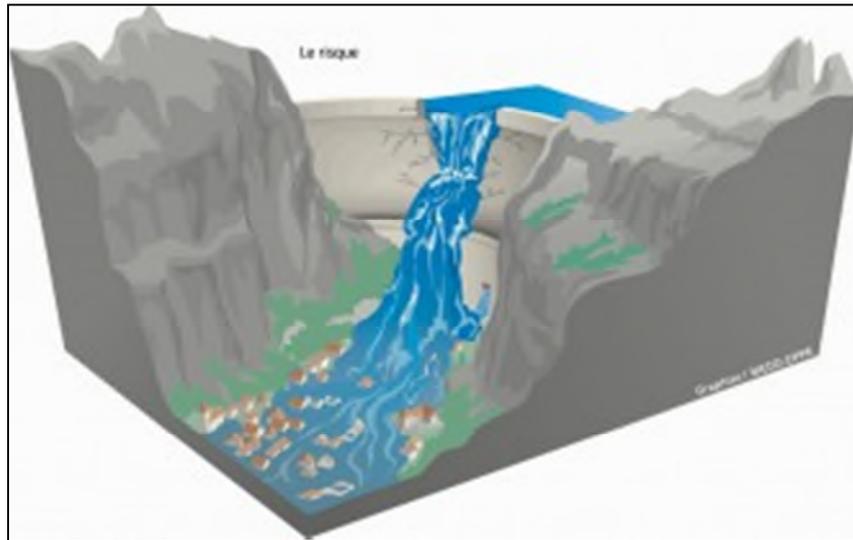


Figure I.8 : Inondation par rupture d'une digue (Talah, 2014)

#### IV.6.5. Crues torrentielles

Elles résultent de l'accélération du débit d'un cours d'eau suite à de fortes précipitations. Elles se caractérisent par une montée rapide des eaux, une vitesse d'écoulement très élevée et une durée de submersion très courte. Ces crues demeurent, exceptionnelles et constituent un grave danger pour les populations. (Boubchir, 2007)

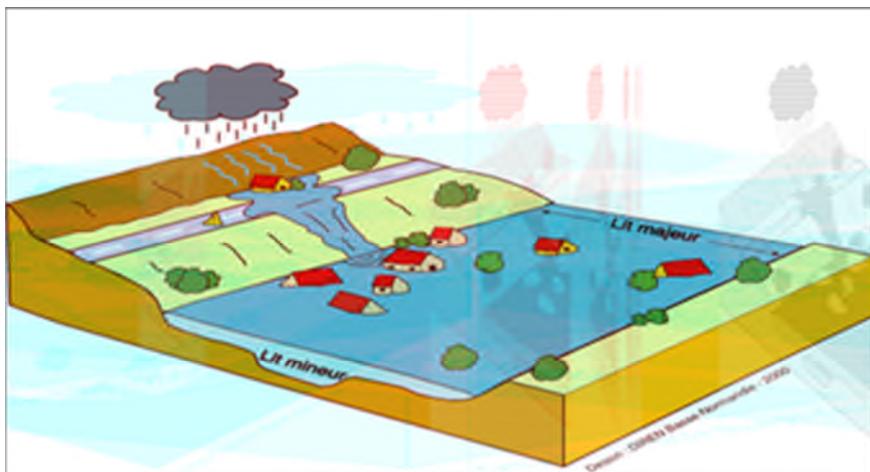


Figure I.9 : Manifestations des crues torrentielles (Talah, 2014)

#### IV.6.6. Inondations marines

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques (fortes dépressions et vents de mer) et forts coefficients de marée. Elles se traduisent par l'invasion par des eaux salées particulièrement agressives. Elles se manifestent soit lors d'un raz de marée ou de tsunami (occurrence très faible, mais phénomène dévastateur), soit lors d'une tempête (surcote marine, vents et précipitations importants) ou en cas de rupture des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques se concentrent le long du boulevard de littoral dans les secteurs dépressionnaires). (Bachi, 2011)

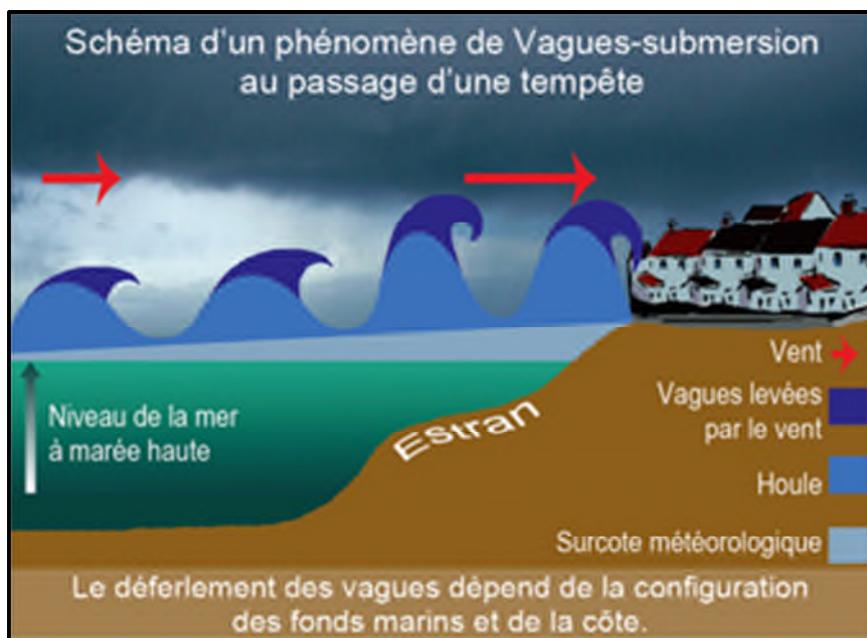


Figure I.10 : Inondation marine (Bachi, 2011)

#### IV.7. Historique des inondations dans l'Algérie

L'Algérie a enregistré un certain nombre d'écoulement liés aux inondations en l'occurrence :

- **Azazga (Tizi Ouzou)**, le 12 octobre 1971 et qui ont occasionné 40 morts et des centaines d'habitations détruites.
- **Tizi Ouzou** , du 28 au 31 mars 1974 et qui ont provoqué 52 décès dans la Wilaya, 18000 sinistrés et des dégâts évalués à l'époque à 27 millions de DA.
- **El Eulma (Sétif)**, le premier septembre 1980 qui a fait 44 décès,

- **Annaba**, le 11 novembre 1982, au niveau du centre-ville et qui ont fait 26 morts et 9 500 sinistrés.
- **Jijel**, le 29 décembre 1984 et qui ont occasionné 29 morts et 11 000 sinistrés.
- **Bordj Bou Arréridj**, le 23 septembre 1994 et qui ont provoqué 16 décès et des dégâts évalués à 10.000.000 DA.
- **Oued Rhiou** , 22 décès.
- **Alger (Bab-El-Oued)**, le 10 novembre 2001, et qui ont fait 710 décès, 115 disparus et 30 milliards de DA de pertes. (Lahlah, 2004)
- 28 Mai 2006 (Boukhanéfis Sidi Bel Abbès).
- **Ghardaïa 2008**, 29 morts et 84 blessés. (Photo I.3)
- 01 octobre 2011 (Oued Ferrane et Hai El Fidayine El Bayadh) 10 décès et des dizaines de disparus au cours de 3 jours d'inondations pluies diluviennes, 733 victimes, 30 000 sans-abris. (Benmecherrane, 2013)



Photo I.2 : Route transformée en torrent, Ville de Ghardaïa Octobre 2008

([www.google.dz](http://www.google.dz))

Le tableau I.1 illustre le nombre de construction, par ville, construites sur les zones inondables.

Tableau I.1 : Habitations construites en zones inondables (Zerfaoui, 2008)

<b>Wilaya</b>	<b>Nombre de constructions</b>
Chlef	2 248
Laghouat	3 083
O.El bouaghi	1 999
Batna	16 261
Béjaia	500
Biskra	763
Bouira	1 438
Tamanrasset	1 159
Tébessa	17 236
<b>Tlemcen</b>	<b>375</b>
Tiaret	13
Alger	14 545 + quartiers Merdja et Baraki
Djelfa	784
Jijel	470 (zones à risques très élevés)
Sétif	1 261
Saida	976 + 09 cités
Skikda	4 009
S.B.Abbes	576 + 04 cités en centre-ville
Annaba	30 cités et quartiers
Guelma	360
Constantine	620
Médéa	3 075
Mostaganem	1 633
M'sila	1 185
Oran	06 cités
Boumerdés	561
El taref	2 370
Tissemsilt	1 340
El oued	766
Souk Ahras	La plupart des communes
Tipaza	2 710
Mila	1 663
Ain defla	7 772
Naama	4 924

Ain témouchent	14 zones différentes proches lits d'oued
Relizane	250

## V. Gestion du risque d'inondation

Les inondations du début des années 80 auront eu le mérite de susciter une prise de conscience préalable à l'élaboration d'une politique de prévention des risques naturels dans plusieurs pays, les actions qui s'y réfèrent peuvent être résumées comme suit :

### V.1. La réglementation

La réglementation est ancienne variée, souvent incomplète et parfois mal adoptée, elle devrait systématiquement prendre en compte les actions anthropiques aboutissant à une modification substantielle du relief (extraction de gravier et carrière etc...) à l'édification de toute construction en zone inondable. Très souvent la réglementation n'est pas respectée ce qui a amené à des situations très dangereuses. (Yahiaoui, 2012)

### V.2. La prévision

La prévision des crues est la modélisation des quantités des précipitations, les apports solides ou liquides, reçues dans un bassin hydrographique et de leur effet sur l'écoulement dans les cours d'eau. Les services météorologiques nationaux utilisent des modèles de prévision numérique du temps pour estimer la quantité de pluie ou de neige qui devraient tomber. Mais souvent, ce sont des collectivités territoriales locales qui notent les quantités reçues de débit des rivières et utilisent les programmes de modélisation des crues pour prévoir les débordements et limiter les dégâts d'inondation aux riverains. (Yahiaoui, 2012)

### V.3. L'aménagement du bassin versant

Du point de vue de la prévention des crues, l'aménagement du bassin versant apparaît comme fondamental tant au niveau des versants que du lit proprement dit.

#### V.3.1. Au niveau des versants

Le reboisement apparaît comme la première solution envisageable pour la protection des versants, car la forêt intercepte la pluie et retarde la fonte des neiges sous son couvert, accroît l'évapotranspiration (en particulier en été ou la transpiration des arbres

contribue à l'assèchement des sols et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques). (Talah, 2014)

### V.3.2. Au niveau du lit

La correction des lits est souvent la solution proposée par les ingénieurs qui cherchent à accroître la section mouillée en élargissant les lits ou encore à les approfondir par des dérochements ou encore en érigeant des digues, etc... (Talah, 2014)

On distingue trois types de lit :

#### ➤ Le lit mineur

Le lit mineur est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles). (Merabet, 2006)

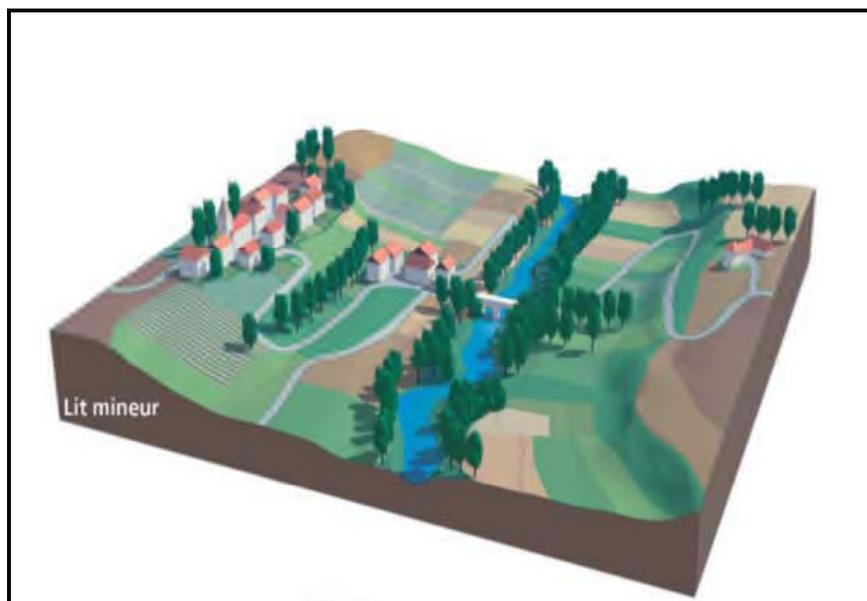


Figure I.11 : Inondation sur lit mineur (Ledoux, 2006)

#### ➤ Le lit majeur

Le 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 centaines de mètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles.

On distingue deux types de zones :

- Les zones d'écoulement, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse.
- Les zones d'expansion des crues ou 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)

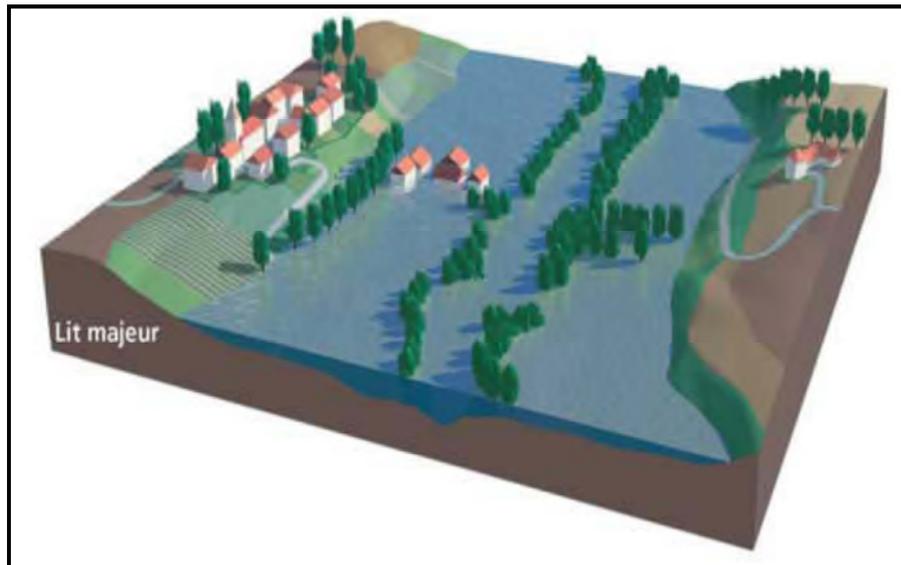


Figure I.12 : Inondation sur lit majeur (Ledoux, 2006)

### ➤ Le lit moyen

Sous certains climats, et pour certains cours d'eau, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de retour de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace fluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes. (Merabet, 2006)



Figure I.13 : Inondation sur lit moyen (Ledoux, 2006)

## VI. Conclusion

À travers cette étude on a conclu que les inondations dépendent de plusieurs facteurs, toutefois la pluie c'est le facteur principal et dominant. En Algérie, la majorité des crues causant des inondations sont dues à des précipitations torrentielles ce qui engendre dans la plupart des cas des dégâts humains et matériels considérables.

Le risque d'inondation est déterminé par les deux facteurs : l'aléa et la vulnérabilité. L'aléa passe par une étude du régime de crue du bassin versant, par contre, la vulnérabilité est déterminée à partir d'une étude socio-économique.

Elle est représentée par un taux qui traduit l'objectif de protection contre une inondation probable.

L'élaboration des plans et des mesures de protection contre les inondations demeure indispensable et incontournable pour minimiser les dégâts de ce phénomène.

# ***CHAPITRE II***

## ***PROCEDES DE PROTECTION DES AGGLOMERATIONS CONTRE LES INONDATIONS***

## I. Introduction

Une inondation est le phénomène occasionnel qui peut noyer de vastes parties du lit majeur ou de la plaine, à la suite d'une crue particulièrement importante et du débordement des eaux.

De façon plus pragmatique, on admet qu'une rivière est en crue lorsqu'elle déborde des limites de son lit mineur. Il s'agit d'un phénomène naturel périodique qui n'est exceptionnel que lorsque les débits deviennent considérables par rapport à son module : on parle alors de crue critique, laquelle peut engendrer une inondation sur les zones riveraines. Cependant la distinction classique entre lit mineur et lit majeur est souvent exagérément remplissage du chenal il est possible d'affiner la notion de lit fluvial et de distinguer successivement.

Une fois la situation du risque est décrite, il est possible de faire une prévision d'un large éventail d'aménagements qui pourra a priori participer à la réduction des conséquences des écoulements provoquant les inondations. Ces aménagements peuvent être prévus au niveau du bassin versant, dans les réseaux primaires et dans le lit majeur des cours d'eau.

## II. Procédés de protection des agglomérations contre les inondations

L'objectif d'une stratégie de réduction de l'aléa est de réduire des eaux sur les zones comportant de forts enjeux humains et économiques à l'échelle du bassin versant.

### II. 1. Recalibrage du cours d'eau

Il s'agit de modifier la géométrie du lit du cours d'eau (abaissement de la ligne de fond, augmentation de la section en travers) pour modifier la valeur de la crue de plein bord. À l'instar de l'endiguement, le recalibrage du cours d'eau a un effet positif mais également des effets potentiellement négatifs à l'aval de son implantation. Le recalibrage du cours d'eau implique également des modifications à grande échelle de la dynamique géomorphologique du cours d'eau, dont les effets peuvent être négatifs (Abaissement de la nappe phréatique, problème de transport solide etc....) (Grelot, 2004)

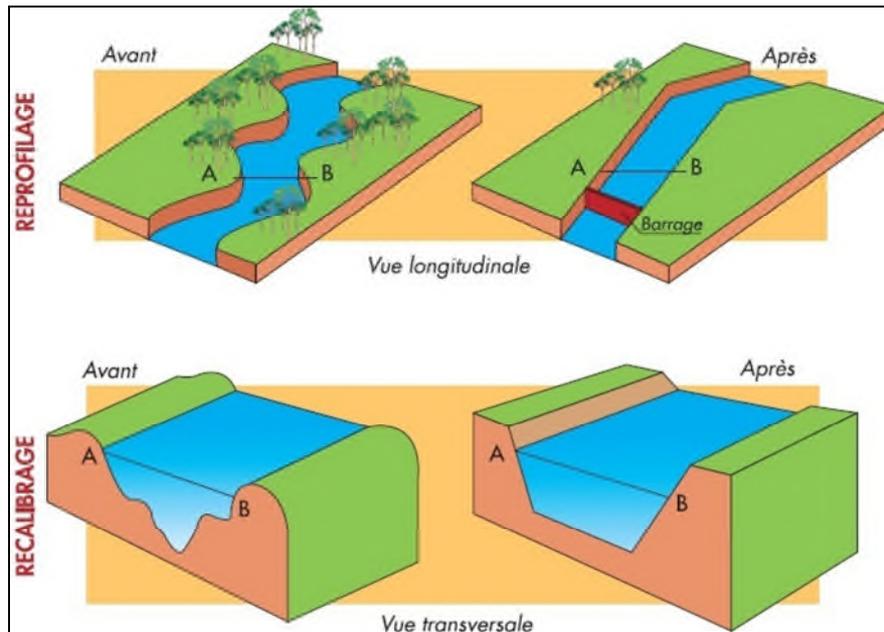


Figure II.1 : Recalibrage d'un cours d'eau (Talah, 2014)

Ce type de travaux hydrauliques a été mis en œuvre très anciennement dans les zones urbaines et périurbaines, souvent accompagné d'endiguements étroits, pour réduire la fréquence des inondations (diminuer la fréquence des submersions). Il a été utilisé de manière quasi systématique dans les zones rurales. (Talah, 2014)

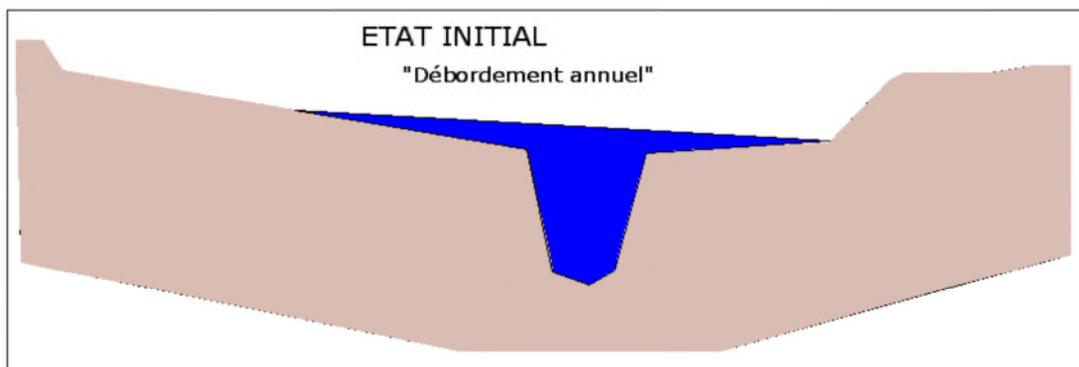


Figure II.2 : Etat initial du cours d'eau (Abdeddaim, 2008)

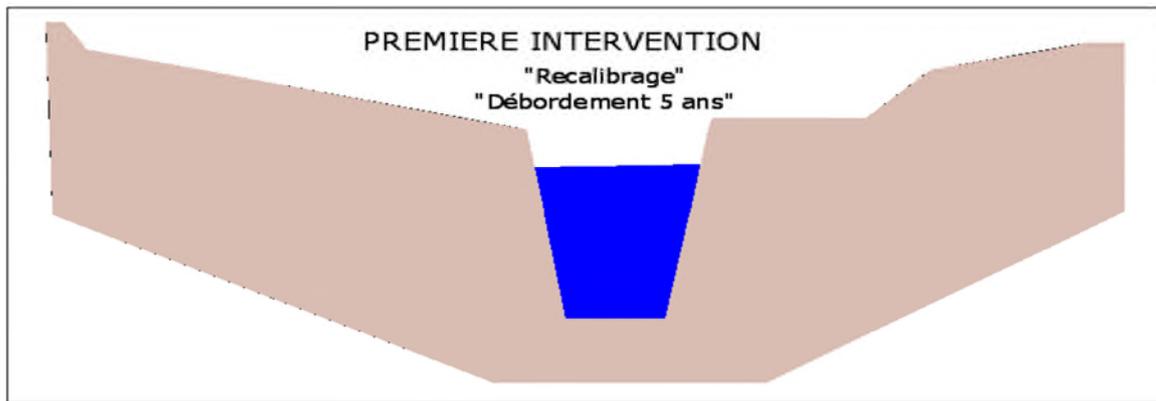


Figure II.3 : Première intervention sur le cours d'eau (Abdeddaim, 2008)

### II.1.1. Les conséquences d'un recalibrage

#### i. Sur les débits de pointe

Un recalibrage a forcément pour conséquence de diminuer localement la fréquence des submersions et donc de diminuer l'effet de laminage des crues par épandage dans le lit majeur. (Talah, 2014)

#### ii. Morphologiques pour le profil en long

Les conséquences sur le profil en long d'un recalibrage avec risberme sont analogues. Si la risberme est fréquemment inondée, elle est l'objet de dépôts fins ou grossiers et se surélève. Lorsque des vieux seuils sont supprimés, une érosion régressive s'en suit ainsi qu'un exhaussement aval. (Talah, 2014)

#### iii. Morphologiques pour les berges

Un recalibrage s'accompagne souvent, comme on l'a vu, d'un enlèvement important de la végétation, ce qui accroît la sensibilité des berges à l'érosion.

De plus, un recalibrage entraîne une augmentation de la vitesse de l'eau. Une conséquence directe est l'accroissement de l'érosion en rive concave. Il faut aussi noter que l'augmentation des vitesses infléchit vers l'aval le courant dans les coudes.

Comme on trouve une autre conséquence est l'augmentation de la rapidité de la décrue. La stabilité au glissement des berges est donc affectée. Les solutions sont :

- L'adoption de pentes de berges suffisamment douces pour améliorer la tenue au glissement.
- La pose de matériaux plus résistants dans les coudes les plus prononcés.

- Et chaque fois qu'il est possible le maintien des arbres ou au moins des souches et le maintien des seuils existants. (Talah, 2014)



*Photo II. 1 : Oued Mekerra (Wilaya de Sidi Bel Abbés) recalibré dans la traversée de Ras El Ma.*

(Garry, 1993)

### **II.1.2. Les inconvénients du recalibrage**

Parmi les inconvénients de cette technique on trouve :

- Aggravation des inondations au débouché dans un tronçon aval non recalibré.
- Evacuation accélérée : moindre recharge des nappes en crue.
- Déconnexion des annexes fluviales, perturbation du cycle de reproduction de certaines espèces.
- Perturbation du transport solide : érosions et/ou dépôts.
- Augmentation des contraintes hydrauliques en crue. (Talah, 2014)

## II.2. Endiguement du cours d'eau

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables. (Abdeddaim, 2008)

On les trouve essentiellement le long des cours d'eau, parfois positionnées directement en contact avec la berge, ou éloignées de plusieurs mètres, ou plus (quelques centaines de mètres), de celle-ci (Figure II.6) (Serre, 2005).

Les digues vont permettre au cours d'eau d'accepter un débit supérieur à celui de plein bord sans qu'il y ait débordement. (Abdeddaim, 2008)

L'effet d'un endiguement est d'empêcher le débordement pour des crues dont les débits sont inférieurs à ceux de la crue de projet. Au-delà de ces débits, le débordement aura lieu, ses conséquences sont souvent accrues du fait de vitesses d'écoulement importantes là où se produit la submersion.

Pour les ouvrages hydrauliques en remblai, quatre mécanismes de rupture sont classiquement considérés : l'érosion externe, l'érosion interne, l'instabilité externe et la liquéfaction (Figure II.4). Ces mécanismes sont largement documentés dans la littérature technique, notamment celle des barrages. (Serre, 2005).

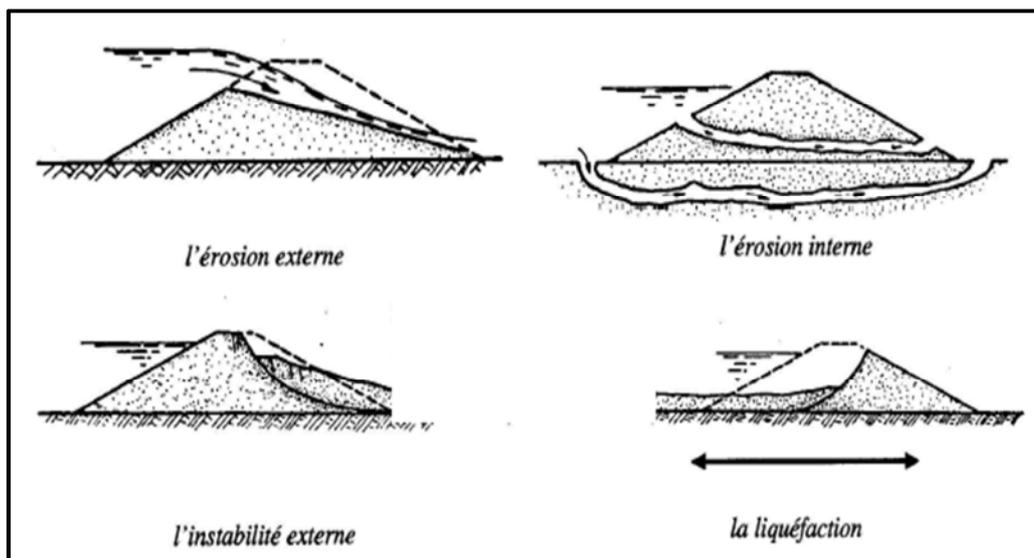


Figure II.4 : Mécanismes de rupture des ouvrages en remblai. (Serre, 2005).

La réalisation des digues implique un risque supplémentaire sur le territoire protégé en cas de rupture de la digue, même sans submersion (cas des renards). Ce risque expose très sévèrement sur la vie des riverains (Abdeddaim, 2008)

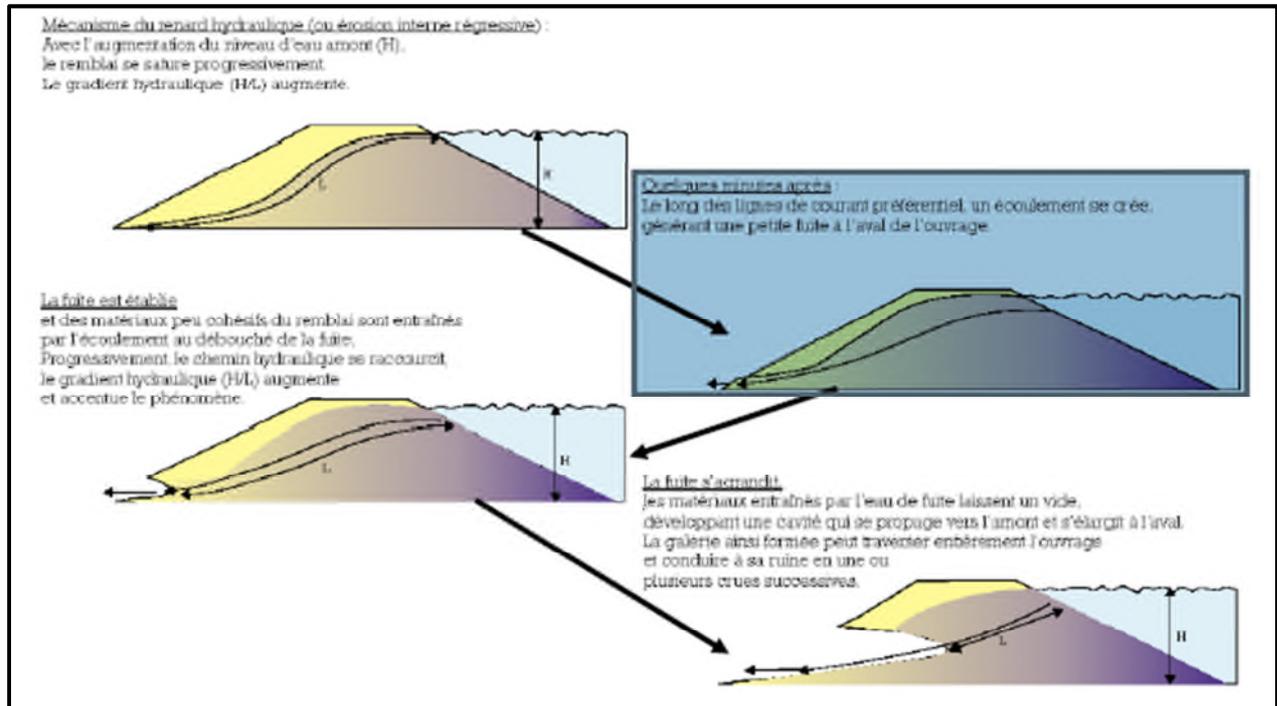


Figure II.5 Mécanisme du renard hydraulique dans une digue (Martiaux, 2001).

Il existe un type particulier de digues de protection contre les inondations : les digues de ceinture. Elles ont la particularité d'entourer, totalement ou partiellement, une zone à enjeux (ville, village, hameau...) en se rattachant à flanc de coteau. (Benmia, 2012)

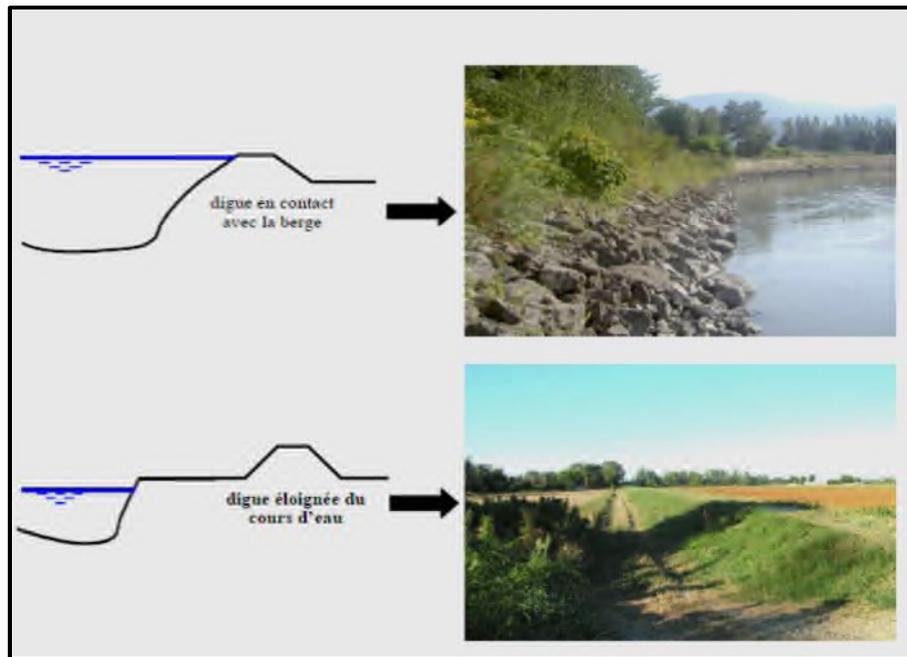


Figure II.6 : Positionnement de la digue par rapport aux cours d'eau (Benmia, 2012)

Il s'agit d'aménagement longitudinal le long des berges qui sert à protéger de l'inondation des zones où sont présents des enjeux importants (habitations, zones commerciales industriels....etc.) (Serre, 2005)

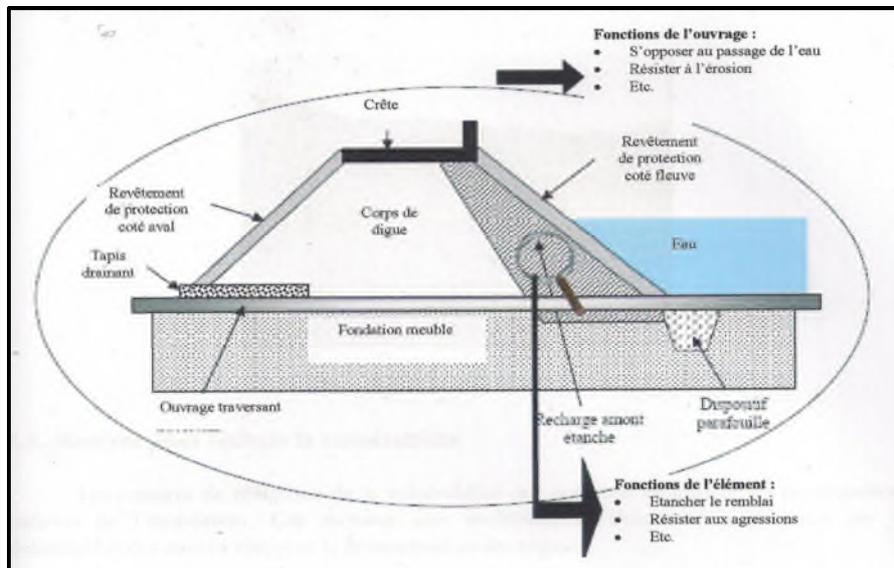


Figure II.7 : Schéma d'une digue (Serre, 2005).

On peut décrire le fonctionnement hydraulique d'une vallée endiguée (Figure II.8) de la façon suivante

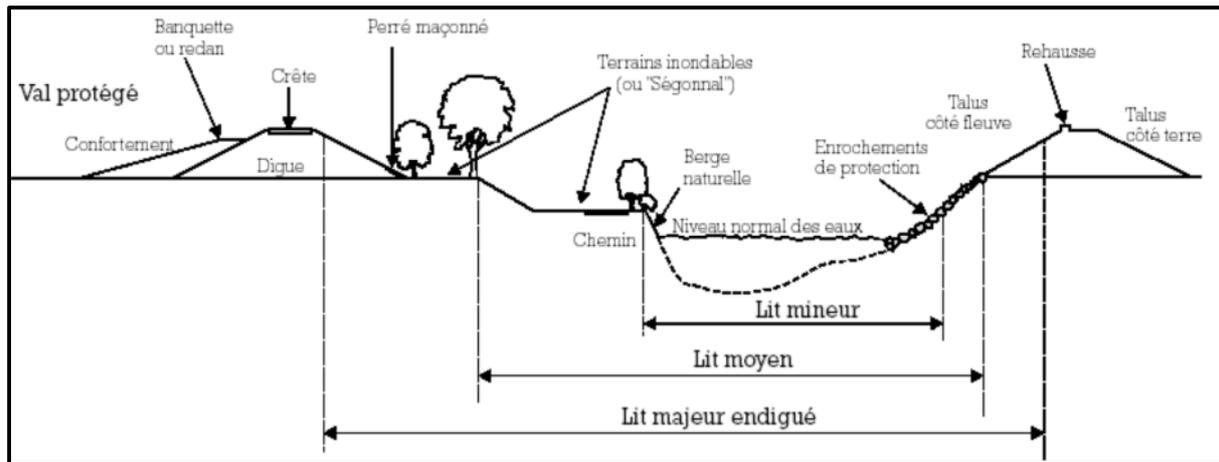


Figure II.8 : Coupe type d'une vallée endiguée (Martiaux, 2001).

- Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et inonde progressivement le lit majeur endigué (Serre, 2005).
- l'endiguement limite l'emprise de l'inondation pour les crues faibles et moyennes, mais il surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur du lit naturel (c'est très souvent le cas dans la traversée des villes). (Serre, 2005)
- Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée. (Benmia, 2012)
- on aménage parfois des déversoirs qui permettent de protéger la digue contre le déversement.
- pour les crues extrêmes, l'ensemble de la vallée est inondée, soit à la suite du fonctionnement des déversoirs, soit par des ruptures de digues ; le fleuve ou la rivière recouvrent ainsi l'ensemble de leur lit majeur, comme en l'absence de protections (Serre, 2005).



Photo II.2 : Digue enroché (www.geni-alp.org)

### II.3. Reboisement

Le processus de reboisement est basé sur : La nature du sol ; la qualité de la plante efficace et le type de climat. La végétation favorise la rétention, ralentit les temps de réponse et atténue les volumes ainsi que les débits de pointe mesurés sur le bassin versant. Il s'agit de planter de la végétation pour stabiliser les berges. (Abdeddaim, 2008)

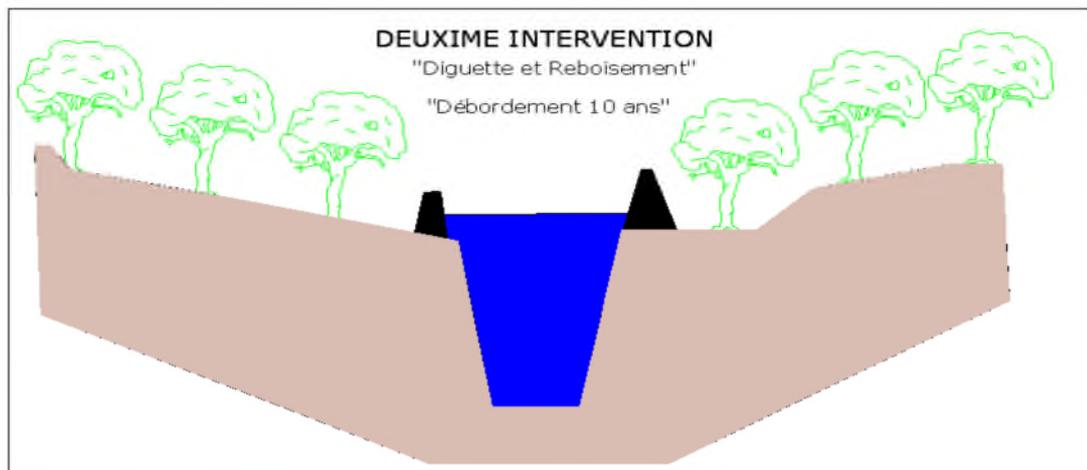


Figure II.9 : Intervention sur le cours d'eau (Abdeddaim, 2008)

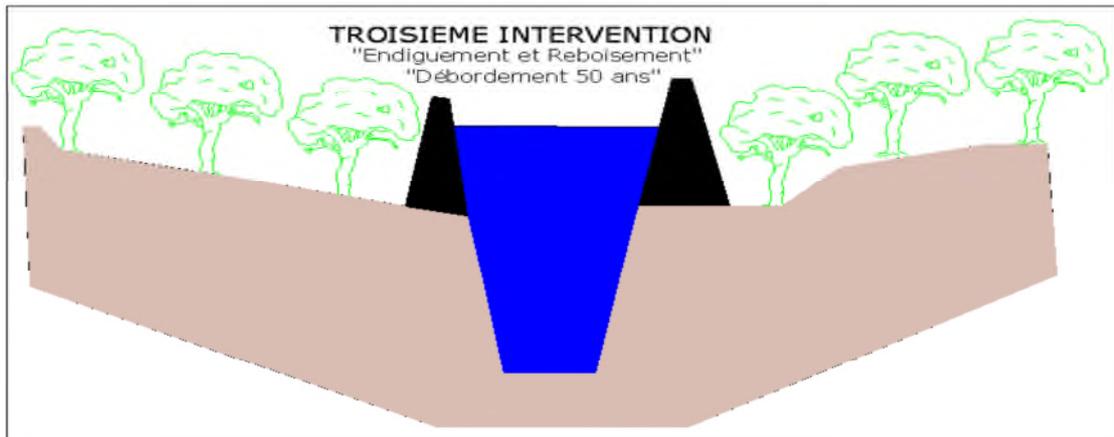


Figure II.10 : Intervention sur le cours d'eau (Abdeddaim, 2008)

Au plan de la tenue des berges, un arbre peut jouer différents rôles selon, sa taille, sa position et son espèce citons ici le platane qui tapisse la berge et la protège de l'érosion. (Abdeddaim, 2008)



Photo II.3 : Aménagement des berges de l'oued contre le glissement (Halouche, 2007)

Au plan morphologique, la végétation a un rôle important. Lorsque la végétation existe au niveau des berges, le lit est moins large plus profond et la pente des berges est plus forte. (Abdeddaim, 2008)

#### II.4. Recalibrage des ouvrages d'art

Cette opération consiste à modifier l'architecture des ouvrages d'art pour leur permettre de laisser passer un débit plus important en cas de crue et limiter les possibilités d'embâcles. L'effet est essentiellement en amont de l'ouvrage d'art. (Grelot, 2004)



*Photo II.4 : Réalisation d'un ouvrage d'art (Halouche, 2007)*

#### II.5. Recalibrage des systèmes d'évacuation de l'eau

Cette opération consiste à modifier les capacités d'écoulement des systèmes d'évacuation des eaux pluviales pour éviter que leur engorgement ne provoque des inondations dues aux précipitations sur une zone urbanisée. Il peut également s'agir de modifier un défaut des systèmes d'évacuation qui n'empêche pas l'eau du cours en crue de refouler. L'effet est essentiellement local. (Grelot, 2004)

#### II.6. Préservation — restauration — création des zones d'expansion des crues

Il s'agit de préserver ou de restaurer des zones connues d'expansion de crues du cours d'eau. Ceci implique généralement de contrôler l'occupation de la zone d'expansion de crues de telle sorte que la submersion de la zone ne soit pas finalement remise en compte.

Les effets positifs sont à une échelle plus ou moins locale en fonction de la surface de stockage effectivement en jeu. (Abdeddaim, 2008)

Ce type d'aménagement n'a que peu d'impact sur la vie aquatique de la rivière et sur son fonctionnement. (Benmia, 2012)

## II.7. Retenues d'eau

Les retenues créent un espace de stockage de l'eau de la crue. Elles peuvent être en eau seulement au moment de la crue ou de façon permanente. Dans ce dernier cas, elles ne sont que rarement construites dans un seul but de protection contre les inondations, mais ont également des objectifs de soutien d'étiage, de production hydro-électrique, de récréation. (Grelot, 2004)

Ces objectifs, qui sont souvent prioritaires, sont potentiellement contradictoires avec les objectifs de protection contre les inondations dans le sens où ils nécessitent que les retenues soient hautes en période de bas étiage. (Grelot, 2004)

Les retenues ont un effet d'écèlement des crues en aval de leur emplacement. Au final, le même volume total circule dans le cours d'eau en aval de la retenue, mais sur une plus longue durée. Le débit maximum par rapport à une situation sans écèlement est atténué. Les retenues provoquent une inondation d'une portion du territoire en amont de leur construction. (Abdeddaim, 2008)

Ce type de mesure modifie complètement l'hydrologie du cours d'eau aval, notamment sa partie aléatoire. En supposant qu'une retenue soit construite à l'aval d'un territoire considéré, ce qui était par exemple le débit de pointe associé à ce qui était considéré comme centennale auparavant sur ce territoire a toutes les chances d'être associé avec une période de retour bien plus importante. De la même façon, les Hydrogrammes de crue vont être modifiés dans leur forme, sous l'effet de l'écèlement. (Abdeddaim, 2008)

Ces retenues peuvent avoir différentes échelles d'effet du local ou global selon leur importance.

La réalisation d'une retenue implique un risque supplémentaire sur le territoire en aval lié à la rupture de cette retenue en pleine eau. Les normes sont d'ailleurs très strictes vis-à-vis de ce risque qui expose très sévèrement les vies des riverains en aval. (Grelot, 2004)

## II.8. Barrage écrêteur

Le barrage écrêteur a pour but l'écrêtement des crues, et parfois à vocation multiple, son principe de fonctionnement est stocker temporairement un certain volume dans le lit du cours d'eau de façon à diminuer le débit de crue en aval selon la figure II.10. (Serre, 2005)

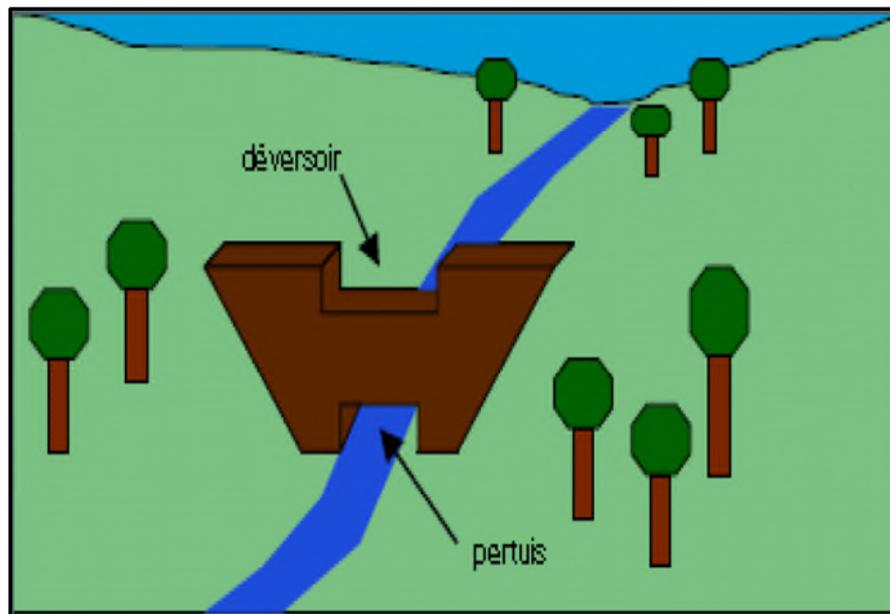


Figure II.11 : Schéma de fonctionnement d'un barrage écrêteur de crue (Benmia, 2012)

Il est équipé de pertuis (libres ou vannés), dont le dimensionnement est basé sur la capacité du lit en aval. On évalue le débit maximal non dommageable du cours d'eau en aval du barrage (par exemple débit de plein bord du lit mineur ou débit d'un ouvrage aval créant section de contrôle) et on dimensionne les pertuis pour délivrer au maximum ce débit. Si le débit entrant dans la retenue lui est supérieur, il y a stockage temporaire dans la tranche d'eau de laminage, jusqu'à atteindre la cote d'un déversoir de surface dont la fonction est d'assurer la sécurité du barrage lors des événements extrêmes. (Benmia, 2012)

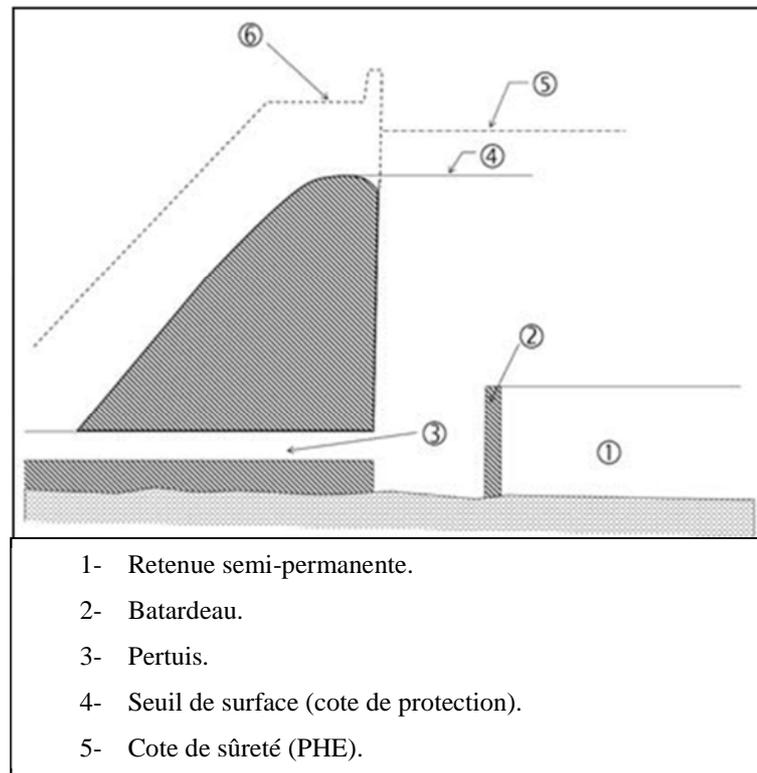


Figure II.12. Coupe schématique d'un barrage écrêteur de crue (Benmia, 2012)

L'objectif de ce ouvrage est de permettrait de réduire les débits de pointe d'une crue pour la protection contre les inondations des territoires situés en lit majeur en aval du barrage.

Dans la pratique, il apparaît nécessaire de mobiliser temporairement des espaces de stockage pour obtenir un laminage efficace des crues et pour prévenir les inondations. (Talah, 2014)

Cette technique s'assure les actions suivantes :

- Diminuer le débit de pointe et retarder les écoulements sur un cours d'eau, en freinant l'eau avant son arrivée dans le lit, en mobilisant les capacités naturelles d'amortissement en lit moyen et lit majeur, et en stockant temporairement une partie du volume de la crue dans des ouvrages spécifiquement prévus à cet effet .
- S'assurer qu'à l'échelle du bassin versant, la mise en œuvre du ralentissement dynamique sur un ensemble de cours d'eau n'engendre pas localement une augmentation inattendue des risques d'inondation, notamment par recombinaison de crues déphasées par les ouvrages. (Talah, 2014)



*Photo II.5 Barrage écrêteur de crues sur l'Huisne (Talah, 2014)*

### **II.8.1. Conséquences et effets perturbateurs possibles**

Parmi les conséquences de barrage écrêteur on trouve :

- Relative inefficacité si une crue survient alors que le barrage est plein.
- Risques spécifiques éventuels (rupture de barrage).
- Lissage du régime aval (disparition des crues fréquentes à moyennes) et interruption totale ou partielle du transport de sédiment (érosion en aval et dépôts dans la cuvette).
- Perturbation de dynamiques biologiques (circulation des animaux et propagules végétales). (Talah, 2014)

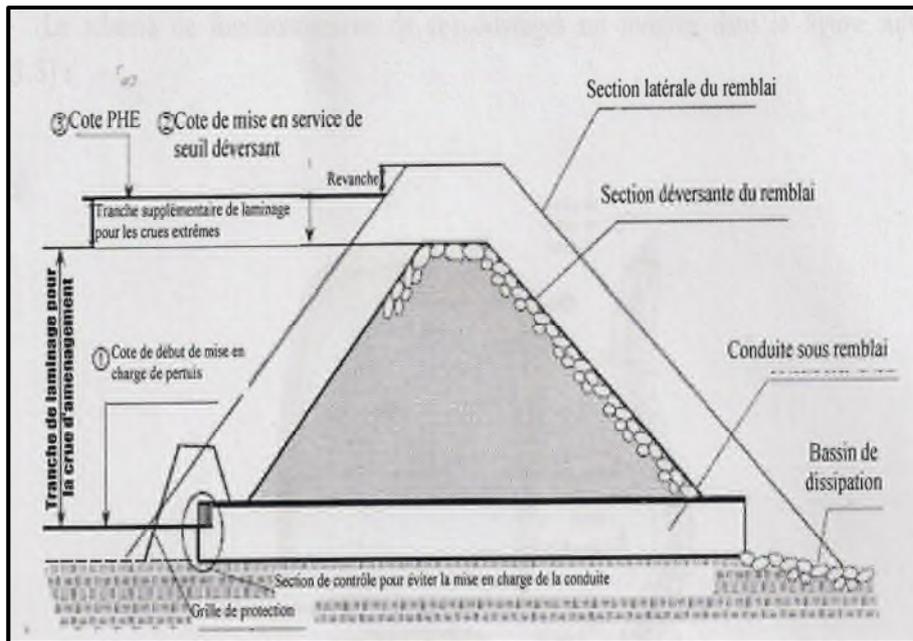


Figure II.13 : Schéma de fonctionnement de barrage écrêteur (Benmia, 2012)

## II.8.2. Dimensionnement hydraulique

### a. Envasement de la digue (volume mort)

$$V_m = A_s * S * (n/d)$$

$V_m$  : Volume mort ( $m^3$ )

$A_s$  : Apport solide spécifique en ( $t / km^2 / an$ ).

$S$  : La superficie du bassin versant en  $km^2$ .

$n$  : Nombre d'année d'exploitation.

$d$  : La densité du vase.

### b. Calcul de la régularisation

$$A_u = A_{moy} * (T_r/100)$$

$A_u$  : Apport utilisable ( $Mm^3/ans$ ).

$A_{moy}$ : Apport moyen annuel ( $Mm^3/ans$ ).

$T_r$  : Taux de régulation.

### II.8.3. Dimensionnement hydrotechnique de la digue

#### a. Cote des plus hautes eaux

La cote des plus hautes eaux est définie par :

$$\text{NPHE} = \text{NRN} + H_d + \frac{V^2}{2g}$$

NPHE : Cote plus hautes eaux (m).

NRN : Cote du niveau normal de retenue (m).

$H_d$  : Charge sur le seuil du déversoir (m).

V : Vitesse d'approche au voisinage du déversoir (m/s).

#### b. Cote de la crête de la digue

La cote de la crête est définie par :

$$C_{cr} = \text{NPHE} + R$$

$C_{cr}$  : La cote de la crête.

R : La revanche.

#### c. La Revanche

La revanche ou réserve de sécurité est la hauteur de remblai supplémentaire comprise entre la crête du barrage et le niveau des plus hautes eaux. Destinée à prémunir l'aménagement contre les effets de submersion pouvant être engendré par le déferlement des vagues.

La revanche peut être calculée par la relation suivante :

$$R = 0,75 * H + (V^2/2g)$$

H : Hauteur des vagues en (m)

V : Vitesse du vague en (m/s).

La hauteur des vagues est estimée à l'aide de la formule de MALLET :

$$H = 0.5 + 0.3 * \sqrt{L}$$

L : Fetch.

La vitesse des vagues est donnée par la relation de Gaillard :

$$V = 1,50 + 2 * H$$

On peut également estimer la revanche par la formule simplifiée :

$$R = 1 + 0,3 * \sqrt{F}$$

Donc la cote de la crête est de :  $C_{cr} = \text{NPHE} + R$

**d. Hauteur de la digue**

La hauteur de la digue est déterminée comme suit :

$$H_{digue} = C_{cr} - C_f$$

Avec

$H_{digue}$  : Hauteur de la digue.

$C_{cr}$  : Cote en crête en m.

$C_f$  : Cote du fond de l'oued en m.

**e. Largeur en crête**

Les principales formules donnant la largeur en crête sont :

Formule de KNAPPEU:  $B_c = 1.65 * \sqrt{H_{digue}}$

Formule d'USBR :  $B_c = (H_{digue}/5) + 3$

Formule de FRANCAISE :  $B_c = 3.6 * (H_{digue})$

$H_{digue}$  : Hauteur de la digue (m).

$B_c$  : Largeur en crête (m).

**f. La base du barrage**

$$B = m_1 * H_B + m_2 * H_B + L_c$$

Avec :

$H_B$  : La hauteur du barrage (m)

$m_1$  : La pente du talus amont.

$m_2$  : La pente du talus aval.

$L_c$  : La largeur en crête.

$B$  : La largeur de la base du barrage

**II.8.4. Détermination les caractéristiques du pertuis et du canal sous remblai d'un barrage écrêteur****a. Détermination la section du pertuis**

La section du pertuis peut être déterminée par la relation suivante :

$$Q = C. S. \sqrt{2. g. H}$$

Avec

Q : Débit maximum admissible à l'aval [ $m^3/s$ ] ;

C : Coefficient de débit du pertuis (de 0,6 pour un entonnement non profilé à 0,85 pour un entonnement très bien profilé ;

S : Section du pertuis [ $m^2$ ] ;

H : Si le débouché aval n'est pas en charge, c'est la différence entre le niveau amont juste avant déversement et l'axe du pertuis ( $H_1 - H_2$ ) illustré sur la figure IV.13 s'il est en charge c'est la différence de charge entre l'amont et l'aval [m].

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

**b. Le canal sous remblai est dimensionné à partir de la formule de Manning-Strickler**

$$Q = K_s \cdot S \cdot \sqrt[2]{R_h} \sqrt{I}$$

Avec

Q : débit maximum admissible à l'aval [ $m^3/s$ ] ;

$K_s$  : Coefficient de Strickler (=75 pour un canal en béton)

$R_h$  : Rayon hydraulique (=D/4 pour un canal a forme circulaire, à pleine section) [m].

I : pente de la conduite [m/m].

Cette formule est valable pour  $31,8 < K_s \cdot (R_h) / 6 < 68,4$  (Benmia, 2012)

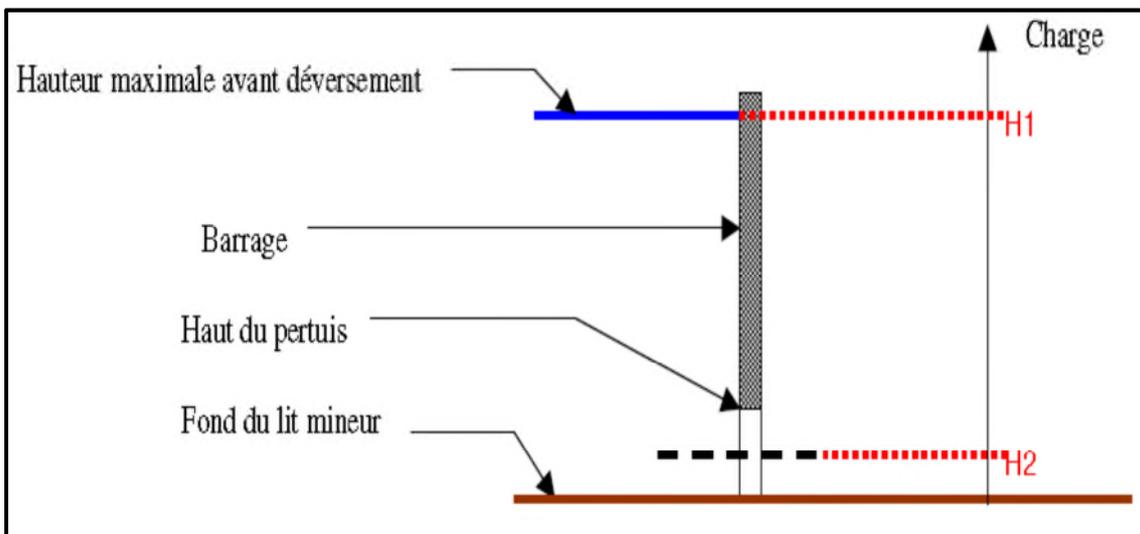


Figure II.14: Fonctionnement d'un barrage écrêteur (Benmia, 2012)

### II.9. Réservoirs d'orage

Ce sont des retenues très spécifiques en milieu urbain qui visent à stocker, même momentanément, l'eau des pluies qui sinon aurait ruisselé, pour limiter le ruissellement sur une petite partie du territoire. (Grelot, 2004)

Il existe des aménagements réalisés dans les versants et peuvent avoir de nombreux avantages, par exemple sur les ruissellements des crues, sur l'érosion ou sur le temps de transfert des pollutions. Ces aménagements constituent des obstacles linéaires disposés perpendiculairement à la pente favorables au ralentissement dynamique de l'écoulement (diminution de la vitesse des eaux de ruissellement pendant les averses intenses). (Grelot, 2004)

### II.10. Correction torrentielle

C'est une technique qui a pour objectif de limiter les vitesses des écoulements dans les cours d'eau ayant des régimes torrentiels.

Un torrent est corrigé par la construction d'un nombre de digues successives transversales sur les lits des canaux naturels. (Abdeddaim, 2008)



*Photo II.6 Succession de seuils dans le chenal d'écoulement*

([www.irma-grenoble.com](http://www.irma-grenoble.com))

Le nombre des digues à construire est donné selon la formule :

$$N = L \cdot (P - I) / H$$

L : Longueur du ravin (m).

P : Pente moyenne du lit.

H : Hauteur moyenne des digues (1 à 4 mètres).

I : Pente de compensation (pente inter digue, elle est inférieure à la pente initiale du lit de ravin)  $i \approx 0.01$ . (Abdeddaim, 2008)

$$I = \frac{f \cdot b \cdot (d - p)}{0.076 \cdot 0.0625^2 \cdot C^2 \cdot R^2}$$

f : Coefficient de frottement des matériaux.

b : Longueur du caillou (m).

d : Densité du caillou.

p : Densité de l'eau boueuse (varie de 1 à 1,8).

K : Coefficient torrentiel.

C : Coefficient dépendant des parois de la digue.

R : Rayon hydraulique moyen du ravin (m). (Benmia, 2012)

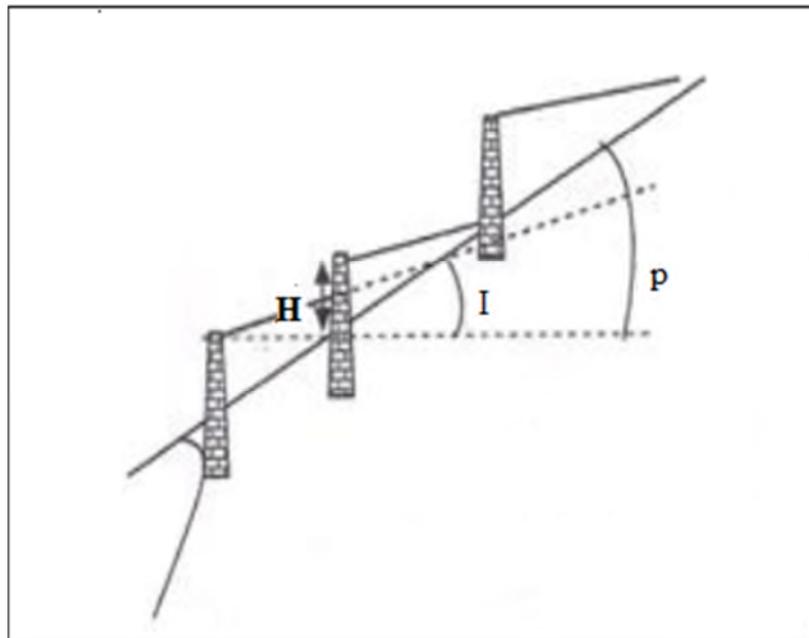


Figure II.15 : Correction torrentiel. (Benmia, 2012)

## II.11. Bassin d'Amortissement

Le bassin d'Amortissement est destiné à contenir le surplus d'eaux de pluie et de ruissellement généré par l'urbanisation ou l'aménagement d'un site en fonction d'un débit d'évacuation régulé vers un exutoire. Il a un rôle d'étalement, d'écrêtement des eaux pluviales.

Il est principalement constitué par trois parties : un ouvrage d'alimentation, une zone de stockage et un ouvrage de régulation (garantissant le débit de fuite). (Talah, 2014)

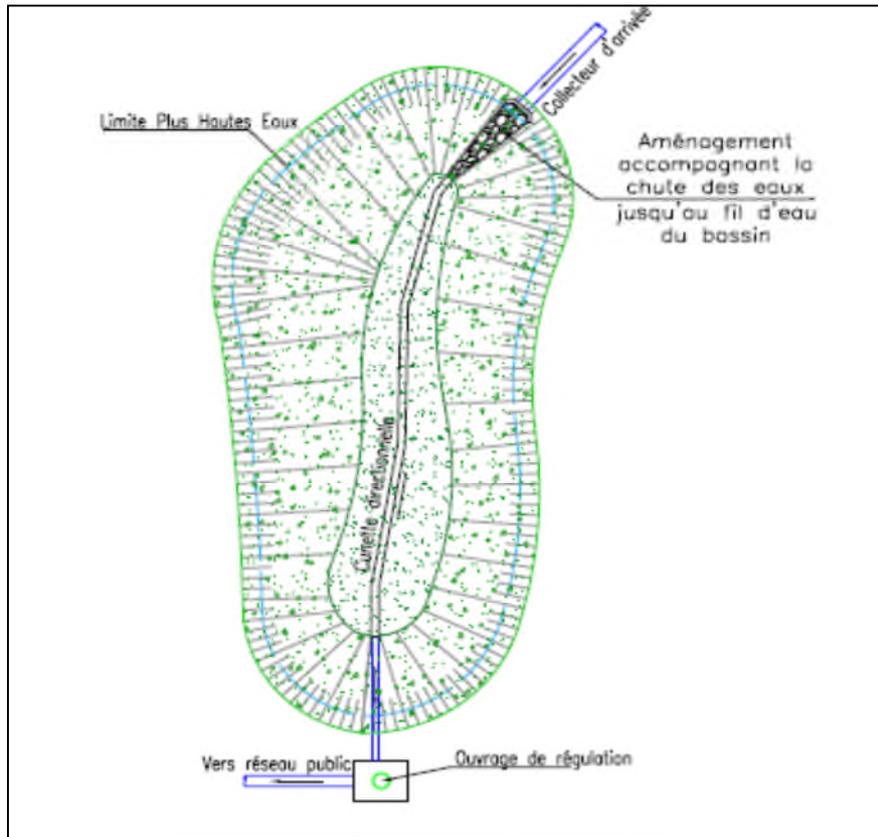


Figure II.16 : Schéma principal de bassin d'Amortissement. (Talah, 2014)

### II.11.1. Principe de fonctionnement d'un bassin d'Amortissement

Ce bassin permet de stocker les eaux pluviales pour lutter contre les inondations. Après ce stockage, elles sont évacuées vers un exutoire de surface ou infiltrées dans le sol. Ils assurent la circulation d'un volume d'eau fixé dans le cours d'eau quelque soit le débit extrême (cru) et contribuent le traitement des eaux pluviales avant rejet dans le milieu naturel. (Talah, 2014)

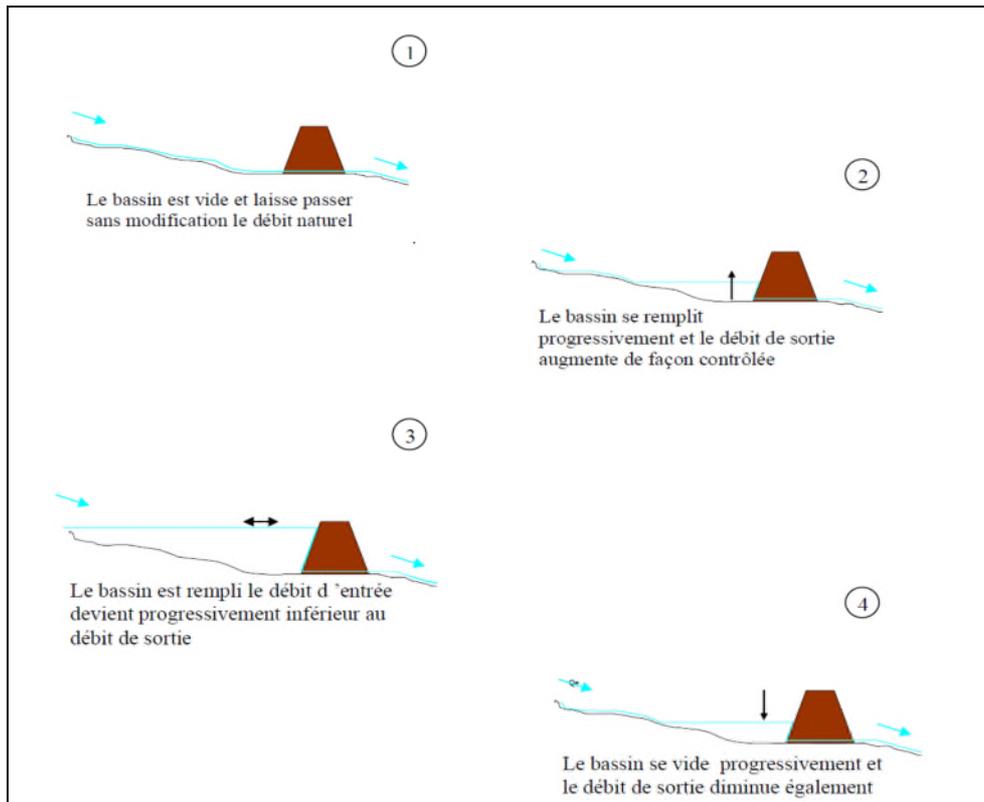


Figure II.17 Principe de fonctionnement d'un bassin d'Amortissement (Talah, 2014)

### II.11.2. Les avantages et les inconvénients

#### i. Avantage

- Bonne intégration paysagère possible.
- Réduction des débits de pointe à l'exutoire.
- Dépollution efficace des eaux pluviales par décantation des particules.
- Bon retour d'expérience facilitant la conception et l'exploitation.

#### ii. Inconvénients

- Les bassins de rétention peuvent avoir une importante emprise foncière.
- La fréquence d'entretien va varier selon le type de bassin, selon sa capacité et la qualité des eaux pluviales retenues.
- Dépôts de boues de décantation qu'il faut évacuer lorsque leur quantité induit une modification du volume utile de rétention. Cependant, la formation de ce dépôt prend beaucoup de temps car les volumes générés sont très faibles.
- Dépôts de flottants dépend de la nature des eaux retenues dans le bassin et de la présence ou non d'un système de « dégrillage » en amont.

### II.11.3. Conditions et domaine d'utilisation

Les bassins d'Amortissement sont des ouvrages surtout adaptés aux milieux peri-urbain compte tenu de la surface foncière nécessaire. Durant la phase de conception, on s'assurera que les paramètres suivant soient respectés : (Talah, 2014)

- La vidange des eaux de ce bassin doit être effectuée dans un laps de temps « respectable » pour qu'il puisse être fonctionnel lors d'évènements pluvieux successifs et pour des raisons de sécurité des riverains et de salubrité.
- Afin d'assurer la sécurité des riverains, si cela s'avère nécessaire suivant la morphologie (pente des talus ou profondeur du bassin trop importante) et l'implantation du bassin.
- Dès la mise en œuvre de l'ouvrage, l'accès permettant son entretien doit être fonctionnel.

### II.12. Banquettes

La technique des banquettes est de double objectif, la lutte contre l'érosion et la réduction de ruissellement en favorisant l'infiltration due à la diminution de pente. Leurs effet est considérable dans la défense et la restauration de sol. (Benmcherrane, 2013)

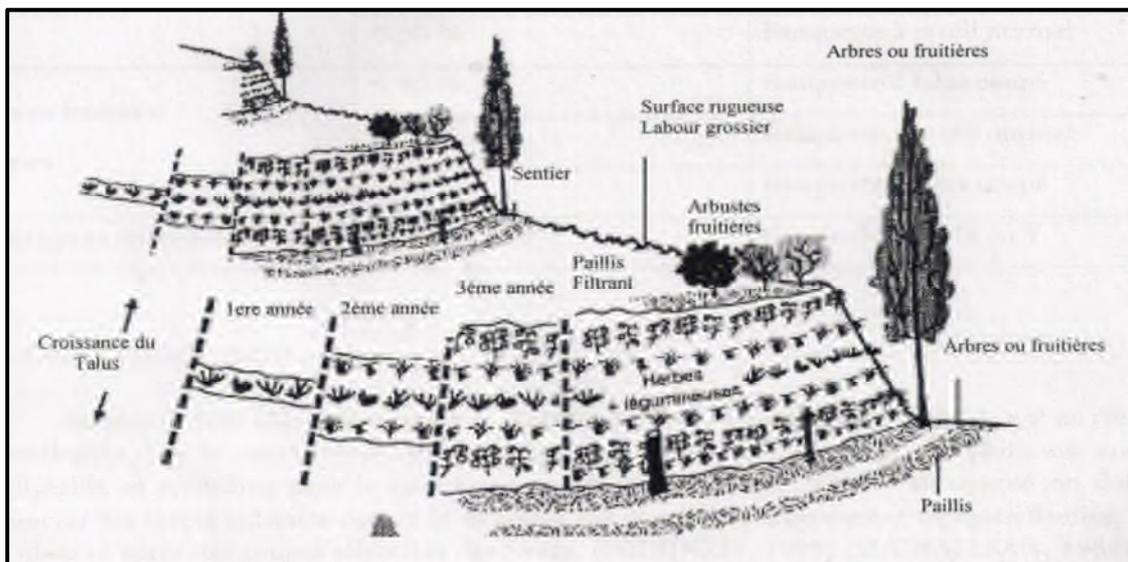


Figure II.18 : Technique de banquettes (Benmia, 2012)

La banquette mécanique se divisée en quatre zones (figure II.17) :

- Le fossé large reçoit les eaux de ruissellement de l'impluvium.
  - Le talus reçoit la pluie et un apport latéral des eaux fossé.
  - L'impluvium à l'amont du fossé ; zone cultivé entre les bourrelets, qui ne reçoit plus que la pluie moins le ruissellement.
  - La zone de l'impluvium à l'aval et proche du bourrelet qui pourrait recevoir un appoint d'eau par drainage à travers le bourrelet des grosses averses.
- (Slimani, 2012)



Banquettes continues avec des plantations



Banquettes continues avec des oliviers forestières

Photo II.7 : Plantations fruitières et forestières sur banquettes Oued Tlata. (Benmia, 2012)

Le tableau II.1 illustre des différentes types des banquettes en fonction de pente et type de culture.

Tableau II.1 : Banquette en fonction de pente et type de culture (Benmia, 2012)

Culture	Pente du terrain	Type de banquette
Céréales	2 à 3%	Labours horizontaux
	3 à 6%	Culture a bandes
	3 à 5%	Banquette à triple courbure
	5 à 12%	Banquette à double courbure
	12 à 18%	Banquette à simple courbure
	18 à 30%	Banquette à talus coupé en V
Céréales et arbres fruitiers sur bourrelet	30 à 50%	Banquette à profil en V
	< 18%	Banquette à simple courbure
	<30%	Banquette à talus coupé
	<50%	Banquette à profil normal

Arbres fruitières vignes	<30%	Banquette à talus coupé
	<50%	Banquette à profil normal
	<30%	Banquette à talus coupé
Pâturage et reboisement	<80%	Banquette à profil en V

**II.13. Les épis**

Un épi est un talus en enrochement de faible hauteur, enraciné à la berge et établi transversalement par rapport au cours d'eau. Il constitue un obstacle à l'écoulement de l'eau et provoque différents types de coursant. (Slimani, 2011)

L'espacement entre les épis dépend de la largeur de la rivière, de leur longueur et de leur nature. Théoriquement, pour qu'un système d'épis soit efficace, il faut que l'écart entre deux épis successifs soit de l'ordre d'une fois et demie (1,5) leur longueur moyenne. (Abdeddaim, 2008)

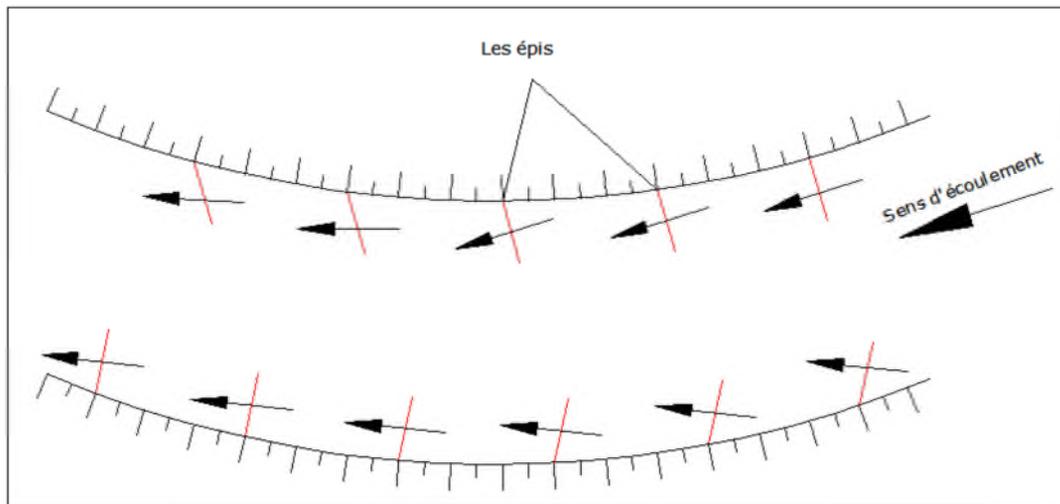


Figure II.19 : Implantation des épis (Abdeddaim, 2008)

## II.14. Ouvrages de stockage en dérivation

Contrairement au fonctionnement naturel des champs d'expansion, ce type d'ouvrage est alimenté par dérivation de cours d'eau par un ouvrage de prise et un chenal d'amené.

Les bassins de stockage sont creusés dans le terrain naturel ou par construction de digues.

Selon la topographie, ils peuvent être aménagés en plusieurs bassins en cascade qui se remplissent successivement de l'amont vers l'aval par déversement. (Benmia, 2012)

Le schéma de fonctionnement de ces ouvrages est montré dans la (figure II.24)

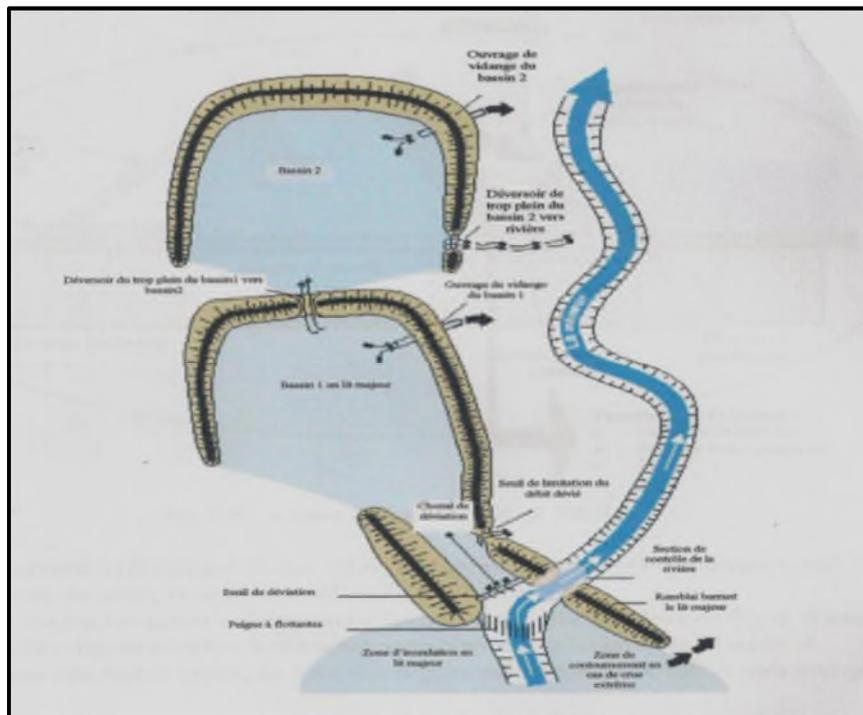


Figure II.20 : Fonctionnement d'ouvrage de stockage en dérivation (Benmia, 2012)

L'ouvrage n'entre en jeu que lorsque la crue dépasse une certaine hauteur. En cas de crue exceptionnelle un dispositif de sécurité limite les débits déversés pour protéger les bassins de surverse. (Benmia, 2012)

### III. Conclusion

En conclusion, le problème de protection contre les inondations ne possède pas solution unique, car ce sont les conditions locales qui commandent. On peut dire qu'il y a autant de problèmes différents à résoudre que de zones inondables.

De plus, la réalisation de telle ou telle protection nécessite la réunion d'un certain nombre de conditions qui la plupart du temps limite les possibilités et les résultats. Il faut donc rechercher toujours le type de protection le mieux adapté à la zone à protéger en prenant les marges de sécurité suffisantes, car les méthodes d'études ne sont pas toujours précises.

Dans le domaine de la protection contre les inondations, il ne faut pas attacher également une valeur formelle aux études économiques qu'elles n'ont pas. Les résultats auxquels elles conduisent doivent être beaucoup plus considérés comme étant des estimations grossières, mais qui permettent de juger si les opérations envisagées ne sont pas déraisonnables sur le plan économique et surtout de comparer les solutions entre elles.

# ***CHAPITRE III***

## ***ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE POUR LA PROTECTION DU CENTRE D'EL GOUASSIR CONTRE LES CRUES***

## Motivations de l'étude

En période de fortes pluies, le centre d'El Gouassir enregistre des inondations au niveau du tissu urbain. Ces inondations, en terme de causalité sont dues à deux sources distinctes :

- Oued El Gouassir : il s'agit d'un thalweg longeant le centre du nord au sud de configuration spatiale et altimétrique très irrégulières induisant des contraintes quantitatives et qualitatives pour l'évacuation des crues. Ce problème est nettement accentué par la nature géologique des terrains vulnérables à l'érosion et provoquant des transports solides et dépôts réduisant considérablement les capacités de transit.
- Flanc marneux Est: le centre est surplombé par un important flanc marneux de fortes pentes et d'étendues importantes. Les eaux pluviales dans cette zone trouvent exutoire au niveau du tissu urbain et par conséquent provoque des inondations combinées avec le transport solide.

Les photos de III.1 à III.6 illustrent concrètement les manifestations de ces inondations aussi bien au niveau du chevelu hydrographique qu'au niveau des eaux pluviales.

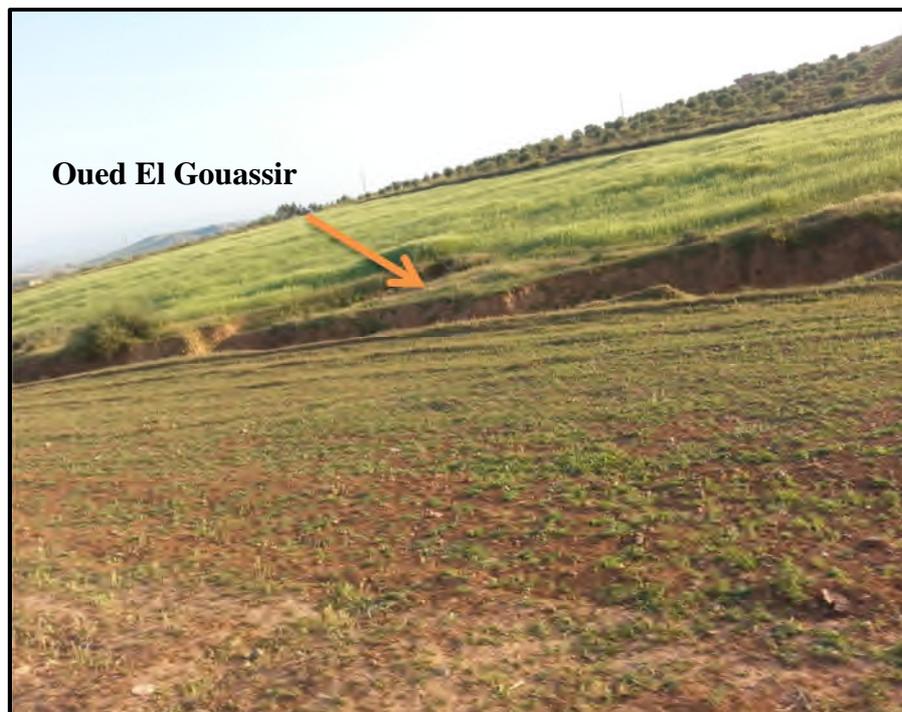
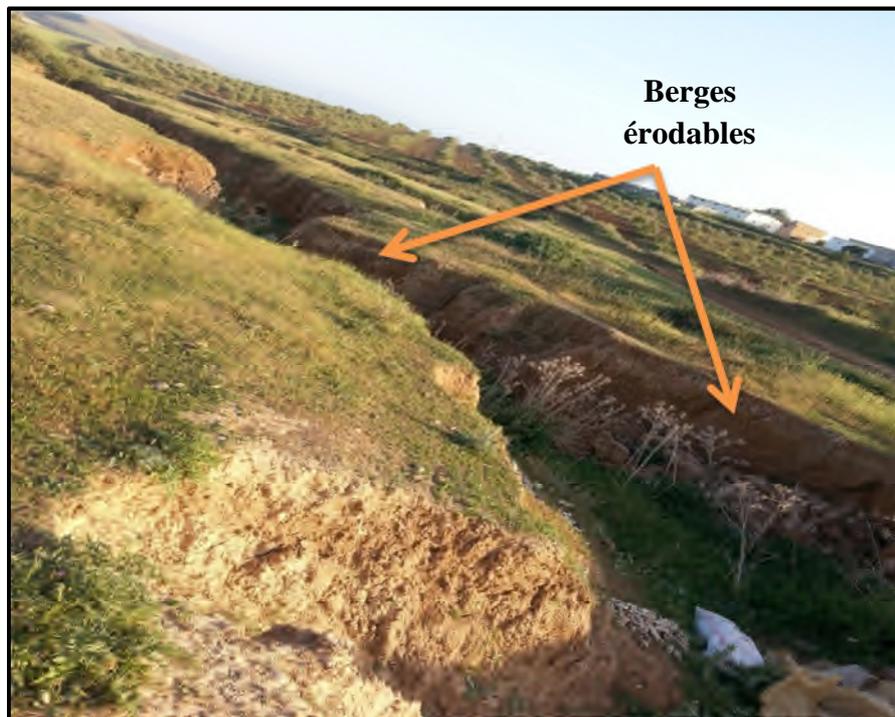


Photo III.1 : Configuration de l'oued El Gouassir



*Photo III.2 : Irrégularité spatiale et altimétrique de l'oued*



*Photo III.3 : Vulnérabilité de l'oued à l'érosion réduisant les capacité de transit*



*Photo III.4 : Tracé de l'oued nécessitant un recalibrage*



*Photo III.5 : Ouvrage de traversée obturé*



Photo III.6 : Ecoulement étranglé au niveau des singularités



Photo III.7 : Eaux de surface provoquant des inondations

Pour les besoins préliminaires de l'étude de protection du centre d'El Gouassir contre les crues et les eaux pluviales, les investigations nécessaires à ces besoins ont été structurées en deux parties :

- Etude morphométrique du bassin versant.
- Etude climatique de la zone d'étude.

## **A. Morphométrie**

### **I. Introduction**

Avant tout projet de protection contre les crues, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs influençant sur les paramètres hydrologiques ainsi que la réponse du bassin versant vis-à-vis des précipitations.

L'étude hydrologique à engager vise plusieurs objectifs en l'occurrence :

- Etude morphologique du bassin versant.
- Analyse des séries de précipitations.
- Détermination des paramètres hydrologiques nécessaires à la conception et au dimensionnement des ouvrages de protection.

### **II. Situation géographique**

Le centre d'El-Gouassir se situe sur l'axe routier RN35 reliant Oran à Maghnia et par la suite à la frontière Marocaine. La zone est comprise entre les longitudes 00°32 et 02° Est, et entre les latitudes 32°45' et 35°49' Nord et de 224 m d'altitude (Aboura, 2006).

Le centre s'étendant sur une superficie de 35 Ha, se trouve située à 9 Km à l'Ouest à ville de Remchi, et à environ une vingtaine de km de la mer, à l'intérieur de l'unité des plaines et plateaux de la wilaya de Tlemcen (D.S.A, 2013).

Cette proximité peut faire du centre d'El-Gouassir un pôle stratégique de point de vue développement économique. (Figure III.1).

La population d'El-Gouassir selon le recensement général de la population de 2008 comptait un nombre d'environ 2 801 habitants avec un taux d'accroissement démographique égal à 1.8%. (RGPH, 2008)



Figure III.1: Situation géographique de la région d'étude.

### III. Description du tissu urbain

Le tissu urbain d'El Gouassir est structuré par un ensemble de maisons de l'ordre plus ou moins bien aménagées à caractère et style privés, dont certains remontent à l'âge colonial, avec des trottoirs et routes reliant et séparant chaque les différentes dessertes, rue, ruelle et chemins du village.

Le tissu urbain reposant sur 35 Ha, est limité à l'Est par l'Oued Isser, au Sud par la route nationale N°35, reliant Oran à la frontière Marocaine passant par la ville stratégique de Maghnia, à l'Ouest et au Sud, l'agglomération est entourée par des vergers et terres agricoles.

Ceci dit, ce village est considéré comme un pôle commercial et point de repos pour les routiers fréquent sur l'axe de la RN35. Il est considéré également comme étant une zone agricole productive, vu ses terres d'une haute valeur pédologique.

Ce constat, a développé dans le village le caractère touristique, et les pratiques commerciales parfois anarchique, par la vente parfois même des

fruits et légumes à la bordure de la route, ou encore la profilassions des commerces sous forme de ruisseau au milieu du tissu urbain.

D'autre part, étant une zone agricole, a permis le développement des corrals illicites soit pour l'élevage du cheptel ou le stockage du foin.

En outre, l'existence d'une station d'essence au juxtaposé du village, à propager les hangars de stockage du carburant illicitement, rendant un milieu urbain très perturbé.

Enfin, pour la satisfaction des différents besoins de la population d'El Gouassir et ses riverains, on signale l'existence de différents équipements, en l'occurrence ; école, mosquée, centre de santé, centre commercial, boulangerie, annexe administrative, espace vert, ...etc.

#### **IV. Etude morphométrique**

Les indices morphométriques ont été les toutes premières mesures créées en géomorphologie pour comparer les caractéristiques morphologiques des bassins versants et pour quantifier leur comportement hydrologique potentiel. Alors que toute étude morphologique et topographique permet de délimiter un bassin versant à partir des lignes de crêtes et thalweg, cela ne signifie pas pour autant que tout l'intérieur de la zone contribue au ruissellement, quelque soit la pluie. La surface obtenue à partir d'une étude topographique peut être désignée comme étant une surface potentiellement drainée par le réseau qui structure ce bassin. (Araf, 2012).

##### **IV.1. Définition du bassin versant**

Le bassin versant se définit comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents à l'amont jusqu'à la ligne de partage des eaux ou la ligne de crête.

Le bassin versant est une surface élémentaire hydrologiquement close c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par un seul drain à l'exutoire. (Saoucha, 2009)

## IV.2. Caractéristiques morphologiques du bassin versant

### IV.2.1. Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques se résument dans la superficie du bassin versant (S), son périmètre (P), son indice de forme ou de compacité ( $I_F$ ) et le rectangle équivalent avec ses différentes côtes.

La détermination de ses paramètres repose sur la délimitation du bassin versant sur les cartes d'état-major à l'échelle 1/25 000 avec précision (Fig. III.2).

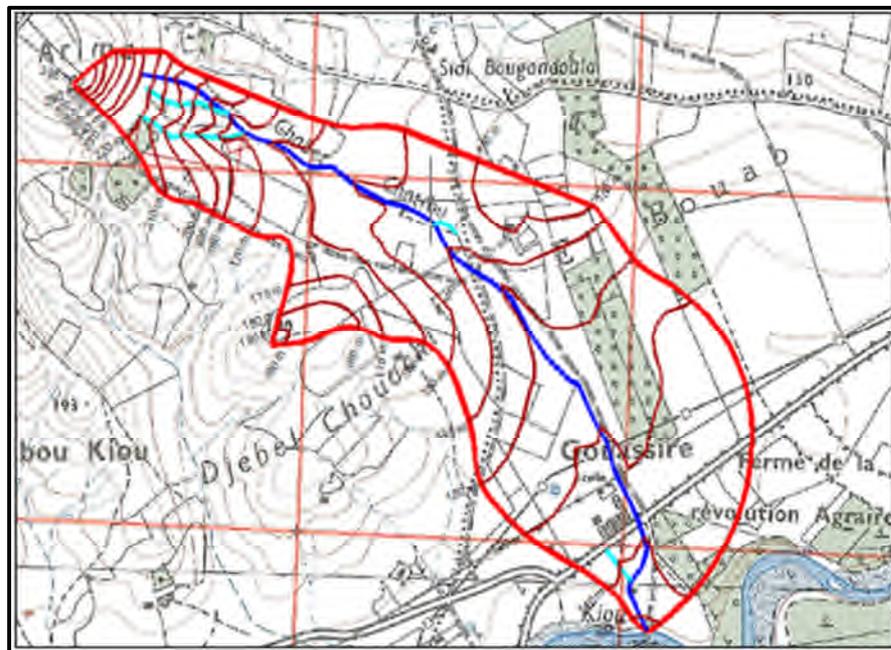


Figure III.2: Délimitation du bassin versant avec échelle 1/25 000

**a. Superficie du bassin versant**

La surface topographique est le paramètre le plus important, il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (apport ; volume de précipitation ou infiltration), elle est déterminée par logiciel AUTOCAD sur la carte d'état-major.

Le bassin versant du site étudié occupe une superficie de 1,31 Km<sup>2</sup>.

**b. Périmètre du bassin versant**

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. Chaque bassin réagit d'une façon propre aux précipitations qu'il reçoit. Ces caractéristiques hydrologiques sont fonction d'une part du climat qu'il subit et d'autre part de son propre milieu physique.

A l'aide du logiciel de AUTOCAD on mesure le périmètre P du bassin versant, cette mesure donne un périmètre P = 5,94 km.

**c. Longueur du thalweg principale**

La longueur du thalweg principal est mesurée par l'AUTOCAD, soit :

$$L = 2,43 \text{ km.}$$

**d. Indice de forme (ou de Compacité)**

La valeur de cet indice permet d'avoir une idée sur la forme du bassin versant. Il est donné par la formule suivante :

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{S}}$$

L'indice de forme du bassin versant est égal à :  $K_C = 1,45$

Nous remarquons que  $K_C > 1,12$ . Nous avons donc un bassin versant de forme allongée.

**e. Coefficient d'allongement**

Il est donné par la formule suivante :  $K_p = \frac{p^2}{s}$ , soit :  $K_p = 26,92$ .

**f. Rectangle équivalent**

Le dimensionnement du rectangle équivalent consiste à la détermination de sa largeur (l) et longueur (L) respective. La largeur et la longueur du rectangle équivalent sont données par les relations qui suivent.

$$L = \frac{K_c}{1,12} \times \sqrt{S} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$l = \frac{K_c}{1,12} \times \sqrt{S} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right).$$

Les dimensions des rectangles équivalents du bassin versant sont :

- L = 2,43 Km.
- l = 0,53 Km.

La figure III.3 montre la réalisation des dimensions des rectangles équivalents du bassin versant à l'aide du logiciel de AUTOCAD.

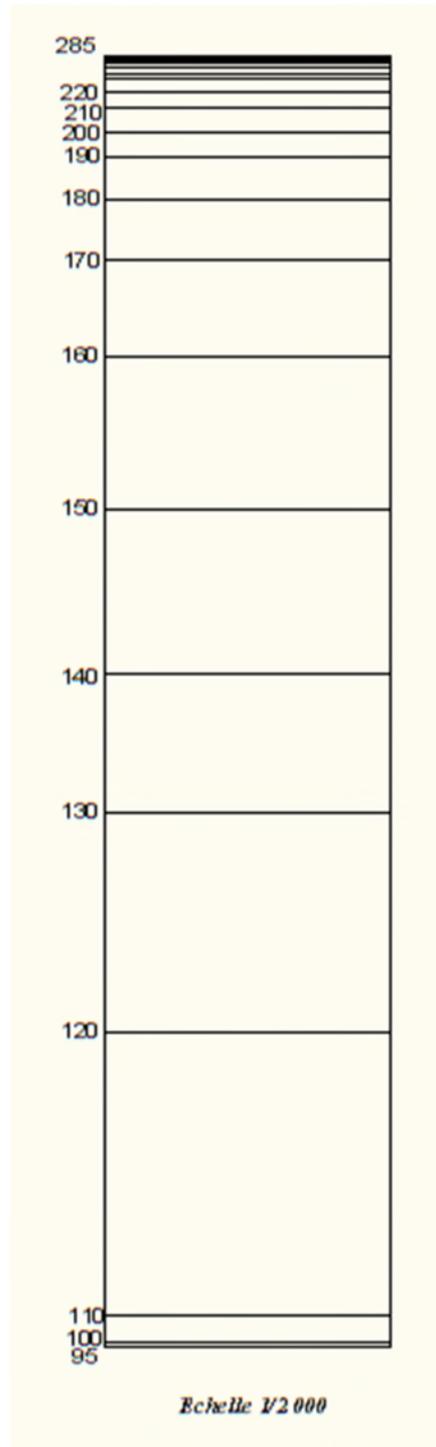


Figure III.3: Tracé du rectangle équivalent du bassin versant.

**IV.2.2. Paramètres de relief**

La caractéristique la plus significative du bassin est la nature de relief et ses paramètres est résumé comme suit :

**a. Courbe hypsométrique**

Le relief est caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin .Cette courbe donne la répartition des altitudes en fonction des surfaces partielles du bassin versant. Les résultats sont inscrits dans le tableau III.1, qui donne la courbe hypsométrique représentée par la figure III.4.

*Tableau III.1: Calculs hypsométriques*

<b>Altitudes [m]</b>	<b>Altitudes moyennes [m]</b>	<b>Superficies partielles [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Superficies partielles %</b>	<b>Superficies cumulées [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Superficies cumulées %</b>
285-280	282,5	2675,14	0,20	2675,14	2675,14
280-270	275	2588,07	0,19	5263,21	0,40
270-260	265	3452,55	0,26	8715,76	0,66
260-250	255	3878,75	0,29	12594,51	0,96
250-240	245	5764,85	0,43	18359,37	1,39
240-230	235	5443,75	0,41	23803,12	1,81
230-220	225	13324,82	1,01	37127,94	2,83
220-210	215	17444,29	1,33	54572,23	4,15
210-200	205	24404,67	1,86	78976,90	6,01
200-190	195	24229,91	1,84	103206,82	7,86
190-180	185	44668,73	3,40	147875,55	11,26
180-170	175	61802,56	4,70	209678,11	15,97
170-160	165	97055,50	7,39	306733,62	23,37
160-150	155	155011,97	11,81	461745,60	35,18
150-140-	145	167131,45	12,73	628877,06	47,92
140-130	135	141868,58	10,81	770745,65	58,73
130-120	125	222288,90	16,93	993034,55	75,67
120-110	115	289267,12	22,04	1282301,67	97,72
110-100	105	27798,59	2,11	1310100,27	99,83
100-95	97,5	2120,18	0,16	1312220,46	100

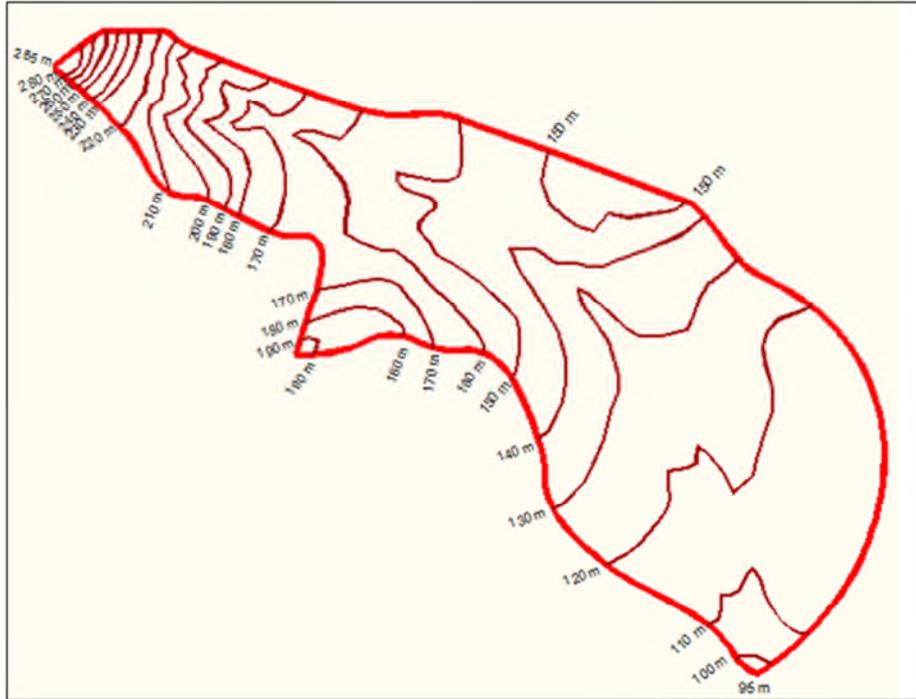


Figure III.4 : Courbes de niveau du bassin versant -Extrait de carte avec échelle 1/25 000

La figure III.5 donne la courbe hypsométrique du bassin versant.

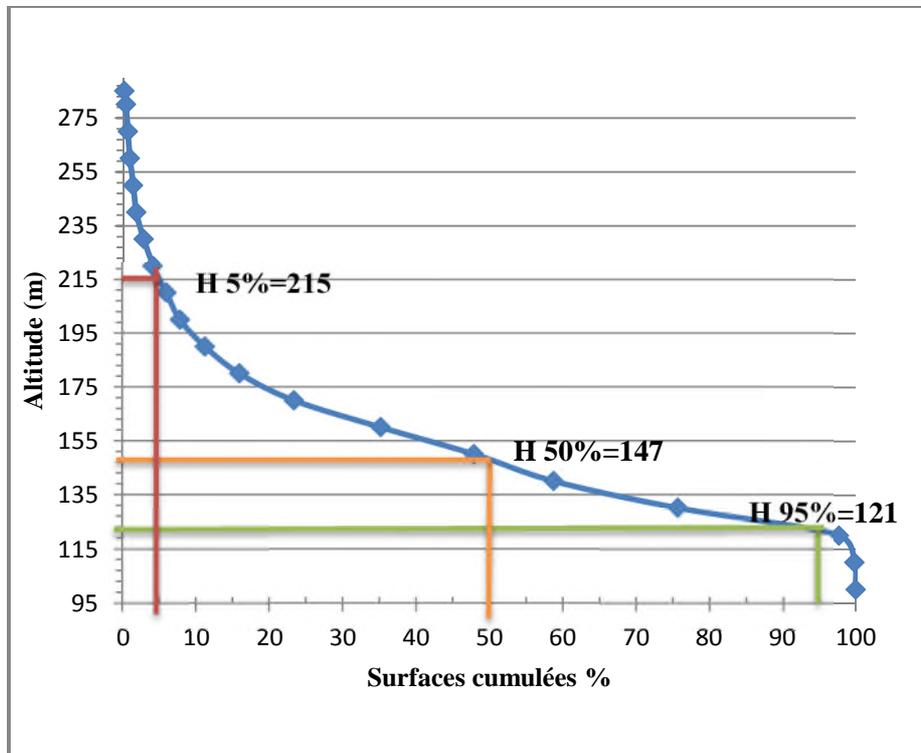


Figure III.5: Courbe hypsométrique du bassin versant

En fonction de l'allure de la courbe hypsométrique, le bassin versant est dans un état de vieillesse vis-à-vis l'érosion hydrique.

### b. Les altitudes

#### i. Altitude moyenne

Elle est donnée par la relation :

$$H_{moy} = \frac{1}{S_t} \sum S_i * \frac{H_{i-1} + H_i}{2}$$

Avec:

$S_i$  : Surface partielle ;

$S_t$ : Surface totale ;

$H_{i-1}$ : Altitude d'ordre (i-1) ;

$H_i$ : Altitude d'ordre (i).

#### ii. Altitude minimale

L'altitude minimale indique la valeur d'altitude la plus basse ( $H_{min}$ ).

#### iii. Altitude maximale

L'altitude maximale indique la valeur d'altitude la plus élevée ( $H_{max}$ ).

#### iv. Altitude de fréquence 50 %

Elle est déduite de la courbe hypsométrique:  $H_{50\%}$ .

### c. Dénivelée (D)

La dénivelée est la différence d'altitudes (H) comprise entre la surface cumulée de 5% ( $H_{5\%}$ ) et 95% ( $H_{95\%}$ ) :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

### d. Indice de pente de roche ( $I_p$ )

Sert à déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant  $I_p$  est moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent et pondérée par les surfaces.

Il est donné par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{S_i * d_i}$$

$$d_i = H_i - H_{i-1}$$

=

$S_i$  : Fraction de la surface totale comprise entre deux courbes de niveau;

$d_i$  : Distance entre deux courbes de niveau.

L : la longueur du rectangle équivalent.

**e. Indice de Pente Global ( $I_g$ )**

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global  $I_g$ .

C'est le rapport de la dénivelée spécifique D sur la longueur du talweg principal, il est donné par la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

$$I_g = 0,038$$

Selon la classification du relief donner par l'O.R.S.T.O.M (tableau). On peut obtenir la nature du relief.

Tableau III.2 : Classification du relief  $I_g$  selon l'O.R.S.T.O.M

Type de relief	Indice de pente globale
Relief très faible	$I_g < 0,002$ m/km
Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
Relief fort	$0,05 < I_g < 0,5$
Relief très fort	$0,5 \text{ m/km} < I_g$

Le calcul de l'indice global du bassin versant donne une valeur qui le classe dans la catégorie des bassins à relief assez fort.

**f. Dénivelée spécifique ( $D_s$ )**

L'indice décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique  $D_s$  ne présente pas cet inconvénient, elle dérive de la pente globale  $I_g$  en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à  $S$ . Elle est donnée par l'équation suivante:

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{S}$$

$D_s = 44,17$  m. D'après la classification du tableau III.3, le bassin versant d'El Gouassir est caractérisé par un **relief assez faible**.

Tableau III.3 : Types de reliefs en fonction de  $D_s$

Type de relief	Dénivelée spécifique
Relief très faible	$D_s < 10$ m
Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25$ m
Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50$ m
Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100$ m
Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250$ m
Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500$ m
Relief très fort	$D_s > 500$ m

Nous résumons les valeurs des paramètres de relief du bassin versant dans le tableau III.4.

Tableau III.4: Valeurs des paramètres de relief du bassin versant

Paramètres	Valeurs
Alt. Min.	95
Alt. Max.	285
Alt. Moy.	144,2
Alt. 50%	147
Alt. 5%	215
Alt. 95%	121
D	94
$I_p$	261,38
$I_g$	0,038
$D_s$	44,17

**g. Temps de concentration  $T_c$**

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie de bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire. Ce temps peut être évalué par ces modèles ci-dessous :

KIRPICH 
$$T_c = 0,6615 \cdot L^{0,77} \cdot I_p^{-0,385}$$

PASSINI 
$$T_c = \left[ \frac{4 \sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{I_p}} \right]^{0,75}$$

GIANDOTTI 
$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H_{moy}}}$$

BOURIER 
$$T_c = 4 * \left[ \frac{(S * L)^{0,33}}{\sqrt{P}} \right]^{0,75}$$

- $T_c$  : Temps de concentration du B.V en heurs ;  
 $L$  : Longueur du talweg principal en Km ;  
 $S$  : Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup> ;  
 $H_{max}$  : Altitude maximale du bassin versant ;  
 $H_{min}$  : Altitude minimale du bassin versant ;  
 $I_p$  : Indice de pente.

Les résultats sont résumés dans le tableau III.5

*Tableau III.5: Calculs du temps de concentration par différents modèles*

Modèles	Kirpich	Passini	Giandotti	Bourier	Moyenne ( $T_c$ )
$T_c$ (heures)	0,15	0,4	0,85	2,73	1,03

Nous adoptons le temps de concentration donné par la formule de Giandotti, étant donné que la méthode adoptée est la plus utilisée en Algérie. Donc :

$$T_c = 0,85 \text{ heures}$$

#### h. Vitesse de ruissellement

Elle est donnée par la relation :  $V_r = \frac{L}{T_c}$

- $L$  : Longueur du cours d'eau principal (Km) ;  
 $T_c$  : Temps de concentration (h).

Donc  $V_r = 2,85 \text{ Km/h}$ .

#### IV.2.3. Paramètres hydrographiques

Les paramètres hydrographiques se résument essentiellement dans la densité de drainage. Sa détermination repose sur une classification des talwegs par ordres et détermination des longueurs de chaque ordre.

En conséquence toute mesure s'appuie sur l'établissement du plan chevelu hydrographique complet du bassin versant.

**a. Chevelu hydrographique**

Le cours d'eau principal d'un oued est alimenté par les affluents les plus importants qui sont eux-mêmes alimentés par des affluents de second ordre, ainsi de suite jusqu'aux ruisselets et petits cours d'eau de tête du bassin formant ce que les cartographes appellent le chevelu (Fig.III.6).

Les caractéristiques du chevelu hydrographique sont résumées dans le tableau III.6.

Tableau III.6: Chevelu hydrographique du bassin versant.

Ordre de thalweg	Nombre de thalweg	Longueurs cumulées des thalwegs (Km)	Longueur moyenne de rang (Km)
1	4	0.8	0,2
2	3	2,43	0,81

La longueur moyenne du rang = longueur cumulée du talweg / nombre de thalweg du même ordre.

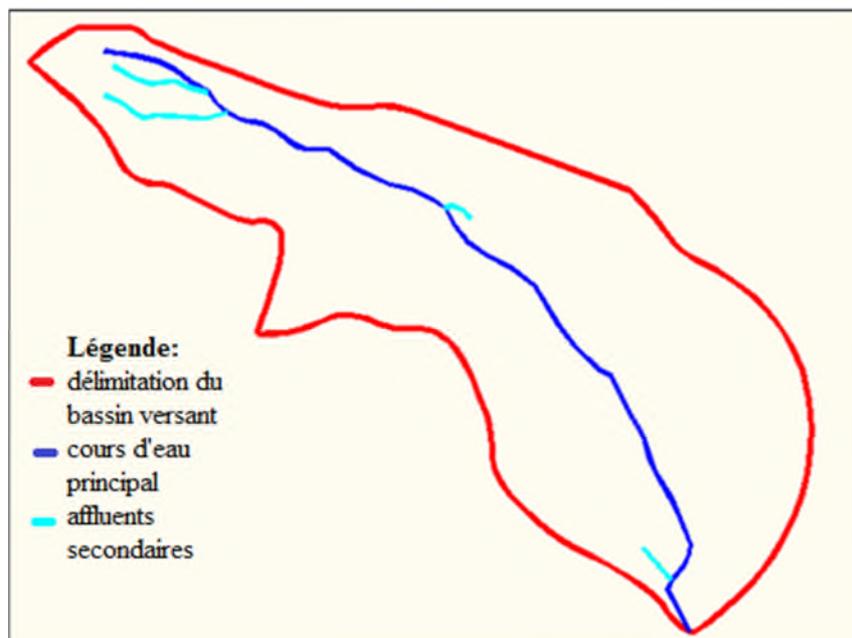


Figure III.6. Extrait de la carte d'état-major du bassin versant avec chevelu hydrographique

Echelle : 1/25 000

**b. Densité de drainage**

Appeler aussi *la densité de THALWEGS* qui correspondent à la dissection du relief. Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs  $L_i$  du bassin versant, à la surface totale  $A$ . Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km<sup>2</sup>.

La relation de la densité de drainage est donnée par la formule suivante :

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

$\sum_{i=1}^n L_i$  : Somme des longueurs de tous les cours d'eau d'ordre  $i$  (Km)

$S$  : surface du B.V

$$D_d = 2,47 \text{ Km} / \text{Km}^2$$

Ainsi Le réseau pluvial du bassin versant est bien développé, le bassin est donc bien drainé.

**c. Coefficient de torrentialité**

Il se calcule à partir de la formule suivante :

$$C_t = D_d * F_1$$

$F_1$ : Fréquence des talwegs d'ordre 01 :

$$F = \frac{N_1}{S}$$

$N_1$ : Nombre de talwegs d'ordre 01.

$$F = 3,05$$

$$C_T = 7,54$$

$C_t > 5$  donc les régimes d'écoulement du bassin versant sont torrentiels.

**d. Coefficient de Ruissellement**

Le coefficient de ruissellement est généralement tabulé en fonction des conditions physiques du bassin versant (relief, sols, végétation, taux d'urbanisation), il est déterminé sur la base de classification dressée par L'ANRH sur les bassins versants algériens en fonction de leurs sols (Tableau III.7), de la taille du bassin, et de la pluviométrie journalière maximale.

Dans notre cas, le coefficient de ruissellement du bassin versant étudié est de :  $C_R = 0,75$

Tableau III.7: Classification du Coefficient de ruissellement selon l'ANRH.

Catégorie des sols	Appellation des sols	Pj max (mm)	Surface des bassins versants (en km <sup>2</sup> )				
			<0,1	>0,1 <2,0	>2,0 <10,0	>10,0 <100,0	>100,0
1	Asphaltes, roches non fissurées, béton	---	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Sols argileux gras, croûtes et sols encroûtés	>0,8	0,80	0,70	0,65	0,65	0,60
		81 – 150	0,90	0,85	0,80	0,80	0,80
		151 – 200	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90
		>200	0,95	0,95	0,95	0,90	0,90
3	Sols argileux, sols forestiers d'argile grise, sols argileux gris et lourds	>0,8	0,70	0,60	0,55	0,55	0,45
		81 – 100	0,80	<b>0,75</b>	0,70	0,65	0,65
		101 – 150	0,85	0,80	0,75	0,65	0,65
		151 – 200	0,85	0,85	0,80	0,70	0,70
		>200	0,90	0,90	0,80	0,75	0,75
4	Sols châtaîns lœss, sols carbonatés	>0,8	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30
		81 – 150	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40
		151 – 200	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
		>200	0,8	0,75	0,70	0,65	0,60
5	Limons sableux, sols marrons et gris marrons des zones steppiques et désertiques, sols gris limoneux – sableux.	>0,8	0,35	0,28	0,20	0,20	0,15
		80 – 150	0,45	0,35	0,25	0,25	0,20
		151 – 200	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30
		>200	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
6	Sols sableux, graviers, sols à roches friables	-	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10

## V. conclusion

L'étude du bassin versant d'El Gouassir nous a permis de dégager certaines caractéristiques morphologiques de la région.

Ces paramètres sont indispensables pour la caractérisation du milieu physique et l'évaluation des différents paramètres de réponse du bassin versant. L'étude du milieu physique engagée a permis de dégager les résultats fondamentaux ci-dessous :

- Un bassin versant allongé.
- Une dénivelée spécifique de 44,17 donnant un relief assez faible.
- Un indice de pente global de 0,038 donnant un relief assez fort.
- Un coefficient de torrentialité de 7,54 donnant un régime d'écoulement torrentiel.
- Un temps de concentration est de 0,85 heures.
- Une densité de drainage de 2,47 km/km<sup>2</sup> donnant un bassin versant bien drainé.

## B. Climatologie

### I. Introduction

Le climat, par définition est l'ensemble des phénomènes météorologique (température, pression atmosphérique, vent, précipitation, etc.) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Il est déterminé par la situation géographique du lieu (latitude, altitude, éloignement par rapport à la mer) et par la circulation atmosphérique.

Les facteurs climatiques sont des phénomènes aléatoires les plus déterminants du comportement hydrologique des cours d'eau et de l'alimentation des nappes. Ils interviennent dans le bilan de l'écoulement, essentiellement par les précipitations et par les températures. Ils jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique.

Le climat du secteur d'étude est un climat méditerranéen intermédiaire, entre les types de climats semi-aride et subhumide du point de vue température moyenne, pluviométrie annuelle et répartition saisonnière des précipitations. Le climat de la région est un climat méditerranéen des piémonts où l'on observe une influence conjuguée de la continentalité et de la mer.

### II. Présentation de la station climatique retenue

Cette synthèse climatique, s'appuie sur les données climatiques de la station de Zenâta, qui est la plus proche station de la zone d'étude, sur une série allant du 1980-2014.

Tableau III.8 : Caractéristiques de la station pluviométrique (ONM, 2015)

Stations	code	Altitude (m)	Altitude (m)	Latitude (m)	Période d'observation
Zenâta	160505	246	1°27'25''	35°00'50''	1980/2014

### III. Analyse des Précipitations

Les précipitations constituent un facteur essentiel pour définir le climat régnant dans la région et pour l'analyse des ressources en eau. Elles constituent un phénomène physique qui décrit le transfert de l'eau, dans une phase liquide (pluie) ou solide (neige, grêle), entre l'atmosphère et le sol, elles sont aussi représentent l'élément le plus important du cycle hydrologique.

#### III.1. Précipitations moyennes annuelles

La pluviométrie observée à la station met en évidence l'importance des variations d'amplitude de la pluviométrie d'une année à l'autre.

La variation des précipitations annuelles durant la période d'observation montre l'écart important entre les valeurs extrêmes, signe d'une irrégularité.

Nous résumons dans le tableau III.9 les principales caractéristiques des précipitations moyennes annuelles :

*Tableau III.9 : Caractéristiques des précipitations moyennes annuelles*

Paramètre	Valeurs
$P_{moy}$ Annuelle (mm)	367,15
$P_{min}$ Annuelle (mm)	114,4
$P_{max}$ Annuelle (mm)	706,67

Nous remarquons que la précipitation maximale annuelle peut dépasser la moyenne annuelle, signe d'une très grande irrégularité et de grands écarts des précipitations.

#### III.2. Précipitations moyenne mensuelles

La pluviométrie moyenne interannuelle 1980-2014 a été évaluée à 367,15 mm. Sa répartition mensuelle est donnée dans le tableau III.10:

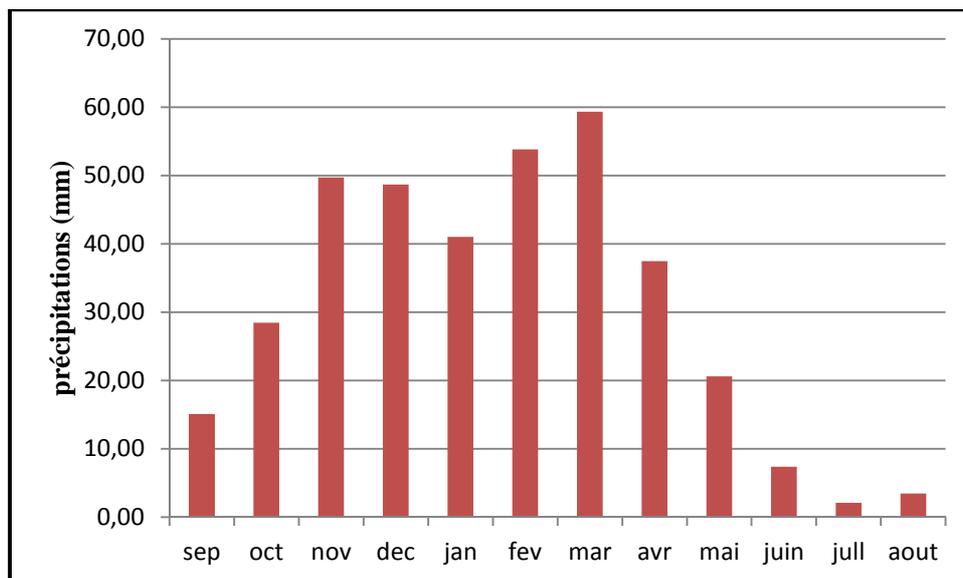
*Tableau III.10: Précipitations moyennes mensuelles (période :1980-2014)*

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	TOT
<b>Pluies (mm)</b>	15,09	28,46	49,69	48,70	41,04	53,80	59,32	37,45	20,62	7,38	2,12	3,47	<b>367,15</b>
<b>%</b>	4,11	7,75	13,53	13,26	11,18	14,65	16,16	10,20	5,62	2,01	0,58	0,95	<b>100,00</b>

L'analyse du tableau (III.10) et de la figure (III.7) met en évidence deux saisons bien marquées :

Une saison humide allant de Septembre à Mai, avec quelques maxima remarquables en Février et Mars.

Une saison sèche allant de Juin à Août, avec des minima remarquables en Juillet avec une pluviométrie pratiquement nulle sur ce mois.



*Figure III.7: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles*

Le tableau III.11 résume les caractéristiques statistiques des précipitations moyennes annuelles :

*Tableau III.11: Caractéristiques des précipitations moyennes mensuelle*

<b>Paramètres</b>	<b>Valeurs</b>
$P_{An}$ (mm)	367,15
$P_{Moy}$ mensuelle (mm)	30,60
$P_{Min}$ mensuelle (mm)	2,12
$P_{Max}$ mensuelle (mm)	59,32
Ecart-Type	20,54
Cv	0,67

### **III.3. Précipitations maximales journalières**

Les précipitations maximales journalières permettent de calculer les intensités des pluies les plus fréquentes et d'estimer par conséquent un débit de crue (débit de pointe des eaux pluviales).

La série d'observation enregistrée entre 1980 jusqu'à 2014 nous a permis de déduire la pluviométrie maximale journalière qui est de 99,06mm.

Le tableau III.12 résume les caractéristiques des précipitations journalières maximales (sur la série de 1980-2014) :

*Tableau III.12: Caractéristiques des précipitations maximales journalières*

Paramètres	$P_{j\max}$ (mm)	Ecart Type	Cv
Valeurs	99,06	23,05	0,53

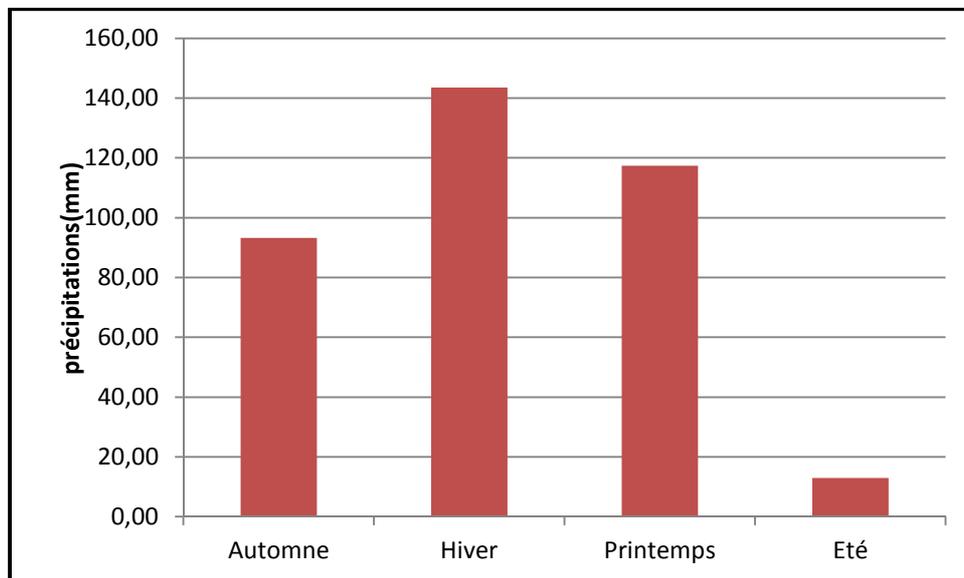
**III.4. Précipitations saisonnières**

Pour apprécier la variation des précipitations ou le régime pluviométrique saisonnier de la région étudiée, nous avons calculé le total des précipitations de chaque saison et pour la même période (1980-2014). Nous résumons dans le tableau III.13 la variation saisonnière des précipitations :

*Tableau III.13: Répartition des pluies saisonnières (période :1980-1014)*

Mois	S - O - N	D - J - F	M - A - M	Jn - JL- A	Année
Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté	
Précipitation (mm)	93,24	143,54	117,38	12,98	<b>367.15</b>
Précipitation %	25,40	39,10	31,97	3,53	<b>100</b>

En examinant les données du tableau, nous remarquons que les saisons les plus pluvieuses sont l'automne et l'Hiver avec plus de 30% de précipitations chacune. L'été est le mois le moins pluvieux avec moins de 4% de précipitations.



*Figure III.8 :Histogramme de variation des pluies saisonnières*

## IV. Analyse des Températures

### IV.1. Températures moyennes mensuelles

Nous résumons dans le tableau III.14, la variation de la moyenne mensuelle des Température :

Tableau III.14: Températures moyennes mensuelles (Période : 2000-2014)

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
Temp. Moy. en°C	23,1	23,1	14,7	11,5	10,2	11,0	13,5	15,6	19,0	23,4	27,0	26,6

Nous remarquons que la température moyenne annuelle est égale à **18,20°C** avec un minima moyen enregistré le mois Janvier de **10.2°C** et un maxima moyen enregistré le mois de Juillet de **27,0°C**.

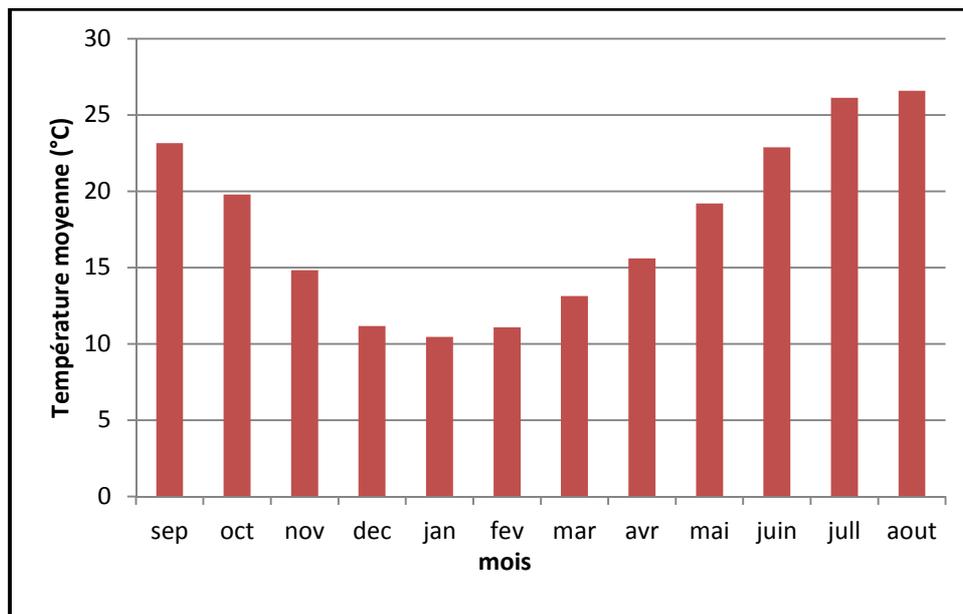


Figure III.9 : Histogramme des températures moyennes mensuelles

(période:2000-2014)

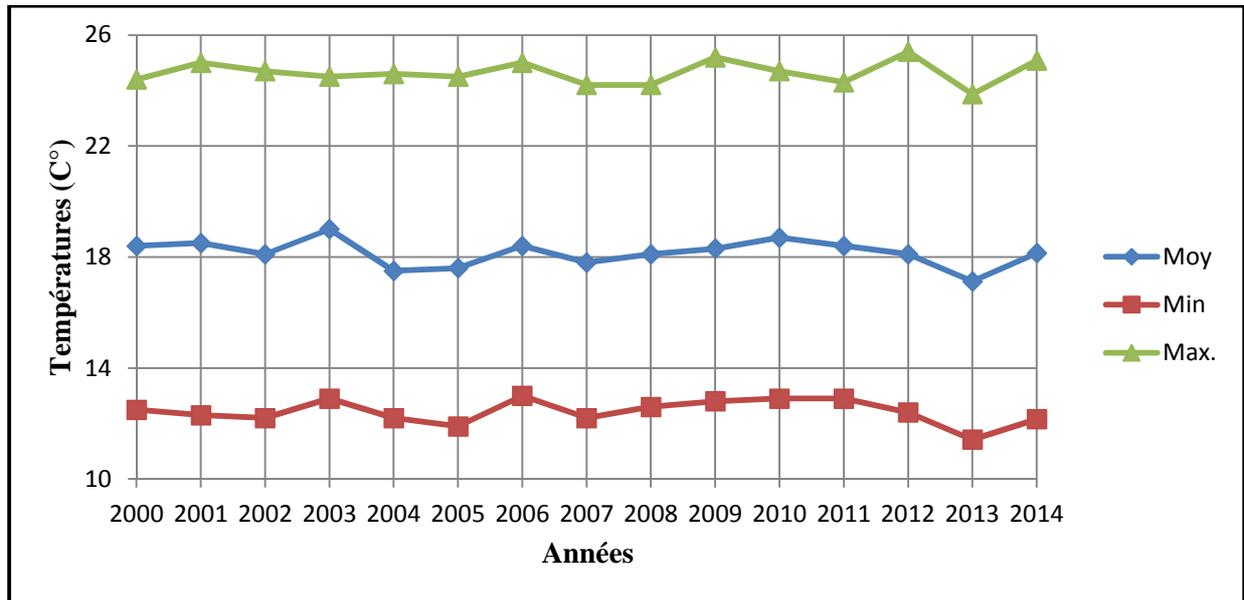
**IV.2. Variation des températures annuelles**

Nous résumons dans le tableau (III.15) la variation entre les températures moyennes, minimales et maximales annuelles de la station étudiée (sur une série allant du 2000 à 2014).

*Tableau III.15: Variation des températures Moyenne, Minimales et Maximales annuelles  
(Période : 2000-2014)*

Années	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Température (°C)	Moy	18,4	18,5	18,1	19,0	17,5	17,6	18,4	17,8	18,1	18,3	18,7	18,4	18,1	17,12	18,14
	Min	12,5	12,3	12,2	12,9	12,2	11,9	13,0	12,2	12,6	12,8	12,9	12,9	12,4	11,42	12,16
	Max	24,4	25,0	24,7	24,5	24,6	24,5	25,0	24,2	24,2	25,2	24,7	24,3	25,4	23,87	25,08

Nous représentons cette variation sur la figure III.10.



*Figure III.10: Variation entre Températures Moy, Min et Max*

Nous remarquons une symétrie entre les températures minimales et maximales par rapport à la moyenne, impliquant un climat annuellement régulier.

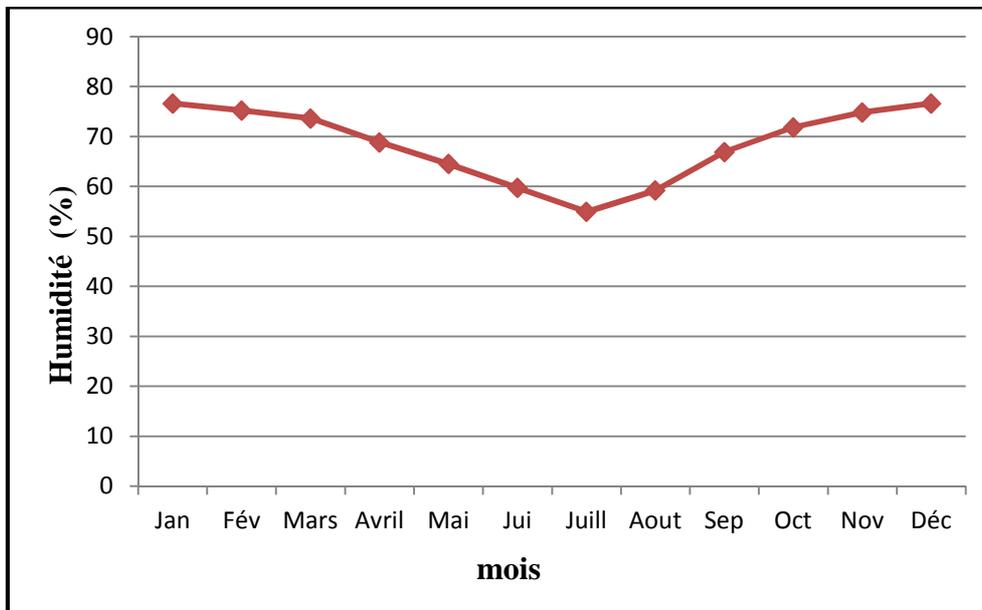
**V. Humidité relative**

La répartition mensuelle de l'humidité relative de l'air est représentée dans le tableau 8.

*Tableau III.16: Humidité relative moyenne mensuelle (période : 2000-2014)*

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Jui	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Humidité (%)</b>	76,6	75,2	73,6	68,8	64,5	59,7	54,9	59,2	66,9	71,8	74,8	76,6

D'après la figure III.11, on constate que l'humidité relative de l'air est élevée avec une moyenne annuelle de 69%. Pour les mois de Janvier et Décembre (hiver) elle dépasse 70%.



*Figure III.11: Humidité relative moyenne mensuelle (période : 2000-2014)*

## VI. Vent

Le vent est un déplacement d'air approximativement horizontal sauf sous influences topographiques comme dans les montagnes. Sa fréquence et sa direction change au cours de l'année.

Tableau III.17 : Variation des vitesses des vents moyennes mensuelles

(période : 2000-2014)

Mois	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juill	Aoû	Sept	Oct.	Nov	Déc.
Vent (m/s)	6,52	6,47	6,47	7,94	8,42	8,15	8,07	7,48	6,75	6,48	7,04	7,17

Selon la figure III.12 et pour la période de 2000-2014, la vitesse moyenne annuelle du vent est voisine **7,25 m/s**.

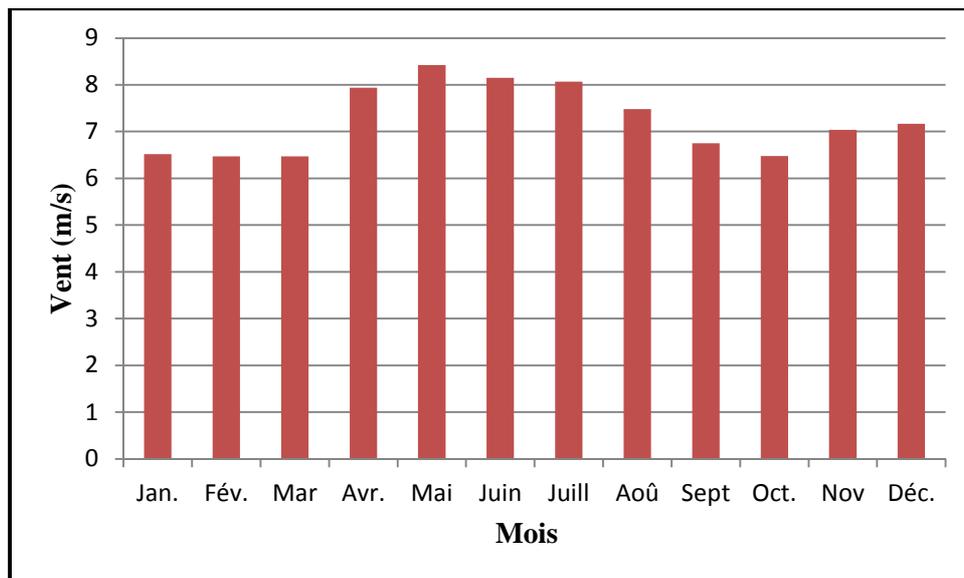


Figure III.12: Histogramme des vitesses des vents moyennes mensuelles

(période : 2000-2014)

## VII. Synthèse bioclimatique

La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée.

Les variables climatiques constituent un système complexe agissant d'une manière synthétique sur les interactions des écoulements. Plusieurs formules et approches pratiques essaient de représenter cette action synthétique du climat par des indices et des méthodes graphiques.

### VII.1. Indice d'aridité annuel de De-Martonne

L'indice d'aridité reporté sur l'abaque de DE-MARTONNE :

$$I = P / (T + 10)$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (°c) ;

$$I = 11,23$$

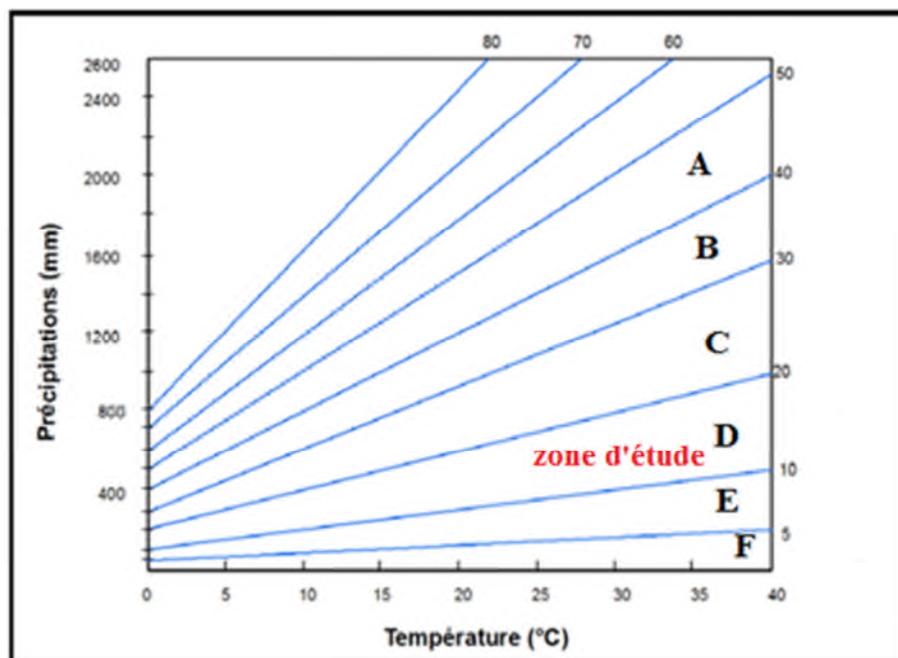


Figure III.13: Abaque pour le calcul d'indice d'aridité de De Martonne

**Zone A** : Ecoulement abondant ;

**Zone B** : Ecoulement exoréique ;

**Zone C** : Zone tempérée, drainage extérieur, irrigation non indispensable ;

**Zone D** : Régime semi-aride, écoulements temporaires, formations herbacées;

**Zone E** : Régime désertique, écoulements temporaires ;

**Zone F** : Hyper-aridité, aréisme.

Nous remarquons que la zone du site étudié appartient à la « **Zone D** » traduisant un régime semi-aride à écoulement temporaire et à formations herbacées proche du régime tempérée.

**VII.2. Indice d'aridité mensuelle de De. MARTONNE**

Utilisé dans le but de préciser les conditions de semi-aridité mensuelle. Cet indice est donné par la relation suivant :

$$I = \frac{12 P}{t + 10}$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm) ;

t : Température moyenne mensuelle (°C).

Le tableau III.18 représentent l'indice d'aridité mensuel de DE. MORTONNE.

*Tableau III.18: Indice d'aridité mensuel de DE.MORTONNE à la station de Zenâta*

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
<b>P</b>	15,09	28,46	49,69	48,70	41,04	53,80	59,32	37,45	20,62	7,38	2,12	3,47
<b>T</b>	22,45	20,54	17,97	14,70	13,45	15,12	17,41	17,77	19,49	21,39	23,93	24,49
<b>I</b>	5,58	11,18	21,32	23,66	21,00	25,70	25,97	16,18	8,39	2,82	0,75	1,21
<b>Classe</b>	Aride	Semi-aride	humide	humide	humide	humide	humide	Semi-aride	Aride	Hyper-aride	Hyper-aride	Hyper-aride

**VII.3. Indice d'EMBERGER**

Emberger proposait de définir des sous-classes dans le bioclimat méditerranéen sur la base de l'humidité globale du climat et sa rigueur hivernale. Cela est caractérisé par le quotient pluviothermique  $Q_2$  :

$$Q_2 = \frac{1000 P}{\left(\frac{M + m}{2}\right) \times (M - m)}$$

Avec ;

$Q_2$  : Quotient pluvio-thermique d'EMBERGER ;

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

M : Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud ( $^{\circ}\text{K}$ ) ;

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid ( $^{\circ}\text{K}$ ) ;

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne ( $^{\circ}\text{K}$ ).

$T (^{\circ}\text{K}) = T (^{\circ}\text{C}) + 273$ . Le quotient pluvio-thermique d'Emberger pour la station de Zenâta :

$M (^{\circ}\text{K}) = 305,78$

$m (^{\circ}\text{K}) = 278,43$

Donc  $Q_2 = 45,95$ .

Nous reportons la valeur du quotient d'Emberger dans son climogramme sur la figure suivante :

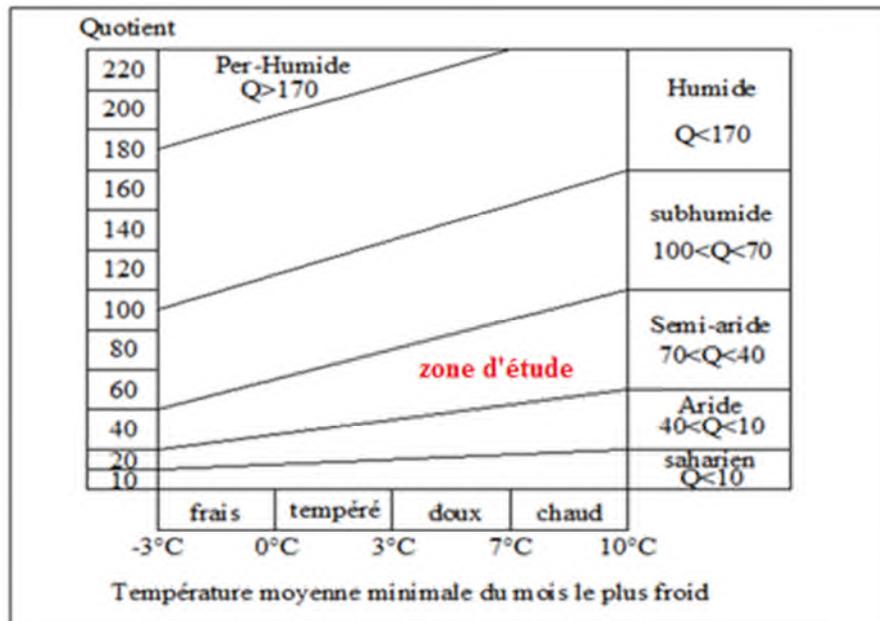


Figure III.14: Etage bioclimatique de la région étudiée selon le climogramme d'Emberger

Selon le Climogramme d'Emberger, le climat de la région étudiée appartient à une zone semi-aride, ( $Q=45,95$ ).

#### VII.4. Diagramme ombrothermique

Afin de préciser les périodes sèches et humides durant l'année, nous avons établi le diagramme ombrothermique qui caractérise les interactions entre les précipitations moyennes mensuelles et les températures moyennes mensuelles.

Selon le diagramme ombrothermique est représenté sur la figure III.15, nous remarquons que la période humide débute à partir du mois de Octobre jusqu'à la mi-avril soit une moyenne de 209 jours durant l'année.

Quant à la période sèche, elle s'étale à partir de la mi-avril et dure jusqu'à la fin du mois de Septembre, soit une durée de Cinq mois et demie (5,5).

Ainsi, durant l'année il est enregistré 57,26 % de période humide et 42,74 % de période sèche, confirmant le climat semi-aride de la région étudiée, écoulement temporaire.

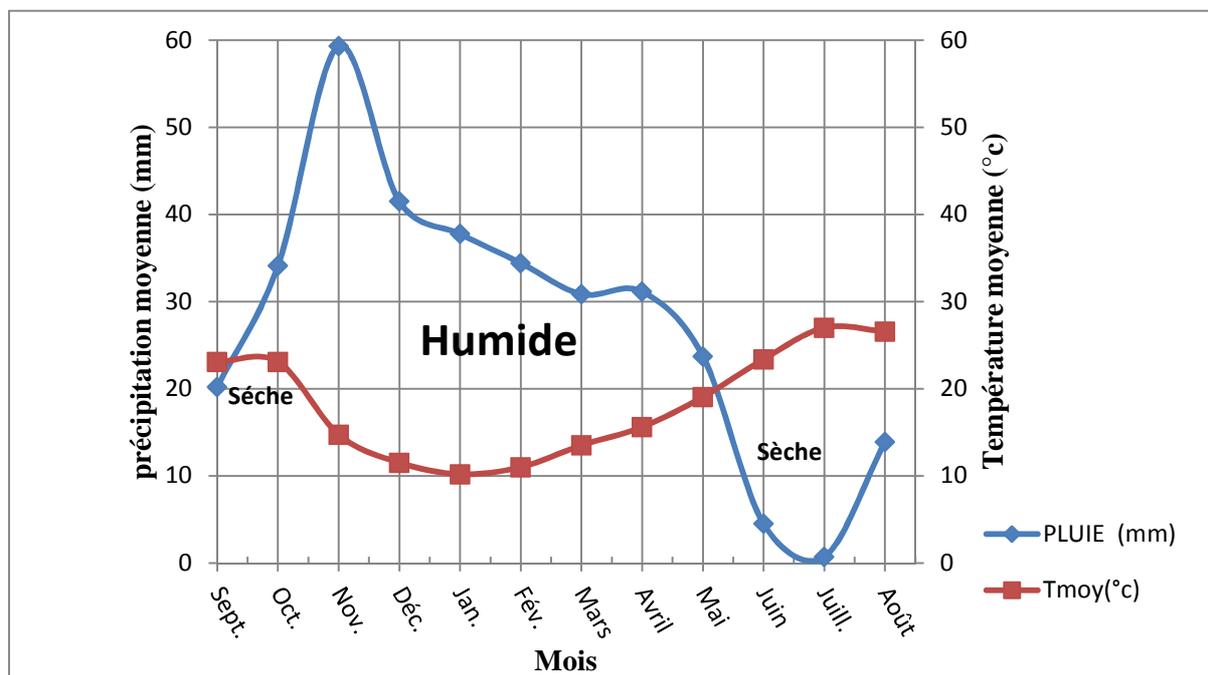


Figure III.15: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'étude

## **IX. Conclusion**

Ce chapitre d'analyse climatique est primordial pour l'élaboration de notre étude, il nous a permis de déterminer les paramètres fondamentaux pour les calculs hydrologiques, en l'occurrence :

- Précipitation moyenne annuelle à l'échelle de la région, est estimée à 367,15;
- Précipitation moyenne mensuelle est de 30,6 mm ;
- Précipitation maximale journalière est de 99,06 ;
- La température moyenne annuelle est de 18,20 °C ;
- La région est caractérisée par un régime semi-aride.

# ***CHAPITRE VI***

## ***ETUDE HYDROLOGIQUE ET CONCEPTION DES AMENAGEMENTS DE PROTECTION***

## A. Etude hydrologique

### I. Introduction

L'étude hydrologique pour la réalisation d'un ouvrage hydrotechnique révèle une importance considérable. Le but est donc de mettre en évidence les paramètres hydrologiques de l'oued tels que les débits des crues, les apports du bassin versant (apports liquides et solides) qui constituent la base de dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

### II. Analyse des données statistiques

Pour l'étude des précipitations, nous avons besoin d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible.

Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station expérimentale de Zenâta.

La série a une période de fonctionnement de 1980 à 2014 qui a été fournie par l'Office Nationale de la Météorologie. (ONM, 2015)

L'analyse statistique des données pluviométriques consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observations de précipitations maximales journalières, de 35 années.

Les caractéristiques de cette série sont :

*Tableau IV.1: Précipitations maximales journalières  $P_{jmax}$ , durant 35ans d'observations.*

Années	$P_{jmax}$ (mm)								
1980	21,71	1987	99,06	1994	70,1	2001	62,99	2008	28,96
1981	56,25	1988	23,88	1995	95,94	2002	44,96	2009	29,97
1982	93,98	1989	72,9	1996	17,02	2003	48,01	2010	37,08
1983	29,97	1990	29,97	1997	53,09	2004	48,01	2011	27,94
1984	30,99	1991	29,97	1998	38,1	2005	23,11	2012	67,06
1985	14,99	1992	35,05	1999	24,89	2006	14,99	2013	39,88
1986	71,88	1993	50,04	2000	25,91	2007	41,91	2014	26,92

Les caractéristiques de la série pluviométrique (période : 1980-2014) sont représentées dans le tableau V.2 :

Tableau IV.2 : Caractéristiques de la série pluviométrique (période : 1980-2014)

Caractéristiques	Formules	valeurs
La somme des Pmax j en (mm)	$\sum_{i=1}^{n=35} Xi$	1527,48
la moyenne des Pmax j en (mm)	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n=35} Xi}{n}$	43,64
L'écart type $\delta$	$\delta = \left[ \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n=35} \sum (Xi - \bar{X})^2}}{n} \right]$	23,05
Coefficient de variation $C_v$	$C_v = \frac{\delta}{\bar{x}}$	0,53
L'exposant climatique	$b = 0,42$ (ONM, 2015)	

### III. Choix de la loi d'ajustement

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille et de certaines caractéristiques de l'échantillon. (Benmia, 2012)

Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée. (Zerfaoui, 2008)

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

Dans la région étudiée, les différentes études effectuées ont montré que les séries pluviométriques suivent une loi Gumbel.

L'ajustement des pluies maximales journalières nous l'avons effectué par logiciel Excel Statistique.

La procédure d'ajustement consiste à :

- Classer la série des précipitations par ordre croissant.
- Calculer fréquence expérimentale.
- Calculer les caractéristiques empiriques de la série.
- Ajuster graphiquement la loi choisie.
- Calcul de la quantile et son intervalle de confiance.

On classe les valeurs de la série des précipitations par ordre croissant. Après, on calcule la fréquence expérimentale par la formule suivante:

$$F(x) = \frac{i - 0.5}{N}$$

Avec :

$i$  : le rang.

$N$  : la taille de l'échantillon. ( $n= 35$ )

On calcule les caractéristiques empiriques de l'échantillon.

On calcule la variable réduite Gumbel.

$$U_i = - \ln (-\ln (F(x_i)))$$

Représentation graphique de la série.

Calcul des paramètres d'ajustement de la droite de Gumbel 'b' et 'a'.

L'équation de la droite de Gumbel est donnée par :

$$Y = a + (b * u)$$

Avec

$b$  : représente la pente de la droite de régression donnée par la formule suivante :

$$b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_x$$

$a$  : l'ordre à l'origine.

$$a = \bar{x} - (b * \Gamma)$$

$\Gamma$  : constante d'EULER,  $\Gamma = 0,5773$

Selon l'ajustement la relation de la droite des  $P_{jmax}$  est de :

$$P_{j \max} = 18y + 33,39$$

Coefficient de corrélation  $R^2$ :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} = 0.96 \text{ donc la corrélation est bonne.}$$

Les résultats de l'ajustement par cette loi sont résumés dans le tableau IV.3 et la figure IV.1 :

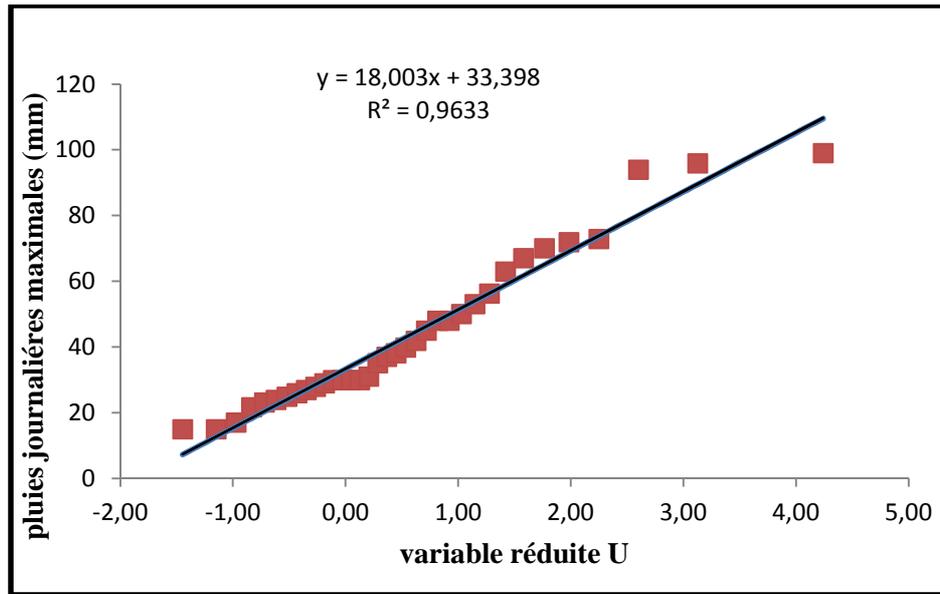


Figure IV.1: Ajustement des précipitations maximales journalières

A partir du graphe, nous tirons les précipitations maximales journalières pour différentes fréquences.

Tableau IV.3: Caractéristiques de pluies de fréquence (f)

Période de retour (Ans)	2	5	10	20	50	100	1000
Fréquence (%)	0,5	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
Variable Réduite de Gumbel U	0,37	1,50	2,25	2,97	3,90	4,60	6,91
Pluie de Fréquence (f)	39,85	60,23	73,71	86,65	103,40	115,95	157,42

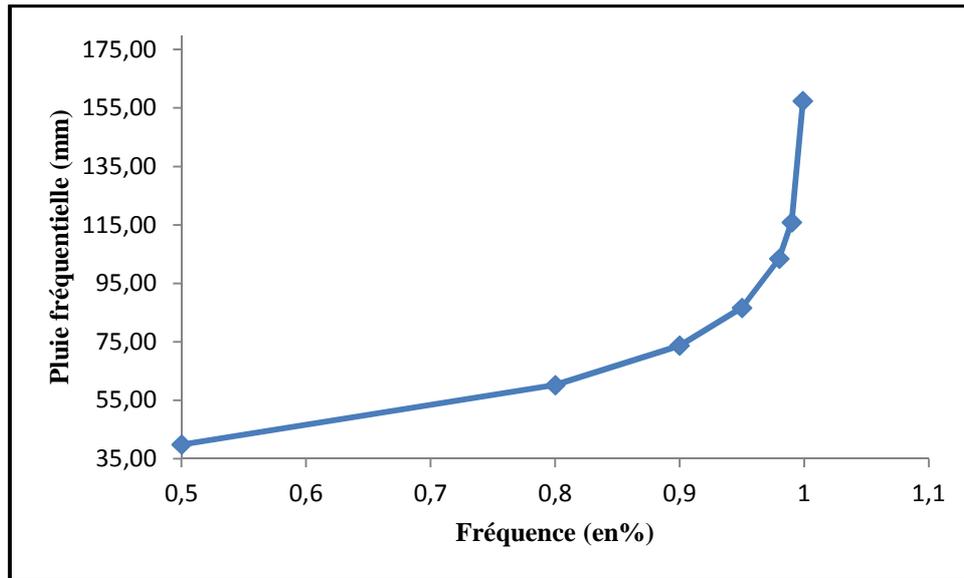


Figure IV.2 : Variation des pluies fréquentielles

Pour une période donnée la quantité de pluie tombée dans un temps donné 't' est donnée par la formule de BODY.

$$P = P_{j \max f} \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

P : pluie maximale annuelle de durée (t) et de fréquence (f) (en mm) ;

$P_{j \max f}$  : pluie journalière maximale de fréquence f (en mm) ;

b : exposant climatique de la station pluviométrique :  $b = 0,42$  ;

t : durée en heure (En heure).

Nous résumons dans le tableau IV.4 le calcul des pluies fréquentielles :

Tableau IV.4: Calcul des pluies fréquentielles

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (ans)						
	2	5	10	20	50	100	1000
	pluie (mm)						
0,5	7,84	11,85	14,50	17,05	20,34	22,81	30,97
1	10,49	15,85	19,40	22,81	27,22	30,52	41,44
2	14,03	21,21	25,96	30,52	36,41	40,83	55,44
4	18,78	28,38	34,73	40,83	48,72	54,63	74,17
6	22,26	33,65	41,18	48,41	57,76	64,78	87,94
12	29,79	45,01	55,10	64,77	77,28	86,66	117,66
24	39,85	60,23	73,71	86,65	103,40	115,95	157,42
48	53,32	80,58	98,63	115,94	138,34	155,13	210,62
72	63,22	95,54	116,94	137,46	164,03	183,94	249,72

Les intensités maximales annuelles de durée  $t$ (h) et de période de retour  $T$  (ans) sont calculées par la relation suivante :

$$I = \frac{P_t}{t}$$

Nous résumons dans le tableau IV.5 le calcul des intensités pluviales :

Tableau IV.5: Calcul des intensités pluviales

Durée de l'averse (heure)	Période de retour (ans)						
	2	5	10	20	50	100	1000
	intensités (mm/h)						
0,5	15,68	23,70	29,00	34,10	40,69	45,62	61,94
1	10,49	15,85	19,40	22,81	27,22	30,52	41,44
2	7,02	10,60	12,98	15,26	18,21	20,42	27,72
4	4,69	7,09	8,68	10,21	12,18	13,66	18,54
6	3,71	5,61	6,86	8,07	9,63	10,80	14,66
12	2,48	3,75	4,59	5,40	6,44	7,22	9,80
24	1,66	2,51	3,07	3,61	4,31	4,83	6,56
48	1,11	1,68	2,05	2,42	2,88	3,23	4,39
72	0,88	1,33	1,62	1,91	2,28	2,55	3,47

Pour le bon dimensionnement des aménagements de protection pluviaux ; on prend la valeur de l'intensité de pluies qui correspond à la de période de retour de 10 ans pour l'évaluation des débits pluviaux. On prend

$$i = 29 \text{ mm/h}$$

$$i = \frac{29 \times 10000}{3600} = 80.55 \text{ l/s/ha}$$

Les résultats seront reportées sur des courbes I.D.F (Intensité, Durée, Fréquence) (figure IV.3) et cela pour mieux exprimer les variations de l'intensité pour chaque fréquence.

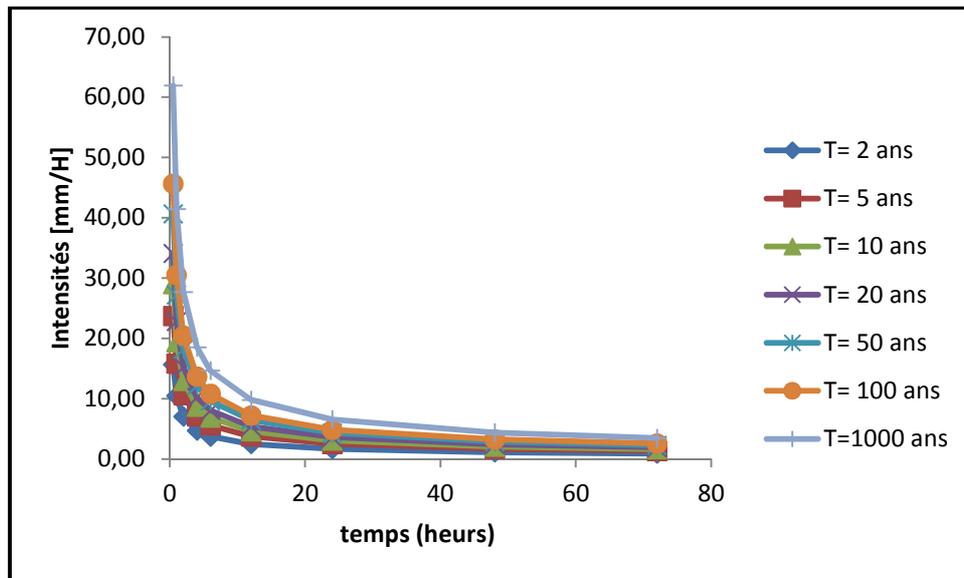


Figure IV.3: Courbes IDF

## IV. Etude des crues

Les crues étant les événements correspondant à la circulation des débits exceptionnels dans les bassins versants, elles sont influencées par de nombreuses variables parmi lesquelles l'intensité, la durée et la distribution de la pluie dans le bassin, sa topographie etc. Les débits de crues ont une influence directe sur le régime hydrologique particulièrement en Algérie où les Oueds, à cause de la grande irrégularité, passant de débits nuls à des débits de crues exceptionnels. Les crues dépendent essentiellement de l'abondance.

### IV.1. Différentes méthodes d'évaluation des crues

Les techniques utilisées pour la détermination des crues dépendent pour une grande part des données disponibles. Presque chaque problème qui se produit est uniquement, duaux variations des conditions et des données, qui fait que c'est la disponibilité des données plutôt que la nature des problèmes qui conditionnent la procédure. Il n'existe pas encore une unicité de calcul des crues, les méthodes de calcul diffèrent aussi selon le chargé d'études. (Krim ,2006)

Nous rappelons ci-dessous, les différentes méthodes de calcul des crues que chacune d'elles a ses avantages et ses inconvénients.

#### **IV.1.1. Méthodes historiques**

Etudes des archives, enquêtes auprès des populations et recherches d'anciennes traces des crues (les niveaux atteints par les crues du passé).

#### **IV.1.2. Méthodes empiriques**

Ces méthodes sont des excellents outils pour la détermination d'un hydrogramme. En effet, elles permettent toute au long du développement du calcul, de rationaliser les résultats et de dégager ainsi les meilleures caractéristiques du projet. (Boudjerda, 2005)

Ce sont des relations établies entre le débit et la surface du bassin versant, la pluie et la période de retour comme les formules de Greager, Fuller, Snyder, Possenti, etc....

#### **IV.1.3. Courbes enveloppes**

Hydrologiques homogènes sont reportées en fonctions de la surface du bassin versant, permettant de tracer une courbe enveloppée (Francu-Rodier, Chaumont...).

#### **IV.1.4. Méthodes probabilistes**

Analyse des débits afin de déterminer la loi de probabilité à laquelle ils répondent (Gumbel, Galton, Pearson III, Log Pearson III..).

Méthode du Gradex basée sur l'hypothèse que durant des pluies fortes, alors que le sol du bassin approche de la saturation, chaque augmentation de la pluie tend à produire une augmentation du débit. En conséquence, sur un graphique de Gumbel, les droites de répartitions des fréquences des pluies et des débits sont parallèles.

#### **IV.1.5. Méthodes déterministes**

Modélisent fondamentalement le processus pluie - écoulement du bassin et elles ont pour objectif de déterminer non seulement le débit de pointe mais également l'hydrogramme correspondant à la crue que celui aussi permet d'estimer le volume de cette crue.

### IV.1.6. Méthode de l'hydrogramme unitaire

La méthode de l'hydrogramme unitaire basée sur un travail de dépouillement averse – crues (version de Sherman).

Dans notre étude on va utiliser les méthodes empiriques.

### IV.2. Application sur le bassin versant de Gouassir

Partant des données morphologiques et pluviométriques existantes une évaluation des débits de pointes des crues sera faite à partir de formules empiriques : Mallet –Gauthier, Possenti, Turazza, et Sokolovski. Ces relations sont celles qui traitent au mieux le bassin.

#### IV.2.1. Formule de Mallet – Gauthier

Dans leur étude sur les problèmes de l'eau en Algérie, ils ont établi une formule exprimant le débit maximum en crue en fonction des précipitations, de la surface du bassin versant et d'un coefficient K caractéristiques géographique et climatique du bassin versant.

$$Q_{max,p\%} = 2 K \cdot \log(1 + 20 H) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

K : constante comprise entre 1-3 on prend: K=2;

H : Précipitation moyenne interannuelle en m,  $H = 0,367\text{m}$  (période 1980-2014) ;

S : Surface du bassin en  $\text{Km}^2$  ;

L : Longueur du talweg principal en Km ;

T : Période de retour.

#### IV.2.2. Formule de Turraza

Cette formule utilise l'intensité moyenne maximale de précipitations déterminées sur un intervalle de référence égal au temps de concentration du bassin versant.

$$Q_{max,p\%} = \frac{C \cdot i_{tc} \cdot S}{3.6}$$

Avec

$S$  : Surface du sous bassin.

$i_{tc}$  : Intensité moyenne maximale des précipitations pendant une durée égale au temps de concentration en mm/h.

$C$  : coefficient de ruissellement de la crue considérée pour une probabilité  $P\%$ .

Cette formule est bien adaptée pour les cas d'études sur les petits bassins (de même que pour des réseaux d'assainissement urbains ou ruraux). (Taha et Hugo et Bobee et Lemonier, 2001)

### IV.2.3. Formule de Sokolovski

Le débit maximum probable est donné par la formule suivante :

$$Q_{max} = \frac{0,28 \cdot P_{tc} \cdot C \cdot S \cdot f}{T_c}$$

$Q_{max}$  : Débit max (m<sup>3</sup>/s)

$P_{tc}$  : Pluie durant le temps de concentration (mm)

$C$  : coefficient de ruissellement.

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

$f$  : Coefficient caractérisant de la forme de l'hydrogramme.

$T_c$  : Temps de concentration (en heure).

Le coefficient de forme de la crue peut être calculé par la formule :

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma}$$

- ❖ Pour  $S < 50 \text{ km}^2$  on a  $\gamma = 2$
- ❖ Pour des petits bassins non boisés, sol peu perméable, on a :  $\gamma = 2 \div 2.5$
- ❖ Pour bassin boisé, sol perméable on a :  $\gamma = 3 \div 4$ .

Puisque le bassin a une surface inférieure à 50 Km<sup>2</sup> on prend :  $\gamma = 2$  ; alors :

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma} = 1.2$$

#### IV.2.4. Formule de GIANDOTTI

$$Q_{max} = \frac{K \cdot S \cdot P_{tc} \cdot \sqrt{H}}{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}$$

$Q_{max}$  : Débit max (m<sup>3</sup>/s)

K : coefficient topographique (0,13)

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

L : longueur du talweg principale (km)

$P_{tc}$  : Pluie durant le temps de concentration Tc (mm)

H : H moy – H min = 49,2 mm

Les débits de crues de bassin par les différentes formules sont représentés dans le tableau IV.6.

Tableau IV.6 : Débits de crues du bassin versant par différents modèles

Débit de crue en (m <sup>3</sup> /s)					
Période de retour (ans)	$P_{tc}$	Formule de MALLET GAUTHIER	Formule de TURAZZA	Formule de GIANDOTTI	Formule de SOKOLOVSKI
10	18,12	22,48	4,95	3,24	7,04
50	25,42	28,85	6,94	4,54	9,87
100	28,51	31,20	7,78	5,10	11,07
1000	38,70	37,97	10,56	6,92	15,03

Nous adoptons les débits maximaux des crues données par la formule de SOKOLOVSKI, étant donné que la méthode adoptée est la plus utilisée en Algérie pour le tracé de l'hydrogramme de crue.

#### IV.3. Hydrogrammes des crues

Les Hydrogrammes de crues pour diverses fréquences sont évalués par la méthode de Sokolovski qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques.

➤ La montée de la crue :  $Q_{\max} = Q_{\max p} \left[ \frac{t}{t_m} \right]^n$

➤ La décrue :  $Q_{\max} = Q_{\max p} \left[ \frac{t_d - t}{t_d} \right]^m$

Avec :

$t_m$  : temps de montée de la crue;

$t_d$  : temps de la décrue;

$m, n$  : puissance des équations  $m = 2, n = 3$ ;

$t_m = t_c$  et  $t_d = \gamma \cdot t_c$  ; On prend  $\gamma = 2$

Les débits de crues des différentes périodes de retour de bassin versant sont donnés aux tableaux IV.7:

Tableau IV. 7 : Valeurs du débit de crues

<b>T (min)</b>	<b>1000 ans</b>	<b>100 ans</b>	<b>50 ans</b>	<b>10 ans</b>
<b>0</b>	0	0	0	0
<b>15</b>	0,10	0,81	0,18	0,25
<b>30</b>	0,77	6,47	1,43	2,01
<b>49,8</b>	1,84	15,34	3,40	4,76
<b>65</b>	3,81	31,80	7,04	9,87
<b>80</b>	0,65	5,39	1,19	1,67
<b>99,6</b>	0,18	1,48	0,33	0,46
<b>115</b>	0,05	0,44	0,10	0,14
<b>130</b>	0,02	0,15	0,03	0,05
<b>149,4</b>	0,00	0,00	0,00	0,00

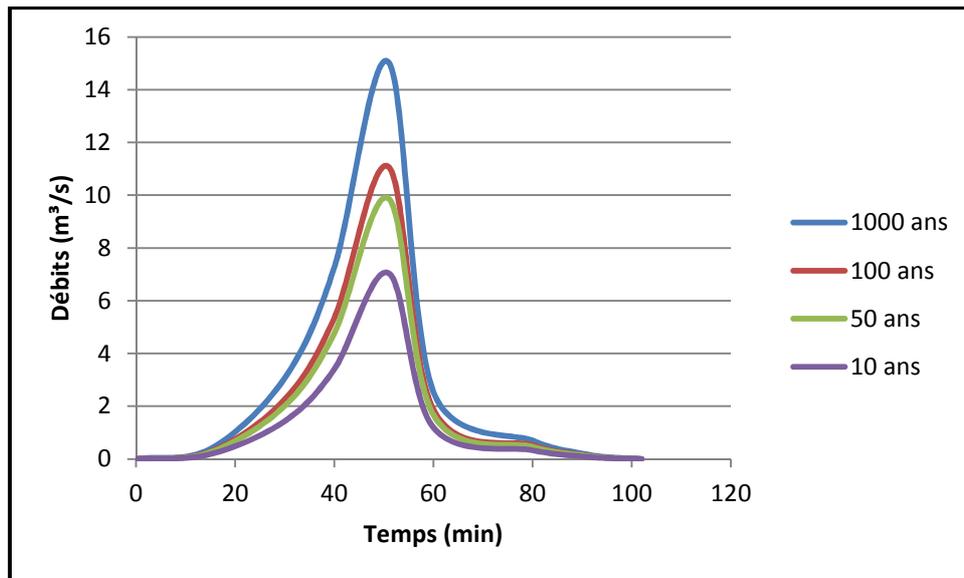


Figure IV.4: Hydrogrammes de crues

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des crues dans le temps.

Finalement, une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs des crues qui traversant la zone d'étude qui nous permettront de faire le dimensionnement et le calcul hydraulique de l'ouvrage de protection de cette ville contre les risques des inondations.

#### IV. Conclusion

Cette partie du travail a concerné l'évaluation des différents paramètres relatifs à la première zone des sources d'inondations qui est le chevelu hydrographique. L'évaluation des paramètres hydrologiques permet de se fixer sur les actions à mener au niveau de l'oued pour la prise en charge quantitative et qualitative des écoulements sans nuisances.

## **B. Etudes des aménagements de protection contre les crues**

### **I. 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 dans le but d'assurer une protection suffisante contre les inondations.

Le mode de protection dépend aussi bien des paramètres de base (débit à évacuer, fréquence d'occurrence) que de la configuration du milieu physique par rapport au tissu urbain.

Deux alternatives sont souvent adoptées :

- Interception des crues à l'amont des agglomérations, (écrêtements, dérivations.....etc.)
- Aménagement du milieu physique au passage de l'agglomération.

Pour le centre d'El Gouassir, et en fonction de l'étude hydrologique élaborée et particulièrement les paramètres de base liés au dimensionnement des ouvrages de protection aussi que le levé topographique (profil en long, profils en travers) , il sera procédé dans une première étape à la vérification des capacités de transit de l'oued pour la mise en évidence des zones d'inondations et au redimensionnement et recalibrage permettant une protection efficace.

### **II. Typologie des aménagements hydrauliques proposés pour la protection du centre d'El Gouassir contre les inondations**

Un aménagement hydraulique comporte différents ouvrages unitaires de nature diverse tell que (barrages, ouvrages de dérivation, etc.) interconnectés entre eux par d'autres ouvrages linéaires de liaison (canaux à ciel ouvert, collecteurs enterrés, etc.). Plusieurs variantes peuvent être envisagées pour la protection du centre d'El Gouassir contre les inondations :

- Traitement agricole tel que le reboisement des versants à forte pente et instables ;
- Traitement hydro-agricole tel que la réalisation d'un canal pour l'évacuation des eaux pluviales ;
- Correction torrentielle ;

- Gabionnage ;
- Recalibrage de l'oued.
- Recalibrage des ouvrages d'art.

### III. Etude des écoulements

Dans l'écoulement à surface libre, le liquide s'écoule à une surface libre sous l'action de son poids propre et la pression atmosphérique à travers des canaux naturels ou artificiels:

- Les canaux naturels sont les cours d'eau sans aménagement tels que les rivières, les torrents, les fleuves, les oueds et les estuaires qui possèdent des sections irrégulières.
- Les canaux artificiels sont les canaux construits par l'homme en béton, en maçonnerie, comme les canaux d'adduction, d'évacuation, d'irrigation et de drainage

Ces écoulements se caractérisent par une hauteur d'écoulement petite par rapport à la longueur d'écoulement. (Graf et Altinakar, 1992)



*Photo IV.1 : Canal naturel (Abdeddaim, 2008)*



Photo IV.2 : Canal artificiel en béton (Abdeddaim, 2008)

Selon la variabilité des différents paramètres (le débit, la géométrie, la hauteur d'eau, la pente, la rugosité) par rapport au temps et l'espace ; il existe plusieurs régimes d'écoulement.

### III.1. Ecoulement uniforme et non uniforme

L'écoulement est uniforme si pour une longueur donnée du canal, la vitesse, la profondeur, la pente et la section du canal restent constantes :

$$\frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial X} = 0$$

Dans ce cas la ligne de charge, la surface d'eau ainsi que le radier sont parallèles.

### III.2. Ecoulement permanent et non permanent

Si les caractéristiques de l'écoulement (Vitesse, profondeur, débit) restent constantes dans une section du canal, et ne change pas par rapport au temps, l'écoulement est dit permanent.

En régime permanent le débit (Q) et la profondeur d'eau (y) sont constants dans le temps. Le régime permanent peut être uniforme ou varié (graduel, rapide) selon la géométrie du canal.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial t} = 0$$

### III.3. Ecoulement fluvial, critique et torrentiel

Le nombre de Froude qui est le rapport entre les forces d'inertie et celles de gravité. Il permet la classification des régimes d'écoulement.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot yh}}$$

$$yh = \frac{S}{B}$$

$yh$  : Profondeur hydraulique

$B$  : Largeur au miroir du canal

$V$  : Vitesse moyenne

Le rôle du nombre de Froude est de permettre le classement des écoulements.

- Si  $V > \sqrt{g \cdot yh} \Rightarrow Fr > 1$  Le régime est torrentiel;
- Si  $V < \sqrt{g \cdot yh} \Rightarrow Fr < 1$  Le régime est fluvial;
- Si  $V = \sqrt{g \cdot yh} \Rightarrow Fr = 1$  Le régime est critique;

La figure IV.5 schématise les différentes classifications des régimes relatifs aux écoulements à surface libre.

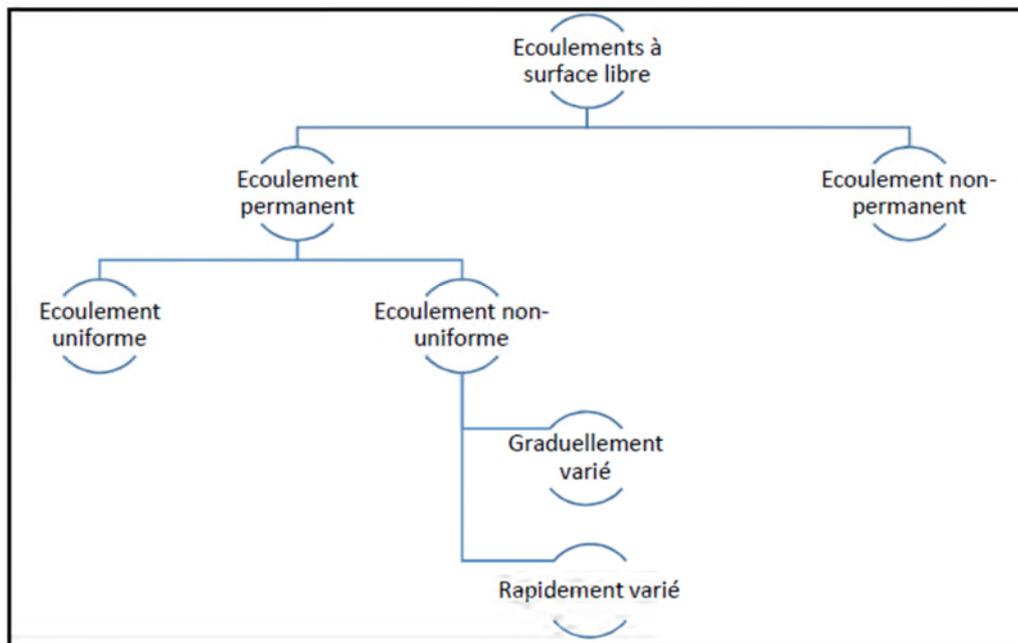


Figure IV.5 : Classification des écoulements à surface libre (Guesri, 2014)

#### IV. Calcul des paramètres hydrauliques

Pour les besoins des calculs, on a utilisé la formule de Chézy.

$$Q = C \cdot S_m \cdot \sqrt{R_h \cdot i}$$

Avec :

Q : Débit (m<sup>3</sup>/s)

C : Coefficient de Chézy calculé par l'équation suivante :

$$C = \frac{1}{n} \cdot R_h^{1/6}$$

n : Coefficient de Manning exprimant la rugosité est égale à = 0,02 (K=50) pour les canaux en terre.

i : La pente du fond du canal

S<sub>m</sub> : Section mouillée (m<sup>2</sup>)

R<sub>h</sub> : Rayon hydraulique (m) ;  $R_h = S_m / P_m$

P<sub>m</sub> : Périmètre mouillé (m)

##### IV.1. Profil en long du cours d'eau

Le profil en long permet d'estimer la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant, ce temps de concentration étant lié à la vitesse de propagation des ondes de crues.

La figure IV.6 donne le profil en long de l'oued traversant en bief.



## IV.2. Choix des sections de contrôle et profils en travers

Sur la base du plan de masse, il a été opéré au choix de sections de contrôle au niveau desquelles les vérifications hydrauliques de capacités de transit seront élaborées.

La figure VI.7 donne la vue en plan de l'oued avec matérialisation des sections de contrôle.

Sur la base de cette investigation, il a été procédé à l'élaboration des profils en travers de l'oued. Les figures de IV.8 à IV.22 donnent, pour chaque section, les profils en travers servant aux vérifications hydraulique.

## IV.3. Vérification des capacités de transit de l'oued

Le tableau IV.8 représente la vérification des capacités de transit pour différentes sections de contrôle.

Tableau IV.8 : Capacités des transits de l'oued

Sections	Y (m)	S <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> )	P <sub>m</sub> (m)	R <sub>h</sub> (m)	I (m/m)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)
3	2,47	14,19	10,69	1,33	0,078	52,42	239,33	16,87
4	2,72	17,33	11,52	1,50	0,029	53,52	193,73	11,18
6	2,73	12,98	11,48	1,13	0,031	51,03	124,02	9,55
8	2,36	13,9	10,02	1,39	0,044	52,80	181,33	13,05
10	1,93	10,26	9,26	1,11	0,0013	50,86	19,81	1,93
12	2,98	30,65	16,1	1,90	0,044	55,66	493,78	16,11
13	2,23	8,52	9,82	0,87	0,013	48,83	44,18	5,19
14	2,24	12,04	10,46	1,15	0,034	51,19	121,92	10,13
17	2,5	19,1	12,5	1,53	0,04	53,66	253,39	13,27
19	3,05	14,6	10,1	1,45	0,055	53,17	218,87	14,99
21	1,7	7,44	8,04	0,93	0,064	49,36	89,37	12,01
23	2,3	15,05	34,31	0,44	0,03	43,58	75,25	5,00
24	2,34	9,42	9,5	0,99	0,03	49,93	81,12	8,61
26	1,31	6,84	8,32	0,82	0,02	48,39	42,45	6,21

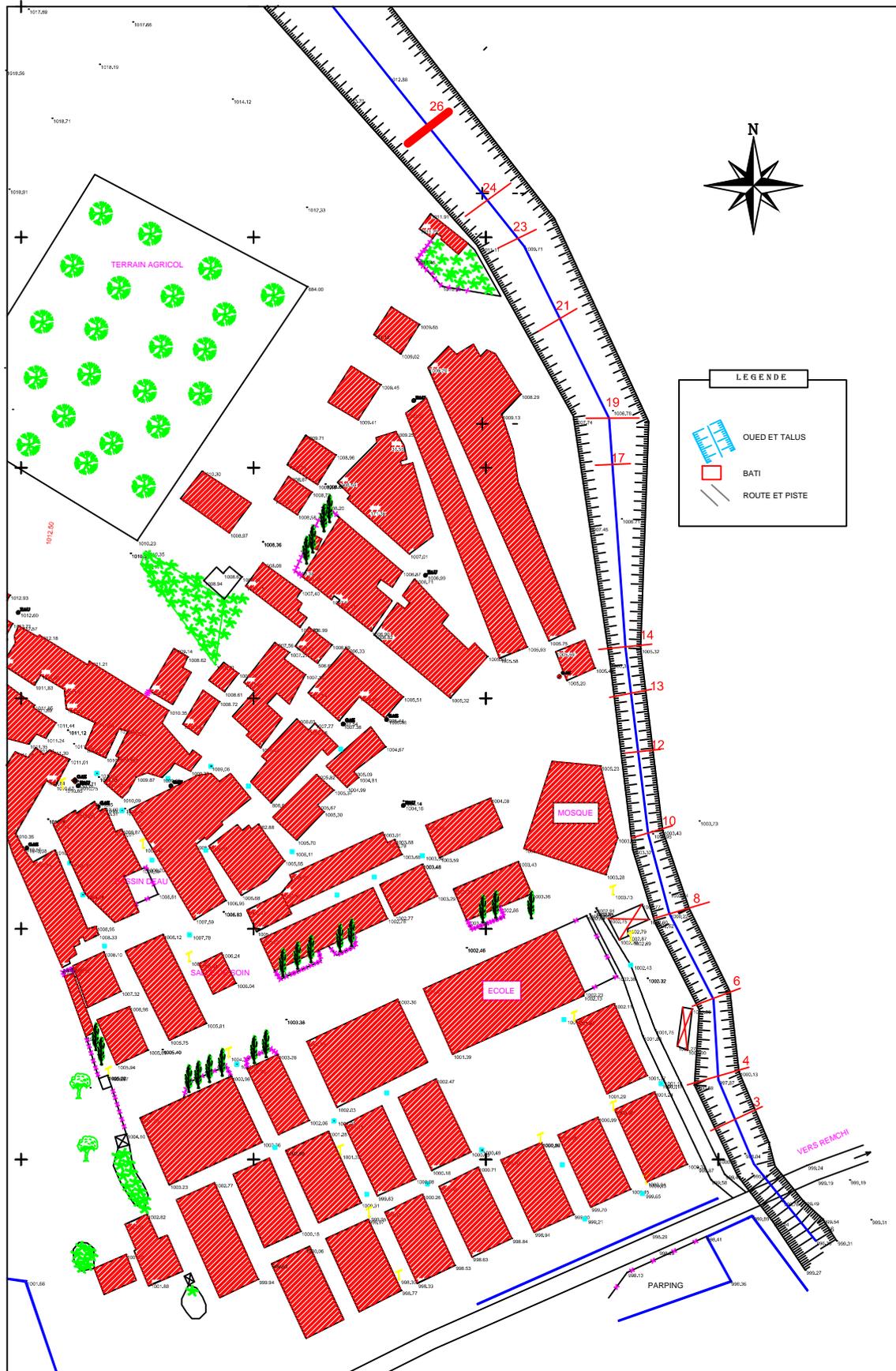


Figure IV: Vue en Plan de l'Oued  
 ECHELLE: 1/1 600









#### IV.4. Evaluation des surélévation de niveau d'eau dues aux courbures de l'oued

A travers ces calculs hydraulique, il ressort les conclusions suivantes :

- Des irrégularités planimétriques et altimétriques des différentes sections.
- Des pentes de l'oued très dispersives allant de 1,3‰ à 7,8 %.
- Des rayons hydrauliques très variés, variant de 0,44 m à 1,90 m.

Toutes ces considérations débouchent sur un aspect qualitatif des écoulement indésirable. En plus, si le levé topographique utilisé est fiable, il est enregistré au niveau de la section 10 une insuffisante sur la capacité de transit de l'oued.

Ainsi, il est constaté des courbures de l'oued donnant naissance à des surélévations des tirants d'eau qu'il ya lieu d'évaluer.

La courbe qui se trouve dans un canal rectiligne provoque un changement de direction de l'écoulement. Si le débit  $Q$  à travers la courbe, la vitesse moyenne  $U$ , ainsi que la surface restent constants, le changement de courbure provoque une surélévation sur la berge extérieure due à la force centrifuge de l'écoulement.

La figure IV.22 illustre les paramètres hydraulique provoqués par les courbures des canaux naturels ou artificiels.

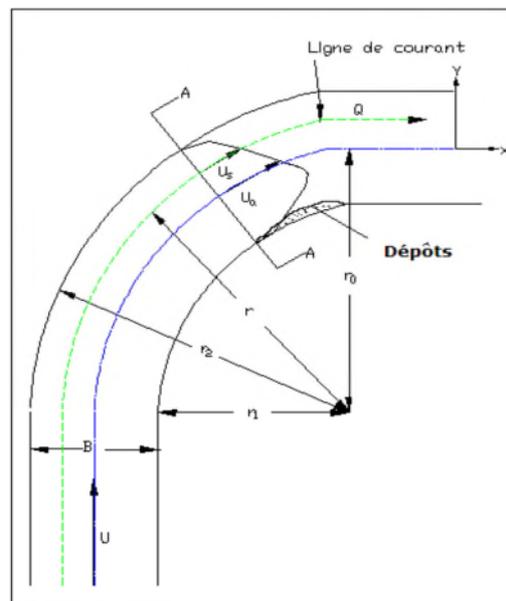


Figure IV.22 : Paramètres d'écoulement au niveau des courbures

Les courbures induisent des surélévation  $\Delta H$  des niveau d'eau évaluées par :

$$\Delta H = \frac{V^2 \cdot L}{g \cdot r}$$

V : vitesse moyenne de l'écoulement en m/s.

r : rayon de courbure moyen du au changement de direction.

L : largeur d'écoulement.

(V<sup>2</sup>/r) : Accélération centrifuge.

#### IV.5. Evaluation des revanches réglementaires pour les écoulements dans les canaux à surface libre

Par rapport au tirant d'eau correspondant à la crue de projet, il convient d'ajouter une revanche pour éviter les risques de débordements.

$$R = 0,6 m + 0,05 \cdot V \cdot \sqrt[3]{Y}$$

V : vitesse moyenne en m/s.

Y : Tirant d'eau en m.

Le tableau IV.9 donne le calcul des revanches R à aménager au niveau des écoulements dans les canaux.

Tableau IV.9 : Evaluation des revanches

N° de section	23	19	14	10	8	6	4
Vitesses (m/s)	5	14,99	10,13	1,93	13,05	9,55	11,18
Y (m)	2,3	3,05	2,24	1,93	2,36	2,73	2,72
R (m)	0,93	1,69	1,26	0,72	1,47	1,27	1,38

La figure IV.23 donne la schématisation des paramètres servant à l'évaluation des surélévations du plan d'eau.

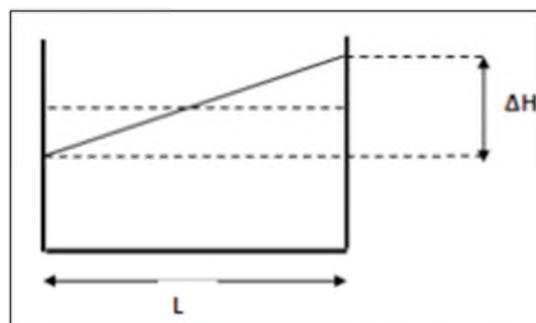


Figure IV.23 : Paramètres de surélévation du plan d'eau

En fonction de l'évaluation des rayons courbures de l'oued sur la base du plan topographique, il a été procédé à l'évaluation des surélévations  $\Delta H$  au niveau des sections de l'oued présentant des tracés non rectilignes.

Le tableau VI.10 récapitule les calculs des hauteurs de surélévation  $\Delta H$ .

Tableau IV.10 : Calculs des hauteurs de surélévation provoquées par les courbures de l'oued

N° de section	23	19	14	10	8	6	4
<b>v (m/s)</b>	5	14,99	10,13	1,93	13,05	9,55	11,18
<b>L (m)</b>	3,471	3,2	1,39	1,4	1,59	1,53	2
<b>r (m)</b>	54	13,2	19,8	31,5	30,7	13,2	14,5
<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	0,16	5,55	0,73	0,02	0,90	1,08	1,76

Sinon comptabilise cet incrément de surélévation provoqué par les courbures de l'oued, il est impératif de vérifier les capacités de transit des sections de contrôle.

Le tableau IV.11 donne en tenant compte des valeurs calculées  $\Delta H$  de transit de l'oued.

Tableau IV.11 : Capacités de transit de l'oued tenant compte des courbures de son tracé

Sections	Y- $\Delta H$ (m)	$S_m$ (m <sup>2</sup> )	$P_m$ (m)	$R_h$ (m)	I (m/m)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)
<b>4</b>	0,96	12,02	9,59	1,25	0,029	51,92	118,98	9,90
<b>6</b>	1,65	5,34	6,72	0,79	0,031	48,12	40,33	7,55
<b>8</b>	1,46	6,87	7,71	0,89	0,044	49,05	66,72	9,71
<b>10</b>	1,91	1,86	6,25	0,30	0,0013	40,85	1,49	0,80
<b>12</b>	2,98	30,65	16,1	1,90	0,044	55,66	493,78	16,11
<b>14</b>	1,51	4,16	6,6	0,63	0,034	46,30	28,19	6,78
<b>23</b>	2,14	6,55	8,09	0,81	0,03	48,27	49,28	7,52

## V. Protection des berges de l'oued

Le type d'aménagement fluvial le plus courant est la protection des berges contre les crues appelée le revêtement constituent la forme la plus courante d'aménagement fluvial (figure IV.24). Ils se composent d'une couche de matériaux résistant à l'érosion qui recouvre le matériau érodable des berges, et parfois même de l'oued. On utilise pour cela différents matériaux : enduits géotextiles ; etc. (Benmia, 2013)

Le choix des matériaux le plus adopté doit s'effectuer à un stade précoce du projet. Les enrochements peuvent être placés directement sur les berges ou le lit à protéger. Néanmoins ; on recommande souvent de les placer sur une sous couche de transition entre l'enrochement moyen de la carapace et les matériaux fins et érodable des fondations. La sous couche peut être constituée de roche broyée ou de galets qui empêche toute érosion du sous-sol à travers les vides de la protection. Il est possible d'utiliser des géotextiles dans le système de filtration, en parallèle ou à la place du filtre granulaire. La sous couche permet à la fois de réduire que les matériaux des fondations ne soit emporté dans la carapace, et le risque que celle-ci perfore le sous-sol. (Benmia, 2012)

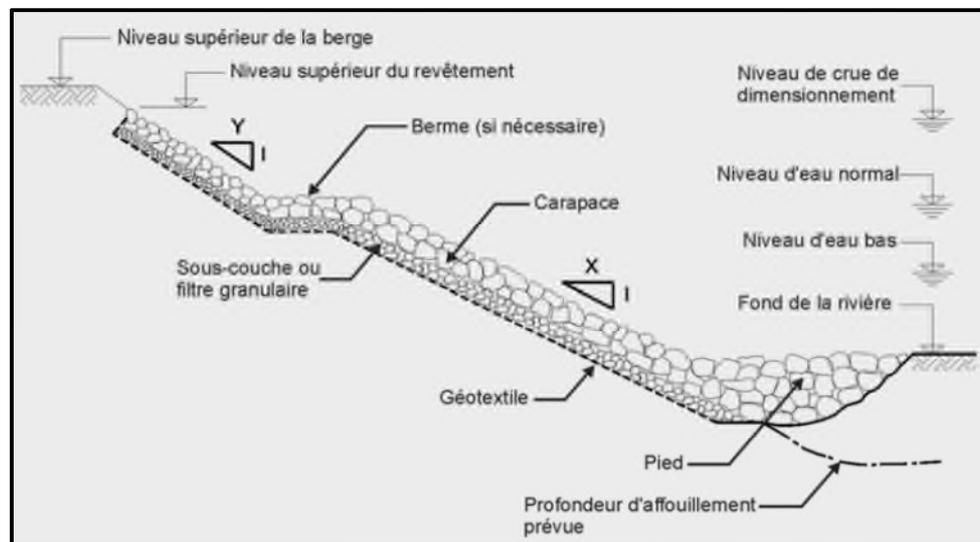


Figure VI.24 : Eléments constitutif d'un revêtement en enrochement classique

(Tappin et Van et Haque, 1998)

## C. Etude des aménagements de protection contre les eaux pluviales

### I. Critères topographiques de projection

Le centre d'El Gouassir est surplombé par un important flanc marneux dans la zone Est. Le pendage de ce flanc est dirigé Est-Ouest et provoque lors des pluies intenses des ruissellements importants avec des érosions considérables qui prennent exutoire au niveau du tissu urbain.

Pour les différentes conceptions de protection de cette zone, on utilise les résultats de l'analyse des averses abordés dans la partie A de ce chapitre où l'intensité maximale des averses est  $i = 80,55 \text{ l/s/Ha}$

Pour les besoins de la protection, on peut envisager la projection d'un canal de colature longeant le tissu urbain dans la direction Sud-Nord.

La figure IV.25 schématise l'implantation en plan du canal de protection.

Le tableau IV.12 donne les pentes et distances des tronçons du canal projeté.

Tableau IV.12 : Caractéristiques géométriques du canal de protection

Tronçons	Pentes (%)	Longueurs (m)
Départ Nord – cd4	1,69	36
cd4-cd3	2,18	45,8
cd3-cd2	4,09	48,9
cd2-cd1	1,96	51,1
cd1-cc2	2,24	46
cc2-cc3	1,32	75,6
cc3-cc4	2,38	42
cc4-cc5	2,17	46,1
cc5-cc6	1,52	47,5
cc6-cc7	0,59	42,7
cc7-cc8	5,17	39,3
cc8-cc9	5,43	36,8

<b>cc9-cc10</b>	5,49	36,4
<b>cc10-cc11</b>	6,78	29,5
<b>cc11-cc12</b>	10,47	19,1
<b>cc12-cc13</b>	15,38	19,5
<b>cc13-cc14</b>	15,38	13
<b>cc14-cc15</b>	15,71	19
<b>cc15-cc16</b>	1,02	39,3
<b>cc16-cc17</b>	1,29	77,8
<b>cc17-cc18</b>	2,01	32,8
<b>cc18-cc19</b>	2,76	45,5
<b>cc19-cc20</b>	2,89	34,6
<b>cc20-cc21</b>	3,81	50,9
<b>cc21-cc22</b>	1,66	15,1
<b>cc22-cc23</b>	0,98	52,3
<b>cc23- fin Sud</b>	1,81	56,8

En fonction de pendage Nord-Sud du flanc, le canal d'évacuation des eaux pluviales prendra deux directions avec deux rejets. Un rejet Nord au niveau de l'oued El Gouassir et un rejet Sud au niveau de l'oued Boukiou.



Figure IV.25: Plan de masse avec implantation du canal de protection

ECHELLE : 1/ 1 000

## II. Dimensionnement hydraulique du canal

La section en travers du canal sera de forme trapézoïdale.

### II.1. Dimensionnement des canaux

La vitesse d'écoulement peut être déterminée par plusieurs formules déduites de la formule de CHÉZY, on distingue donc:

$$V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$$

Sachant que :  $Q = S \cdot V$  on obtient :  $Q = S \cdot C \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$

Avec

$C$  : Coefficient de Chézy.

$S$  : Section mouillée (m<sup>2</sup>).

$R_h$  : Rayon hydraulique (m).  $R_h = S_m \cdot P_m$

$I$  : Pente du fond du canal.

$$C = \frac{1}{n} R_h^{\frac{1}{6}}$$

Avec

$C$  : Coefficient de Chézy.

$n$  : La rugosité.

$R_h$  : Rayon hydraulique (m).

La formule de MANING-STRICKLER permet de transformer la formule de Chézy pour obtenir :

$$V = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Où :

$K_s$  : Coefficient de rugosité de STRICKLER.

$R_h$  : Le rayon hydraulique (m).

$I$  : la pente du radier.

### II.1.1. Le choix de la section optimale

Le profil de meilleure conductivité est le profil qui véhicule le débit maximum avec le minimum d'énergie.

Pour un canal de pente  $J$  et de coefficient de rugosité  $n$ , la section qui véhicule le débit maximum  $Q_{max}$  est celle où le rayon hydraulique  $R_h$  est maximal, et la section  $S$  est minimale.

Parmi toutes les formes de section, la section trapézoïdale est celle qui satisfait le rayon hydraulique maximum dans les conditions techniques de réalisation. (Boudjerda, 2005)

$$S_m = Y \cdot (b + m \cdot Y)$$

$$P_m = b + 2Y \cdot \sqrt{(1 + m^2)}$$

Avec

$m$  : Le fruit des talus,  $m = 1$  et  $\alpha = 45^\circ$  dans la section la plus avantageuse.

$Y$  : Le tirant d'eau maximum (pour  $Q_{max}$ ), en m.

$b$  : La largeur du canal, en m.

### II.1.2. Calcul du rayon hydraulique maximal

On a :

$$R_h = S_m / P_m$$

Tableau IV.13 : Paramètres géométriques d'un canal à section trapézoïdale

Désignations	Expressions
$B$	$b + 2 \cdot m \cdot Y$
$S_m$	$Y (b + m \cdot Y)$
$P_m$	$b + 2Y \sqrt{(1 + m^2)}$
$R_h$	$S_m / P_m$

## II.2. Calculs hydrauliques du canal de protection

Le tableau IV.14 récapitule tous les calculs de capacités de transit des différentes sections du canal.

Tableau IV.14 : Calculs des capacités de transit du canal de protection

Sections	L (ml)	I %	$S_m$ (m <sup>2</sup> )	$P_m$ (m)	$R_h$ (m)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)
<b>Départ Nord</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>cd4</b>	36	1,69	0,86	2,52	0,34	69,66	4,55	5,29
<b>cd3</b>	45,8	2,18	0,6	2,11	0,28	67,58	3,19	5,32
<b>cd2</b>	48,9	4,09	0,6	2,09	0,29	67,68	4,4	7,33
<b>cd1</b>	51,1	1,96	0,62	2,13	0,29	67,84	3,18	5,13
<b>cc2</b>	46	2,24	0,36	1,63	0,22	64,79	1,64	4,56
<b>cc3</b>	75,6	1,32	0,67	2,21	0,3	68,3	2,89	4,31
<b>cc4</b>	42	2,38	0,66	2,2	0,3	68,18	3,8	5,76
<b>cc5</b>	46,1	2,17	0,84	2,48	0,34	69,58	5,01	5,96
<b>cc6</b>	47,5	1,52	1,05	2,77	0,38	70,89	5,65	5,38
<b>cc7</b>	42,7	0,59	1,5	3,33	0,45	72,96	5,64	3,76
<b>cc8</b>	39,3	5,17	0,94	2,33	0,4	71,63	9,72	10,34
<b>cc9</b>	36,8	5,43	0,94	2,62	0,36	70,25	9,22	9,81
<b>cc10</b>	36,4	5,49	1,05	2,77	0,38	70,89	10,74	10,23
<b>cc11</b>	29,5	6,78	0,94	0,62	1,52	89,32	26,92	28,64
<b>cc12</b>	19,1	10,47	0,84	2,48	0,34	69,58	11,01	13,11
<b>cc13</b>	19,5	15,38	0,75	2,34	0,32	68,94	11,48	15,31
<b>cc14</b>	13	15,38	0,74	2,34	0,32	68,78	11,23	15,18
<b>cc15</b>	19	15,71	0,75	2,35	0,32	68,89	11,57	15,43
<b>cc16</b>	39,3	1,02	2,09	3,92	0,53	75,04	11,57	5,54
<b>cc17</b>	77,8	1,29	2,4	4,22	0,57	75,85	15,59	6,50
<b>cc18</b>	32,8	2,01	2,25	4,08	0,55	75,46	17,88	7,95
<b>cc19</b>	45,5	2,76	1,95	3,8	0,51	74,56	17,3	8,87
<b>cc20</b>	34,6	2,89	1,95	3,8	0,51	74,56	17,71	9,08
<b>cc21</b>	50,9	3,81	2,15	3,98	0,54	75,2	23,2	10,79
<b>cc22</b>	15,1	1,66	2,25	4,08	0,55	75,46	16,25	7,22
<b>cc23</b>	52,3	0,98	3,06	4,78	0,64	77,36	18,75	6,13
<b>Fin Sud</b>	56,8	1,81	2,9	4,75	0,61	76,75	23,4	8,07

Avec

L : La largeur du canal (m) ;

I : La pente du radier (%) ;

$S_m$  : La surface mouillée du canal (m<sup>2</sup>) ;

$P_m$  : Le périmètre mouillé du canal (m) ;

$R_h$  : Le rayon hydraulique (m) ;

C : Coefficient de Chézy ;

Q : Débit moyen de l'écoulement (m<sup>3</sup>/s) ;

V : vitesse moyenne de l'écoulement (m/s).

En ce qui concerne les surfaces élémentaires drainées par les différents tronçons du canal et en fonction de l'intensité, décennale de la pluie évaluée précédent, le tableau IV.15 donne les calculs relatifs à l'évaluation des surfaces drainant les eaux pluviales.

Tableau IV.15 : Surfaces de drainage des eaux pluviales

Tronçons	Débits (m <sup>3</sup> /s)	Surfaces (Ha)
<b>Départ Nord – cd4</b>	4,55	56,49
<b>cd4-cd3</b>	3,19	39,60
<b>cd3-cd2</b>	4,4	54,62
<b>cd2-cd1</b>	3,18	39,48
<b>cd1-cc2</b>	1,64	20,36
<b>cc2-cc3</b>	2,89	35,88
<b>cc3-cc4</b>	3,8	47,18
<b>cc4-cc5</b>	5,01	62,20
<b>cc5-cc6</b>	5,65	70,14
<b>cc6-cc7</b>	5,64	70,02
<b>cc7-cc8</b>	9,72	120,67
<b>cc8-cc9</b>	9,22	114,46
<b>cc9-cc10</b>	10,74	133,33
<b>cc10-cc11</b>	26,92	334,20
<b>cc11-cc12</b>	11,01	136,69
<b>cc12-cc13</b>	11,48	142,52
<b>cc13-cc14</b>	11,23	139,42
<b>cc14-cc15</b>	11,57	143,64
<b>cc15-cc16</b>	11,57	143,64
<b>cc16-cc17</b>	15,59	193,54
<b>cc17-cc18</b>	17,88	221,97
<b>cc18-cc19</b>	17,3	214,77
<b>cc19-cc20</b>	17,71	219,86
<b>cc20-cc21</b>	23,2	288,02
<b>cc21-cc22</b>	16,25	201,74
<b>cc22-cc23</b>	18,75	232,77
<b>cc23- Fin Sud</b>	23,4	290,50

### **III. Conclusion**

Cette partie du travail, en se basant sur les études antérieures a permis d'élaborer l'étude hydrologique au niveau du bassin versant drainé par l'oued ainsi que, l'analyse des averses pour les besoins d'évaluation des paramètres relatifs à la protection contre les eaux pluviales.

Les paramètres de référence : crues pour le chevelu hydrographique et intensités de pluies pour les eaux pluviales ainsi évalués ont constitués les éléments de base pour la projection et la conception des ouvrages de protection.

***CONCLUSION  
GENERALE***

## Conclusion générale

L'analyse des phénomènes d'inondation est complexe et multicritère. Les paramètres liés à l'ampleur des événements hydrologiques, aux caractéristiques du milieu physique, aux contraintes d'urbanisation, à l'entretien des ouvrages de passage .....etc doivent être intégrés tous dans une vision d'ensemble. Les types de protection varient d'un cas à un autre et il n'y pas de conception type qui peut être adoptée pour l'ensemble des situations. Suite à l'achèvement de ce modeste travail, de multiples conclusions ont été déduites à différentes échelles.

En premier : la contribution bibliographique a eu le mérite de nous permettre d'explicitier les détails relatifs à la causalité des phénomènes en abordant de multiples aspects en relation avec la genèse des crues et leurs formations, avec les notions de risques et aléas d'inondation, les ; méthodes de leur gestion ainsi que l'ensemble des paramètres d'influence.

Un autre volet de la contribution bibliographique a concerné les procédés et conceptions des protections contre les inondations en fonction de leurs sources de genèse et du type du problème posé.

Chaque typologie d'inondation doit être abordée d'une manière singulière.

Beaucoup de procédés de protection contre les inondations existent et la difficulté réside dans le choix du ou des procédés à adopter pour que la protection soit efficace et durable (recalibrage des oueds, endiguement, écrêtement, correction torrentielle, bassins d'amortissement, dérivations ou autres).

Au niveau du centre d'El Gouassir deux types d'inondations ont été enregistrés :

Inondations provenant du chevelu hydrographique longeant le tissu urbain du centre.  
Inondations provenant des surfaces drainant des eaux pluviales sur le flanc Est à fortes pentes.

Les modes de protection à ces deux niveaux ne pouvaient en aucun cas être définis et conçus sans le recours aux études préliminaires relatives à la définition des paramètres de genèse et de manifestation. Ainsi, plusieurs volets liés à ces études ont été abordés dans le détail :

- Au niveau du chevelu hydrographique.

L'oued El Gouassir draine un bassin versant qui a nécessité une étude morphométrique permettant de mettre au point tous les paramètres d'influence du bassin versant et sa réponse vis-à-vis des précipitations.

Ce bassin versant de forme très allongée possède un relief assez fort, un temps de concentration relativement faible induisant de forts débits instantanés. La valeur de la densité de drainage témoigne de fortes capacités de drainage de l'oued avec un caractère torrentiel des écoulements.

Dans une deuxième phase, et dans l'objectif de caractériser le climat de la région, les données de la station de Zenâta ont été utilisées sur une période intéressante (1980- 2014). Cette étude a englobé l'analyse des précipitations, des températures, l'évaluation des différents indices climatiques permettant la classification du climat. Cette partie de l'étude a été suivie, dans l'objectif d'évaluer les paramètres de base de conception des procédés de protection par une étude hydrologique qui a débouché sur l'étude des averses par l'analyse des séries de pluies maximales journalières, leur ajustement statistique et la définition des fréquences de ces précipitations afin de régler le choix de la période de retour de référence.

L'étude des crues a pris une part importante par la définition de la valeur et de la fréquence de la crue de base servant à la conception et au dimensionnement des aménagements de protection.

➤ Au niveau des zones drainant des eaux pluviales.

Pour cette zone les intensités de précipitations ont fait l'objet également d'analyse par l'étude des averses de courtes durées et l'établissement des courbe durées – intensités – fréquences.

Toutes ces investigations multiples ont été consolidées par l'utilisation des différents documents topographiques permettant la projection des ouvrages de protection.

Le profil en long de l'oued a été analysé pour la définition de ses pentes et pour le choix des sections de contrôle. Au niveau des nombreuses sections choisies, la vérification des capacités de transit de l'oued a été effectuée en fonction des caractéristiques physiques des sections donnant naissance à des sections critiques sur le plan planimétrique et altimétrique. L'aspect qualitatif des écoulements a été également analysé par l'évaluation des paramètres hydrologiques au niveau des points singuliers portant préjudice soit aux capacités de transit soit aux manifestations des écoulements.

Ces différents études et analyses ont eu pour objectifs finaux la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en l'occurrence.

- ✓ Recalibrage et reprofilage de l'oued.
- ✓ La projection d'un canal de colature trapézoïdal avec deux niveaux de rejets.

En fin, tenant compte de la nature géologique des sols de la région, l'érosion et le transport solide peuvent constitués des contraintes majeures soit en terme de l'aspect qualitatif des écoulements, soit en terme de réduction des capacités des ouvrages d'évacuation.

A cet effet nous recommandons deux actions principales :

- ✓ Traitement des versants d'eaux pluviales.
- ✓ Correction torrentielle par des seuils en gabions à l'amont de la traversée du tissu urbain.

# ***BIBLIOGRAPHIE***

## Références bibliographiques

- Abdeddaim. H, 2008. Contribution à la mise en œuvre d'une méthode d'analyse du risque d'inondation et de prévision des solutions d'aménagement, Thèse de magister, Université de Batna.
- Aboura. R, 2006. Comparaison phyto-écologique des atriplexaies situées au nord et au sud de Tlemcen, Mémoire de magistère, Université de Tlemcen.
- Agence spatiale Algérienne, 2012. Utilisation des technologies spatiales au service des ressources en eau, Atelier technique, Alger.
- Araf. A, 2012. Application de hec-ressim, swat, et hec-hms dans la gestion de l'eau de la Wilaya de Tlemcen, Mémoire de magister, Université d'Oran.
- ASNOUNI. F, 2014. Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued AL ABD, Mémoire de master, Université de Tlemcen.
- Benmechernane. N, 2013. Etude de protection de la ville de bensekrane (W.Tlemcen) contre les inondations, Mémoire de master, Université de Tlemcen.
- Benmia. K, 2012. Evaluation de la performance des barrages de protection contre les inondations, cas de la ville de Ghazaouet, Thèse de magister, Université de Tlemcen.
- Berni. Z, 2010. Effet des caractéristiques du bassin versant de Mekkerra sur les risques d'inondation (cas de la ville de Sidi Bel-Abbés), Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.
- Berthier. I ,1995. Littoral : protéger terres et mer aux sources du droit, diagonal, France. Bouanani. A, 2004. Hydrologie, transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassins de la Tafna (Nw – Algérie), Thèse de doctorat d'état, Université de Tlemcen.
- Boubchir. A, 2007. Risques d'inondation et occupation des sols dans le thore (région de Labruguière et de Mazamet), Mémoire de Master de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse.
- Boudjerda. M, 2005. Protection contre les inondations de la région de fouka (W.Tipaza), Mémoire de magister, Ecole national supérieur d'hydraulique.
- Boulghobra. N, 2006. Protection de la ville de Skikda contre l'inondation. essai de PPR, Mémoire de Magister, Université De Batna.
- Boumessenagh. A, 2007. Les inondations dans la ville de Biskra, causes et impacts, Thèse de magister, Université de Batna.

- Bravard .J.P et Anne. C, 1991. Les crues et inondations du Rhône, la dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières la houille blanche.
- Chachoua. A, 2010. Gestion de crue dans un bassin versant –Etude hydrologique, hydraulique et aménagement, Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.
- Damien. S, 2005. Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations ; Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique, Thèse de doctorat, l'Université de Marne-La-Vallée, Paris.
- Direction des ressources en eaux (D.R.E), 2008, Schéma directeur d'assainissement, Wilaya de Tlemcen.
- Direction des services agricoles (D.S.A), 2013, W.Tlemcen
- Gérald. G, 1993. Le risque d'inondation en France ; Recherche d'une approche globale du risque d'inondation et de sa traduction cartographique dans une perspective de prévention, Thèse de doctorat, Université Paris.
- Gilard .O et Gendreau .N ,1998. Inondabilité\_ une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants, Revue Sciences de l'eau.
- Gilli.E et Mangan. C et Mudry. J, 2008. Hydrogéologie, Objets, méthodes, applications, 2 eme édition, Dunod, Paris.
- Goudjil. S et Kaci. D, 2009. Recalibrage d'un tronçon de l'oued m'zab, Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique
- Graf.W.H et Altinakar.M.S, 1992. Hydraulique Fluviale, écoulement non permanent et phénomènes de transport, Tome2.
- Grelot. F, 2004. Gestion collective des inondations, peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Université de Paris.
- Guesri. M, 2014. Modélisation hydraulique d'un oued algérien en tenant compte de l'effet de la dissipation d'énergie (cas de l'oued K'sob), Mémoire de master, Université de M'sila.
- Hallouche. B, 2007. Cartographie des zones inondables de la plaine de sidi Bel Abbes par l'approche Hydro géomorphologique, Mémoire de magister, Université de Sidi Bel Abbess.

- Hostache. R, 2006. Analyse d'images satellitaires d'inondation pour la caractérisation tridimensionnelle de l'aléa et l'aide à la modélisation hydraulique, Thèse de Doctorat, Ecole nationale du Génie Rural des Eaux et Forêt, Université de Montpellier.
- Lahlah. S, 2004. Les inondations en Algérie, Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection, Batna
- Lamberet. T, 2009. Projet d'aménagements contre les inondations sur un bassin versant de la ville de Nîmes, Thèse d'ingénieur de l'engées et du master, Ecole national du génie de l'eau et de l'environnement, France.
- Ledoux. B, 2006. La gestion du risque inondation, Edition TEC et DOC 11 rue Lavoisier, Paris.
- Levé topographique, 2008. Plan de masse avec échelle (1/1 000), Bureau d'étude M. Benadda.
- Merabet. A, 2006. Etude de la protection de la ville de sidi Bel Abbés contre les inondations, Mémoire de Magister, Université de Sidi Bel Abbés.
- Mériaux. P et Royet. P et Folton. C, 2001. Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations, Cemagref Editions,
- Office Nationale de la Météorologie (O.N.M), 2014.
- Plan directeur de l'aménagement urbain, 2011, commune de Remchi.
- Pierre. J, 2007. Surveillance du risque hydrologique diffus le long des itinéraires routiers, Thèse de Doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris.
- Recensement générale de la population humaine (R.G.P.H), 2008
- Saoucha. L, 2009. Etude d'une faisabilité d'une digue sur oued Laadhira (Willaya de Ghardaïa), Thèse d'ingénieur d'état, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique.
- Slimani. S, 2012. Etude de protection du village Tafna (W. Tlemcen) contre les inondations, Mémoire de l'Ingénieur d'état, Université de Tlemcen.
- Taha. B. et Hugo. G et Bobée. B et Lemonier. M, 2001. Synthèse des méthodes simples de régionalisation, Québec.
- Talah. S, 2014. Contribution à l'étude des risques des inondations de l'oued Mellah W. Djelfa par les systèmes d'informations géographiques (ArcGis et HEC-geoRAS) ; en utilisent le logiciel HEC-RAS, Thèse Magister, Université de M'silla.
- Tappin, R, Duivendijk. V, Haque. M, 1998, The design and construction of jamuna bridge, Bangladesh.

- Torterotot J. P, 1993. Le coût des dommages dus aux inondations, estimation et analyse des incertitudes, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Yahiaoui. A, 2012. Inondations torrentielles\_ cartographie des zones vulnérables en Algérie du nord (cas de l'oued Mekra, Wilaya de Sidi Bel Abbés), Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique.
- Zerfaoui. A, 2008. Etude de protection de la ville de Sidi ghiles (w.tipaza) contre Les inondations, Mémoire d'ingénieur d'état, Ecole national supérieur d'hydraulique.

## **Webographie**

- <http://www.geni-alp.org>
- <http://www.google.dz>
- <http://www.irma-grenoble.com>

# ***ANNEXES***

## Annexes

### Annexe 01 : Précipitation mensuelles à la station de Zenâta (1980-2014)

Année	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	jull	aout	annuelle
1980	7,7	1,5	176,2	116,2	79,2	80,6	71,5	40,4	77,4	31,4	21,27	3,3	706,67
1981	27,9	58,2	40,1	106,9	59,4	87,6	87,9	95,8	0,8	11,3	0	0	575,9
1982	11,7	2,8	7	114,4	31,4	151,8	192,4	159,3	0,4	10,9	0	0	682,1
1983	18,5	69,7	22,7	0	14,1	53,3	187,4	59,9	23,8	0	0	17,1	466,5
1984	8,4	7,7	51,2	25,3	45,66	82,7	2,9	35,4	71,5	6	16,1	26,4	379,26
1985	0	87,4	11,9	66,98	48,25	56,2	48,8	82,45	22,45	9,97	1,61	2,17	438,18
1986	0	14	80,09	9,31	0	9,8	0	8,4	13,3	0	0	0	134,9
1987	0	49,2	19,5	46	5,2	153,4	12,4	17,9	2,5	1,7	5,1	0	312,9
1988	31,3	89,1	8,7	79,5	78,5	15	66,4	23	19,9	0	0	0	411,4
1989	4,7	17,1	32,6	105	59,7	46,8	49,1	13,89	31,7	58,5	0	0	419,09
1990	0	2,5	0	39	4,8	18,2	8,6	4,9	34,2	2,1	0	0,1	114,4
1991	2	41,6	75,7	86,9	0	77,6	25,6	16,8	0,4	0	10,13	10,13	346,86
1992	5,5	6,7	181,7	27,8	26,4	21,1	41,6	13,5	29,1	0	0	0	353,4
1993	0	0	66	65	37,7	100	43	0	0	0	0	0	311,7
1994	54,6	65,5	53,8	41,9	35,5	71,1	0,3	5,3	0	0	0	0	328
1995	0	0	7,7	25,4	8,3	59	7,3	24,5	28,5	12,8	0	0	173,5
1996	25,5	0	74,5	7,4	25,06	29,7	52,5	95,2	8,8	0,4	0,3	6,25	325,61
1997	17	6,5	10,8	30,3	163,2	0	27,2	5	6,5	0	0,3	0	266,8
1998	11	17,5	66,9	56,3	42,3	27,6	17,7	35,77	9,9	0	0	0,4	285,37
1999	12	28,7	12,1	10	48,25	56,2	48,8	61	22,62	6,97	1,62	2,17	310,43
2000	0,46	9,5	45,7	15,8	5,5	84,5	50	19,1	22	6,5	0	0	259,06
2001	4,55	36,9	126,8	5,8	77,5	26,1	7,5	23,3	6,7	0	0	0	315,15
2002	13,14	14,3	8,7	12,9	27,2	61,8	81,2	35,77	0	3	0	0	258,01
2003	6,1	5	19,8	71,9	68,6	79,9	67,1	40,58	22,62	27,88	11,3	29,2	449,98
2004	8,38	28,19	51,06	73,42	19,05	28,45	66,55	25,91	53,86	4,57	0,76	2,03	362,23
2005	25,15	5,08	5,08	6,61	21,1	55,38	490,2	12,96	0,51	0,76	0	0	622,83
2006	18,04	13,2	8,63	35,05	3,05	53,33	22,35	8,12	24,39	3,05	0,51	3,05	192,77
2007	11,94	55,87	58,16	8,12	16,76	21,09	33,78	92,2	0	0	0	0,76	298,68
2008	32,24	107,18	73,67	104,66	18,03	27,08	16,76	13,21	33,02	2,54	0	0	428,39
2009	91,94	2,03	12,45	40,41	111,21	44,2	19,81	44,46	6,1	2,04	0	0	374,65
2010	5,58	61,2	24,39	42,43	55,63	36,83	69,09	28,19	17,53	14,48	0,51	14,73	370,59
2011	3,05	47,24	69,08	28,96	26,16	30,98	38,6	63,23	58,42	27,69	0	3,05	396,46
2012	36,83	36,07	132,86	19,81	20,57	43,69	23,11	32,27	8,89	1,02	4,06	0	359,18

<b>2013</b>	18,29	0	52,58	84,1	100,07	39,12	65,53	66,82	46,47	0	0,76	0,5	474,24
<b>2014</b>	14,73	8,64	51,05	95,01	53,07	52,81	33,28	6,1	17,27	12,7	0	0,25	344,91
<b>Pluies moyennes</b>	15,09	28,46	49,69	48,70	41,04	53,80	59,32	37,45	20,62	7,38	2,12	3,47	367,15

**Annexe 02 :** Ajustement à la loi de Gumbel des précipitations maximales journalières à la station de Zenâta (1980-2014)

<b>Pjmax observé (mm)</b>	<b>i rang</b>	<b>Frequence de Hazen F= (i-0,5)/N</b>	<b>variable réduite de gumbel U U= -ln (-ln(F))</b>
<b>14,99</b>	1	0,01	-1,45
<b>14,99</b>	2	0,04	-1,15
<b>17,02</b>	3	0,07	-0,97
<b>21,71</b>	4	0,10	-0,83
<b>23,11</b>	5	0,13	-0,72
<b>23,88</b>	6	0,16	-0,62
<b>24,89</b>	7	0,19	-0,52
<b>25,91</b>	8	0,21	-0,43
<b>26,92</b>	9	0,24	-0,35
<b>27,94</b>	10	0,27	-0,27
<b>28,96</b>	11	0,30	-0,19
<b>29,97</b>	12	0,33	-0,11
<b>29,97</b>	13	0,36	-0,03
<b>29,97</b>	14	0,39	0,05
<b>29,97</b>	15	0,41	0,13
<b>30,99</b>	16	0,44	0,21
<b>35,05</b>	17	0,47	0,29
<b>37,08</b>	18	0,50	0,37
<b>38,1</b>	19	0,53	0,45
<b>39,88</b>	20	0,56	0,54
<b>41,91</b>	21	0,59	0,63
<b>44,96</b>	22	0,61	0,72
<b>48,01</b>	23	0,64	0,82
<b>48,01</b>	24	0,67	0,92
<b>50,04</b>	25	0,70	1,03
<b>53,09</b>	26	0,73	1,15
<b>56,25</b>	27	0,76	1,28
<b>62,99</b>	28	0,79	1,42
<b>67,06</b>	29	0,81	1,58
<b>70,1</b>	30	0,84	1,77
<b>71,88</b>	31	0,87	1,98
<b>72,9</b>	32	0,90	2,25
<b>93,98</b>	33	0,93	2,60
<b>95,94</b>	34	0,96	3,13

**Annexe 03** : Valeurs estimées pour le coefficient de Manning en fonction de la nature des parois

<b>Nature des parois</b>	<b>n (Manning) (<math>s / m^{1/3}</math>)</b>	<b>K (Strickler) (<math>m^{1/3} / s</math>)</b>
Béton lisse	0.011 à 0.013	77 à 91
Béton brut	0.013 à 0.016	62 à 77
Canal en terre, no enherbé	0.017	60
Canal en terre, enherbé	0.02	50
Rivière laine, large, végétation peu dense	0.033	33
Rivière à berges étroites très végétalisées	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en prairie	0.033 à 0.05	20 à 30
Lit majeur en vigne ou taillis	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur urbanisé	0.067 à 0.1	10 à 15
Lit majeur en forêt	>0.1	<10

Où

n : est le coefficient de Manning, c'est un coefficient caractéristique de la nature des parois.

La formule de Strickler correspondant à  $n = 1 / K$  où K est le coefficient de Strickler.

## Protection des agglomérations contre les inondations

### Cas du centre d'El Gouassir (W. Tlemcen)

HACHEMI Soumia Manel

#### Résumé

La problématique des inondations est un sujet d'actualité qui suscite, en Algérie, un intérêt particulier pour sa prise en charge efficace. Ce phénomène naturel dont les dégâts sont impressionnants peut être causé par les crues s'écoulant dans les chevelus hydrographiques, et/ou les eaux pluviales drainées par des surfaces de ruissellement.

Le présent travail cible l'étude de protection du centre d'El Gouassir, Wilaya de Tlemcen, contre les inondations. Un thalweg longe le tissu urbain du centre et ce dernier est situé au pied d'un important versant, source d'écoulements de surface.

Sur la base des études au niveau du milieu physique morphométriques et climatiques, une étude hydrologique a été engagée et a permis de déterminer l'ensemble des paramètres servant à la conception et aux dimensionnements des ouvrages de protection du centre contre les inondations pour cette agglomération.

#### Mots clés

Inondations, crues, eaux pluviales, protection, El Gouassir.

#### Abstract

The problem of flooding is a topic that arouses, in Algeria, of a particular interest for its effective management. This natural phenomenon whose damages can be impressive can be caused by the floods flowing in the stream system, and / or by rainwater drained by runoff surfaces. This work concerns the center of the protection study against flooding of El Gouassir, Wilaya of Tlemcen. A thalweg runs along the urban fabric of the center which it is located at the foot of a large slope, source of surface runoffs. Based on studies in the physical, morphometric and climatic field, an hydrological study have been initiated, and have allowed to determine all of the parameters for the design and dimensioning of central protection works against floods.

#### Keywords

Flood, Flooding, Rainwaters, Protection, El Gouassir

#### المخلص

إشكالية الفيضانات تشكل موضوعا حدثا الذي يتطلب في الجزائر، أن يؤخذ بعناية فائقة حتى يتمكن من الإحاطة بمخاطره و التمكن منه.

هذه الظاهرة الطبيعية، غالبا ما تحدث خسائرا معتبرة، بسبب المياه الطوفانية المتدفقة عبر الشعب الهيدروغرافية، أو بسبب حصر قنوات الصرف الصحي الخاصة بمياه الأمطار ذات الشدة في الغزارة.

هذا العمل يهدف إلى حماية منطقة القواسير (ولاية تلمسان) من الفيضانات، حيث يجتاز وسط هذه المنطقة السكنية واد مهم يحاذي مصب مياه كبير، إذ يعتبر هذا الوادي مصدرا للمياه الطوفانية.

على أساس دراسات و معطيات هيدروغرافية و مناخية، قمنا بدراسة هيدرولوجية مكنتنا من اقتناء معظم الخصائص التي تسمح بتصميم منشآت الري الموجهة لحماية القواسير من الفيضانات.

#### كلمات مفتاحية

فيضانات، طوفان، مياه الأمطار، حماية، القواسير.