

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingéniorat  
Département d'Hydraulique

Année : 2015

# THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de *Doctorat LMD*

## Contribution à l'analyse du risque pluvial

Option  
Hydraulique

Par  
KEBLOUTI Mehdi

Devant le Jury

Président : Yacine DJEBBAR

Pr. Univ. Souk-Ahras

Examineurs : Lakhdar DJEMILI

Pr. Univ. Annaba

Abdelmalek BERMAD

Pr. ENP- Alger

Mahmoud HASBAIA

Dr. Univ. Msila

Habib ABIDA

Pr. Univ. Sfax

Directeur de Thèse : Lahbassi OUERDACHI

Pr. Univ. Annaba

## **REMERCIEMENTS**

*Avant toute personne, je dois remercier **Dieu** qui m'a donné le courage, la volonté et tout le bien.*

*Tout d'abord je voudrais remercier Pr. Lakhdar DJEMILI, Pr. Abdelmalek BERMAD et Dr HASBAIA Mahmoud d'avoir accepté de relire cette thèse et d'en être rapporteurs. La version finale de cette thèse a bénéficié de leur lecture très attentive et de leurs remarques précieuses. Je tiens à remercier Pr. Yacine DJEBBAR d'avoir accepté d'être président du jury. Je remercie également tous les membres du jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce travail.*

*Je tiens à remercier en premier monsieur le Professeur **OUERDACHI LAHBASSI** directeur de ma thèse pour sa disponibilité ses conseils, sa compétence et sa patience, il m'a permis de réaliser cette thèse dans les meilleurs conditions.*

*Je tiens à remercier sincèrement Monsieur **BOUTAGHANE HAMOUDA** qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de cette thèse.*

*Mes vifs remerciements sont adressés pour **ATOUI HAMZA, CHARGUI AHMED, SADOUKI LEILA, AMRI AZZEDDINE et Patrick MOUNIER** pour leur aide et leur encouragement.*

*Je tiens à porter un remerciement général pour toute l'équipe des enseignants de département d'Hydraulique de l'Université Badji Mokhtar Annaba.*

*Les services de l'**ONM** trouvent ici toute ma reconnaissance pour leur aide en matière de données.*

*Je tiens à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.*

*Je tiens à remercier mes parents, pour leur soutien constant et leur encouragement.*

*Merci à mes frères, à mes sœurs, et à mes amis qui n'ont pas cessé de me soutenir, encourager et m'aider.*

*Merci à tous les gentils gens que j'ai connu dans ma vie.*

*Merci à ceux qui m'ont appris quelque chose dans ma vie.*

*Je tiens enfin à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.*

# Sommaire

Pages

<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	I
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	IV
<b>RESUME</b> .....	1
<b>PROBLEMATIQUE</b> .....	4
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	9

---

## Chapitre I : Présentation de site et des données

---

<b>I.1 Situation géographique</b> .....	12
<b>I.2 Topographie</b> .....	13
<b>I.3 Géologie</b> .....	15
<i>I.3.1 Nappe superficielle</i> .....	15
<i>I.3.2 La nappe des sables du cordon dunaire</i> .....	16
<i>I.3.3 La nappe des cipolins</i> .....	16
<b>I.4 Climatologie</b> .....	17
<i>I.4.1 Température</i> .....	18
<i>I.4.2 Evapotranspiration</i> .....	19
<i>I.4.2.1 Données utilisées</i> .....	19
<i>I.4.2.2 Formule de Thornthwaite</i> .....	20
<b>I.5 Réseaux hydrographique de la ville d'Annaba</b> .....	21
<b>I.6 Réseau de mesures pluviométriques</b> .....	21
<i>I.6.1 Données disponibles</i> .....	23
<i>I.6.2 Diagnostic du réseau de mesure</i> .....	27
<i>I.6.3 Le choix de pas de temps</i> .....	28
<b>Synthèse</b> .....	30

---

## Chapitre II : Collecte et critique des données

---

<b>Introduction</b>	32
<i>Inventaire des données</i>	32
<b>II.1 Analyse des données pluviométriques</b>	32
<b>II.2 Critique des données</b>	33
<i>II.2.1 Méthodes de comblement des lacunes</i>	34
<i>II.2.1.1 Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire</i>	34
- <i>Principe de basse</i>	34
- <i>Cas de la pluie Annuelle de la station Annaba ville</i>	35
- <i>Cas des pluies annuelles de la station de pont Bouchet</i>	38
<b>II.3 Traitement statistique des données</b>	41
- <i>Principales causes d'inhomogénéités</i>	41
<i>II.3.1 Homogénéisation</i>	43
<i>II.3.2 Le test de Wilcoxon</i>	43
- <i>Principe de test</i>	43
- <i>Cas des pluies annuelles de la station Ain Barda</i>	45
<b>II.4 Indépendance</b>	47
<i>II.4.1 Test de WALD –WOLFOWITZ</i>	47
<b>II.5 Vérification des valeurs singulières</b>	48
<i>II.5.1 Test de GRUBBS-BECK (1972)</i>	48
<b>Conclusion</b>	49

---

## Chapitre III : Interpolation spatiale

---

<b>Introduction</b>	50
<b>III.1 Définition et notation</b>	52

<b>III.2 Les méthodes d'interpolation spatiale</b>	53
<b>III.2.1 Les méthodes déterministes</b>	53
<i>III.2.1.1 Méthodes d'interpolation par partitionnement de l'espace</i>	53
<i>III.2.1.2 Méthode barycentrique</i>	55
<i>III.2.1.3 Méthode d'inverse distance</i>	55
<i>III.2.1.4 Splines</i>	56
<b>III.2.2 Les méthodes stochastiques</b>	58
<i>III.2.2.1 Méthodes de régression classique</i>	58
<i>III.2.2.2 Méthodes de régression locale</i>	59
<i>III.2.2.3 Krigeage</i>	61
<i>III.2.2.3.1 Mise en œuvre de krigeage</i>	61
<i>III.2.2.3.2 Différents types de krigeage</i>	62
<i>III.2.2.3.2.1 Krigeage simple en covariance</i>	62
<i>III.2.2.3.2.2 Krigeage dans le cadre de l'hypothèse intrinsèque</i>	63
<i>III.2.3.2.3 Krigeage universel</i>	64
<b>III.2.3 Les autres méthodes</b>	65
<b>III.3 Evaluation des méthodes d'interpolation spatiale sur la vile de Annaba</b>	66
<i>III.3.1 Un échantillon des pluies analysé</i>	66
<i>III.3.2 Principe de l'évaluation par validation croisée</i>	66
<b>III.4 Résultats de l'évaluation et observations</b>	68
<b>III.5 Application la méthode d'interpolation spatiale sur l'étude des événements pluvieuse dans la ville d'Annaba</b>	
<i>III.5.1 La genèse des crues</i>	69
<i>III.5.2 Événement à l'origine des inondations</i>	69
<b>Commentaires et recommandations d'utilisation des méthodes d'interpolation</b>	73

---

## Chapitre IV : Variabilité spatiale et pluvieuses

---

<b>IV.1 Introduction</b> .....	74
<b>IV.2 Constat de la variabilité pluvieuse à l'échelle annuelle</b> .....	83
<b>IV.3 Constat de la variabilité pluvieuse à l'échelle saisonnière et mensuelle</b> .....	84
<b>IV.4 Discussion</b> .....	88

---

## Chapitre V : Radar météorologique

---

<b>Introduction</b> .....	89
<b>V.1 Principes de fonctionnement du radar</b> .....	89
<i>V.1.1 Emission</i> .....	90
<i>V.1.2 Les différents types de radar météorologique</i> .....	91
<i>V.1.3 Rétrodiffusion</i> .....	92
<i>V.1.4 Passage du facteur de réflectivité au taux de pluie</i> .....	93
<b>V.2 Sources d'erreur dans la mesure de pluie par radar</b> .....	93
<i>V.2.1 Masques</i> .....	94
<i>V.2.2 Echos de sol (aussi appelés échos fixes)</i> .....	94
<i>V.2.3 Propagations anormales</i> .....	95
<i>V.2.4 Artéfacts</i> .....	95
<i>V.2.5 Effet de bande brillante</i> .....	95
<i>V.2.6 Atténuation</i> .....	96
<b>V.3 Relation Z-R inappropriée</b> .....	96
<i>V.3.1 Des caractéristiques et des données</i> .....	97
<i>V.3.2 Radar d'Annaba</i> .....	99

V.3.3	<i>La complémentarité des types de données exploitées</i>	101
V.3.4	<i>Les données de réflectivité : des données brutes</i>	101
V.3.5	<i>Applications du radar météorologique en hydrologie</i>	101
V.3.6	<i>Traditional matching method</i>	102
V.3.7	<i>Méthode d'ajustement probabiliste modifiée</i>	103
V.3.8	<i>The window probability matching method (WPMM)</i>	104
V.3.9	<i>Window correlation matching method (WCMM)</i>	105
<b>IV.4</b>	<b>Etalonnage du radar d'Annaba</b>	<b>106</b>
V.4.1	<i>Traitement préliminaire des données radar</i>	107
<b>V.5</b>	<b>L'utilisation du radar météorologique</b>	<b>108</b>
V.5.1	<i>Présentation du site d'étude</i>	109
V.5.1.1	<i>Réseau pluviométrique</i>	110
V.5.1.2	<i>Réseau hydrométrique</i>	111
<b>V.5.2</b>	<b>Présentation de modèle pluie débit</b>	<b>111</b>
<b>V.5.3</b>	<b>Description du modèle GSSHA</b>	<b>112</b>
V.5.3.1	<i>Equation utilisé par le modèle</i>	112
V.5.3.2	<i>Infiltration</i>	113
V.5.3.3	<i>Ruissèlement</i>	114
V.5.3.4	<i>Précipitation</i>	114
<b>V.5.4</b>	<b>Application</b>	<b>115</b>
V.5.4.1	<i>Programme "Rain-Data ver 1.0"</i>	116
V.5.4.1	<i>Procédures d'ajustement du radar</i>	116
V.5.4.2	<i>Détection et correction des pixels douteux</i>	117
V.5.4.3	<i>Résultats de la modélisation</i>	119
A.	<i>Données Originales estimées obtenues par le radar</i>	119
B.	<i>Données ajustées obtenues par le radar</i>	120
<b>V.6</b>	<b>Interprétation des résultats</b>	<b>121</b>
	<b>Commentaires et recommandations</b>	<b>124</b>

---

## Chapitre VI : Modélisation du système d'assainissement

---

<b>VI.1 Introduction</b>	125
<b>VI.2 Choix du site</b>	125
<b>VI.3 Choix du logiciel</b>	127
<b>VI.4 Présentation des données utilisées</b>	129
<b>VI.5 Construction du modèle sous Canoé</b>	129
<b>Simulations</b>	129
<b>VI.6 Conclusion</b>	138
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	139
<b>REFERENCES</b>	141
<b>ANNEXES</b>	152

## Liste des Tableaux

<b>Chapitre I : Description du site et des données</b>		
Tableau.1	Température moyennes mensuelles et annuelles	18
Tableau.2	Modèle d'étalonnage pour le radar d'Annaba (données ajustées)	20
Tableau.3	Bilan de Thornthwaite région d'Annaba	20
Tableau.4	Le réseau de mesure existant dans la ville d'Annaba	22
Tableau.5	Pluie annuelles	24
Tableau.6	Nombre de mois de données existant par station	25
Tableau.7	Pluie journalière (nombre de jours pluvieux)	26
Tableau.8	Nombre de pluviographe optimum selon Niemczynowicz	27
Tableau.9	Nombre de pluviographe optimum selon Shiling	27
Tableau.10	Nombre de pluviographes optimum selon Paturel et al.	28
Tableau.11	Critères de choix des densités et des caractéristiques des pluviographes	29
<b>Chapitre II : Collecte et traitement des données</b>		
Tableau.12	Présentation des stations	33
Tableau.13	Matrice d'évaluation du coefficient de corrélation de couples de stations des pluies annuelles	35
Tableau.14	Présentation des séries des pluies Annuelles de la station de Ain barda et Annaba ville	35
Tableau.15	Calcul des paramètres de la régression linéaire	36
Tableau.16	Série des 26 années des pluies annuelles d'Annaba ville reconstitué	37
Tableau.17	Présentation des séries des pluies Annuelles de la station de Ain barda et pont Bouchet	38
Tableau.18	Série des 26 années des pluies annuelles de pont bouchet reconstitué	39
Tableau.19	Cas des pluies annuelles de la station de berahal	39
Tableau.20	Série des 27 années des pluies annuelles de berahal reconstitué	40
Tableau.21	Effet des différentes modifications des conditions de mesure sur différentes variables climatiques	41
Tableau.22	série des pluies annuelles de la station d'Ain berda	45
Tableau.23	Application de la méthode de Wilcoxon	45
Tableau.24	Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations d'Annaba	47
Tableau.25	Résultats des tests non paramétriques appliqués aux pluies annuelles dans la région d'Annaba	48
Tableau.26	Test de représentativité de Grubbs et Beck	49
<b>Chapitre III : Interpolation spatiale</b>		
Tableau.27	Quelques études déjà effectuées sur l'interpolation spatiale des précipitations	51
Tableau.28	Erreur d'estimation moyenne globale ( $\bar{X}$ ) et écart type ( $\sigma$ ) sur les cumuls annuels	68
Tableau.29	Evénements à l'origine d'inondation dans la ville d'Annaba	70
Tableau.30	Caractéristique statistiques des stations étudiées au pas de temps mensuel	75

	<b>Chapitre V : Radar météorologique</b>	
Tableau.31	Différents type du radar	92
Tableau.32	Cordonnées des radars disponible	98
Tableau.33	Cordonnées du radar d'Annaba	99
Tableau.34	Caractéristiques techniques du radar d'Annaba	100
Tableau.35	Niveaux de réflectivité – Intensités de pluie	108
Tableau.36	Coordonnées des stations pluviométriques	111
Tableau.37	Les résultats validés pour le radar d'Annaba	121
Tableau.38	Comparaison entre le débit calculé et le débit estimé	123
	<b>Chapitre VI : Modélisation du réseau d'assainissement sous le modèle Canoé</b>	
Tableau.39	Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (Pluviomètre)	131
Tableau.40	Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (Radar)	133
Tableau.41	Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (pluviomètre)	135
Tableau.42	Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (Radar)	137
Tableau.43	Comparaison entre d'eau pluvial maximal (pluviomètre / radar)	138

	<b>Problématique</b>	<b>Pages</b>
Figure.1	Les composantes du risque d'inondation	05
<b>Chapitre I : Description du site et des données</b>		
Figure.2	Situation de la ville d'Annaba	12
Figure.3	Carte de l'MNT de la ville d'Annaba (SRTM -30×30m)	13
Figure.4	Carte des pentes de la ville d'Annaba	14
Figure.5	Situation géographique et esquisse géologique du territoire de la Wilaya d'Annaba	18
Figure.6	Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est Algérien	18
Figure.7	Réseau météorologique (station swat)	19
Figure.8	Bassin versant et réseau hydrographique de la ville d'Annaba, image en 3D, Tracé sur image « Google Earth ».	21
Figure.9	Localisation des stations pluviométriques	23
Figure.10	Nombre de pluviographe optimum pour les sous BV selon les trois méthodes	28
<b>Chapitre II : Collecte et traitement des données</b>		
Figure.11	Régression linéaire simple des pluies annuelle station Ain Barda -Annaba	37
Figure.12	Régression linéaire simple des pluies annuelle station Ain Barda -Pont Bouchet	38
Figure.13	Régression linéaire simple des pluies annuelle station Ain Barda -Berahal	40
<b>Chapitre III : Interpolation spatiale</b>		
Figure.14	Les deux niveaux d'abstraction en interpolation spatiale	53
Figure.15	Polygones de Thiessen (lignes pleines) accompagnés de la triangulation	54
Figure.16	Cumul pluviométrique de l'année 2000 interpolé par inverse des distances	56
Figure.17	Cumul pluviométrique de l'année 2000 interpolé par spline	57
Figure.18	Cumuls pluviométrique de l'année 2000 interpolé par régression globale	59
Figure.19	Cumuls pluviométrique de l'année 2000 interpolé par régression locale	60
Figure.20	Méthodologie géostatiques	62
Figure.21	Cumul pluviométrique de l'année 2000 interpolé par krigeage ordinaire	63
Figure.22	Cumuls pluviométrique de l'année 2000 interpolé par krigeage universel	64
Figure.23	Moyenne des erreurs absolues (mm) des trois méthodes	67
Figure.24	Moyenne des erreurs relatives (%) des trois méthodes	68
Figure.25	Spatialisation du cumul pluviométrique du 26/10/1982 estimé par IDW	70
Figure.26	Spatialisation du cumul pluviométrique du 10/12/1982 estimé par IDW	71
Figure.27	Spatialisation du cumul pluviométrique du 29/11/2001 estimé par IDW	71
Figure.28	Spatialisation du cumul pluviométrique du 13/12/2005 estimé par IDW	72
Figure.29	Spatialisation du cumul pluviométrique du 24/09/2009 estimé par IDW	72
<b>Chapitre IV : Variabilité temporelle des pluies</b>		
Figure.30	Variation des pluies mensuelles ( <b>station Pont Bouchet</b> )	76
Figure.31	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Pont Bouchet	76
Figure.32	Variation des pluies mensuelles ( <b>station Berrahal</b> )	77
Figure.33	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Berrahal	77
Figure.34	Variation des pluies mensuelles ( <b>station Les Salines</b> )	78

Figure.35	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Les Salines	78
Figure.36	Variation des pluies mensuelles ( <b>station Annaba ville</b> )	79
Figure.37	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Annaba Ville	79
Figure.38	Variation des pluies mensuelles ( <b>station Ain Berda</b> )	80
Figure.39	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Ain Berda	80
Figure.40	Variation des pluies mensuelles (station <b>El Kerma</b> )	81
Figure.41	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station El Kerma	81
Figure.42	Variation des pluies mensuelles ( <b>station Séraïdi</b> )	82
Figure.43	Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Séraïdi	82
Figure.44	Pluie moyenne annuelles (1988-2008) interpolé par IDW	83
Figure.45	Hauteur d'eaux annuelles (mm) sur la ville d'Annaba (Moyenne de 1988-2008)	84
Figure.46	Pluie moyenne (1988-2008) saison d'Automne interpolé par IDW	85
Figure.47	Pluie moyenne (1988-2008) saison d'Hiver interpolé par IDW	85
Figure.48	Pluie moyenne (1988-2008) saison de printemps interpolé par IDW	86
Figure.49	Pluie moyenne (1988-2008) saison d'Été interpolé par IDW	86
Figure.50	Pluie moyenne (1988-2008) mois de Mai interpolé par IDW	87
Figure.51	Pluie moyenne (1988-2008) mois de Septembre interpolé par IDW	87
Figure.52	Moyenne mensuelle des hauteurs d'eau (mm), période (1988-2008)	88
<b>Chapitre V : Radar météorologique</b>		
Figure.53	Caractéristiques du volume élémentaire	91
Figure.54	Echos fixe (montagne) d'un radar	94
Figure.55	Les sources d'erreurs qui affectent la précision des mesures par	95
Figure.56	Le passage de particules de glace de gouttes de pluie	96
Figure.57	Le réseau Météorologique Algérien	97
Figure.58	Configuration d'un site radar après numérisation	98
Figure.59	Localisation du radar d'Annaba	99
Figure.60	Le radar est bien lisible en blanc.	100
Figure.61	Traditional matching method (TMM).	103
Figure.62	The window probability matching method (WPMM)	105
Figure.83	The concept of the window correlation matching method	106
Figure.64	Exemple d'une image radar avec l'emplacement du radar au centre (Image du 15 avril 2000)	107
Figure.65	Situation géographique du site d'étude	110
Figure.66	Maille de grille en deux dimensions	112
Figure.67	Schéma descriptive de ruissèlement	114
Figure.68	Emplacement des stations virtuelles	115
Figure.69	Interface de programme Rain-Data ver 1.0, image de 20.01.1999 à 15:00	116
Figure 70	Organigramme de la méthode proposé	118
Figure.71	L'interface du programme Pixel-Info	118
Figure.72	Modèle d'étalonnage pour le radar d'Annaba (données originales)	119
Figure.73	Modèle d'étalonnage pour le radar d'Annaba (données ajustées)	120

Figure.74	Carte de répartition des pluies en utilisant les données pluviométriques	122
Figure.75	Carte de répartition des pluies en utilisant les données pluviométriques et les données radar	122
Figure.76	Hydrogramme de débit simulé et observé (Décembre 1999)	123
	<b>Chapitre VI : Modélisation du réseau d'assainissement sous le modèle Canoé</b>	
Figure.77	Système d'assainissement de la zone "côtière Nord"	127
Figure.78	Interface du logiciel Canoé version 3.8	128
Figure.79	Modélisation du réseau d'assainissement dans Canoé	129
Figure.80	Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 11/11/2001, Données de pluviomètre)	130
Figure.81	Hydrogramme d'exutoire Gallérie OUT	130
Figure.82	Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet	131
Figure.83	Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 11/11/2001, données Radar)	132
Figure.84	Hydrogramme d'exutoire Gallérie OUT	132
Figure.85	Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet	133
Figure.86	Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 13/12/2005, données de pluviomètre)	134
Figure.87	Hydrogramme d'exutoire Gallérie OUT	134
Figure.88	Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet	135
Figure.89	Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 13/12/2005, données Radar)	136
Figure.90	Hydrogramme d'exutoire Gallérie OUT	136
Figure.91	Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet	137

## Résumé

Les grandes quantités de pluie qui tombent sur les zones urbaines, l'imperméabilisation de ces zones provoquent un accroissement des volumes et des débits de pointe dans le système d'assainissement. Tout cela provoque des inondations, mais avec la mise en œuvre des systèmes de mesure de pluie (pluviographe, radar météorologique,...etc.), ce problème (inondation) est devenu connu. Pour remédier à cela il faut une certaine maîtrise pour permettre un développement durable du milieu urbain. Le manque d'information pluviométrique à plusieurs échelles temporelles et spatiales, présente un grand problème pour une meilleure connaissance de l'aléa pluvial dans la ville d'Annaba. Le but général de notre étude porte sur l'amélioration de la connaissance de l'aléa pluvial sur la ville d'Annaba en utilisant deux outils interdépendants : le réseau de mesure au sol et le radar météorologique. D'une densité faible 10 pluviomètres sur 1429 km<sup>2</sup>, ce réseau de mesure au sol fournit des données ponctuelles qu'il est nécessaire d'interpoler afin d'améliorer à la fois la vision globale du phénomène pluvieux et de mieux décrire l'hétérogénéité de la dimension spatiale de la pluie. Les données pluviométriques et les données provenant du radar météorologique ont été confrontées et utilisées dans un modèle pluie-débit, et aussi dans la modélisation du réseau d'assainissement sous logiciel Canoé. Les premiers résultats sont encourageants et indiquent la fiabilité des mesures par radar, Indiscutablement, le radar améliore la connaissance de la pluie et permet aussi de mieux cerner le risque pluvial.

**Mots clés :** Annaba, Seybouse, aléa, risque pluvial, modélisation, radar météorologique, interpolation spatiale.

## ملخص

هطول الأمطار بكميات كبيرة في المناطق الحضرية وقلة نفاذيته هذه المياه يؤدي إلى ارتفاع مستوى الجريان في قنوات الصرف الصحي. هذا كله يؤدي إلى حدوث مشكل الفيضان. هذا الأخير أصبح معلوم بسبب توفر أدوات لقياس المطر مثل رادار الطقس و مقياس المطر.

لمعالجة هذا الأمر ، هناك حاجة إلى درجة معينة من التحكم والتسيير الجيد لتمكين التنمية المستدامة للبيئة الحضرية. يمثل نقص المعلومات المتعلقة بسقوط الأمطار على عدة نطاقات زمنية ومكانية مشكلة كبيرة من أجل فهم أفضل لمخاطر هطول الأمطار في مدينة عنابة. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين معرفة خطر الأمطار في مدينة عنابة باستعمال وسيلتنا قياس هما رادار الطقس ومقياس المطر هذا الأخير يوجد منه 10 أجهزة فقط على مساحة 1429 كم<sup>2</sup>. هذه الشبكة الضئيلة من مقياس المطر توفر بيانات للأمطار نقطية لهذا فإنه من الضروري معرفة قيم الامطار في جميع أنحاء المنطقة لتحسين الرؤية الشاملة لظاهرة خطر الأمطار وأفضل وصف لعدم تجانس البعد الزماني و المكاني للمطر. بيانات الأمطار لمقياس المطر و رادار الطقس تم مقارنتهم واستعمالهم في النمذجة الهيدرولوجية وكذلك نمذجة قنوات الصرف الصحي . النتائج كانت مشجعة وأظهرت فعالية استعمال بيانات رادار الطقس. هذا الأخير أثبت قدرته على تحسين معرفة وتسيير خطر الأمطار في منطقة الدراسة.

**الكلمات المفتاحية :** مدينة عنابة , حوض المياه سيبوس , خطر الأمطار , النمذجة الهيدرولوجية , رادار الطقس , الاستبيان المكاني.

## Abstract

The urban environment and its associated sealing lead to collect and transport quantities of rainwater increasingly significant. These surface water flows cause increasing volumes and peak in the wastewater system. But with the implementation of the system for measuring rainfall (rain gauge and weather radar), this problem (flooding) has become known. To remedy this it takes some control to enable the sustainable development of urban areas. The lack of rainfall data to several temporal and spatial scales, presents a major problem for improving the understanding of the storm hazard in the city of Annaba. The general aim of our study focuses on improving knowledge of storm hazard in the city of Annaba using two interdependent tools: weather radar and the network of ground measurements. In low density 10 gauges on 1429 km<sup>2</sup>, this network of ground measurement provides point inputs that it is necessary to interpolate in order to improve both the overall vision of the phenomenon rainfall and better describe the heterogeneity of the spatial dimension of the rain. The rain gauge data and weather radar data were confronted and used in a rainfall-runoff model, and also in the modeling of wastewater in Canoe software. The first results are encouraging and indicate the reliability of measurement with weather radar, unquestionably, the weather radar improves the knowledge of the rainfall and also helps identify the storm risk.

**Keys words:** Annaba, Seybouse watershed, weather radar, storm hazard, modeling, spatial interpolation.

## INTRODUCTION GENERALE

Les inondations constituent un risque majeur du monde contemporain. Elles figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde en occasionnant environ 20 000 victimes par an (SIMONA et CEDRIC, 2007). À l'instar du reste du monde, la région méditerranéenne a connu de multiples inondations qui deviennent une menace de plus en plus redoutable. Les précipitations y dépassent souvent 200 millimètres en 24 heures (DUCROCQ, 2006), et parfois en moins de six heures.

Dans la région méditerranéenne, l'Algérie est le pays le plus touché par les inondations dans l'Afrique. En effet, le non maitrise de l'urbanisation des zones inondables, là où se sont développées des habitations ou des activités et la construction accrue de grands équipements et de structures routières et autoroutières, favorisent l'expansion des crues.

La ville d'Annaba est sujette à de nombreuses inondations. Vu l'ampleur des dommages constatés, les autorités compétentes ont œuvré en permanence pour atténuer l'impact négatif des catastrophes dues à l'eau tant sur le plan de renforcement des mesures structurelles (construction de barrages de grandes capacités, aménagement des cours d'eau...), que sur le plan des mesures préventives telles que l'amélioration des systèmes d'alerte hydrométéorologique, notamment le renforcement des outils de mesures et d'alerte (radars météorologiques, automatisation des réseaux d'acquisition et de transmission des données...).

La maîtrise de la complexité croissante des problèmes d'inondations dans la ville d'Annaba nécessite de disposer d'un ensemble de méthodes et d'outils scientifiques puissants et adéquats. Ces moyens doivent non seulement traiter rapidement les données spatiales, mais aussi les analyser afin d'obtenir une information pertinente, permettant d'éclairer les décideurs de leurs prises de décisions et d'accroître le temps d'anticipation de ces phénomènes. A cet effet, les systèmes d'information géographique et la télédétection proposent des outils d'intégration et d'analyse de données multi-sources qui améliorent significativement les systèmes de prévision et d'alerte.

Une dimension aléatoire de la distribution spatiale et temporelle des précipitations influence sur la gestion des eaux en milieu urbain dans la ville d'Annaba, les inondations dans cette ville sont, en effet, liées à des causes d'origine locale (**Bouzahar, 2010**).

Le but de notre étude n'est pas de rechercher les problèmes liés au phénomène inondation dans l'oued de Seybouse dont les facteurs en cause sont pour une large part externes à l'agglomération, donc exogènes.

Plusieurs études ont été réalisées sur le ruissellement pour comprendre l'aléa pluvial. La plupart de ces études sont similaires, notamment à cause d'échelles d'analyse inadaptées et en raison d'un manque de mobilisation d'outils d'analyse performants. Le radar météorologique par exemple, n'est pas été utilisé avant une période très récente sur ce type d'approche.

L'objectif de notre travail de thèse est d'améliorer la connaissance de l'aléa pluvial sur la ville d'Annaba dans le but de réduire la dimension aléatoire du phénomène. Fondée sur des analyses descriptives et dynamiques, cette amélioration doit permettre de déterminer la distribution spatiale des pluies et de la dynamique du phénomène, en fonction des paramètres locaux tels que la topographie, variabilité spatiale, etc.

Deux outils interdépendants caractérisent cette amélioration : le réseau de mesure au sol et le radar météorologique. Le premier est constitué d'une dizaine de pluviomètres. Cette densité place le réseau en dispositifs de mesure le plus faible en Algérie. Le second n'est pas encore utilisé sur la ville d'Annaba. Par conséquent, nous avons collaboré fortement avec l'Office Nationale de Météorologie pour pouvoir exploiter les données du radar d'Annaba. C'est la complémentarité de ces deux outils qui nous a permis d'avancer notablement la caractérisation de l'aléa pluvial dans la ville.

Notre travail est organisé de la manière suivante :

### **Chapitre I :** Présentation du site et des données

Dans ce premier chapitre une présentation détaillée du contexte général de la zone d'étude à travers ses aspects géographiques, géologiques et climatiques.

### **Chapitre II :** Collecte et critique des données

Le deuxième chapitre est consacré pour la critique des données collectées, les hypothèses d'indépendance et d'homogénéité et de détection de valeurs singulières ont été vérifiées à l'aide de tests appropriés.

### **Chapitre III : Interpolation spatiale**

Ce chapitre est essentiellement consacré à la caractérisation de l'aléa pluvial à partir du réseau de mesure au sol et une présentation des différentes méthodes d'interpolation spatiales (déterministes et stochastiques) avec une application et une évaluation de ces méthodes d'interpolation spatiale à la zone d'étude.

### **Chapitre IV : Variabilité spatiale et pluviométriques**

Dans ce chapitre j'ai essayé d'étudier le changement du régime pluviométrique dans la ville d'Annaba en utilisant l'interpolation spatiale.

### **Chapitre V : Radar Météorologique**

Expose l'apport principal de cette thèse à savoir l'utilisation des données du radar pour l'amélioration de la connaissance de l'aléa pluviométrique dans la gestion des eaux pluviales. Cette partie est consacrée donc à la caractérisation de l'aléa pluvial à partir du radar météorologique.

### **Chapitre VI : Modélisation du système d'assainissement**

Ce chapitre a pour but de simulation du réseau d'assainissement en utilisant deux données : pluviométriques et données provenant du radar, dans le modèle Canoé.

## **Problématique générale**

Les études concernant les catastrophes naturelles ont commencé dans le milieu du XXe siècle **White** a essayé de proposer des solutions afin de minimiser les dégâts des inondations aux Etats Unis d'Amérique, tels que le changement de l'urbanisation dans les zones inondables, leur protection par des obstacles, le développement des lois sur l'utilisation des zones inondables et la prise de conscience du public concernant le risque d'inondation. L'expansion du champ d'étude des catastrophes naturelles dans les années soixante a conduit à inclure une nouvelle liste à côté des inondations tels que : les tremblements de terre, la sécheresse et le déboisement. Par la suite, la société internationale de géographie a financé une étude portant sur dix catastrophes naturelles dans vingt-six endroits dans le monde comprenant les glissements de terrain, l'érosion côtière, les inondations et les ouragans. En raison de l'augmentation des catastrophes naturelles dans les différentes régions du monde et de leurs impacts économiques et humains, en 1990 (The National Academy of Science) a appelé à la tenue d'une conférence pour atténuer les dégâts des catastrophes naturelles. D'autre part, les inondations et le ruissellement sont des aléas naturels qui s'inscrivent durablement dans le monde Arabe en général et en Algérie en particulier, ils sont caractérisés par leur développement rapide.

## **Les composantes du risque d'inondation**

Le risque est une mesure de la probabilité et de la sévérité d'un effet défavorable pour la santé, pour les biens ou pour l'environnement.

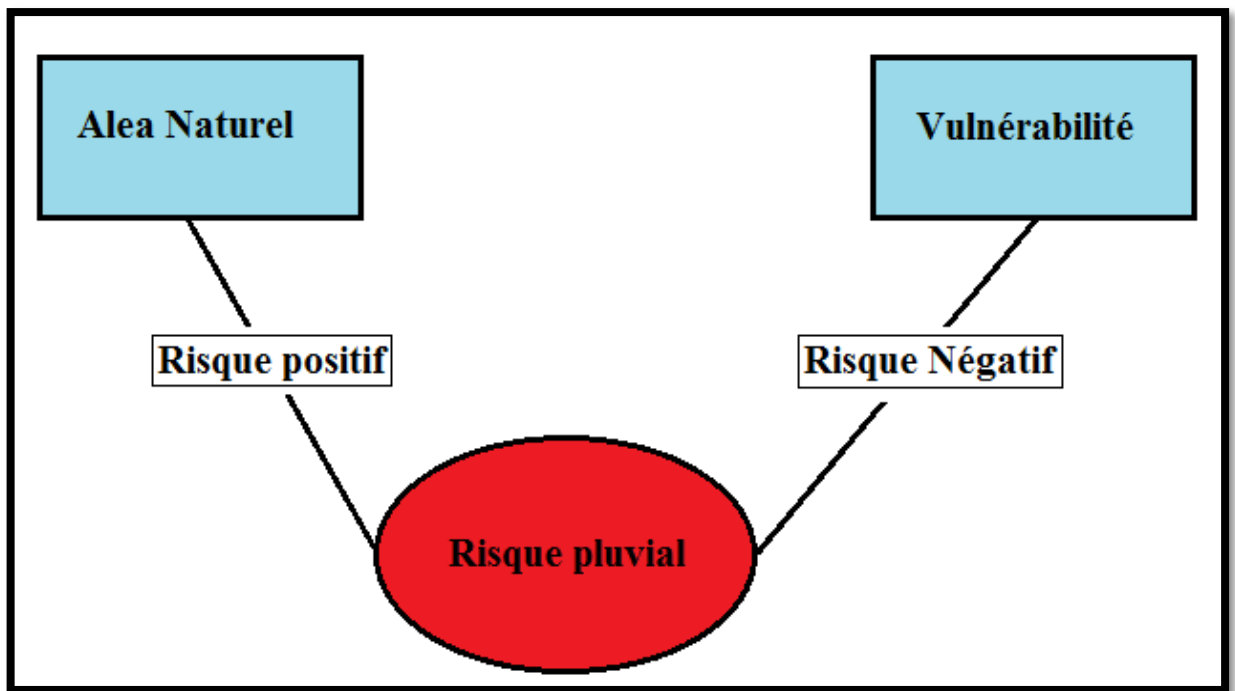
La notion du risque d'inondation est une notion complexe faisant intervenir deux paramètres essentiels :

**L'Aléa** : défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel, dans notre cas l'inondation. Il se caractérise par plusieurs paramètres hydrauliques qui expliquent la capacité plus ou moins destructrice de l'inondation.

**La vulnérabilité** : elle se définit comme une évaluation de l'occupation humaine et économique d'un site, susceptible d'être affectée par l'aléa.

Pour analyser une situation de risque sur un territoire donné, il faut combiner les deux facteurs précédents que sont l'aléa et la vulnérabilité au droit de chaque parcelle.

Il existe des risques positifs ou négatifs. Si l'aléa augmente le risque augmente ; il est dit risque positif. Si la vulnérabilité augmente, le risque augmente ; il est dit risque négatif.



**Figure (01):** Les composantes du risque d'inondation (HUET P. et al).

### Évolutions du risque d'inondation

Les pertes dues aux inondations augmentent avec les années, en Algérie et malgré les efforts consacrés à réduire le risque. Ils expliquent cet accroissement des dommages par les observations suivantes :

1. L'accroissement de la valeur des propriétés et de l'activité économique dans les plaines inondables;
2. L'accroissement de la densité de population et de l'utilisation du territoire dans les plaines inondables;
3. La tendance de la population à surestimer le degré de protection offert par les ouvrages de contrôle des inondations;

4. Le manque de données sur les débits et sur les dommages potentiels:

5. La variabilité des caractéristiques hydrologiques des crues.

### **Boucle « Catastrophe »**

Une catastrophe lorsqu'elle se produit, déclenche la vulnérabilité du site. Ordinairement, elle est suivie d'un cycle de réactions humaines; mesures de réparations et des travaux de protection. Cette réaction peut modifier la vulnérabilité et par là même, influencer sur des catastrophes ultérieures.

### **Résultats des études antérieures : un apport réel mais une connaissance de la pluie encore faible**

Plusieurs études ont porté sur l'analyse de risque pluvial sur la ville d'Annaba, principalement au cours des quinze dernières années au laboratoire d'hydraulique et de construction hydraulique (LHCH), ou l'université de Badji Mokhtar Annaba. Dans ces études, les précipitations et le ruissèlement et le débit sont utilisés. La majorité de ces recherches est basée sur la variation spatio-temporelle des pluies sur la région d'Annaba, ces études ne sont pas suffisantes pour une caractérisation fine de l'aléa pluvial au milieu urbain pour deux raisons. La première c'est que les travaux effectués sont rares, et la deuxième : les échelles d'analyse considérées sont mal adaptées à la problématique.

### **Manque des séries des données homogène**

La majorité des études antérieures utilisent des données pluviométriques et hydrométriques qui contiennent une discontinuité des valeurs mesurées.

### **Des séries de données courtes**

Les séries de données utilisées dans les études antérieures révèlent un autre inconvénient de taille. En général, les séries de données utilisées sont trop courtes pour une bonne présentation du phénomène étudié.

### **Manque des stations pluviographiques**

La ville d'Annaba comporte 10 stations pluviométriques sur une surface de 1429 km<sup>2</sup>. Cela représente un faible réseau de mesure avec seulement 08 stations pluviométriques et 02 pluviographiques, cela à une influence directe sur les résultats des études du risque pluvial dans la ville.

## **Un radar météorologique inexploité**

La ville d'Annaba est couverte par un radar météorologique depuis 1997. Ce radar fait partie du réseau ONM (Office Nationale de météorologie). Le radar météorologique est un outil efficace de mesure de pluie. Or, d'une manière relativement surprenante, cet outil n'a pour le moment jamais été utilisé dans une étude visant à améliorer la caractérisation de l'aléa pluvial dans la ville d'Annaba. En parallèle de l'exploitation du réseau de mesure au sol, l'utilisation du radar météorologique local constitue l'objectif de cette thèse.

## **Synthèse et apport des études antérieures sur le risque pluvial dans la ville d'Annaba**

Plusieurs études ont été réalisées pour comprendre le phénomène d'inondation dans la ville d'Annaba, celles-ci sont classées en deux groupes : le premier correspond aux recherches menées au niveau de la ville d'Annaba, le deuxième s'applique aux études conduites dans le bassin Seybouse qui occupe une partie considérable de la ville d'Annaba.

### **A l'échelle du bassin versant Seybouse**

À l'échelle du bassin versant Seybouse qui couvre une partie de la ville d'Annaba Mme (**bouzahare, 2005**) a utilisé le système d'informations géographiques (SIG) pour délimiter les zones inondables, elle a établi des cartes des risques basées sur les inondations historiques du bassin.

Dans sa thèse, en 2006 M. **Amarchi** a consacré son travail pour l'étude de variation Spatio-temporelle des précipitations et des débits des oueds de bassin versant de Seybouse.

M. **Tradkhodja, en 2007**, a essayé d'utiliser un nouvel outil pour évaluer les zones inondables dans le bassin versant Seybouse basé sur le système d'information géographique en prenant en compte les données de la morphologie de la plaine. L'acquisition et le traitement de l'historique des données des inondations sur SIG, ont permis par la suite d'élaborer des cartes de risque dans le bassin.

### **A l'échelle de la ville d'Annaba**

M **Boutaghane**, en 2002, a utilisé de nouvelles méthodes d'évaluation des débits des eaux pluviales de ruissellement, il a choisi comme ouvrage, le

déversoir d'orage pour la protection des réseaux d'assainissement dans la ville d'Annaba.

**M. Beloulou**, en 2008 dans sa thèse de doctorat a étudié la vulnérabilité du milieu urbain aux inondations. Il a basé dans sur l'amélioration de la connaissance des causes d'inondation dans la ville. Ses recherches lui ont permis de présenter un outil d'aide à la décision des collectivités locales et territoriales qui accompagne les différents projets d'aménagement dans cette ville et sa périphérie.

**Mme Skhakhfa**, en 2009, elle a réalisé une recherche basée sur l'analyse des épisodes pluviométriques enregistrés au niveau de la station de Pont-Bouchet, la construction des courbes IDF et des pluies doubles triangle lui a permis de trouver le type de pluie qui provoque le débordement de réseau d'assainissement.

Dans son mémoire de master II en 2010, Mme **Amira**, elle a essayé de répondre aux problèmes d'inondation dans la ville d'Annaba, elle a utilisé les inondations historiques de la ville afin de trouver les points de débordement des réseaux d'assainissement et d'établir ainsi des cartes des risques.

Mme **Khezazna**, en 2010, a essayé d'analyser les données pluviométriques mesurées dans la ville d'Annaba et a étudié la suffisance du dispositif de mesure existant, ensuite l'ajustement statistique avec les lois les plus connues a été fait sur les pluies (annuelles, mensuelles et journalières).

En 2013, Melle **Bessaklia**, dans son travail de recherche, a essayé de déterminer les paramètres pluviométriques tels que : le coefficient de variation, l'exposant climatique et la pluie annuelle... etc.) des stations pluviométriques de la ville d'Annaba et ses environs.

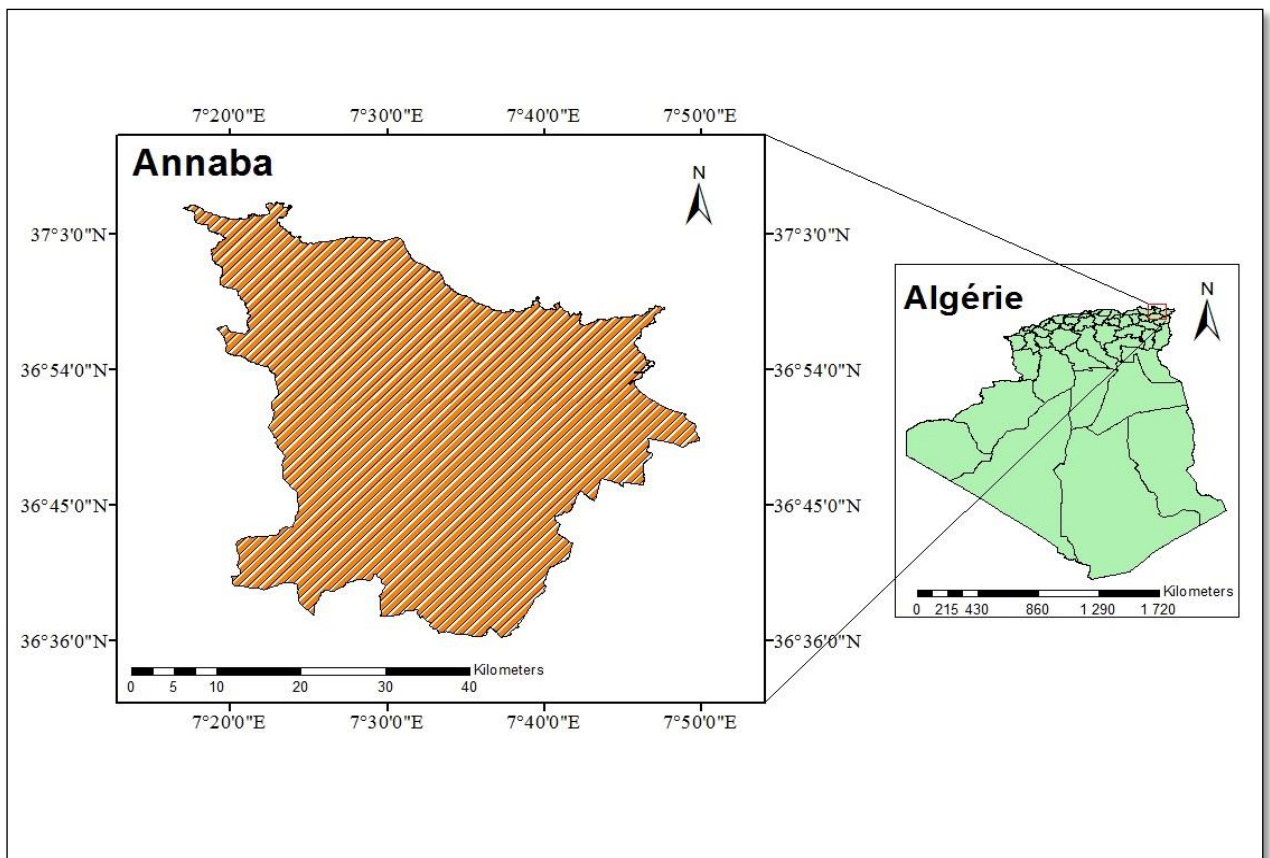
Ces paramètres sont comparés et actualisés en comparant avec les études de l'ANRH afin de les tester sur un réseau d'assainissement urbain.

Malgré le grand nombre de ces études, la plupart d'elles sont similaires, à cause d'échelles d'analyse inadaptées et aussi le manque d'information pluviométrique surtout dans les zones à risque pluvial et aussi le manque de mobilisation d'outils d'analyse performants.

## Chapitre I : Présentation du site et des données

### I.1 Situation géographique

La ville d'Annaba est située au Nord-Est algérien sur la totalité de la frange tellienne entre les longitudes  $7^{\circ}27'13''$  et  $7^{\circ}48'11''$  E et latitudes  $36^{\circ}36'15''$  et  $36^{\circ}55'6''$  N. Elle occupe une position stratégique sur le littoral septentrional de la méditerranée. Sur le plan administratif, elle est limitée au nord par la mer méditerranée, au sud par la wilaya de Guelma, à l'Est la wilaya d'el Tarf et à l'Ouest par la wilaya de Skikda (*Fig: 02*).

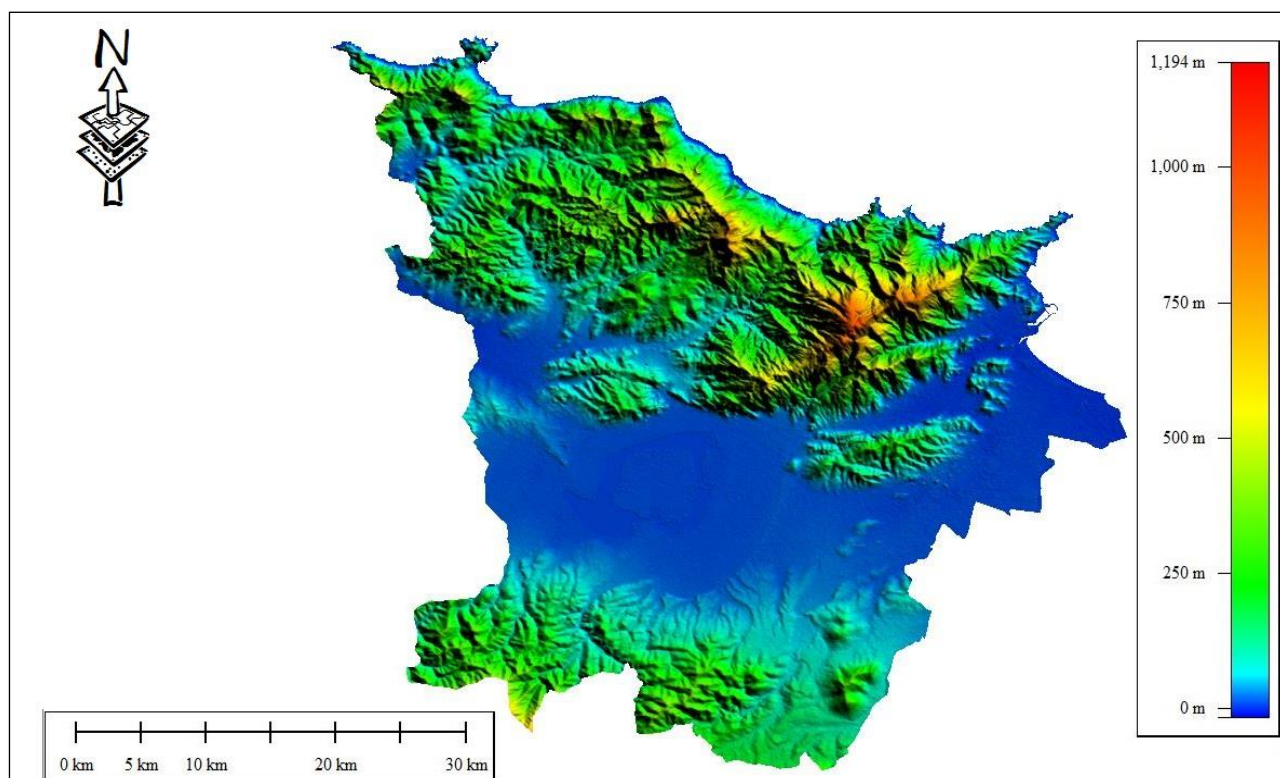


**Figure (02) :** Situation géographique de la ville d'Annaba.

La région se caractérise par deux importantes chaînes de montagnes : la succession de montagnes littorales et la chaîne numidique. Les montagnes littorales correspondent à des crêtes souvent allongées et arrondies dont les

altitudes varient entre 200 et 400 m (monts de la cheffia). Le mont de l'Edough est nettement séparé des reliefs, situé au Nord-Ouest sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne de crête, relativement rectiligne et longue de 26 km, débute au Nord du lac fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour culminer à 1008 m d'altitude au kef sebaa et redescend à 867 m vers Séraïdi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au cap de garde Nord de la ville.

Entre ces deux chaines de montagnes on rencontre sur des vastes étendues les plaines des basses vallées de la Mafragh à l'Est de la Seybouse au centre et le kébir ouest à l'Ouest. Ces vastes dépressions sont entrecoupées par une série de koudiats et collines qui constituent les lignes de crête des différents sous bassins (bassins du lac fetzara, bassin de l'oued Ressoul, bassin de kherraza, plaine de senhadja... etc.) (Fig : 03).



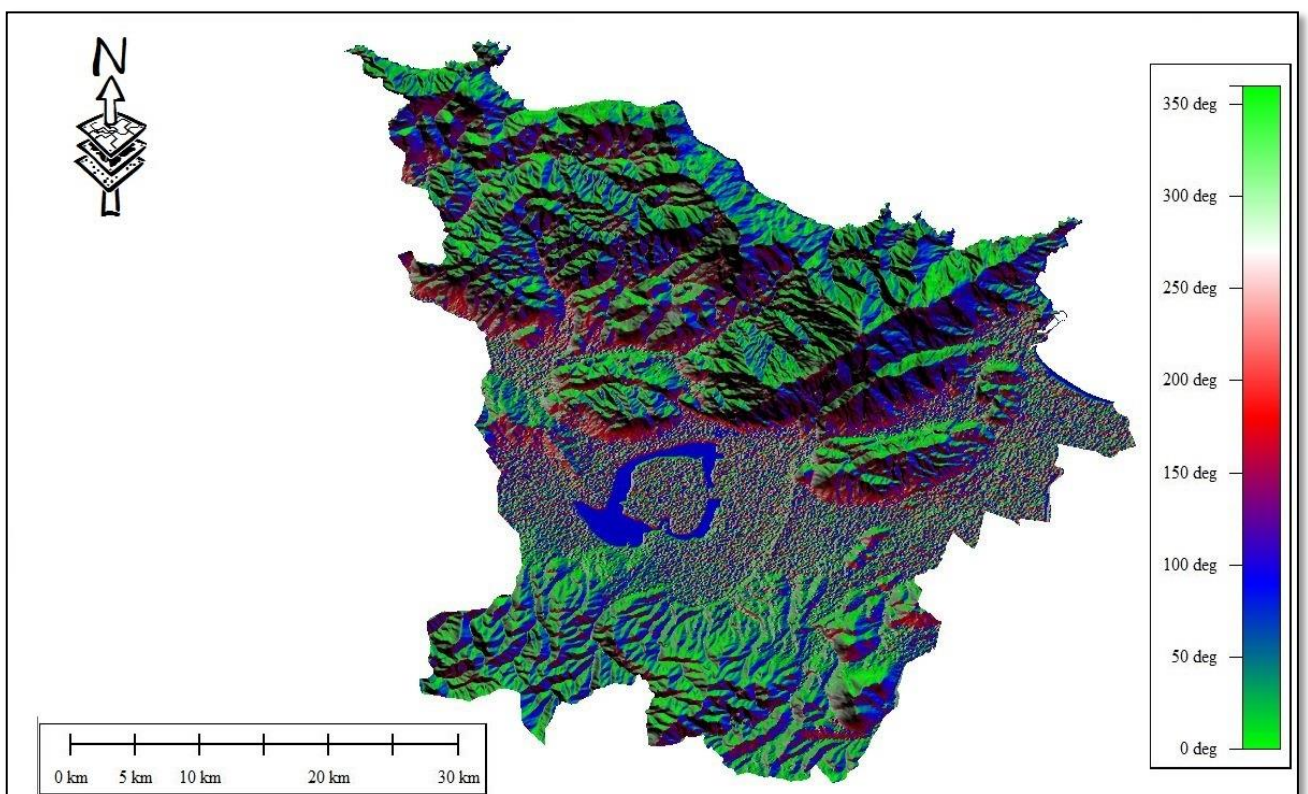
**Figure (03)** : Carte de l'MNT de la ville d'Annaba (SRTM -30×30m).

## I.2 Topographie

Sur le plan de la topographie, la région d'Annaba se trouve caractérisée par la présence de trois grandes lignes de relief quasi parallèles et qui sont :

- Le djebel Edough, le relief de loin le plus important de la région, qui affecte la forme d'un dôme elliptique dont l'axe est orienté du Sud-Ouest au Nord-Ouest.
- Le djebel Bougantas, d'axe parallèle à celui du djebel Edough, flanque ce dernier au Sud-Est.
- La troisième ligne de relief se différencie des deux paramètres de par son allure générale, son axe, offrant la forme d'un croissant, se relevant au Nord selon la direction Sud-Nord.

La grande plaine d'Annaba s'étend à l'Est de l'oued seybose, l'ensemble de ces plaines d'une topographie basse et assez plate est vulnérable aux débordements des Oueds qui inondent à chaque crue d'importantes superficies (Fig : 04).



**Figure (04) :** Carte des pentes de la ville d'Annaba.

### I.3 Géologie

Le terrain en question chevauche sur diverses formations géologiques d'origine sédimentaire, métamorphique et éruptive attribuées aux primaires, tertiaire et quaternaire qui correspondent à quatre grands ensembles tectoniques et structuraux :

Le massif cristallophyllien de la région d'Annaba, l'Edough constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes du massif kabyle. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté Sud-Ouest – Nord-Est se prolonge au-dessus du Fetzara par les coteaux de Berrahal. Au relief principal s'ajoutent à l'Est le Djebel Bougantas, le kef n'sour et le Bouhamra, les coteaux d'Annaba et enfin le promontoire du cap de garde qui est tranché brusquement par l'affaissement méditerranéen.

Cet ensemble montagneux de structure complexe (faillé, plissé) affecté par toutes les phases tectoniques depuis le paléozoïque apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région d'Annaba dont l'orogénie se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

La wilaya d'Annaba est une région à vocation industrielle et agricole. Ses activités font d'elle une grande utilisatrice d'eau. La demande en eau potable ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre pour satisfaire les secteurs suscités et les besoins d'une population qui ne fait que s'accroître, ce qui nécessite un approvisionnement de plus en plus important, sachant que cette solution dépend toujours des possibilités aquifères de la wilaya d'El Tarf.

Les différentes études géologiques réalisées sur la région ont permis de définir et de localiser les formations ayant un intérêt hydrogéologique certain. Il faut noter que le système aquifère d'Annaba se situe dans un bassin d'effondrement d'âge quaternaire et fait apparaître trois types de réservoirs:

- La nappe superficielle ;
- La nappe des sables du cordon dunaire ;
- La nappe des cipolins.

#### *I.3.1 Nappe superficielle*

Cette nappe est contenue dans les limons argileux sableux qui affleurent sur la bordure Sud-Ouest de la plaine d'Annaba. Elle est caractérisée par les lentilles discontinues de sable et d'argile, la profondeur maximale du mur est de 7 m.

L'interprétation des données de pompage effectuée dans la nappe permet de fixer un ordre de grandeur de la transmissivité qui est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) (**Gaud, 1976**), excepté dans les zones de bordure immédiate des petits oueds, où elle est de l'ordre de  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

La nappe est exploitée par de nombreux puits dont la plus part sont aujourd'hui abandonnées. La perméabilité moyenne est comprise entre ( $10^{-6}$  à  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s) d'après (**DGRHA, 1976**) et le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre 2% (**Saaidia, 1992**) l'épaisseur moyenne de l'aquifère est estimée environ 10 m.

### *1.3.2 La nappe des sables du cordon dunaire*

Cette nappe est alimentée par les eaux de pluie (infiltration efficace), elle peut éventuellement jouer le rôle d'une barrière qui protégera la nappe superficielle de la plaine d'Annaba, de l'invasion des eaux salées marines.

L'estimation de l'épaisseur moyenne de cet aquifère est d'environ 20 m, L'analyse des pompages d'essai effectuée dans les forages a permis d'estimer la transmissivité entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

### *1.3.3 La nappe des cipolins*

Elle est contenue dans les lentilles des calcaires métamorphiques karsts fiés des massifs de Belleilita et de Bouhamra, elle est exploitée seulement par quelques forages. La transmissivité estimée dans cette nappe est de l'ordre de  $5.10^{-5}$  à  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s en surface.

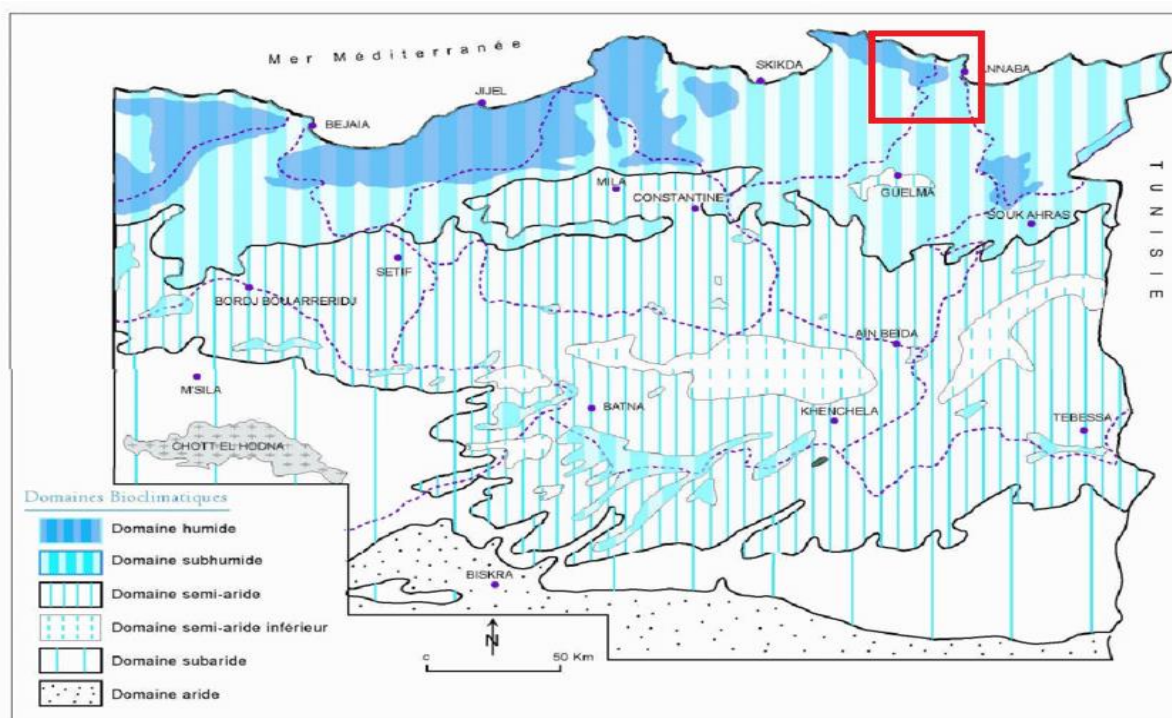
Les calcaires métamorphiques sont alimentés par les alluvions de la plaine entourant les massifs métamorphiques, par contre en profondeur ces cipolins sont en contact avec la nappe de graviers, son épaisseur ne dépasse pas 70 m selon (**Gurritti, 1966**).



**Figure (05) :** Situation géographique et esquisse géologique du territoire de la Wilaya d'Annaba (Lamrous, 2001).

#### I.4 Climatologie

Faisant partie de l'extrême Nord-Est de l'Algérie, la région d'Annaba jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : la saison humide et la saison sèche. Les contrastes géomorphologiques font que les facteurs hydro climatologiques se répartissent de façon très irrégulière dans le temps et dans l'espace. (Fig: 06)



**Figure (06) :** Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l’Est Algérien (Mebarki, 2006).

*1.4.1 Température*

Contrairement aux précipitations, les températures subissent un gradient thermique décroissant avec l'altitude. En effet, la température moyenne est de l'ordre de 15° C et 18° C aux stations de Séraïdi et les salines, respectivement (Tab: 1). Les minima s'observent durant la période la plus froide (Décembre - Février). La moyenne des minima s'échelonne entre 4° C à Séraïdi et 8° C à Annaba. Au cours du mois de janvier, le mois le plus froid, les thermomètres enregistrent des moyennes de l'ordre de 8° C et 15° C à Séraïdi et Annaba, respectivement.

**Tableau (01) :** Température moyennes mensuelles et annuelles.

Mois	sept	oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Total
<b>Séraïdi (1976-2008)</b>													
T° C	20	16,6	11,7	8,5	7,8	8,1	10,4	12,5	16,8	21,2	24,4	24	15,2
<b>Les Salines (1972-2007)</b>													
T° C	23	19,6	15,3	12,9	11,6	11,7	13,1	15	18,1	21,8	24,9	25,4	17,7

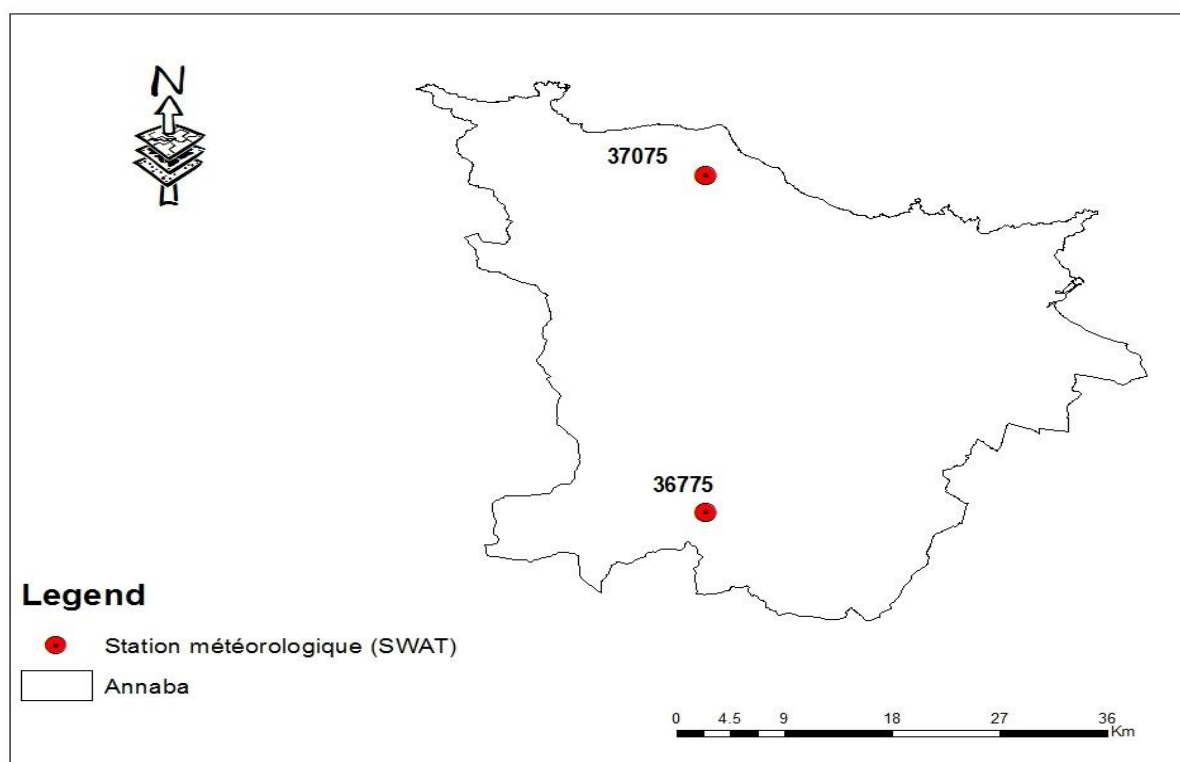
### I.4.2 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation et de la transpiration des plantes depuis la surface terrestre et océanique vers l'atmosphère. L'évaporation représente le mouvement de l'eau vers l'air à partir de sources telles que le sol, l'interception de la canopée et les plans d'eau. La transpiration explique le mouvement de l'eau dans une plante et la perte subséquente d'eau sous forme de vapeur à travers les stomates de ses feuilles dans les plantes vasculaires. L'évapotranspiration est une partie importante du cycle de l'eau. Il existe deux types :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

#### I.4.2.1 Données utilisées

Pour notre cas en raison du manque des données récentes de la température dans la région d'étude, et pour le calcul de l'évapotranspiration nous avons utilisé les données de température estimées par Global Weather Data for Swat et la formule de Thornthwaite. (Fig: 07 et Tab : 02)



**Figure (07) :** Réseau météorologique (station swat).

**Tableau (02) :** Cordonnées de réseau de mesure (SWAT)

Station	Longitude	Latitude	Période d'observation
36075	7.5	36.0	1979-2014
36775	7.5	36.7	1979-2014

#### 1.4.2.2 Formule de Thornthwaite

THORNTHWAITE a proposé également une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$\text{Avec : ETP} = 16 * \left(10 \frac{t}{I}\right)^a * K$$

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \text{ et } I = \sum_{I=1}^{12} I$$

$$a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

**T** : la température moyenne mensuelle du mois considéré ;

**Etp** : l'évapotranspiration potentielle du considéré (en mm d'eau) ;

**K** : coefficient d'ajustement mensuel.

**Tableau (03) :** Bilan de Thornthwaite région d'Annaba.

ETP \ Mois	Jan	Fev	Mai	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
	<b>36775</b>											
k	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
i	2.93	2.98	3.83	5.08	7.20	10.05	12.55	12.86	10.68	8.56	5.39	3.32
ETP (mm)	19.76	19.48	31.71	47.12	79.84	120.57	161.13	157.91	112.39	81.46	41.34	22.51
T C°	10.2	10.3	12.1	14.6	18.4	22.96	26.6	27.02	23.89	20.7	15.2	11.05
<b>37075</b>												
k	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
i	3.94	3.83	4.50	5.66	7.46	9.80	12.04	12.52	11.00	9.20	6.40	4.33
ETP (mm)	26.09	24.27	35.87	50.54	79.45	112.88	149.66	149.51	113.38	85.63	48.20	28.78
T C°	12.37	12.13	13.51	15.72	18.86	22.58	25.87	26.54	24.37	21.65	17.04	13.16

### I.5 Réseaux hydrographique de la ville d'Annaba

On peut distinguer dans ce massif montagneux cinq Oueds :

- Oued Kouba : draine les eaux du flanc Nord-Est et déverse dans la mer.
- Oued Forcha : draine ses eaux dans le Canal de Ceinture.
- Oued Bouhdid et Oued Sidi Harb : se rejoignent et se raccordent avec canal de ceinture pour former l'Oued Ed'heb.
- Oued Boudjemaa draine un bassin versant nettement plus grand qui collecte toutes les eaux de l'Oued Edheb et enfin se déversent dans la mer.



**Figure (08) :** Bassin versant et réseau hydrographique de la ville d'Annaba, image en 3D, Tracé sur image « Google Earth ».

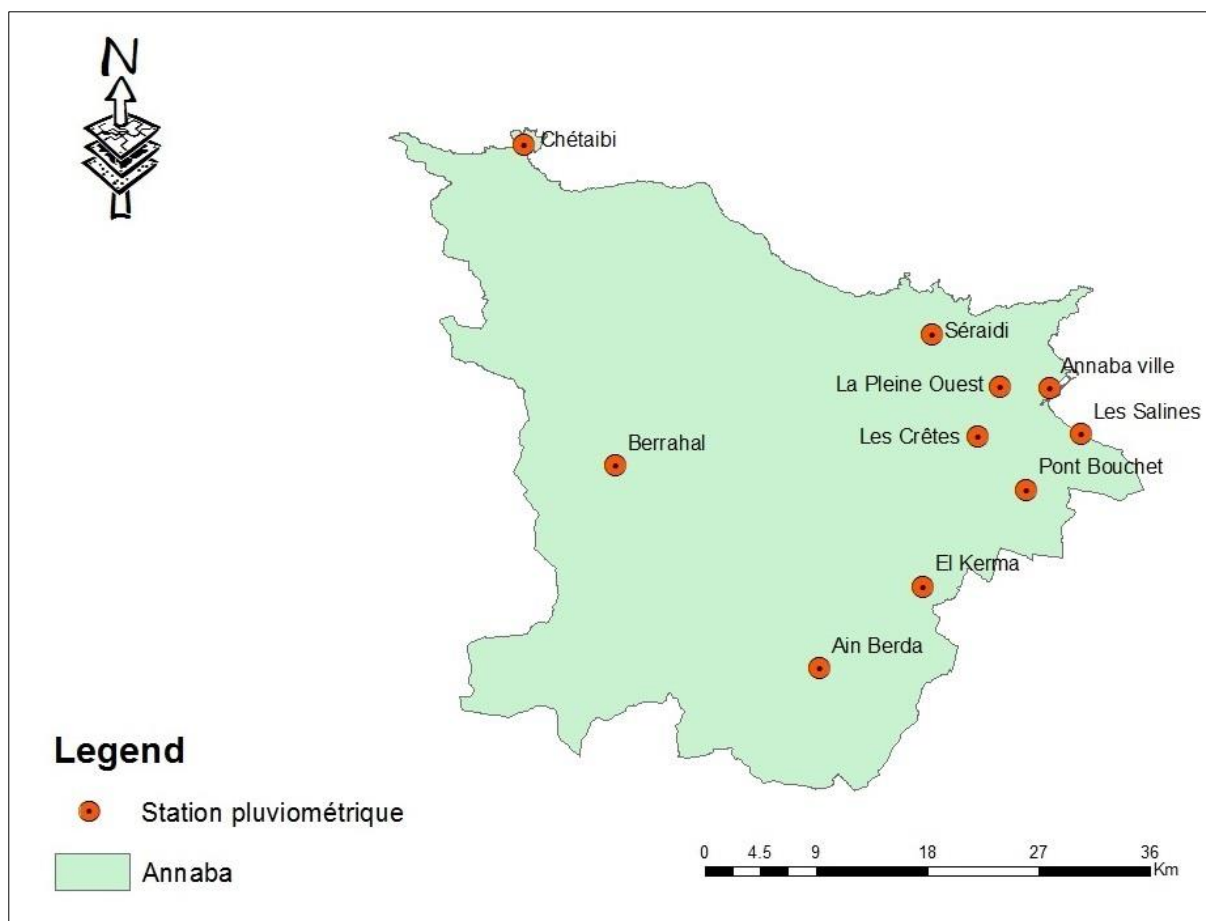
### I.6 Réseau de mesures pluviométriques

La ville d'Annaba dispose d'un réseau de mesure de faible densité comporte neuf postes pluviométriques sur une surface de 1429 km<sup>2</sup>, et d'une durée

d'observation de 1970 à 2009, ces stations se répartissent sur l'ensemble de la surface urbaine étudiée d'une façon aléatoire avec une densité cependant plus faible sur l'Ouest et le Sud de la ville. (Voir *Tab: 04* et *Fig: 09*).

**Tableau (04)** : Le réseau de mesure existant dans la ville d'Annaba.

Code station	Nom de la station	Coordonnées des stations			Type de mesure	Nombre d'années d'observations
		X [km]	Y[km]	Z[m]		
140606	Ain Berda	937,288	387,737	100	Pas de temps variable	39
031415	Annaba ville	951,1	411,1	50	Cumul journalier	24
031302	Berrahal	923,205	403,423	33	Cumul journalier	39
140631	Pont Bouchet	949,976	402,826	3	Pas de temps variable	33
031402	Seraidi	933.30	412,5	890	Cumul journalier	31
140609	El Kerma	943.69	394.66	23	Cumul journalier	39
140624	Les Salines	953.29	407.50	4	Cumul journalier	39
031403	Chétaibi	/	/	/	Cumul journalier	21
/	Les Crêtes	/	/	/	Cumul journalier	2
/	La Pleine Ouest	/	/	/	Cumul journalier	2



**Figure (09) :** Localisation des stations pluviométriques.

### *1.6.1 Données disponibles*

Pour notre travail nous disposons de données de différentes stations comme il est indiqué dans les tableaux suivants (*Tab: 05 - 07*) :

**Tableau (05) : Pluie annuelles.**

Code station	Nom de station	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009									
140606	Ain berda																																																	
140631	Pont bouchet																																																	
31302	Berahal																																																	
31415	Annaba port																																																	
31402	Seraidi																																																	
140609	El kerma																																																	
140624	Les salines																																																	
31403	Chetaibi																																																	
31201	Ain cherchar																																																	
31102	Bekouche lakder																																																	
140605	Nechmaya																																																	
140611	Kef mourad																																																	
/	La pleine ouest																																																	
/	Les cretes																																																	

- Lacune
- Pas de lacune





### I.6.2 Diagnostic du réseau de mesure

La ville d'Annaba comporte cinq sous bassins versants, dans notre travail on prend que les zones urbaines lors du choix de nombre et de l'emplacement de station pluviométrique.

Nous allons analyser la suffisance du réseau d'observation en appliquons plusieurs lois qui proposent le nombre de stations de mesure optimal par bassin versant, nous avons obtenu les résultats suivants :

Les lois appliquées lors du choix de nombre de pluviographes sont :

**Niemczynowicz** : il a proposé un pluviographe par  $1 \text{ km}^2$

**Tableau (08)** : Nombre de pluviographe optimum selon Niemczynowicz.

Nom de bassin versant	Superficie de bassin versant (Km <sup>2</sup> )	Nombre de pluviographe
Boudjemaa	15	15
Bouhdid	7	7
Sidi harb	4.66	4
Oued forcha	5	5
Oued kouba	4	4
<b>total</b>	<b>35,66</b>	<b>35</b>

**Shiling** : il a proposé de déterminer le nombre de pluviographe à l'aide de formule

$$N_p = A^{0.5} \quad (1)$$

Avec A superficie du BV en Km<sup>2</sup>

**Tableau(09)** : Nombre de pluviographe optimum selon Shiling.

Nom de bassin versant	Superficie de bassin versant (Km <sup>2</sup> )	Nombre de pluviographe
Boudjemaa	15	4
Bouhdid	7	3
Sidi harb	4.66	2
Oued forcha	5	2
Oued kouba	4	2
<b>total</b>	<b>35,66</b>	<b>13</b>

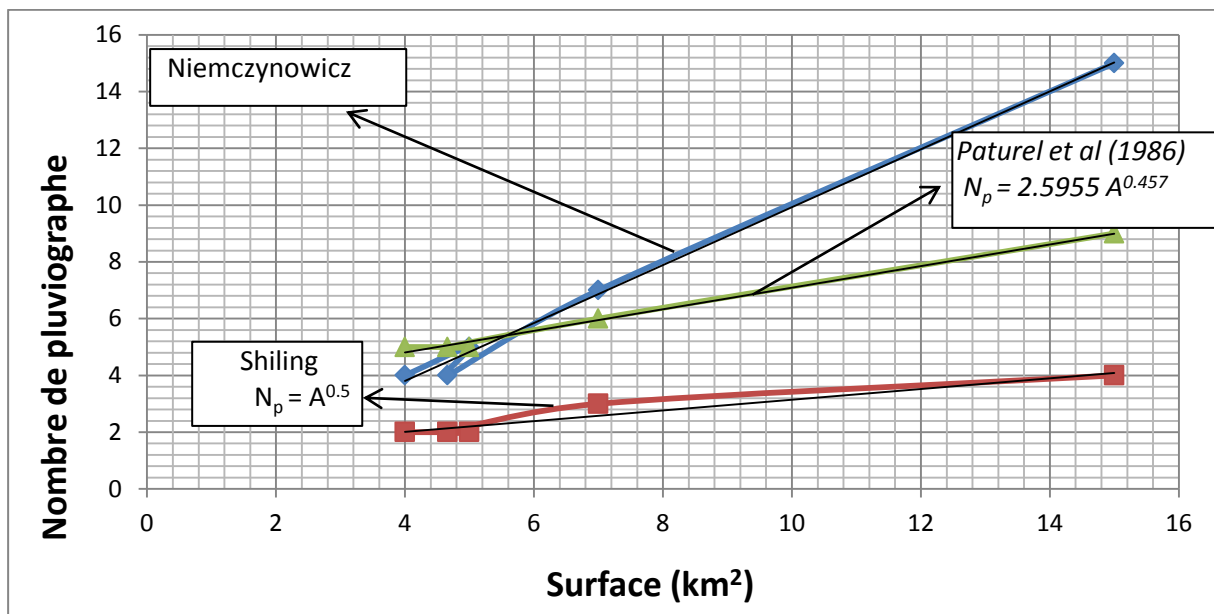
**Paturol et al (1986) :** il a estimé le nombre de pluviographe à l'aide de la formule suivante :

$$N_p = 2.5955 A^{0.457} \tag{2}$$

Avec : **A** superficie du BV en Km<sup>2</sup>

**Tableau (10) :** Nombre de pluviographes optimum selon Paturol et al.

Nom de bassin versant	Superficie de bassin versant (Km <sup>2</sup> )	Nombre de pluviographe
Boudjemaa	15	9
Bouhdid	7	6
Sidi harb	4.66	5
Oued forcha	5	5
Oued kouba	4	4
<b>Total</b>	<b>35.66</b>	<b>30</b>



**Figure (10) :** Nombre de pluviographe optimum pour les sous BV selon les trois méthodes.

### 1.6.3 Le choix de pas de temps

La distribution dans le temps de la hauteur d'eau précipitée en un point apparaît comme un phénomène aléatoire. Choisir un pas de temps de description des événements pluvieux dépend donc des objectifs visés.

**Niemczynowicz (1990, 1991)** préconise un pas de 1 minute ou moins en zone urbaine le tableau proposé par Schilling (1991) indique des pas de temps variables, pouvant descendre jusqu'à la minute.

Si on s'intéresse au phénomène de précipitation en lui-même (dimensionnement du réseau d'assainissement, étude du risque pluvial), des pas de temps de quelques secondes peuvent être nécessaires. Mais, en pratique en hydrologie urbaine, ce sont les conséquences des précipitations qui constituent le centre d'intérêt majeur, y compris pour une gestion en temps réel, et compte tenu de l'effet de lissage des variations des précipitations par le ruissellement et les écoulements en réseau, des pas de temps de l'ordre de 1 à 6 min peuvent être considérés comme suffisants.

**Tableau (11) :** Critères de choix des densités et des caractéristiques des pluviographes (d'après **Schilling, 1991**).

Objectif	Durée des séries de données	Densité spatiale de pluviographes	Pas de temps de discrétisation des pluies	Emplacement des pluviographes
<b>avant-projet et dimensionnement de réseaux (collecteurs)</b>	> 10 ans	1 par bassin versant	pluies d'intensité constante (type Montana)	Echelle régionale
<b>avant-projet et dimensionnement de bassins de retenue ou d'infiltration</b>	> 10 ans	1 par bassin versant amont	≤ 30 min	Echelle régionale
<b>avant-projet et dimensionnement de déversoirs d'orage (estimation des volumes déversés)</b>	> 5 ans	1 par bassin versant amont	≤ 15 min	Echelle régionale
<b>projet détaillé et évaluation des réseaux (collecteurs)</b>	> 20 ans	1 par bassin versant	1 min	sur ou à proximité du bassin versant

<b>projet détaillé et évaluation de bassins de retenue ou d'infiltration</b>	> 20 ans	1 par bassin versant amont	10 min	sur ou à proximité du bassin versant
<b>projet détaillé et évaluation de déversoirs d'orage (estimation des volumes déversés)</b>	> 10 ans	$\geq 1$ pour 5 km <sup>2</sup>	5 min	sur ou à proximité du bassin versant
<b>projet détaillé et évaluation d'un système de gestion en temps réel</b>	nombreux événements pluvieux	$\geq 1$ par km <sup>2</sup>	$\leq 5$ min	sur le bassin versant
<b>calage et vérification de modèles de simulation</b>	nombreux événements pluvieux	$\geq 1$ par km <sup>2</sup>	< 5 min	sur le bassin versant
<b>gestion en temps réel</b>	en temps réel	$\geq 1$ par km <sup>2</sup>	< 5 min	sur le bassin versant

## Synthèse

D'après ce que nous avons analysé, nous pouvons constater que :

- La région d'Annaba est caractérisé par deux types de climat, humide dans le Nord et subhumide dans le Sud.
- Pour la température le gradient décroissant Nord –Sud domine toutes les saisons avec des températures moyennes mensuelles de 10.2 C° jusqu'à 27.2 C° (1979-2014).
- Concernant l'évapotranspiration le gradient décroissant Nord vers le Sud présent dans toute la ville avec des valeurs moyennes mensuelles comprises entre 19.48 et 161.13 mm.
- Le nombre de pluviomètres dans la région d'Annaba est insuffisant pour cerner le phénomène pluviométrique.
- Le pas de temps de mesure est aussi inadapté.

La crédibilité de la portée de n'importe quelle étude hydrologique, dépend en premier lieu de la disponibilité et de la qualité des données utilisées. Dans le cas de la prévision hydrologique ou les études du risque pluvial, les modèles proposés exigent un historique

complet de données qui contient le maximum d'informations significatives. À cet égard, les séries des données pluviométriques tronquées doivent être comblées. Il est nécessaire par la suite de les traiter et l'analyser par les tests statistiques les plus connus.

---

## Chapitre II : Collecte et critique des données

---

### Introduction

L'étude et le contrôle de la fiabilité des données utilisées par les modèles de simulation et de prévision élaborés dans cette thèse constituent le principal objectif de ce chapitre. En effet le seul outil dont dispose l'hydrologue pour étudier et comprendre le comportement d'un phénomène naturel c'est les données observées, il est donc impératif de connaître à fond les techniques nécessaires d'analyse et de critiques de ces données afin de tirer le maximum d'informations de l'échantillon et de garantir leur qualité, de ce fait il est indispensable d'effectuer une analyse et un traitement statistique sur les séries chronologiques recueillies au niveau des stations de mesures.

La démarche à suivre consiste, à combler les lacunes des fichiers recueillis, à détecter d'éventuelles anomalies des observations, et puis à vérifier l'homogénéité et l'indépendance de ces dernières.

#### *Inventaire des données*

Les données utilisées nous ont été aimablement fournies par l'agence nationale des ressources hydrique (A.N.R.H) et l'office national de météorologie (O.N.M).

### II.1 Analyse des données pluviométriques

Afin de pouvoir utiliser les séries de données il est nécessaire de détecter les lacunes des stations pluviométriques et combler toutes ces derniers.

Les séries des données pluviométriques de la ville d'Annaba sont divisé en deux catégories, la première contient huit (08) stations pluviométriques d'une période longue et la deuxième se compose de deux (02) stations d'une petite période comme indique le (*Tab: 12*).

**Tableau (12)** : Présentation des stations.

N°	Nom de Station	Code	Durée d'observation
1	Annaba ville	031415	1985-2008
2	Les cretes	/	2007-2008
3	Seraidi	031402	1980-2010
4	La pleine ouest	/	2007-2008
5	Les salines	140624	1970-2008
6	Pont bouchet	140631	1976-2008
7	El kerma	140609	1970-2008
8	Ain berda	140606	1970-2008
9	Berahal	031302	1970-2008
10	Chetaibi	031403	1980-2000

## II.2 Critique des données

Les types de problème le plus souvent rencontrés lors du traitement des données en hydrologie sont (**Lamas, 1985**) :

- Le manque de données : station non existante,
- Non-continuité des données : manque d'enregistrements à une station,
- La mauvaise qualité des données qui peut dépendre de deux causes :

A. **Données inconsistantes** : lorsqu'elles sont entachées d'une erreur systématique due à des instruments de mauvaise qualité ou non calibrés.

B. **Données non homogènes** : lorsqu'il se produit à un moment donné, un changement de l'emplacement de l'appareil qui affecte la mesure (déplacement de la station de mesure ou changement d'appareil).

Afin de garantir la qualité des données, nous devons suivre les étapes suivantes :

- Comblent les lacunes des séries observées si elles existent ;
- Détecter et corriger les valeurs douteuses ;
- Vérifier l'homogénéité et l'indépendance des données.

### II.2.1 Méthodes de comblement des lacunes

Dans la pratique courante, de nombreuses causes concourent pour entraîner l'absence de certaines informations (absence de mesures, défaut de transmission, erreur de stockage, manipulation erronée,...) ce qui fait que dans les fichiers disponibles certaines données sont manquantes.

Nous pouvons estimer les valeurs manquantes ou erronées à une station à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. Plusieurs méthodes sont proposées telles que :

- Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche.
- Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines, cette méthode est utilisée lorsque les valeurs moyennes annuelles de la station lacunaire ne diffèrent pas plus de 10% des valeurs moyennes annuelles des stations de référence.
- Remplacer la valeur manquante par une moyenne pondérée par la tendance annuelle des stations pluviométriques.

#### II.2.1.1 Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire

##### *Principe de base*

Toutes les séries pluviométriques des différentes stations de la ville d'Annaba présentent des lacunes à l'échelle annuelle, pour combler ces lacunes dans les stations ayant des séries de pluies discontinues, nous avons procédé à la méthode de régression linéaire, cette méthode consiste à estimer les valeurs manquantes d'une série pluviométrique lacunaire à partir des observations d'une autre station de série continue et homogène, pour que cette méthode soit efficace il faut que la régression soit linéaire et que les variables confrontées suivant une loi normale (**khezazna, 2010**). On estime la variable  $y$  à partir de la variable  $x$  par la droite:

$$Y = a x + b \quad (3)$$

La variable  $x$  est observé  $n$  fois de la station de référence, et la variable  $y$  observée  $k$  fois avec  $n > k$ , soit le nombre de couples  $(x, y)$ , on se propose, à partir de ces couples d'établir la droite de régression de  $y$  en  $x$  puis, à partir des valeurs de  $x$  reconstituer les  $(n - k)$  valeur de  $y$  non observée.

Soient le  $\bar{x}_k; \bar{y}_k; \sigma_x; \sigma_y$  les moyennes et les écarts-types déterminés à partir des  $k$  couples ainsi que le coefficient de corrélation  $r$  correspondants:

La régression de  $(y)$  en  $(x)$  s'écrit :

$$\hat{y}_j = r_k \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot (x_j - \bar{x}_k) + \bar{y}_k \quad (4)$$

Ainsi les  $(n - k)$  valeurs de  $y$  qui manquent seront reconstitués. Le nombre d'années "efficace" ou " fictives "dit aussi l'efficacité de l'extension [E] d'observation 'n', dans lesquelles on aurait la même confiance que si elle avait été réellement faites pendant « n » est donnée une matrice d'évaluation du coefficient de corrélation.

**Tableau (13)** : Matrice d'évaluation du coefficient de corrélation de couples de stations des pluies annuelles.

Ain Berda	Annaba	Pont Bouchet	Berahal	Les Salines
Coef R <sup>2</sup>	0.47	0.45	0.51	0.16

#### *Cas de la pluie Annuelle de la station Annaba ville*

Nous appliquons la méthode de la régression linéaire aux séries pluviométriques d'Annaba ville et Ain Barda (station de base). Les données sont présentées dans le tableau ci-après.

**Tableau (14)** : Présentation des séries des pluies annuelles de la station de Ain barda et Annaba ville.

Année	Ain berda	Annaba ville	Année	Ain berda	Annaba ville	Année	Ain berda	Annaba ville	Année	Ain berda	Annaba ville
1970	588,9	??	1981	585,1	??	1992	680,6	713,1	2003	858,9	??
1971	706,3	??	1982	567,1	??	1993	500	586,8	2004	842,9	1008
1972	791,2	??	1983	715,9	??	1994	585,5	566,1	2005	574,2	428,6
1973	391,7	??	1984	833,4	??	1995	734,6	??	2006	594	555,3
1974	418,1	??	1985	448,4	??	1996	391,8	400,8	2007	528,4	596,2
1975	597,6	??	1986	813,6	294,6	1997	863	809,9	2008	888,5	906,8
1976	705,1	??	1987	382,1	464,7	1998	735	534,6	-	-	-
1977	555,5	??	1988	480,1	533,6	1999	562,1	510,6	-	-	-

1978	654,5	??	1989	530,9	541,9	2000	547,1	573,2	-	-	-
1979	464,1	??	1990	638,6	684,4	2001	368,2	346	-	-	-
1980	577,6	??	1991	623,7	722,8	2002	973	872,6	-	-	-

La série de Ain Barda est longue de 38 ans, celle d'Annaba ville de 21 ans, nous concluons le coefficient de corrélation  $r$ , nous allons aussi étendre la série d'Annaba ville, les calculs sont présentés dans le (Tab: 15).

**Tableau (15) :** Calcul des paramètres de la régression linéaire.

1	2	3	4	5	6
Année	Ain Berda X	Annaba ville Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1986	813,6	294,6	661944,96	86789,16	239686,56
1987	382,1	464,7	146000,41	215946,09	177561,87
1988	480,1	533,6	230496,01	284728,96	256181,36
1989	530,9	541,9	281854,81	293655,61	287694,71
1990	638,6	684,4	407809,96	468403,36	437057,84
1991	623,7	722,8	389001,69	522439,84	450810,36
1992	680,6	713,1	463216,36	508511,61	485335,86
1993	500	586,8	250000	344334,24	293400
1994	585,5	566,1	342810,25	320469,21	331451,55
1996	391,8	400,8	153507,24	160640,64	157033,44
1997	863	809,9	744769	655938,01	698943,7
1998	735	534,6	540225	285797,16	392931
1999	562,1	510,6	315956,41	260712,36	287008,26
2000	547,1	573,2	299318,41	328558,24	313597,72
2001	368,2	346	135571,24	119716	127397,2
2002	973	872,6	946729	761430,76	849039,8
2004	842,9	1008	710480,41	1016064	849643,2
2005	574,2	428,6	329705,64	183697,96	246102,12
2006	594	555,3	352836	308358,09	329848,2
2007	528,4	596,2	279206,56	355454,44	315032,08
2008	888,5	906,8	789432,25	822286,24	805691,8

Pour étendre la série pluviométrique de la station d'Annaba ville (y) on calcule

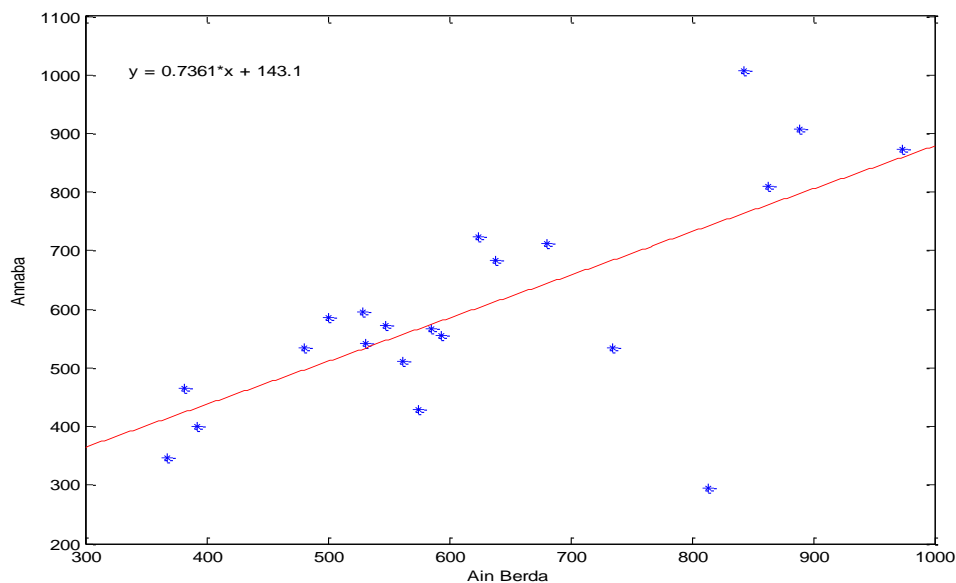
$$\bar{x}_k; \bar{y}_k; kS_x; kS_y; \bar{y}_n; nS_y :$$

$$\bar{x}_k = \frac{\sum x_i}{K} = 626,97 \text{ mm} \quad \bar{y}_k = \frac{\sum y_i}{K} = 628,55 \text{ mm}$$

$$kS_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{K-1}} = 172,46 \text{ mm} \quad kS_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{K-1}} = 184,81 \text{ mm}$$

L'équation de la droite de régression est :  $y = 0,74x + 143,28$ .

$$r = 0,686$$



**Figure (11) :** Régression linéaire simple des pluies annuelle station Ain Barda -Annaba.

L'efficacité (**E**) de la corrélation est:

$$E = 1 + \left(1 - \frac{K}{n}\right) \cdot \frac{1 - (K-2) \cdot r^2}{K-3} = 0,80 \tag{5}$$

Le nombre d'années efficaces d'observation (**n'**) égal à :

$$n' = \frac{K}{E} = 26 \tag{6}$$

**Tableau (16) :** Série des 26 années des pluies annuelles d'Annaba ville reconstitué.

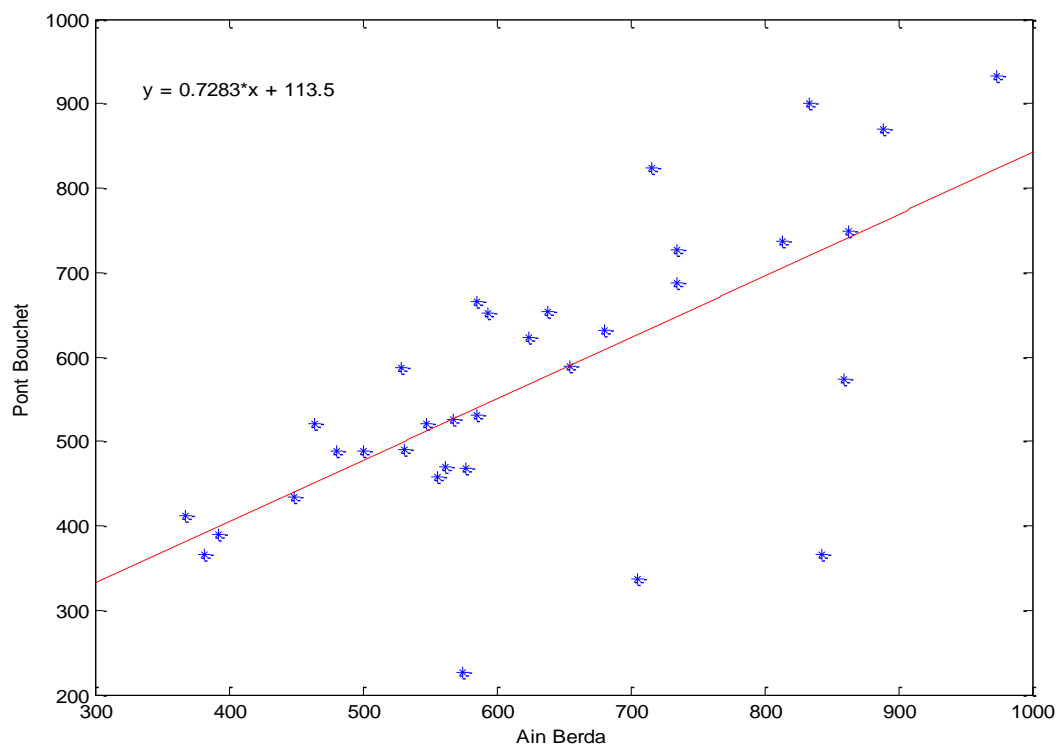
Année	Ain berda	Annaba ville	Année	Ain berda	Annaba ville	Année	Ain berda	Annaba ville	Année	Ain berda	Annaba ville
1970	588,9	579,076	1981	585,1	576,26	1992	680,6	713,1	2003	858,9	778,876
1971	706,3	665,952	1982	567,1	562,94	1993	500	586,8	2004	842,9	1008
1972	791,2	728,778	1983	715,9	673,06	1994	585,5	566,1	2005	574,2	428,6
1973	391,7	433,148	1984	833,4	760,01	1995	734,6	688,88	2006	594	555,3
1974	418,1	452,684	1985	448,4	475,11	1996	391,8	400,8	2007	528,4	596,2
1975	597,6	585,514	1986	813,6	294,6	1997	863	809,9	2008	888,5	906,8
1976	705,1	665,064	1987	382,1	464,7	1998	735	534,6	-	-	-
1977	555,5	554,36	1988	480,1	533,6	1999	562,1	510,6	-	-	-
1978	654,5	627,62	1989	530,9	541,9	2000	547,1	573,2	-	-	-
1979	464,1	486,724	1990	638,6	684,4	2001	368,2	346	-	-	-
1980	577,6	570,714	1991	623,7	722,8	2002	973	872,6	-	-	-

Les mêmes étapes à suivre pour combler toutes les séries des pluies annuelles.

## Cas des pluies annuelles de la station de pont Bouchet

**Tableau (17)** : Présentation des séries des pluies annuelles de la station de Ain barda et pont bouchet.

Année	Ain berda	Pont Bouchet	Année	Ain berda	Pont Bouchet	Année	Ain berda	Pont Bouchet	Année	Ain berda	Pont Bouchet
1970	588,9	??	1981	585,1	665,4	1992	680,6	632,1	2003	858,9	574,4
1971	706,3	??	1982	567,1	526,2	1993	500	488,8	2004	842,9	365,3
1972	791,2	??	1983	715,9	824,6	1994	585,5	531,7	2005	574,2	225,9
1973	391,7	??	1984	833,4	900,2	1995	734,6	726,8	2006	594	651,9
1974	418,1	??	1985	448,4	433,7	1996	391,8	389,5	2007	528,4	587
1975	597,6	??	1986	813,6	737,4	1997	863	748,6	2008	888,5	870,1
1976	705,1	337,8	1987	382,1	366,1	1998	735	687,3	-	-	-
1977	555,5	457,5	1988	480,1	487,8	1999	562,1	470,5	-	-	-
1978	654,5	589,2	1989	530,9	489,5	2000	547,1	521,4	-	-	-
1979	464,1	520,3	1990	638,6	653,6	2001	368,2	411,5	-	-	-
1980	577,6	468,9	1991	623,7	622,9	2002	973	933,6	-	-	-

**Figure (12)** : Régression linéaire simple des pluies annuelle station Ain Barda -Pont Bouchet.

**Tableau (18)** : Série des 26 années des pluies annuelles de pont bouchet reconstitué.

Année	Ain berda	Pont Bouchet	Année	Ain berda	Pont Bouchet	Année	Ain berda	Pont Bouchet	Année	Ain berda	Pont Bouchet
1970	588,9	542,42	1981	585,1	665,4	1992	680,6	632,1	2003	858,9	574,4
1971	706,3	627,92	1982	567,1	526,2	1993	500	488,8	2004	842,9	365,3
1972	791,2	689,75	1983	715,9	824,6	1994	585,5	531,7	2005	574,2	225,9
1973	391,7	398,81	1984	833,4	900,2	1995	734,6	726,8	2006	594	651,9
1974	418,1	418,03	1985	448,4	433,7	1996	391,8	389,5	2007	528,4	587
1975	597,6	548,76	1986	813,6	737,4	1997	863	748,6	2008	888,5	870,1
1976	705,1	337,8	1987	382,1	366,1	1998	735	687,3	-	-	-
1977	555,5	457,5	1988	480,1	487,8	1999	562,1	470,5	-	-	-
1978	654,5	589,2	1989	530,9	489,5	2000	547,1	521,4	-	-	-
1979	464,1	520,3	1990	638,6	653,6	2001	368,2	411,5	-	-	-
1980	577,6	468,9	1991	623,7	622,9	2002	973	933,6	-	-	-

$$r = 0,675344$$

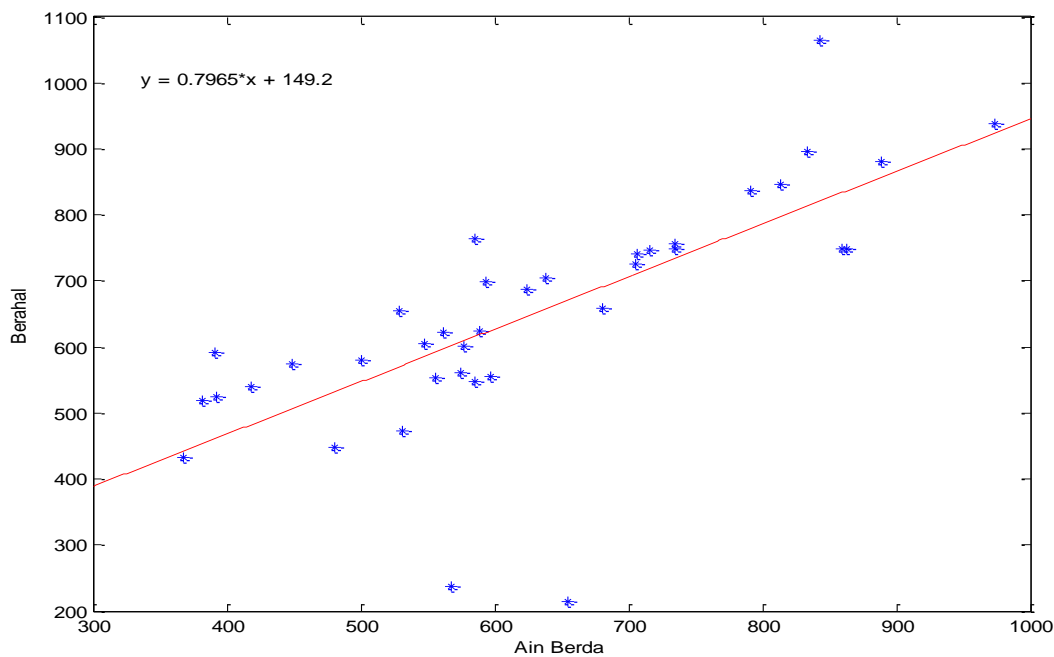
$$K = 33$$

$$E = 1 + \left(1 - \frac{K}{n}\right) \cdot \frac{1 - (K-2) \cdot r^2}{K-3} = 0,93$$

$$n' = \frac{K}{E} = 6 \text{ ans}$$

**Tableau (19)** : Cas des pluies annuelles de la station de Berahal.

Année	Ain berda	Beralhal	Année	Ain berda	Beralhal	Année	Ain berda	Beralhal	Année	Ain berda	Beralhal
1970	588,9	625	1981	585,1	763,2	1992	680,6	659,5	2003	858,9	748,5
1971	706,3	741	1982	567,1	236,7	1993	500	579,4	2004	842,9	1064,4
1972	791,2	836	1983	715,9	746,9	1994	585,5	547,6	2005	574,2	561,5
1973	391,7	592	1984	833,4	896	1995	734,6	755,9	2006	594	698,5
1974	418,1	539,9	1985	448,4	573,9	1996	391,8	525,2	2007	528,4	655,6
1975	597,6	555	1986	813,6	847	1997	863	749,5	2008	888,5	879,8
1976	705,1	724,9	1987	382,1	519,6	1998	735	748,1	-	-	-
1977	555,5	553,9	1988	480,1	448,4	1999	562,1	622,9	-	-	-
1978	654,5	214,6	1989	530,9	473,7	2000	547,1	605,1	-	-	-
1979	464,1	??	1990	638,6	704,9	2001	368,2	433,2	-	-	-
1980	577,6	600,6	1991	623,7	687,9	2002	973	937,7	-	-	-



**Figure (13):** Régression linéaire simple des pluies annuelle station Ain Barda -Berahal.

$$r = 0,717704$$

$$K = 38$$

$$E = 1 + \left(1 - \frac{K}{n}\right) \cdot \frac{1 - (K-2) \cdot r^2}{K-3} = 0,9864$$

$$n' = \frac{K}{E} = 39 \text{ ans}$$

**Tableau (20) :** Série des 27 années des pluies annuelles de Berahal reconstitué.

Année	Ain berda	berahal	Année	Ain berda	berahal	Année	Ain berda	berahal	Année	Ain berda	berahal
1970	588,9	625	1981	585,1	763,2	1992	680,6	659,5	2003	858,9	748,5
1971	706,3	741	1982	567,1	236,7	1993	500	579,4	2004	842,9	1064,4
1972	791,2	836	1983	715,9	746,9	1994	585,5	547,6	2005	574,2	561,5
1973	391,7	592	1984	833,4	896	1995	734,6	755,9	2006	594	698,5
1974	418,1	539,9	1985	448,4	573,9	1996	391,8	525,2	2007	528,4	655,6
1975	597,6	555	1986	813,6	847	1997	863	749,5	2008	888,5	879,8
1976	705,1	724,9	1987	382,1	519,6	1998	735	748,1	-	-	-
1977	555,5	553,9	1988	480,1	448,4	1999	562,1	622,9	-	-	-
1978	654,5	214,6	1989	530,9	473,7	2000	547,1	605,1	-	-	-
1979	464,1	518,9	1990	638,6	704,9	2001	368,2	433,2	-	-	-
1980	577,6	600,6	1991	623,7	687,9	2002	973	937,7	-	-	-

### II.3 Traitement statistique des données

Après avoir comblé les lacunes des stations en cause, il est indispensable de vérifier leur homogénéité et leur indépendance

#### *Principales causes d'inhomogénéités*

Les principales causes d'inhomogénéités dans les séries climatologiques dépendent du paramètre qui est mesuré (Tab: 21). Par exemple, les erreurs systématiques et d'observation peuvent causer une inhomogénéité dans les séries de climatiques (température, humidité et précipitation). Les ruptures dans les séries de précipitations peuvent être dues à des changements d'instrumentation, de la hauteur de l'instrument, de l'environnement immédiat de la station, de l'exposition de la station et des relocations. Les déplacements et changements d'exposition sont susceptibles d'introduire des ruptures très importantes dans les séries de précipitations. (Daly et al, 2007) expliquent comment différents observateurs peuvent introduire des biais dans les séries de précipitations. De manière générale, la principale cause de rupture dans n'importe quelles séries climatologiques est probablement le déplacement de station. De plus, le déplacement d'une station est souvent accompagné d'un changement d'instrumentation, d'observateur et d'environnement (Mestre, 2000).

**Tableau (21)** : Effet des différentes modifications des conditions de mesure sur différentes variables climatiques. (Heino ,1997) et (Mestre, 2000).

Type de changement	Variables			
	Température Moyenne	Température minimale et maximale	Pluie	Humidité
Instrumentation	-	+	+	++
Hauteur instrument	+	+	+	+
Exposition	+	++	+++	+
Heures observation	++	-	-	+
Méthode de calcul	++	-	-	+
Déplacement	++	+++	+++	+
Environnement	+	+	+	+
Observateurs	-	-	-	-

Pas de problèmes majeurs : (-) quelques inhomogénéités : (+) ruptures importantes, (++) et ruptures très importantes : (+++).

Les séries de précipitations sont particulièrement susceptibles de contenir des inhomogénéités et des biais de grande amplitude (Easterling et al, 1996). En

général, les mesures de précipitations sont biaisées et tendent à sous-estimer les vraies précipitations (**Groisman et Legates, 1994**). Les mesures de précipitations sont surtout affectées par le vent et par l'effet Venturi qui est produit au-dessus du cône du pluviomètre. Donc, les changements qui font en sorte que l'exposition de la station au vent est différente sont les plus susceptibles de perturber les données. La capture des précipitations diminue avec le vent qui lui augmente avec l'altitude, ce qui a pour effet de biaiser les mesures. Les modifications de la hauteur du capteur au-dessus du sol, de la forme du capteur et de l'auvent du capteur peuvent induire une rupture dans les données, puisque le vent perturbe la mesure d'une manière différente (**Groisman et Legates, 1994; Yang et al, 1999**). En effet, même les précipitations mesurées par deux capteurs différents placés côte-à-côte sont souvent différentes (**Sevruk, 1996**). Des changements mineurs tels qu'un changement de la hauteur du capteur au-dessus du sol de 1 mètre peuvent introduire des inhomogénéités de très grande amplitude (**Karl et al, 1993**).

Des changements dans l'environnement de la station comme la croissance de végétation, la construction ou la démolition d'un édifice et l'urbanisation peuvent affecter les mesures de précipitations puisque ces changements affectent la circulation du vent (**Groisman et Legates, 1994**).

Comme la vitesse du vent et l'exposition de la station au vent augmentent avec l'altitude, les déplacements de stations avec changement d'élévation peuvent introduire des inhomogénéités dans la série.

Puisque le vent influence grandement les mesures de précipitations, il semblerait logique que la détection d'inhomogénéités se fasse relativement aux fluctuations du vent. Cependant, aux pas de temps mensuels, saisonniers et annuels, on peut faire l'hypothèse que l'effet introduit par une rupture est constant et ignorer l'effet du vent (**Mestre, 2000**).

### *II.3.1 Homogénéisation*

Énormément d'effort a été mis dans le développement de méthodes pouvant identifier et corriger des inhomogénéités dans les données climatiques. Diverses techniques ont été développées pour accommoder différents types de données. En effet, les méthodes d'homogénéisation varient selon des facteurs tels que la variable à homogénéiser, la variabilité spatiale et temporelle des données selon l'endroit où les stations sont situées, la longueur des séries et le nombre de données manquantes, les métadonnées disponibles et la densité du réseau d'observations (**Aguilar et al, 2003**).

Il existe plusieurs méthodes d'homogénéisation, on peut les classer deux catégories principales qui les rejoignent toutes: méthodes subjectives ou objectives. Lorsque l'emplacement d'une discontinuité est détecté à l'œil nu sur un graphique, la méthode appartient à la classe subjective même si des tests statistiques sont appliqués par la suite. Par contre, les méthodes objectives ne dépendent pas du jugement de l'utilisateur pour localiser les inhomogénéités. Une méthode bayésienne pourrait être considérée subjective avec une distribution a priori informative. Néanmoins, les méthodes bayésiennes sont présentées parmi les méthodes objectives. Dans notre étude nous avons utilisé le test de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité des séries des pluies annuelles de la ville d'Annaba

### *II.3.2 Le test de Wilcoxon*

#### *Principe de test*

C'est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations, au lieu de la série de leurs valeurs.

Si l'échantillon (de pluie par exemple) X est issue d'une même population Y, l'échantillon X U Y (union de X et de Y) en est également issu.

On procède ainsi:

Soit une série d'observations de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons X et Y : N1 et N2 sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec  $N = N1 + N2$  et  $N2 \leq N1$ .

En classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite, nous ne nous intéresserons qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série. Si une valeur se répète plusieurs fois, on lui

associe le rang moyen correspondant. On calcule ensuite la somme  $W_x$  des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune:  $W_x = \sum \text{Rang } x$ .

Wilcoxon a constitué une série homogène, la quantité  $W_x$  est comprise entre deux bornes  $W_{\max}$  et  $W_{\min}$  donnée par les formules suivantes:

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad (7)$$

Et

$$W_{\max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{\min} \quad (8)$$

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  : Représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à  $1 - \frac{\alpha}{2}$  [au seuil de confiance de 95% nous avons]

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$$

Nous allons utiliser le test de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité des données pluviométriques de toutes les sept stations au niveau de signification de 5%.

Dans la suite du travail, à titre explicatif, nous allons détailler les calculs pour la station d'Ain Berda. Pour le reste des stations nous allons faire une synthèse des résultats.

*Cas des pluies annuelles de la station Ain Barda*

Les données sont reportées sur le (Tab: 22).

**Tableau (22) :** Série des pluies annuelles de la station d'Ain Berda.

Année	Pluie Annuelle	Année	Pluie Annuelle	Année	Pluie Annuelle	Année	Pluie Annuelle
1970	588,9	1981	585,1	1992	680,6	2003	858,9
1971	706,3	1982	567,1	1993	500	2004	842,9
1972	791,2	1983	715,9	1994	585,5	2005	574,2
1973	391,7	1984	833,4	1995	734,6	2006	594
1974	418,1	1985	448,4	1996	391,8	2007	528,4
1975	597,6	1986	813,6	1997	863	2008	888,5
1976	705,1	1987	382,1	1998	735	-	-
1977	555,5	1988	480,1	1999	562,1	-	-
1978	214,6	1989	530,9	2000	547,1	-	-
1979	464,1	1990	638,6	2001	368,2	-	-
1980	577,6	1991	623,7	2002	973	-	-

Nous formons ensuite le (Tab: 23) pour faciliter les calculs. On commence par diviser notre série pluviométrique en deux échantillons de longueurs respectives  $N_1 = 20$  valeurs et  $N_2 = 19$  valeurs. Dans la première colonne, on porte le premier échantillon X; dans la deuxième colonne, on porte le deuxième échantillon Y; dans la troisième et la quatrième colonne, on porte respectivement les rangs et les valeurs classées de les séries originale, dans la cinquième colonne l'origine de la valeur de la série, c'est-à-dire on note si elle provient de l'échantillon X ou de Y.

**Tableau (23) :** Application de la méthode de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité de la série des pluies annuelles de la station d'Ain Barda.

Données	X	Y	Rang	XUY	Origine	$\Sigma$ Rang x
588,9	588,9	638,6	1	368,2	Y	
706,3	706,3	623,7	2	382,1	X	2
791,2	791,2	680,6	3	391,7	X	3
391,7	391,7	500	4	391,8	Y	
418,1	418,1	585,5	5	418,1	X	5
597,6	597,6	734,6	6	448,4	X	6
705,1	705,1	391,8	7	464,1	X	7
555,5	555,5	863	8	480,1	X	8
654,5	654,5	735	9	500	Y	
464,1	464,1	562,1	10	528,4	Y	
577,6	577,6	547,1	11	530,9	X	11
585,1	585,1	368,2	12	547,1	Y	
567,1	567,1	973	13	555,5	X	13

715,9	715,9	858,9	14	562,1	Y	
833,4	833,4	842,9	15	567,1	X	15
448,4	448,4	574,2	16	574,2	Y	
813,6	813,6	594	17	577,6	X	17
382,1	382,1	528,4	18	585,1	X	18
480,1	480,1	888,5	19	585,5	Y	
530,9	530,9		20	588,9	X	20
638,6			21	594	Y	
623,7			22	597,6	X	22
680,6			23	623,7	Y	
500			24	638,6	Y	
585,5			25	654,5	X	25
734,6			26	680,6	Y	
391,8			27	705,1	X	27
863			28	706,3	X	28
735			29	715,9	X	29
562,1			30	734,6	Y	
547,1			31	735	Y	
368,2			32	791,2	X	32
973			33	813,6	X	33
858,9			34	833,4	X	34
842,9			35	842,9	Y	
574,2			36	858,9	Y	
594			37	863	Y	
528,4			38	888,5	Y	
888,5			39	973	Y	

Somme Rang  $x = 355$

$X = 20$

$Y = 19$

$W_{\min} = 310,24$

$W_{\max} = 489,75$

Sachant que  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$  pour un niveau significatif  $\alpha = 5 \%$ .

On vérifie l'égalité  $W_{\min} < \Sigma \text{Rang } x < W_{\max}$

C'est-à-dire que  $310,24 < 355 < 489,75$

L'inégalité est donc vérifiée, et notre série donc homogène.

**Tableau (24) :** Résultats de Test de Wilcoxon sur les stations d'Annaba.

Nom de station	Test de Wilcoxon			Vérification de L'inégalité	observation
	Wmin	Wmax	$\sum X$		
<b>Ain berda</b>	310,24	489,75	355	$W_{min} < \sum X < W_{max}$	homogène
<b>Annaba ville</b>	296,68	463,31	439	$W_{min} < \sum X < W_{max}$	homogène
<b>Berahal</b>	303,45	476,54	212	$\sum X < W_{min} < W_{max}$	Non homogène
<b>Pont bouchet</b>	234,78	377,21	273	$W_{min} < \sum X < W_{max}$	homogène
<b>Seraidi</b>	93,420	170,57	181	$\sum X < W_{min} < W_{max}$	Non homogène
<b>Les salines</b>	250,58	410,12	437,85	$W_{min} < \sum X < W_{max}$	homogène
<b>EL Kerma</b>	270,23	380,15	350,69	$W_{min} < \sum X < W_{max}$	homogène

#### II.4 Indépendance

Les évènements A et B sont indépendants si l'occurrence ou la non-occurrence de l'un n'influence pas l'occurrence ou la non-occurrence de l'autre ( $P [A| B] = P [A]$  et  $P [B| A] = P [B]$ ). En termes mathématiques, les évènements A et B sont indépendants si :

$$P [A \text{ et } B] = P [A] * P [B] \quad (9)$$

En ce concerne les précipitations, la dépendance varie en fonction de l'intervalle entre les éléments successifs de la série : le lien entre les hauteurs successives de la pluie horaire est plutôt grand tandis que celui des pluies annuelles est plutôt faible. Le test de (**Wald-Wolfowitz, 1943**) permet de vérifier l'indépendance de l'échantillon.

##### II.4.1 Test de WALD –WOLFOWITZ

Le test de Wald-Wolfowitz permet de vérifier l'indépendance et de détecter les tendances dans un échantillon. Ce test est non-paramétrique, c'est-à-dire qu'il ne suppose pas que l'échantillon provienne d'une loi particulière (par exemple, la loi normale).

Soit un échantillon  $x_1, \dots, x_n$ . On considère la statistique  $R$  telle que :

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1} + x_1 x_n \quad (10)$$

Dans le cas où les éléments de l'échantillon sont indépendants,  $R$  suit approximativement une distribution normale de moyenne et de variance :

$$\bar{R} = \frac{S_1^2 - S_2}{n-1} \quad (11)$$

**Tableau (25) :** Résultats des tests non paramétriques appliqués aux pluies annuelles dans la région d'Annaba (Test de Wald-Wolfowitz).

	Les salines	Annaba ville	Séraïdi	Ain Berda	Berahal	Pont bouchet
<b>U<sub>cal</sub></b>	-5.842	-4.147	-5.92	-5.48	-4.25	-4.91
<b>Décision</b>	Accepter H <sub>0</sub>	Accepter H <sub>0</sub>	Accepter H <sub>0</sub>	Accepter H <sub>0</sub>	Accepter H <sub>0</sub>	Accepter H <sub>0</sub>
<b>Seuil</b>	5%	5%	5%	5%	5%	5%

## II.5 Vérification des valeurs singulières

### II.5.1 Test de GRUBBS-BECK (1972)

Le test de Grubbs-beck permet de vérifier si les valeurs extrêmes appartiennent à la même population que le reste de l'échantillon. Ce test suppose que les données proviennent d'une population normale. Pour un échantillon ayant une asymétrie positive on fait l'hypothèse que les données sont distribuées selon une loi-log normal. Puisque ce test est peu robuste, il ne sera utilisé qu'à titre indicatif (erreur de lecture). Les observations détectées seront ensuite validées physiquement à l'aide des stations avoisinantes.

Soit les :

$$X_{MAX} = \bar{x} + K_N S \quad (12)$$

$$X_{MIN} = \bar{x} - K_N S$$

Ou  $K_n$  est la statistique de Grubbs-Beck tabulée pour différentes tailles d'échantillon et pour différents niveaux de signification.  $\bar{X}$  Et  $S^2$  sont respectivement la moyenne et la variance non-biaisée de l'échantillon.

Les valeurs supérieures à  $X_{max}$  sont considérées des valeurs singulières supérieures et valeurs inférieures à  $X_{min}$  sont considérées des valeurs singulières inférieures.

**Tableau (26) :** Test de représentativité de Grubbs et Beck.

Nom De Station	Les salines	Annaba ville	Séraïdi	Ain Berda	Berahal	El kerma	Pont bouchet
<b>N</b>	29	22	30	30	30	30	30
<b><math>X_{max}</math></b>	1150,04	1156,69	1951,69	1105,59	1195,48	1095.36	1055,59
<b><math>X_{min}</math></b>	200,36	22,97	326,80	153,64	103,57	144.22	158,24
<b><math>K_{N,10\%}</math></b>	2.893	2.758	2.908	2.908	2.908	2.908	2.908

### Conclusion

Plusieurs tests statistiques ont été utilisés pour ajuster les hauteurs de précipitation annuelles. Les échantillons considérés proviennent de diverses régions de la ville d'Annaba. Les hypothèses d'indépendance et d'homogénéité et de détection de valeurs singulières ont été vérifiées à l'aide de tests appropriés.

D'une façon générale les données pluviométriques sont fiables et on peut l'utiliser dans n'importe quel domaine de l'eau surtout dans la prévention des risques pluviaux tels que les inondations.

---

## Chapitre IV: Variabilité spatiale et pluviennes

---

### IV. 1 Introduction

La pluviométrie est le facteur climatique le mal connu dans la ville d'Annaba. D'après les résultats des études antérieures, la carte pluviométrique de la ville (extraite de la « carte isohyètes de l'Algérie » dressée par (K. Body) et vérifiée par (Bessaklia, 2013) montre une répartition particulière des hauteurs de pluie. Cette répartition est caractérisée par :

- Une augmentation systématique de la hauteur de pluie sur la montagne de l'Edough Nord de la ville;
- Une diminution progressive de la hauteur de pluie au fur et à mesure que nous nous éloignons de la zone littorale vers l'intérieur de la ville.

Les précipitations moyennes mensuelles observées dans la région d'Annaba pendant la période 1970-2008 pour les stations disponibles de (Agence Nationale des ressources Hydrique), aussi de (Office National Météorologique), inégalement réparties au cours d'une même année et d'une année à l'autre, suit un gradient croissant de plaine (Pont Bouchet : 610 mm, les salines : 670 mm) vers l'Edough (Séraïdi : 1250 mm). L'accroissement de la pluviométrie de la plaine vers Séraïdi est principalement lié au gradient altimétrique également croissant (Annaba-les salines et pont Bouchet : 3 m, séraïdi 860 m). Pendant les années excédentaires (année hydrologique 1997-1998 par exemple, le coefficient pluviométrique est supérieur à 1, la pluviométrie dépasse les 900 mm/an à Annaba et Ain Berda et les 1500 mm/an à Séraïdi (Tab:30). La variabilité temporelle, traduite par le coefficient de variation (CV), est très nette à l'échelle mensuelle ( $CV > 40\%$ ) ; elle est beaucoup plus accentuée pendant la saison estivale ( $CV > 100\%$ ). À l'échelle annuelle, la variabilité est relativement beaucoup plus faible ( $CV < 25\%$ ).

**Tableau (30) :** Caractéristique statistiques des stations étudiées au pas de temps mensuel.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
<b>Pont Bouchet (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	32.84	41.41	87.17	111.60	90.76	64.54	51.28	54.73	36.39	15.14	3.19	11.28
<b>min</b>	3.00	2.50	11.10	10.20	17.80	1.90	5.80	3.60	3.60	0.00	0.00	0.00
<b>max</b>	125.40	234.30	242.40	232.30	196.50	221.20	195.90	142.20	112.70	62.30	14.20	55.20
<b>Cv</b>	0.65	0.66	0.76	0.42	0.50	0.72	0.82	0.63	0.73	1.12	1.48	1.37
<b>Berrahal (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	29.39	53.46	93.10	129.72	104.83	77.15	57.63	63.21	40.16	14.10	3.88	5.64
<b>min</b>	1.4	2.2	10	15	29.8	6	10.6	12.9	2.6	0	0	0
<b>max</b>	80	134.1	258.9	227.1	198.9	210.9	219.1	146.8	205.6	46.8	21.8	35.1
<b>Cv</b>	0.71	0.69	0.72	0.45	0.44	0.72	0.79	0.63	1.14	1.10	1.39	1.44
<b>Les Salines (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	37.85	49.80	90.71	123.32	98.30	75.64	57.15	59.01	39.79	14.80	2.84	10.39
<b>min</b>	0	4.1	19.4	15	29.1	6	5	15.3	6	0	0	0
<b>max</b>	116.1	126	242.7	185	195.4	209	203.7	123.2	114.8	52	13.4	67
<b>Cv</b>	0.80	0.71	0.67	0.43	0.47	0.65	0.71	0.55	0.72	0.94	1.52	1.46
<b>Annaba Ville (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	32.78	40.12	103.27	116.94	97.56	66.69	69.32	54.38	26.33	9.62	1.66	7.05
<b>min</b>	0	0	15.5	13.1	30.2	9.1	0.2	14.6	0	0	0	0
<b>max</b>	94.7	97	321.5	224.1	174	170.7	356.6	158.5	125	52.2	11.3	30.3
<b>Cv</b>	0.88	0.71	0.80	0.50	0.50	0.60	1.16	0.71	1.04	1.46	1.97	1.28
<b>Ain Berda (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	41.02	42.86	78.80	110.26	94.01	68.67	62.68	63.70	40.37	16.74	2.54	9.43
<b>min</b>	0.6	2.4	9.5	9.9	27.5	4.5	5.4	10.5	6	0	0	0
<b>max</b>	135	103.5	230	230	208.5	157	219	166	166.5	65	14	34.5
<b>Cv</b>	0.88	0.68	0.80	0.51	0.55	0.60	0.89	0.63	0.96	1.10	1.59	1.05
<b>El Kerma (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	36.09	43.05	74.21	124.07	104.12	66.62	57.56	63.41	39.37	10.82	2.19	8.68
<b>min</b>	0	0	0.6695	0.4307	0.4398	0.59758	0.2	0.55159	0	0	0	0
<b>max</b>	135	134.1	321.5	230	208.5	210.9	356.6	166	205.6	65	21.8	67
<b>Cv</b>	0.69	0.63	0.84	0.41	0.63	0.74	0.88	0.66	0.82	1.37	1.71	1.28
<b>Séraïdi (Série : 1988-2008)</b>												
<b>moyenne</b>	65.54	94.10	169.15	203.45	190.34	123.79	103.62	113.39	55.08	18.33	8.62	21.95
<b>min</b>	1.6	4.3	33.1	28.2	60.2	15.1	5.5	32.2	2.8	0	0	0
<b>max</b>	165.9	293.9	369.4	452.5	403.6	443.8	344.4	307	218.1	93.1	59.5	71.9
<b>Cv</b>	0.75	0.79	0.57	0.58	0.48	0.77	0.81	0.67	1.01	1.24	2.00	1.04

Dans la région d'Annaba, plus de 75% des pluies tombent entre les mois de novembre et avril, période la plus pluvieuse dont près de 45% pendant la saison hivernale avec un maximum (116 mm à les salines et 190 mm à Séraïdi) au mois de décembre (Fig: 30-43).

Pour le choix des saisons l'Été (Juin, Juillet, Aout), l'Automne (Septembre, Octobre, Novembre), l'Hiver (Décembre, Janvier, Février), le Printemps (Mars, Avril, Mai).

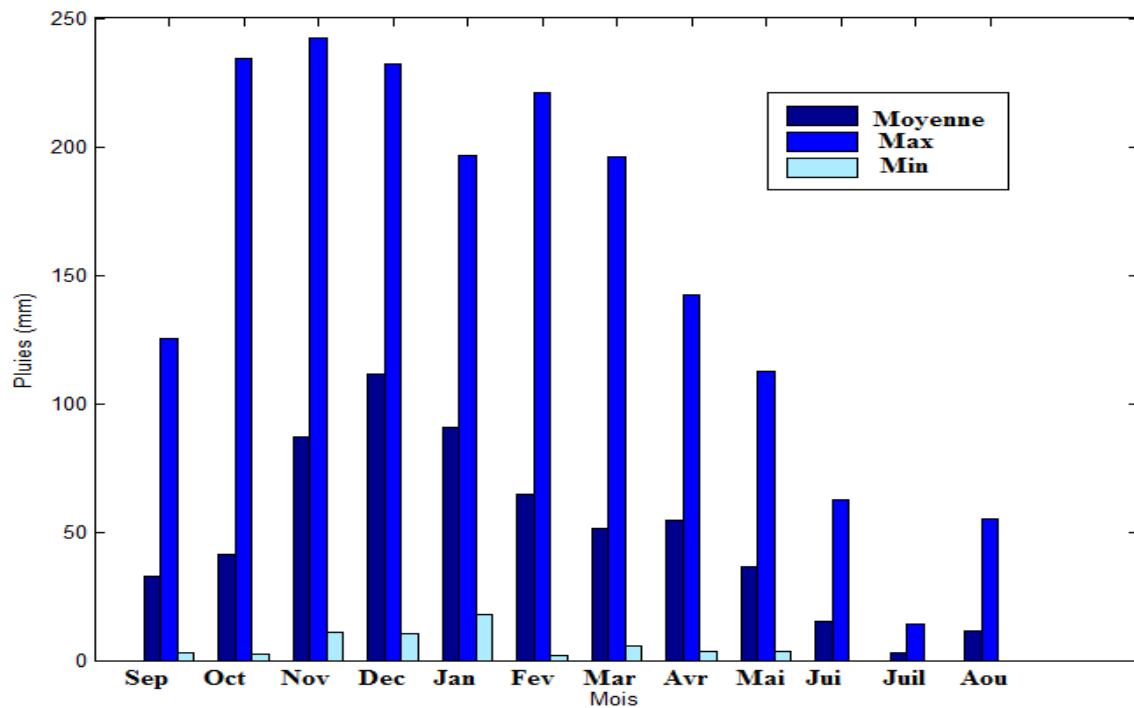


Figure (30) : Variation des pluies mensuelles (station Pont Bouchet).

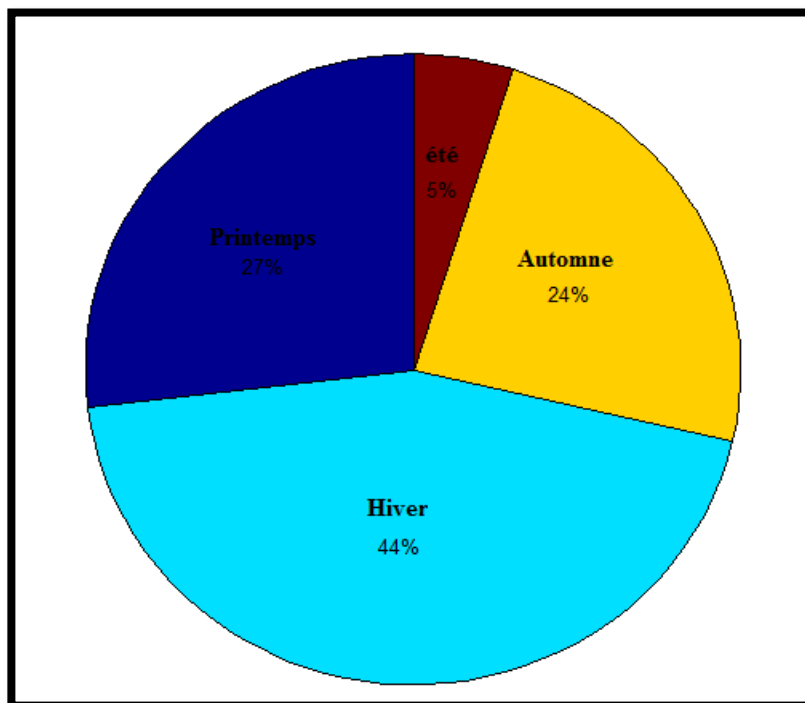


Figure (31) : Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Pont Bouchet.

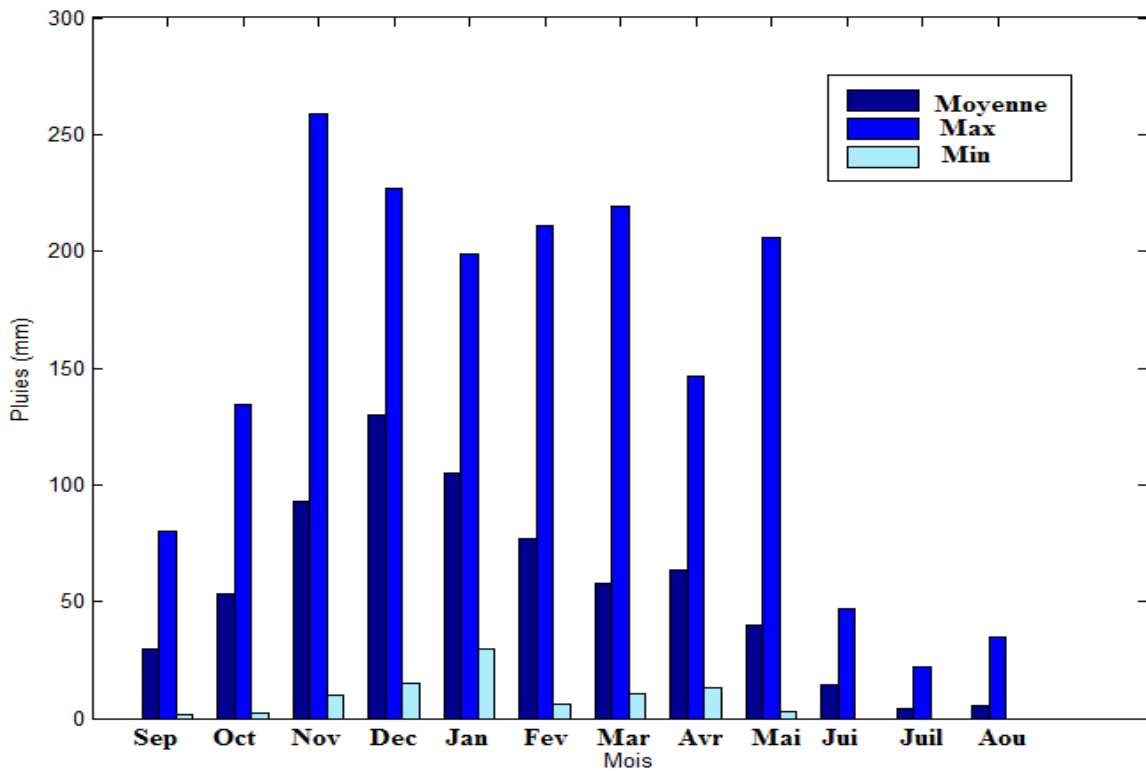


Figure (32) : Variation des pluies mensuelles (station Berrahal).

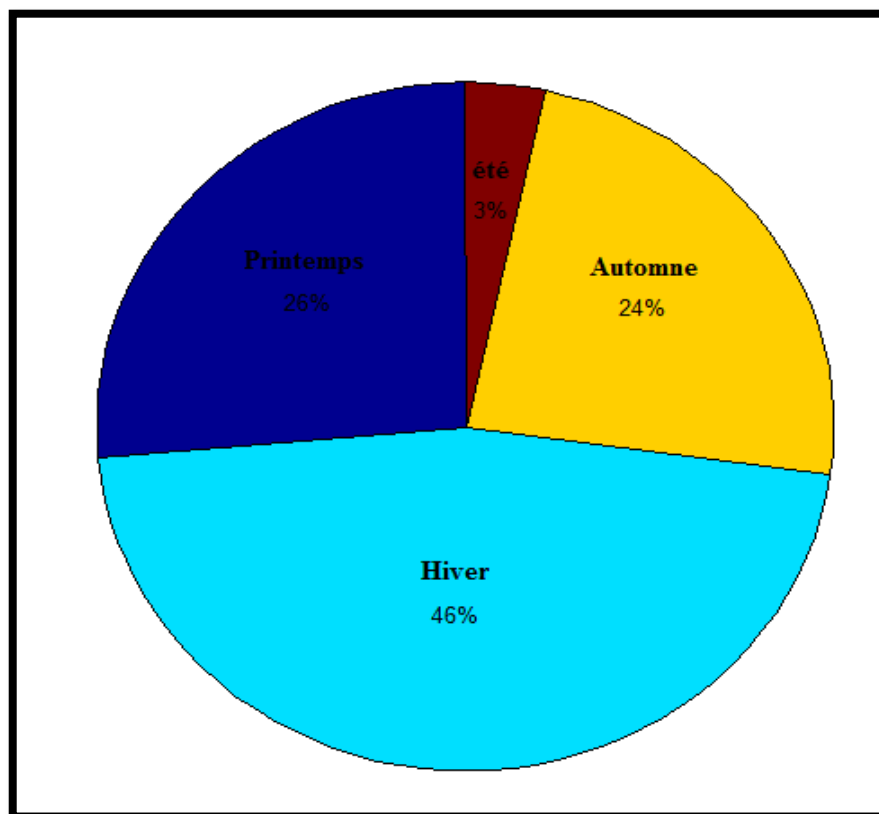


Figure (33) : Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Berrahal.

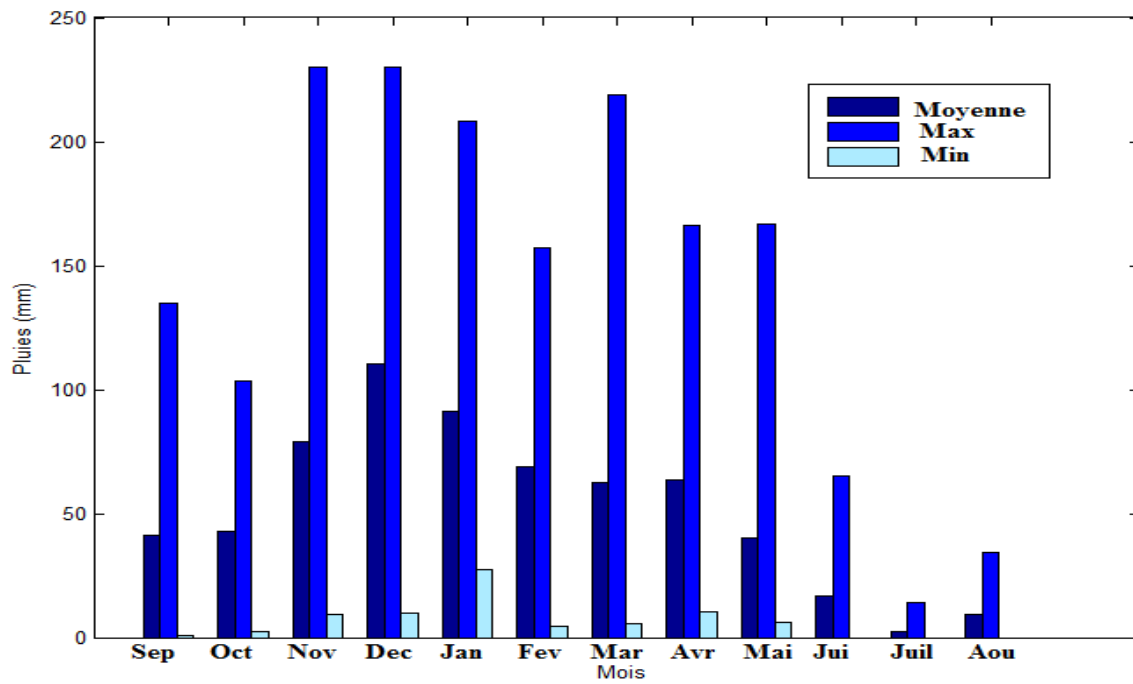


Figure (34) : Variation des pluies mensuelles (station les Salines).

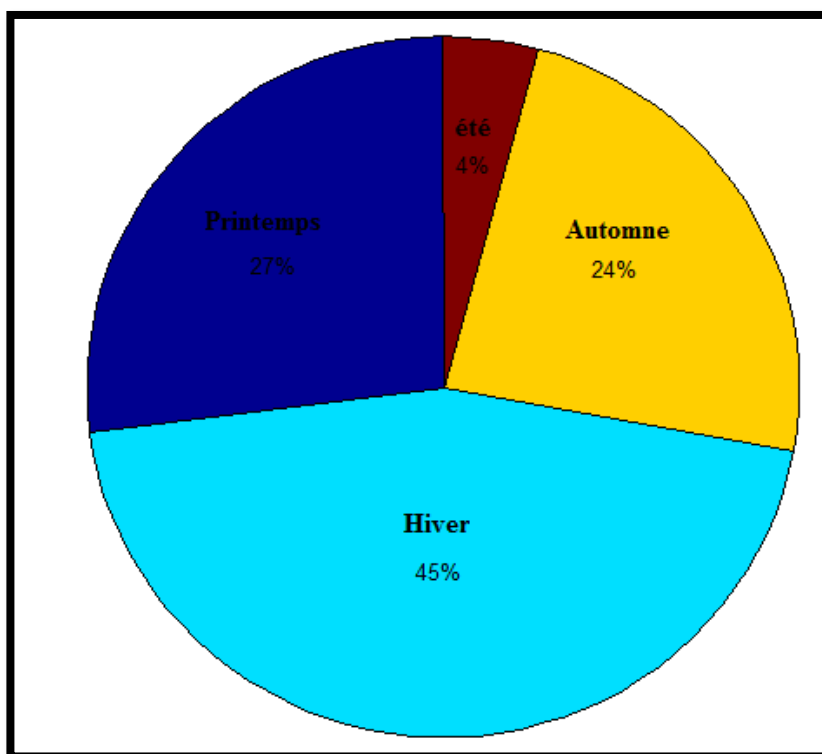


Figure (35): Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station les Salines.

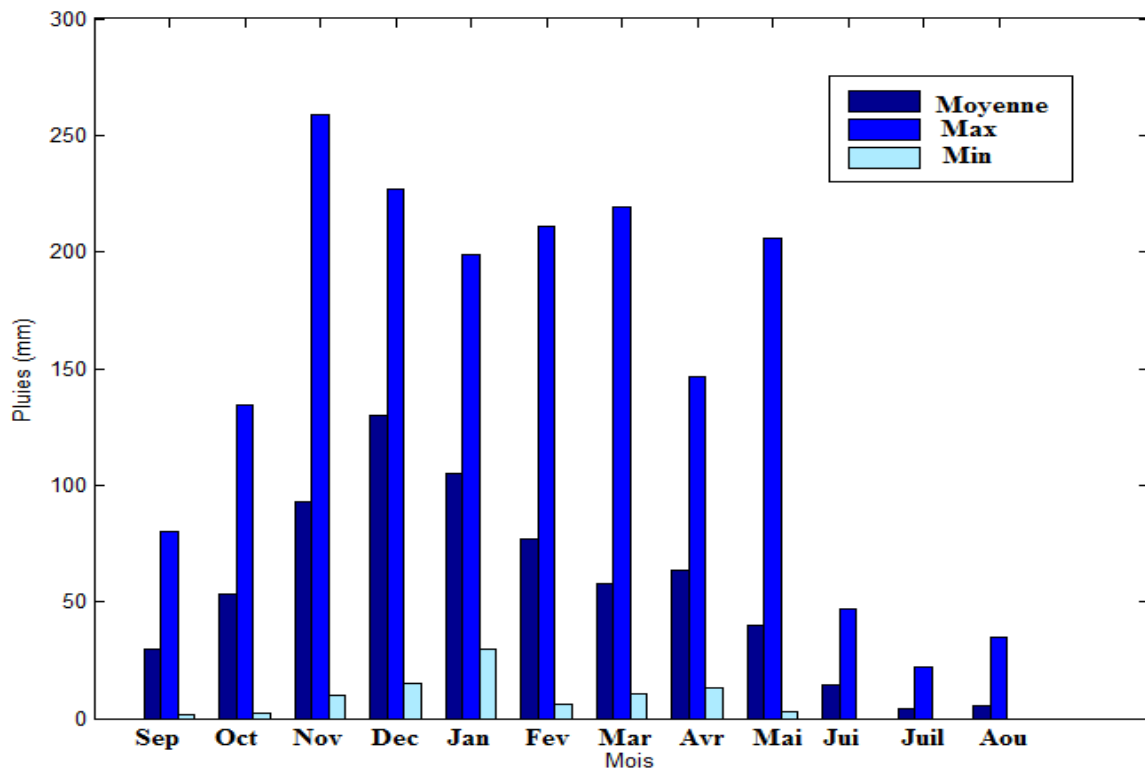


Figure (36) : Variation des pluies mensuelles (station Annaba ville).

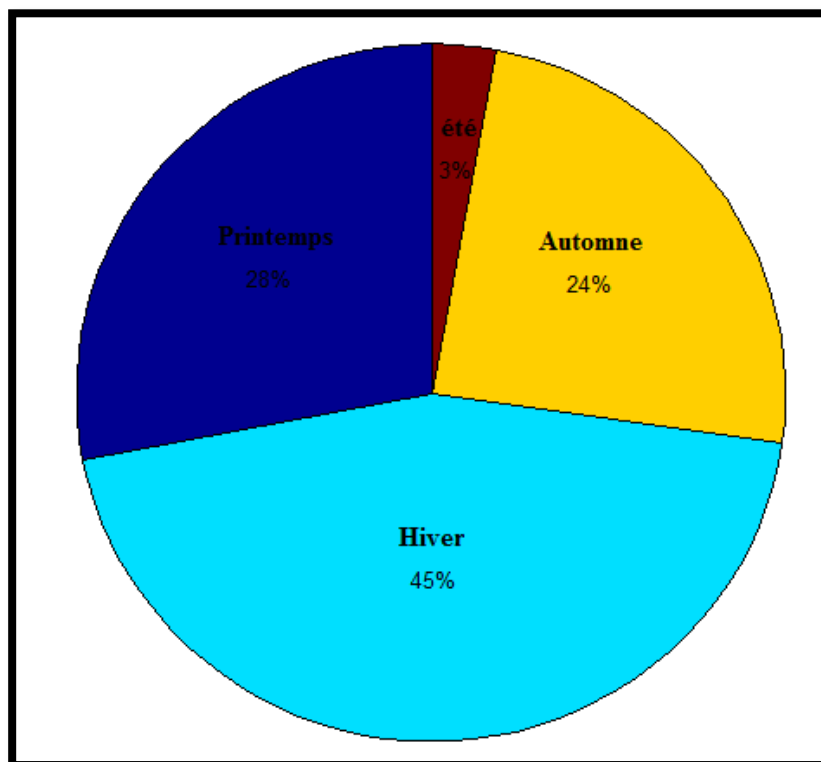


Figure (37) : Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Annaba Ville.

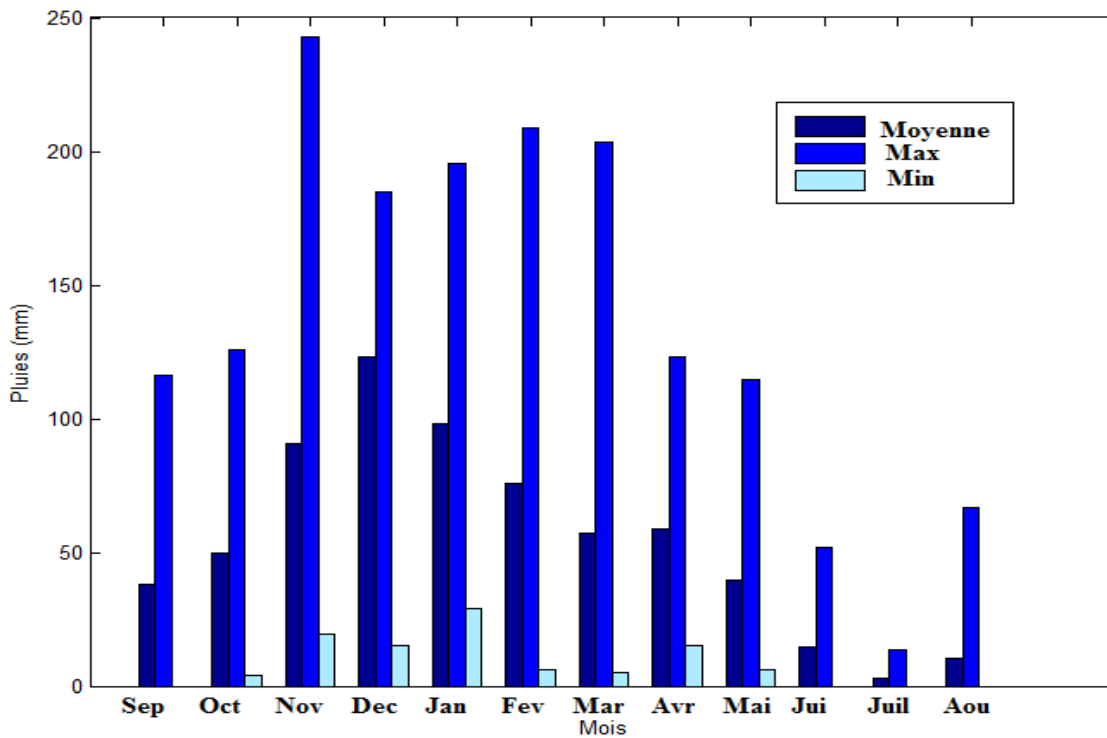


Figure (38) : Variation des pluies mensuelles (station Ain Berda).

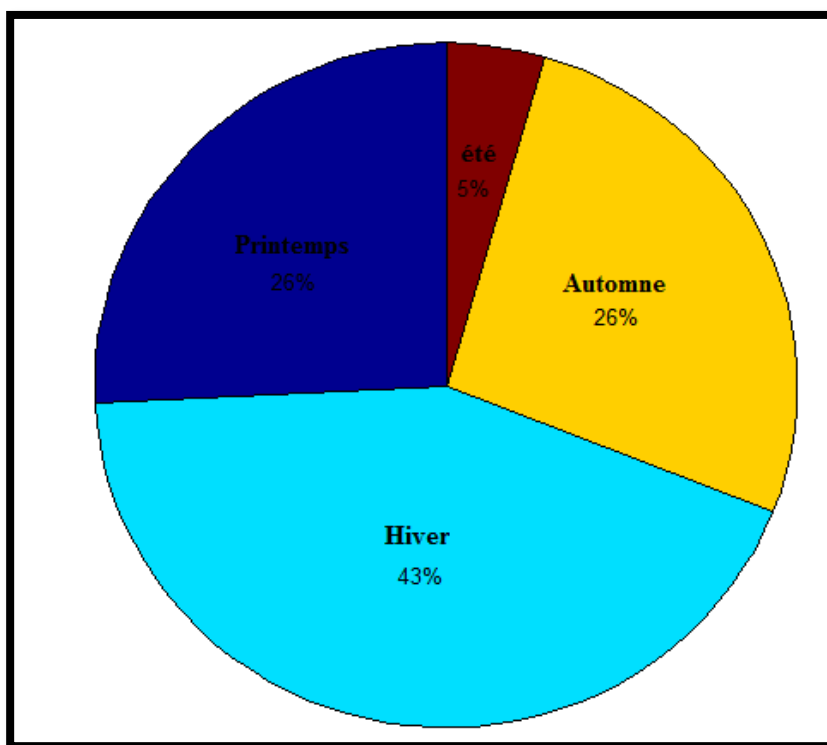


Figure (39) : Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Ain Berda.

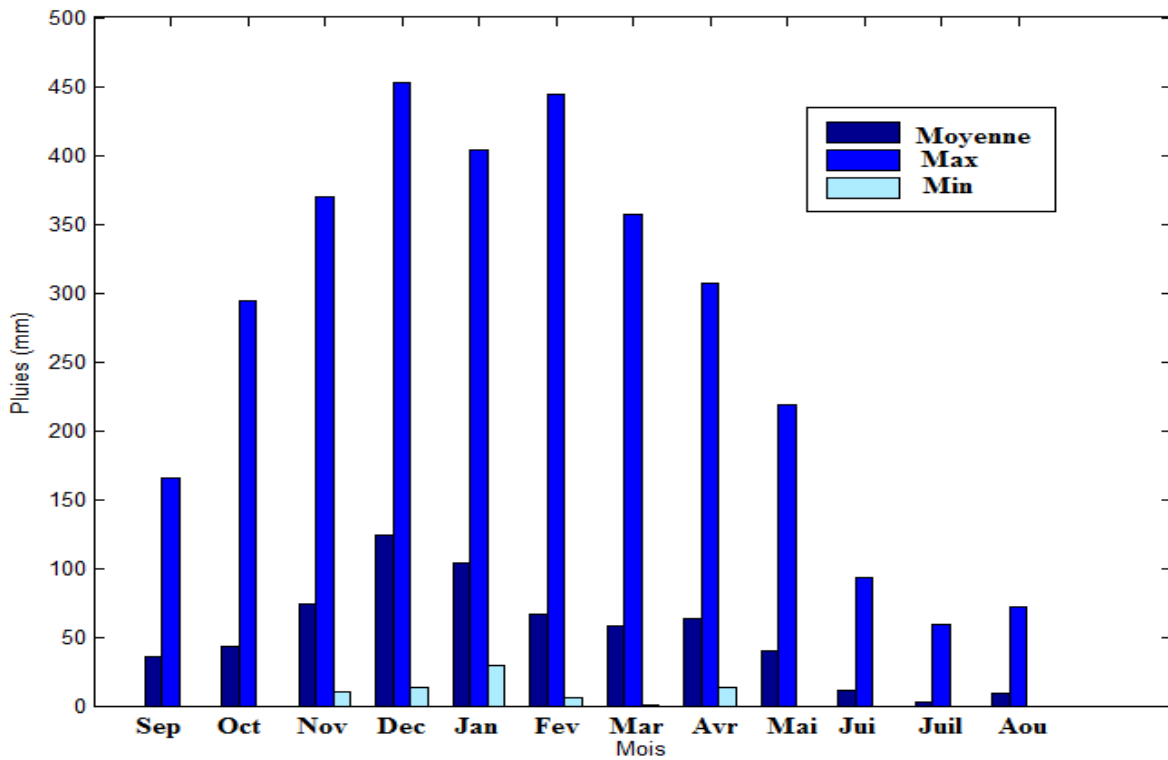


Figure (40): Variation des pluies mensuelles (station El Kerma).

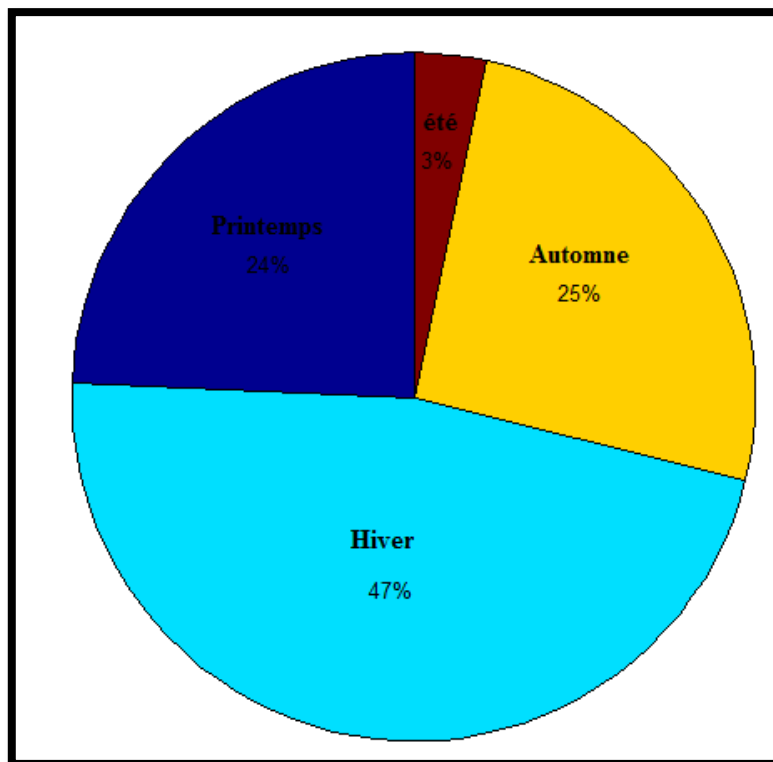


Figure (41) : Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station El Kerma.

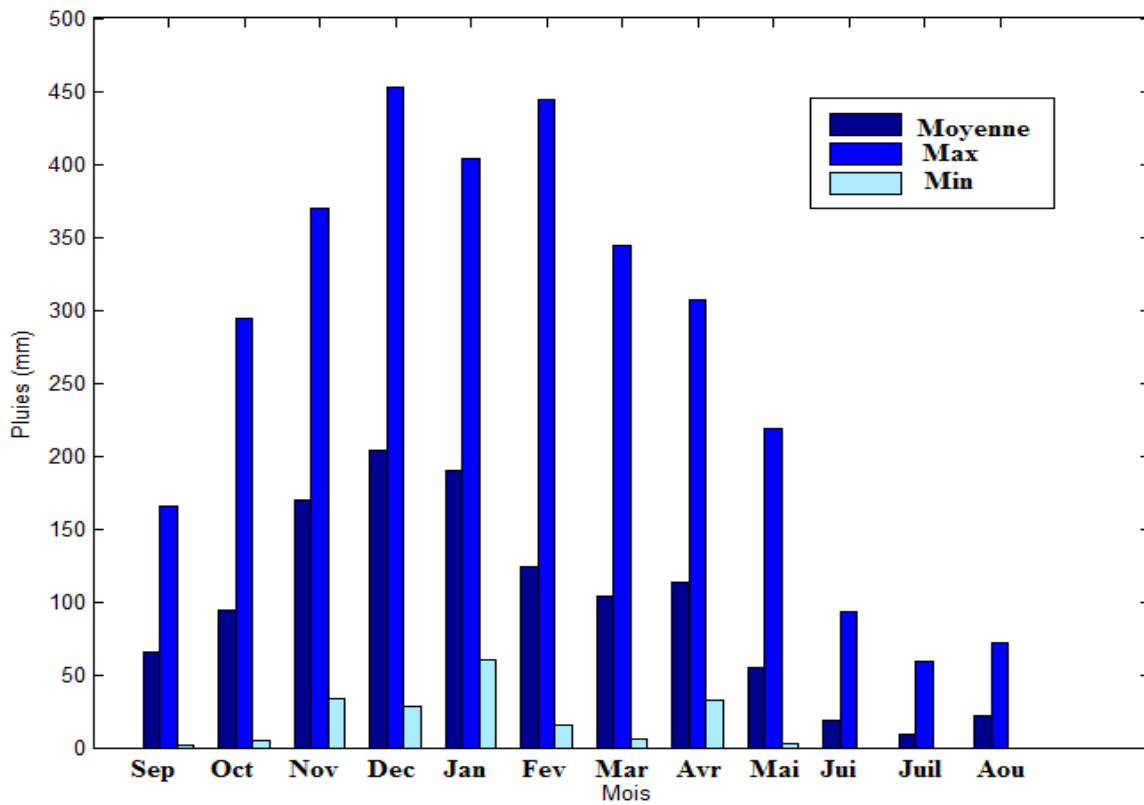


Figure (42) : Variation des pluies mensuelles (station Séraïdi).

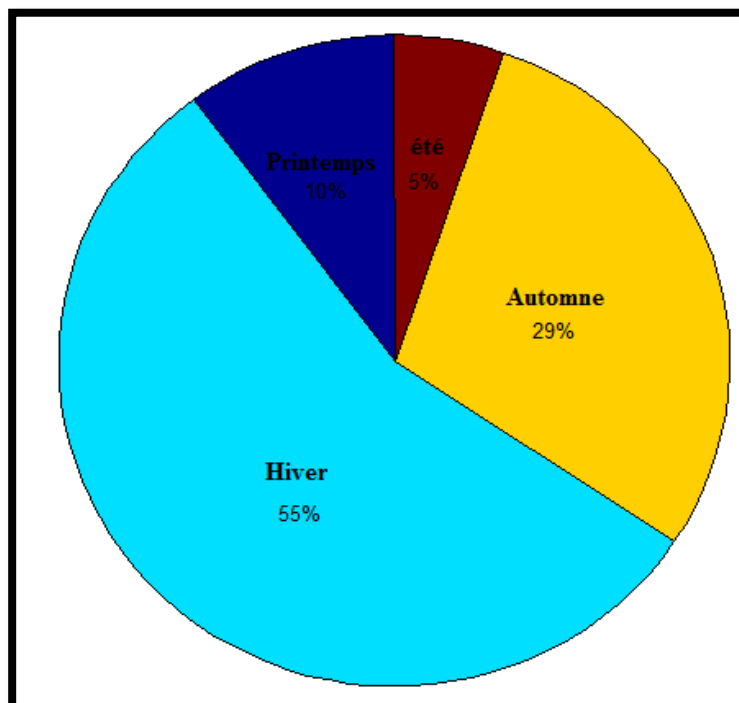


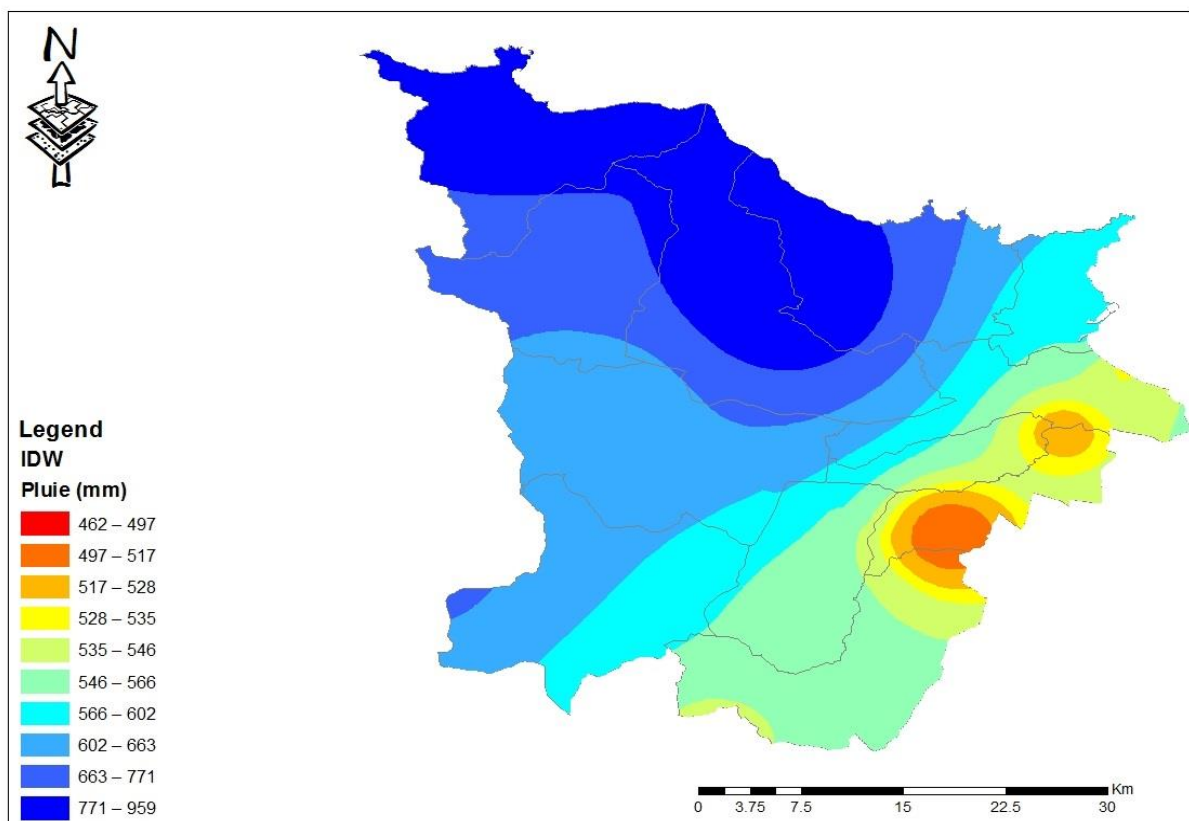
Figure (43) : Répartition mensuelle et saisonnière des pluies à la station Séraïdi.

## IV.2 Constat de la variabilité pluvieuse à l'échelle annuelle

La ville d'Annaba reçoit en moyenne chaque année 787 mm d'eau, (moyenne 1988-2008). A l'échelle annuelle, il est généralement constaté que le nord de la ville est le plus arrosé que le sud (Fig: 44).

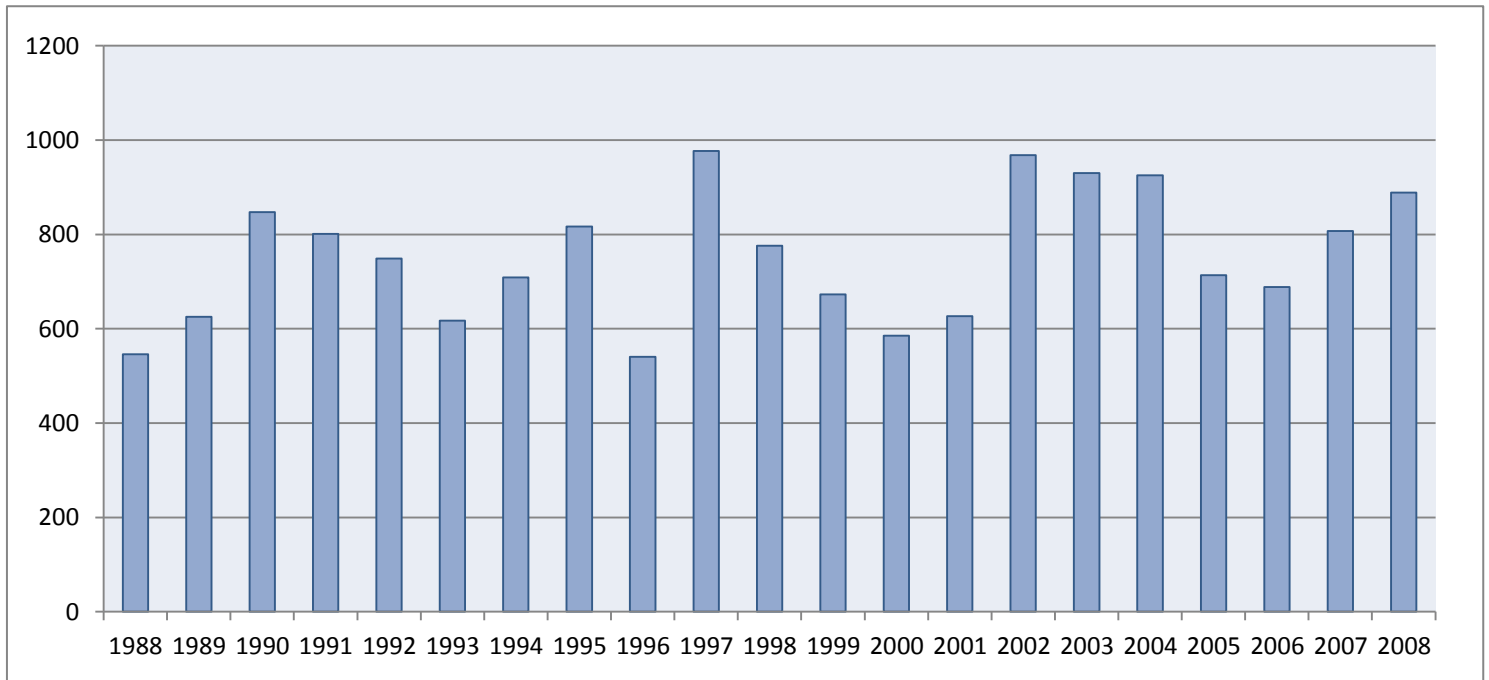
En moyenne, le nord de l'agglomération reçoit 912 mm environ (notamment les communes d'Annaba, Séraïdi, Chétaïbi et de 662 mm dans le sud de la ville (Ain berda, Eulma, Cheurfa). Pour une meilleure connaissance de la variabilité spatiale (mensuelle et saisonnière) des pluies dans la région d'étude, nous avons utilisé la méthode d'interpolation spatiale d'inverse des distances (la méthode la plus adaptée dans notre zone d'étude), pour créer des cartes saisonnières et mensuelles pour mieux comprendre cette variabilité.

La légende de couleur utilisée ici va du rouge pour les faibles valeurs au bleu pour les plus fortes valeurs pluviométriques).



**Figure (44) :** Pluie moyenne annuelles (1988-2008) interpolé par IDW.

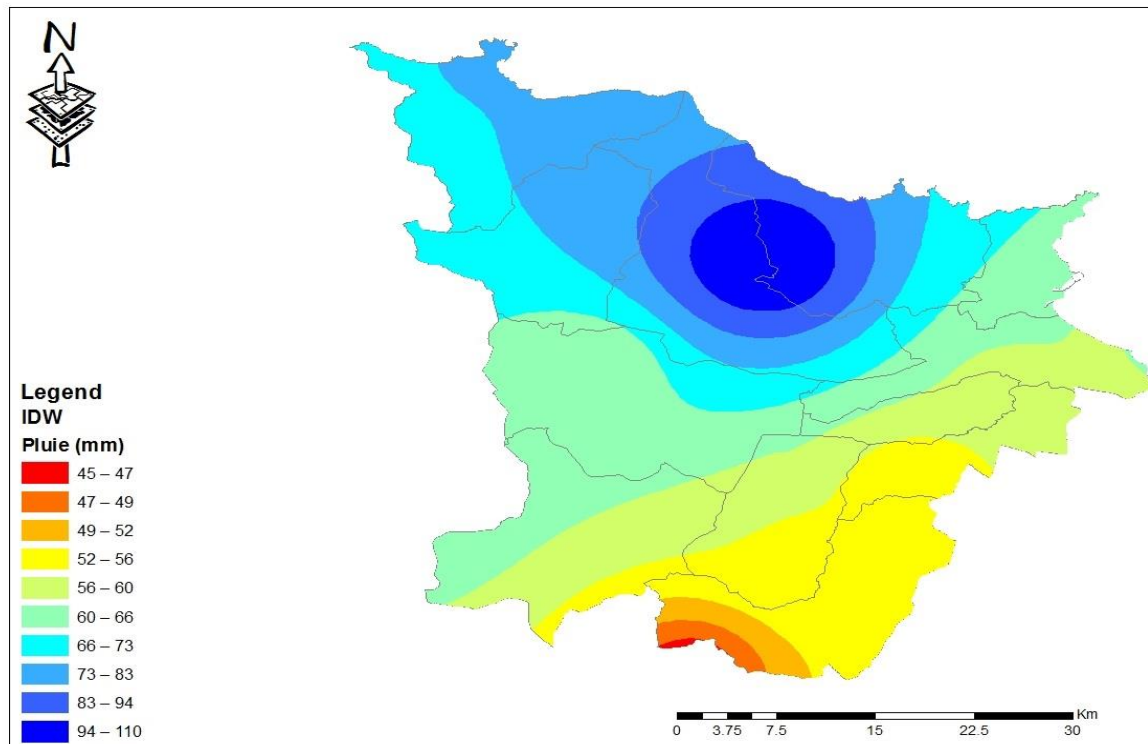
La variabilité pluviométrique interannuelle est très forte, des années très humides peuvent être suivies par des années très sèches, et inversement comme ce fut le cas entre 1995 (816 mm en moyenne sur la ville d'Annaba) et 1996 (540 mm), ou 2001 (621 mm) et 2002 (967 mm) (Fig: 45).



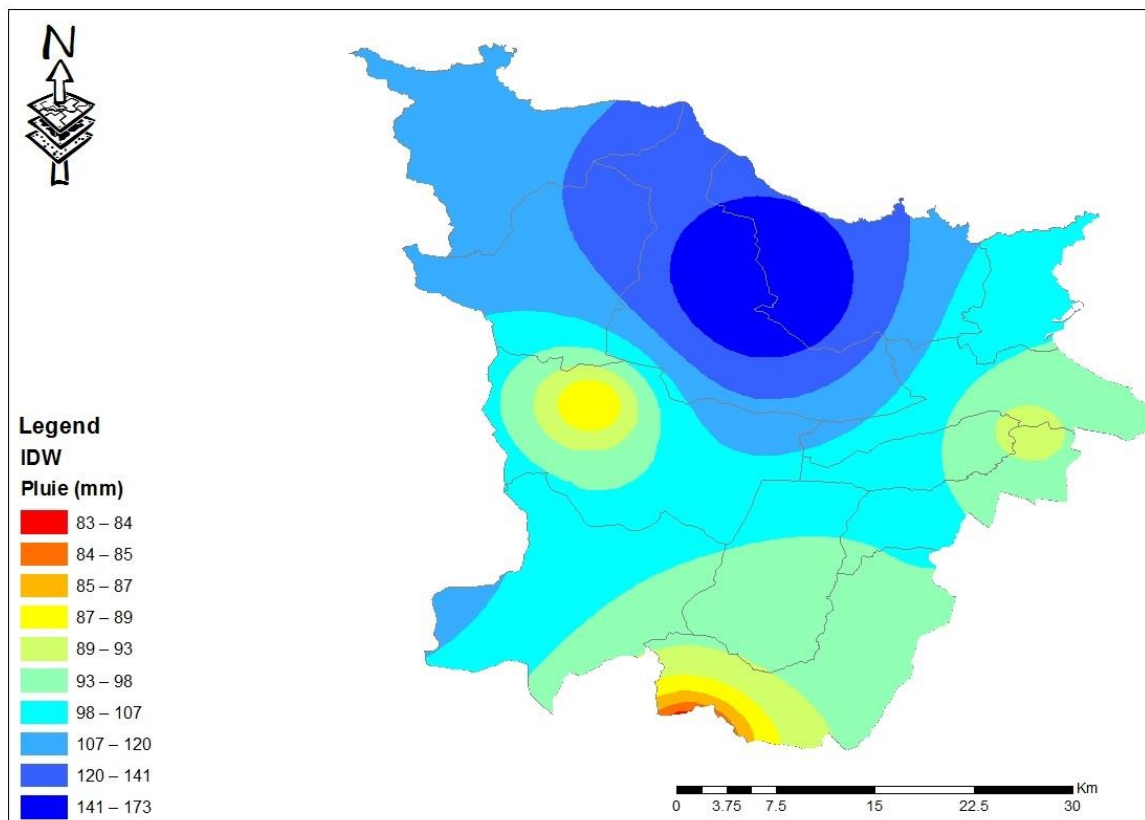
**Figure (45) :** Hauteur d'eau annuelles (mm) sur la ville d'Annaba (Moyenne de 1988-2008).

### IV.3 Constat de la variabilité pluvieuse à l'échelle saisonnière et mensuelle

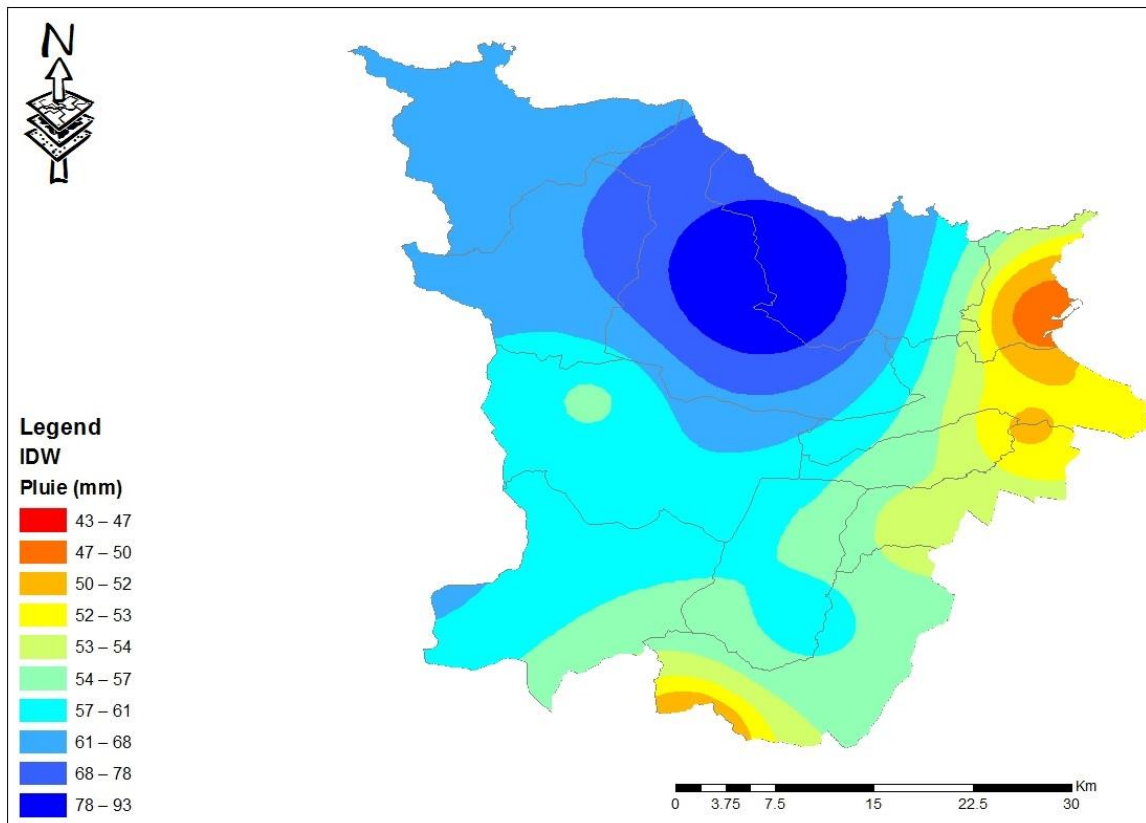
Le gradient décroissant Nord-Sud se présente presque dans toutes les saisons (Fig: 46 à 51). La saison la plus pluvieuse est l'hiver, avec des gradients allant de 164 mm à 173 mm (moyenne de 1988-2008), et la moins pluvieuse est l'Été avec une moyenne maximum 21 mm seulement.



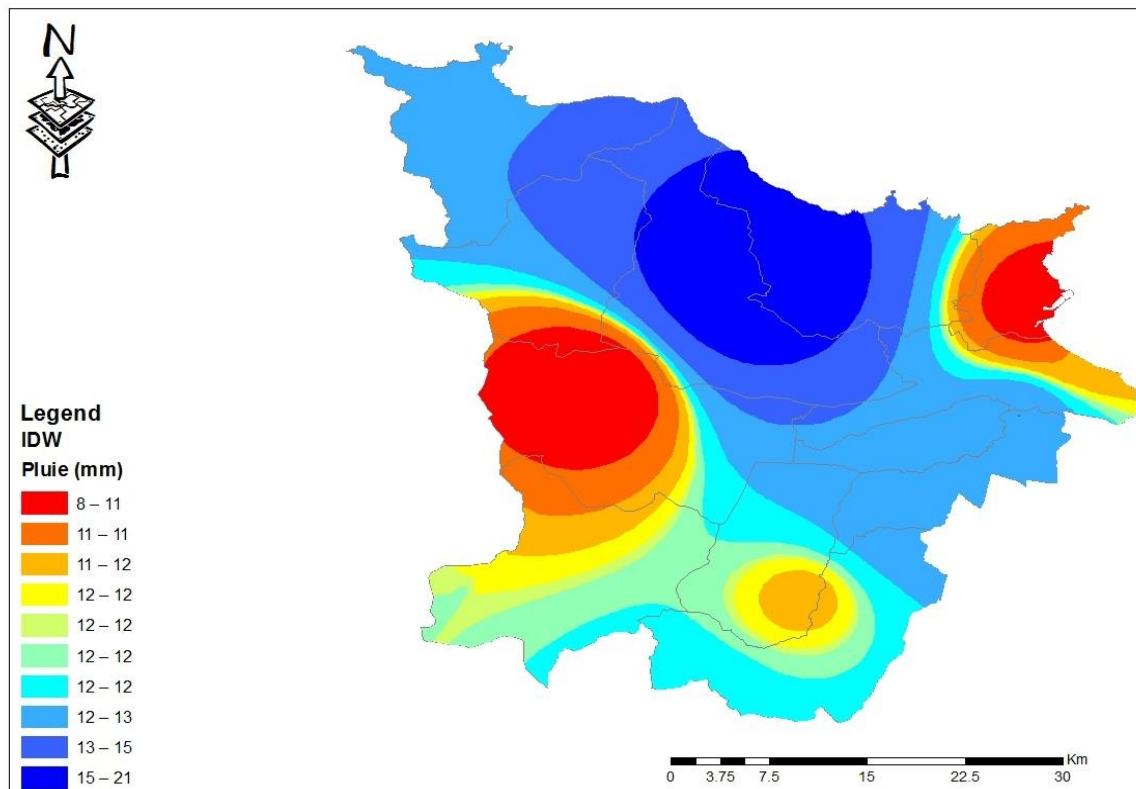
**Figure (46) :** Pluie moyenne (1988-2008) saison d’Automne interpolé par IDW.



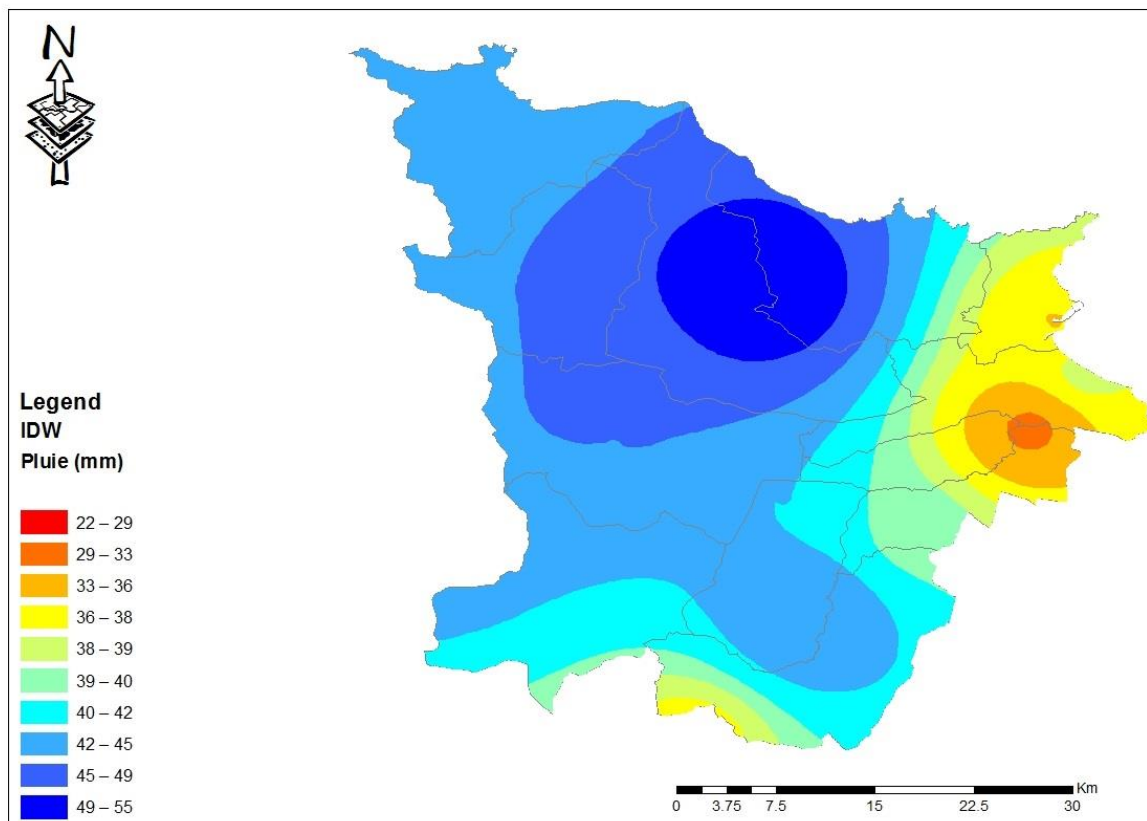
**Figure (47) :** Pluie moyenne (1988-2008) saison d’Hiver interpolé par IDW.



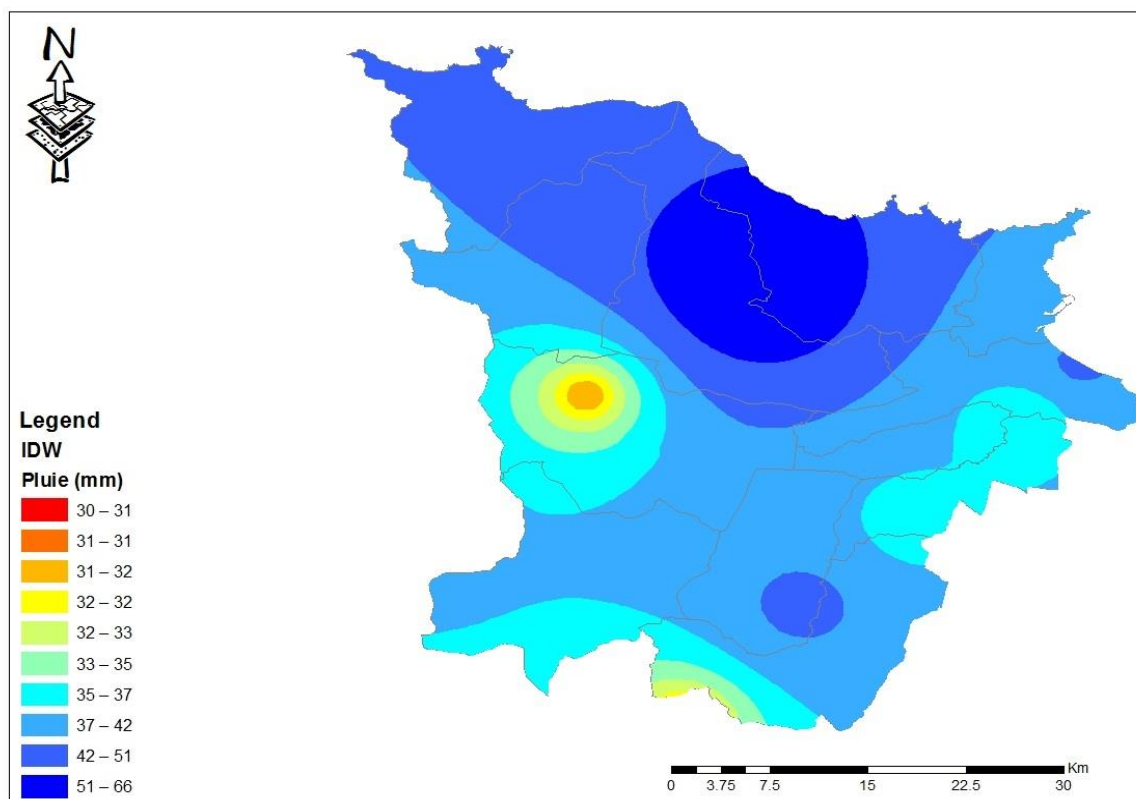
**Figure (48) :** Pluie moyenne (1988-2008) saison de printemps interpolé par IDW.



**Figure (49) :** Pluie moyenne (1988-2008) saison d'Été interpolé par IDW.

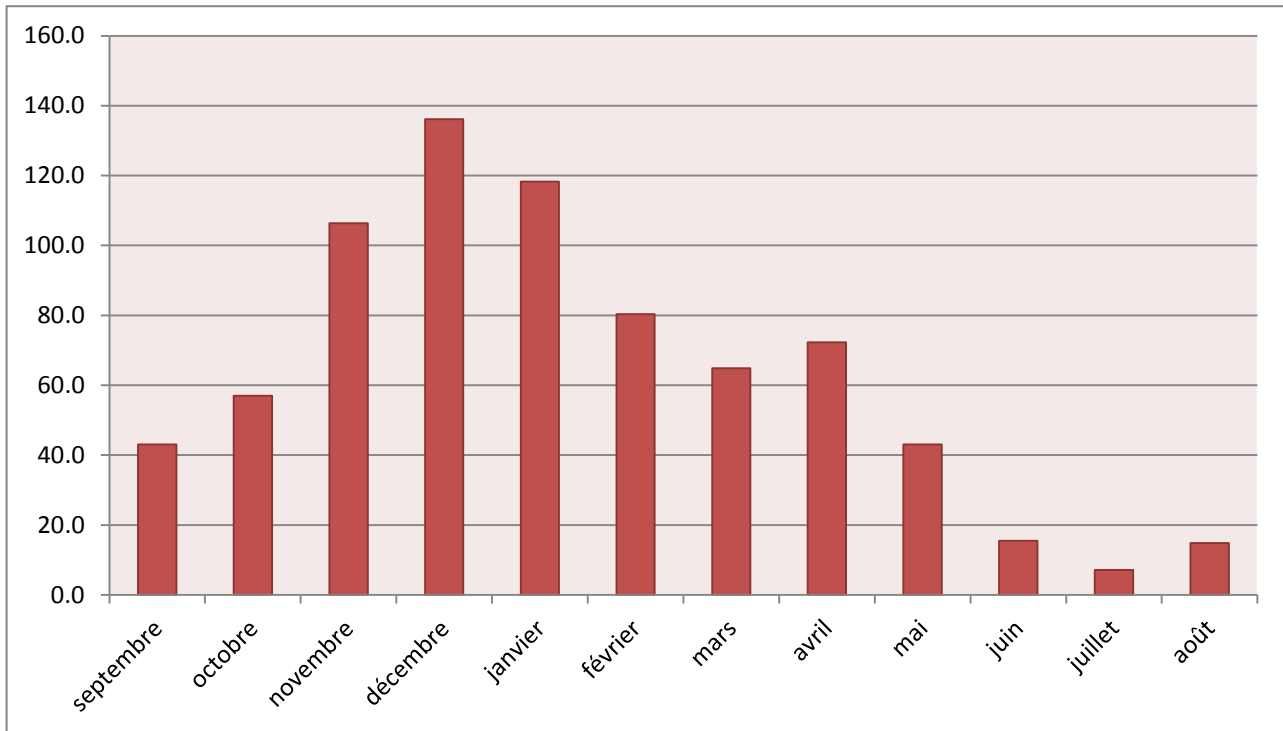


**Figure (50) :** Pluie moyenne (1988-2008) mois de Mai interpolé par IDW.



**Figure (51) :** Pluie moyenne (1988-2008) mois de Septembre interpolé par IDW.

À l'échelle mensuelle, il est constaté que les trois mois les plus arrosés sont décembre, janvier et novembre avec respectivement en moyenne 136 mm, 118 mm, 106 mm sur la période 1988-2008. Les mois les moins arrosés sont juin, juillet et août avec 15 mm, 07 mm et 14 mm respectivement.



**Figure (52):** Moyenne mensuelle des hauteurs d'eau (mm) sur la ville d'Annaba, (Moyenne des pluviomètres opérationnels pour la période (1988-2008)).

#### IV.4 Discussion

L'étude du changement du régime pluviométrique dans la ville d'Annaba en utilisant l'interpolation spatiale, a montré que la variabilité interannuelle des pluies augmente lorsque l'on se rapproche vers le sud de la ville. L'augmentation de la variabilité suit l'accroissement de la longitude et la diminution de latitude, ce dernier atténue cet accroissement.

L'étude de l'aléa pluvial en utilisant les données pluviométriques au sol a été réalisée, les résultats sont encourageants. Il est cependant nécessaire d'utiliser les données d'autres instruments de mesure de pluie pour améliorer la connaissance de l'aléa pluvial tels que le radar météorologique et les images satellitaires.

---

## Chapitre VI : Modélisation du système d'assainissement

---

### VI.1 Introduction

En milieu urbain, l'imperméabilisation des sols entraîne une augmentation considérable des volumes des eaux ruisselées en temps de pluie et par la suite une forte sollicitation des réseaux d'assainissement, ce qui induit des débordements et des inondations en cas de leur sous dimensionnement. Ceci menace la sécurité des biens et des personnes ainsi que leur santé et touche l'environnement et l'activité humaine. Les débordements en cas de réseau unitaire sont très chargés en polluant des eaux usées car ils entraînent avec eux les dépôts de matière organique cumulée dans le réseau pendant la période du temps sec. Ceci est très néfaste pour le milieu naturel et pour la population.

Pour éviter tous ces problèmes, les gestionnaires des réseaux doivent avoir un bon dimensionnement de leur réseau soit en cas de réhabilitation soit en cas d'extension. Une bonne évaluation des capacités de transit d'un réseau nécessite la disposition des modèles adéquats de simulation des réseaux et la maîtrise des formules de calcul convenable à la zone d'étude du projet.

Ce chapitre a pour but de faire une simulation du réseau d'assainissement en utilisant deux données : pluviométriques et données provenant du radar, dans le modèle Canoé.

### VI.2 Choix du site

Le choix de notre site a été fait sur la zone "côtière Nord" (*Fig: 77*), premièrement pour vérifier les études précédentes (**Djeboua et al, 2008**) et (**Skhakhfa, 2009**), est en deuxième lieu pour la simulation avec des données d'un nouvel outil de mesure (radar météorologique).

Les sous - système "Zone Cotière Nord" composé des trois secteurs :

- Secteur "RiziAmor"

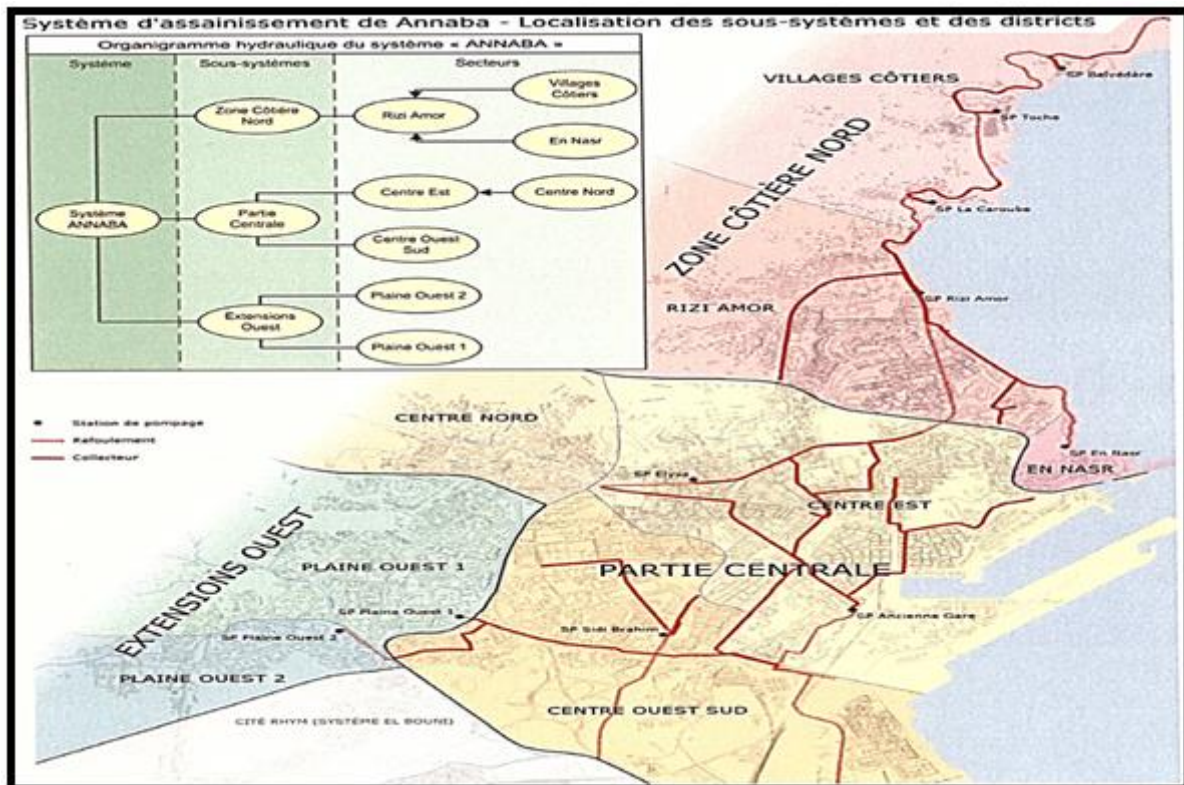
La partie principale du sous-système "Zone Cotière Nord" 'étend des quartiers Montplaisir et Menadia au Sud, jusqu'à la cité El Farous au Nord, correspond plus ou moins à la partie urbanisée des bassins versants de l'oued Kouba et d'un second oued, moins important, les deux aboutissant à la plage de RiziAmor. Elle correspond à la zone dont les effluents rejoignent gravitairement la station de pompage SR04 "Rizi Amor". L'occupation des sols est principalement à caractère résidentiel, avec une composante touristique.

➤ Secteur " En Nasr"

Le secteur " En Nasr", situé au sud du Secteur "RiziAmor", consiste en un petit bassin versant qui s'ouvre sur la baie des Corailleurs. Hormis un petit collecteur pluvial, le réseau est unitaire. Deux déversoirs évacuent vers la plage les débits excédentaires en cas d'orage. L'habitat est essentiellement de type résidentiel individuel ou semi-collectif à usage permanent. Tous les effluents récoltés par le réseau aboutissent à la station de pompage SR06 "En Nasr", qui les dirige vers le réseau du secteur " Rizi Amor".

➤ Secteur "Villages Côtiers"

Au Nord de la plage de Rizi Amor, la cote se prolonge par une succession de caps et de baies jusqu'au cap Ras El Hamra. Des villages se sont créés au droit des baies principales, qui sont généralement agrémentées par les plages suivantes : la Caroube, Touche, Belvédère, Ain Achir, dont la vocation est devenue principalement touristique.



**Figure (77) :** Système d'assainissement de la zone "côtière Nord".

### VI.3 Choix du logiciel

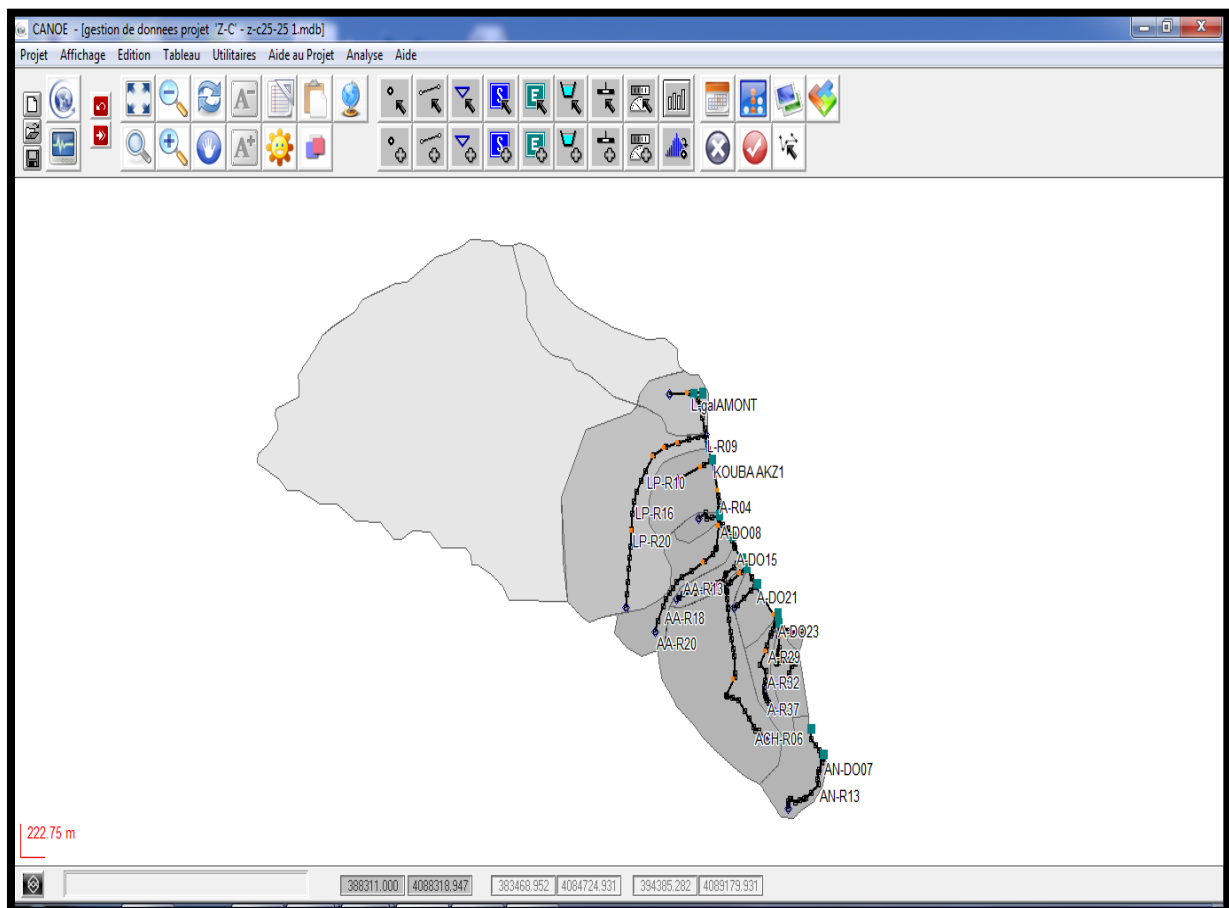
CANOE est un logiciel conçu en France, par le LGCIE (Laboratoire de Génie Civil et d'Ingénierie Environnementale) de l'INSA de Lyon (anciennement URGC) et la société SOGREAH, avec l'aide d'un groupe de partenaires constitué de grandes collectivités françaises. Ce partenariat assure un développement continu et adapté aux besoins des utilisateurs.

Dans notre étude nous avons utilisé CANOE version 3.8, (Fig: 78), ce dernier est un logiciel multi - usages. Basé sur un système de gestion de données, son objectif est de fournir un système unique utilisable pour un grand nombre de tâches telles que le dimensionnement de réseaux d'assainissement, les études diagnostics ou la simulation de rejets polluants. Simple à utiliser, même pour des non spécialistes en hydraulique, il permet de faciliter le dialogue entre les différents interlocuteurs : projeteurs, modélisateurs ou décideurs.

CANOE dispose, pour alimenter la simulation hydrologique et hydraulique, de fonctionnalités permettant le traitement des données pluviométriques à utiliser:

- Gestion de la base de données pluviométrique en utilisant des outils de saisie, de visualisation de modification ou encore d'analyse statistique.

- Saisie ou importation d'épisodes pluvieux réels spatialement et temporellement définis.
- Construction de pluies de projet (dont pluies déterminées à partir de la formule de Montana).
- Possibilité d'affectation spatiale des pluies sous forme de pluies dites 3D (modélisation spatio-temporelle 3D). Importation de pluies de type radar.
- Construction de chroniques de pluies à partir de séries chronologiques de pluies, ou par la sélection d'événements pluvieux. caractéristiques en fonction de leur durée et de leur intensité.
- Outils statistiques, calcul des courbes IDF.



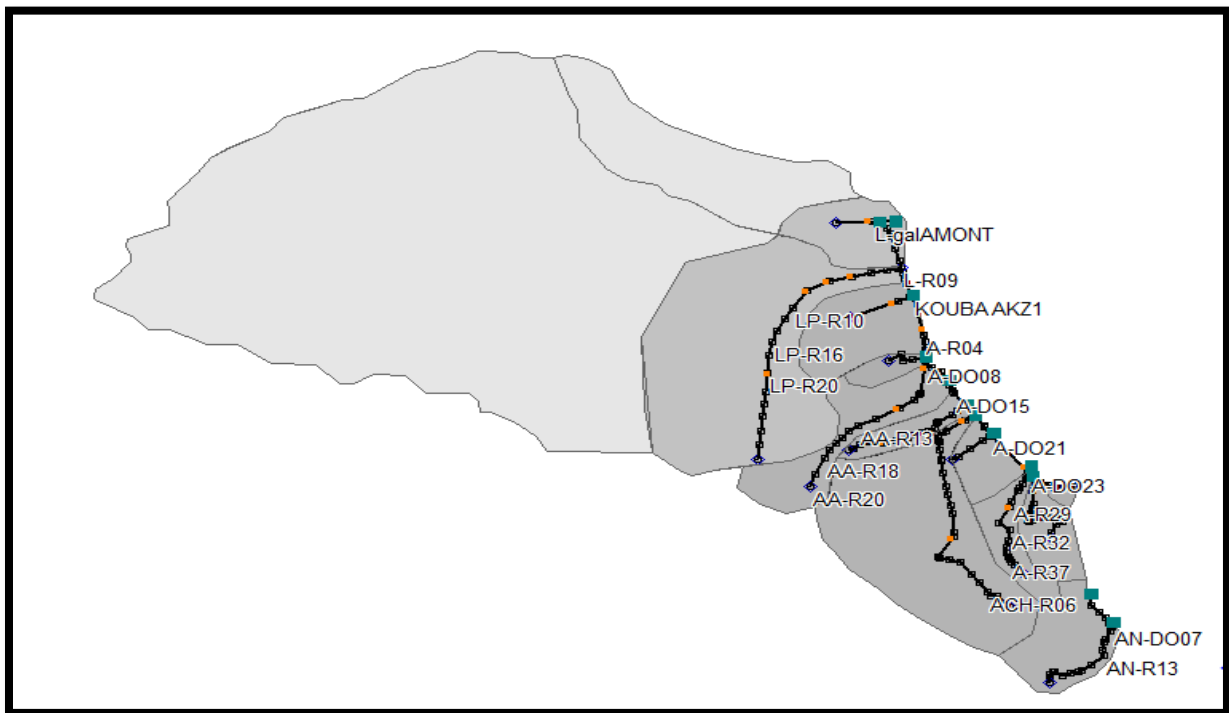
**Figure (78) :** Interface du logiciel Canoé version 3.8.

#### VI.4 Présentation des données utilisées

Dans cette partie nous avons utilisé les averses enregistrées au niveau de la station pluviométrique de Pont-Bouchet et les données provenant du radar météorologique d'Annaba. L'idée est de prendre les mêmes événements des deux instruments (radar, pluviographe).

#### VI.5 Construction du modèle sous Canoé

Le modèle du réseau d'assainissement de la partie centrale de la ville a été construit sous le modèle Canoé (Djarbouaa et Al, 2008) dans leur thèse d'Ingénieur, après utiliser par (Skhakhfa, 2009) dans sa thèse de magister (Fig: 79).

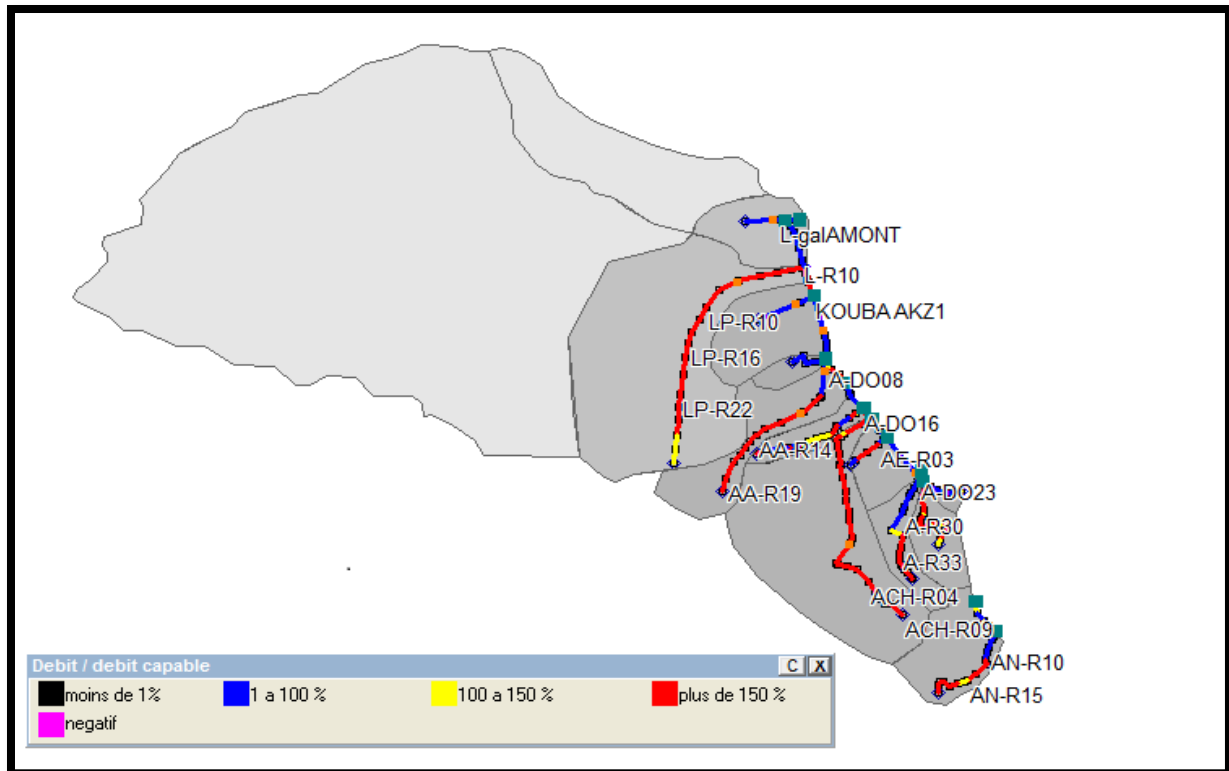


**Figure (79)** : Modélisation du réseau d'assainissement sous Canoé.

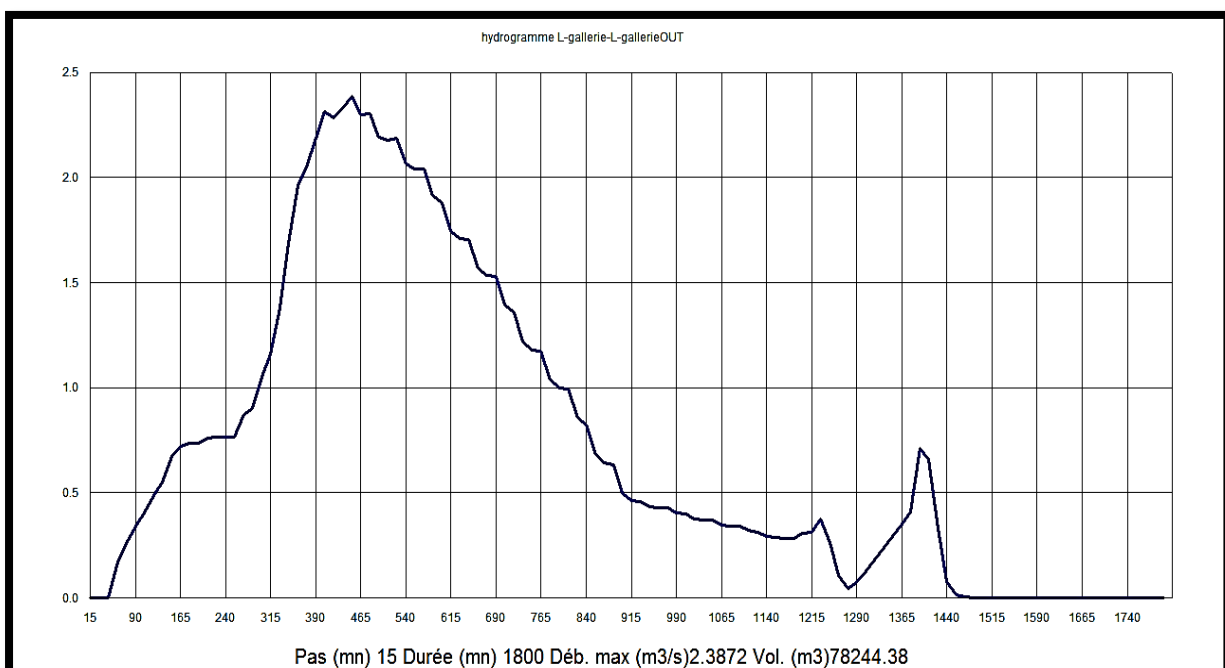
#### Simulations

Dans notre cas nous avons choisi deux événements qui sont à l'origine des inondations dans la ville d'Annaba pour la simulation :

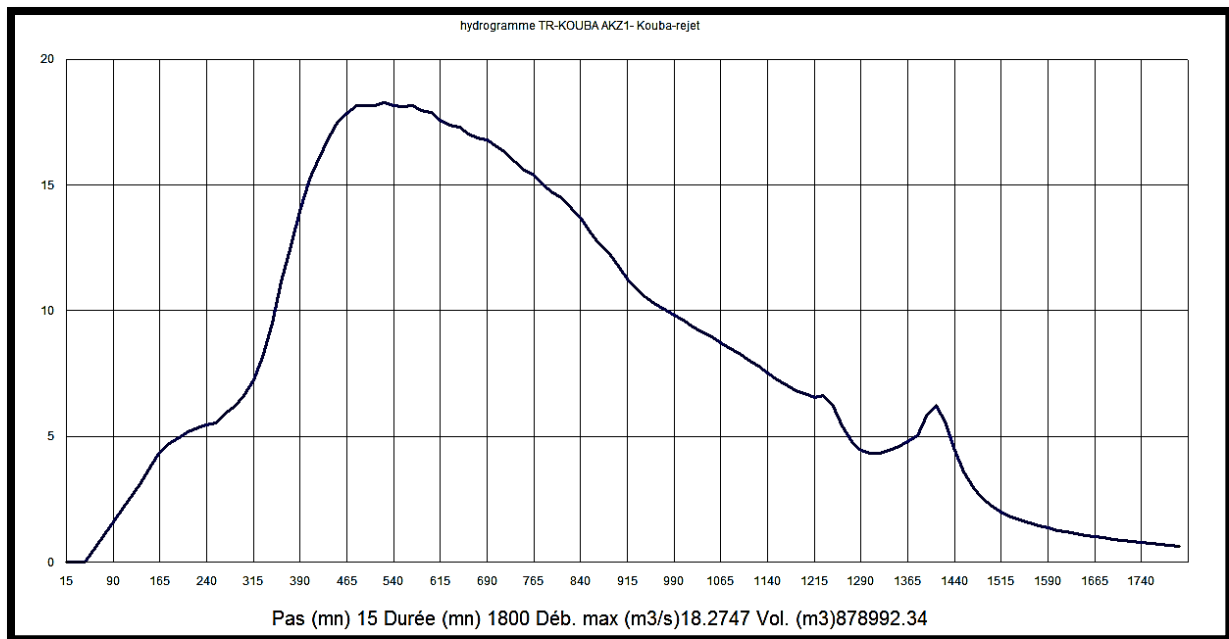
- ✚ Avec la pluie de 11/11/2001 (pluviomètre)



**Figure (80):** Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 11/11/2001, Données de pluviomètre).



**Figure (81) :** Hydrogramme d'exutoire Gallérie OUT.

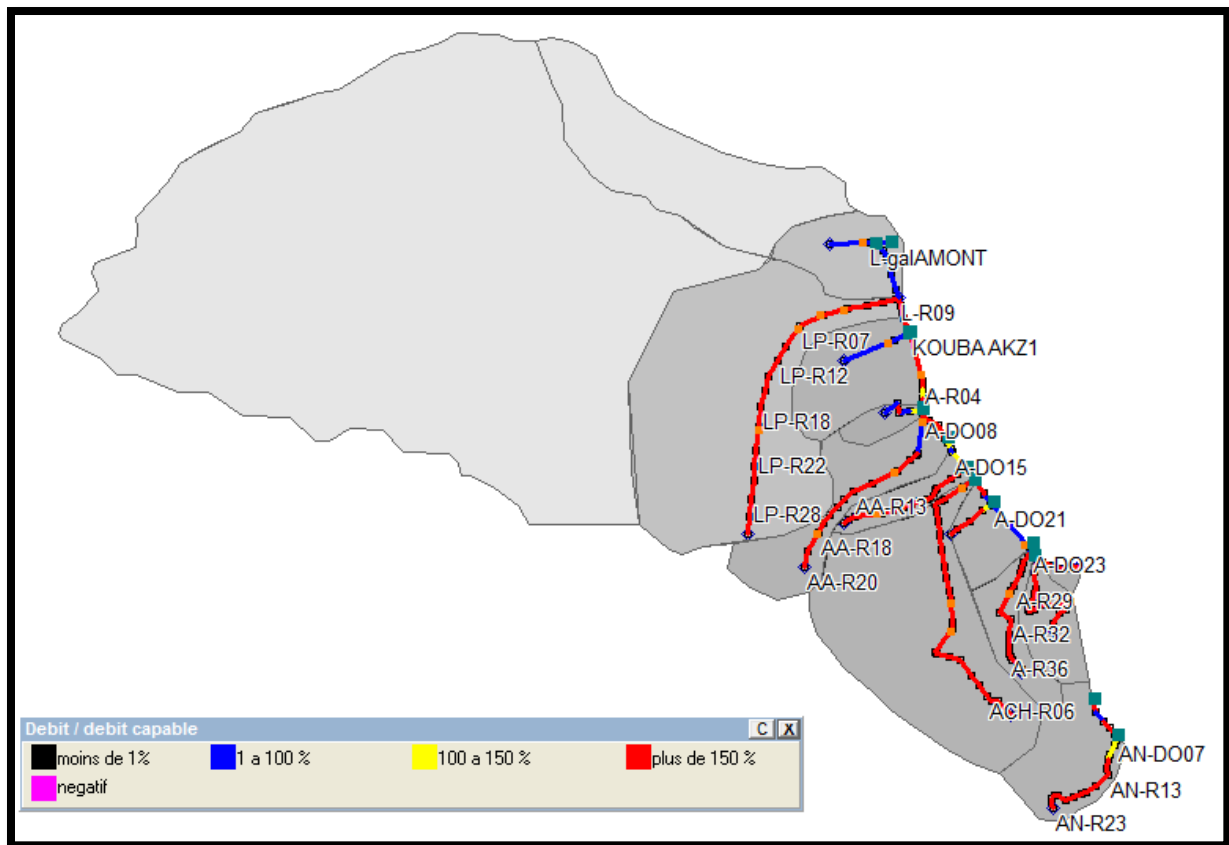


**Figure (82) :** Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet.

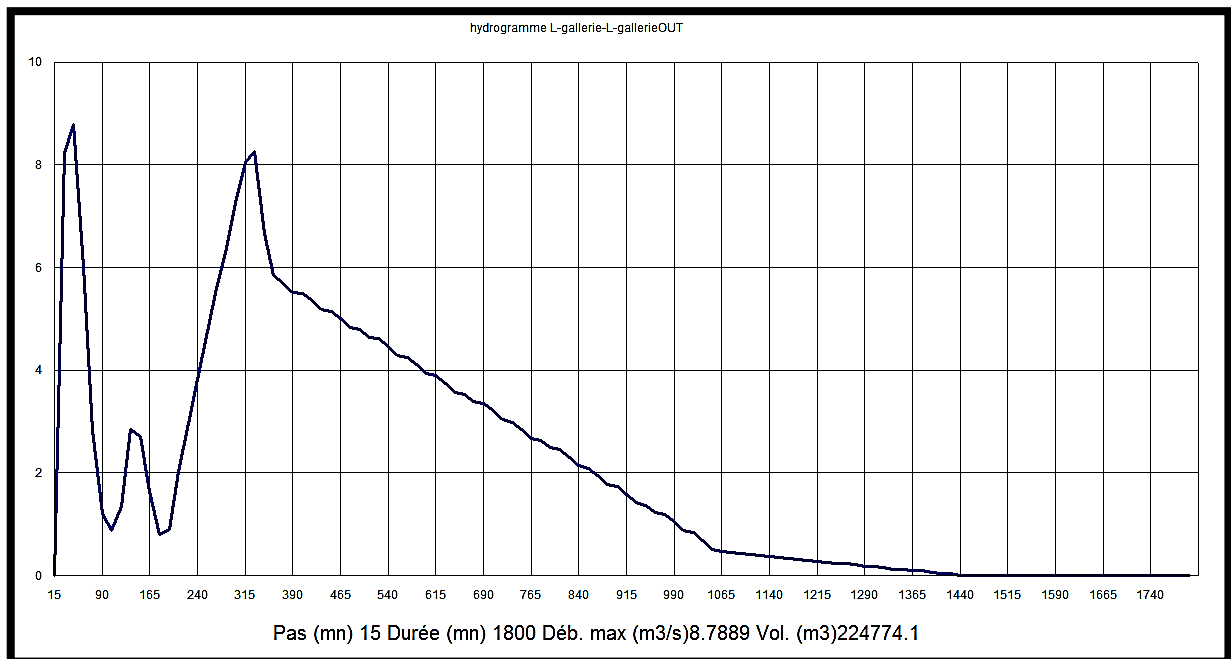
**Tableau (39) :** Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (Pluviomètre).

Nom d'exutoire	Débit max (m <sup>3</sup> /s)
L-Gallérie	2.38
Kouba rejet	18.27
EX07	1.13
AQ11-out	0.65
DO16-out	5.18
DO16-out	0.17
DO21-out	0.31
DO23-out	0.55
AN-R02	0.67
D007-out	0.59

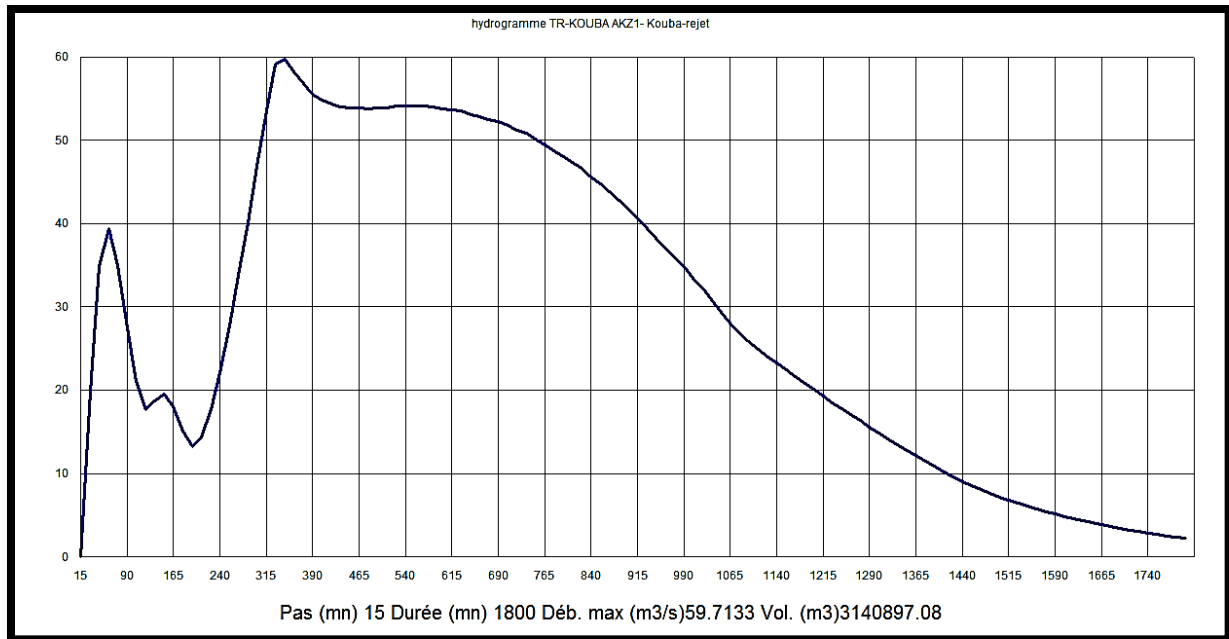
**Avec la pluie de 11/11/2001 (Radar)**



**Figure (83) :** Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 11/11/2001, données Radar).



**Figure (84) :** Hydrogramme d'exutoire Gallerie OUT.

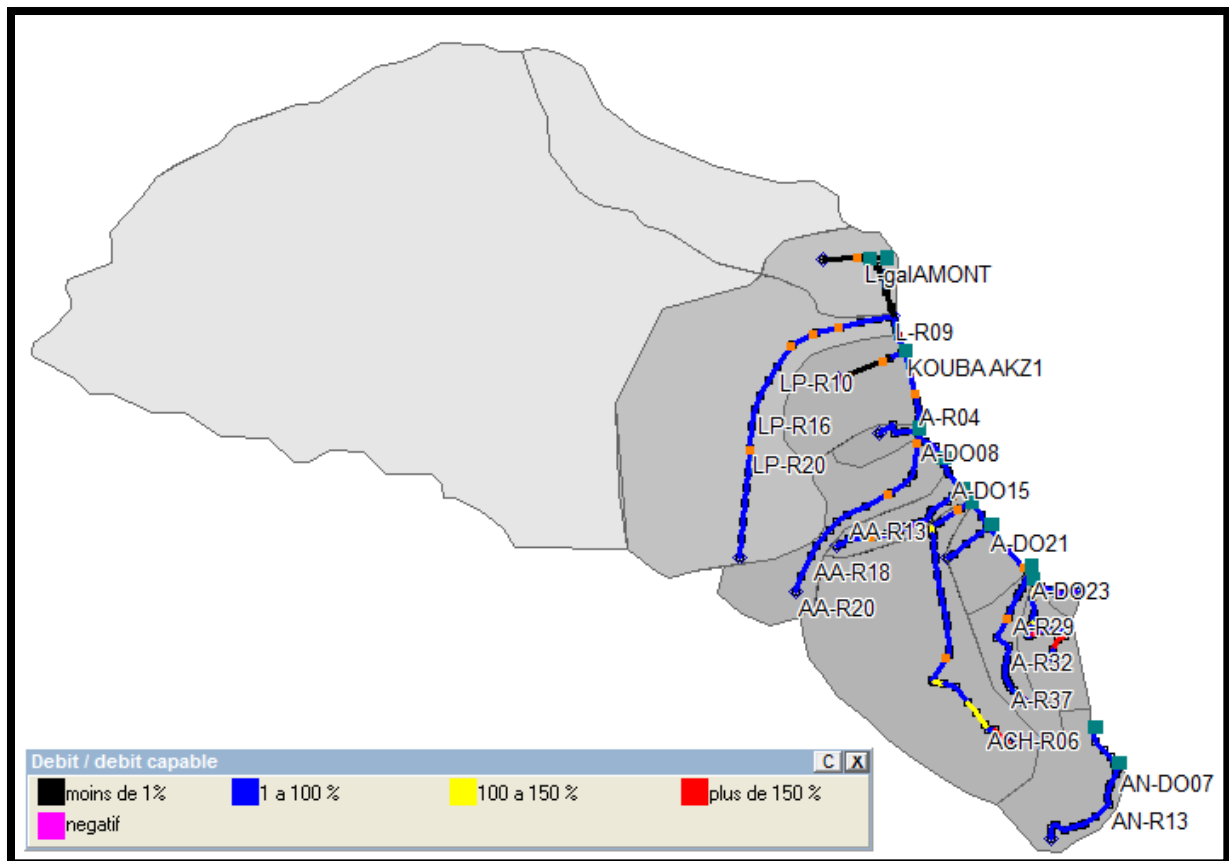


**Figure (85) :** Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet.

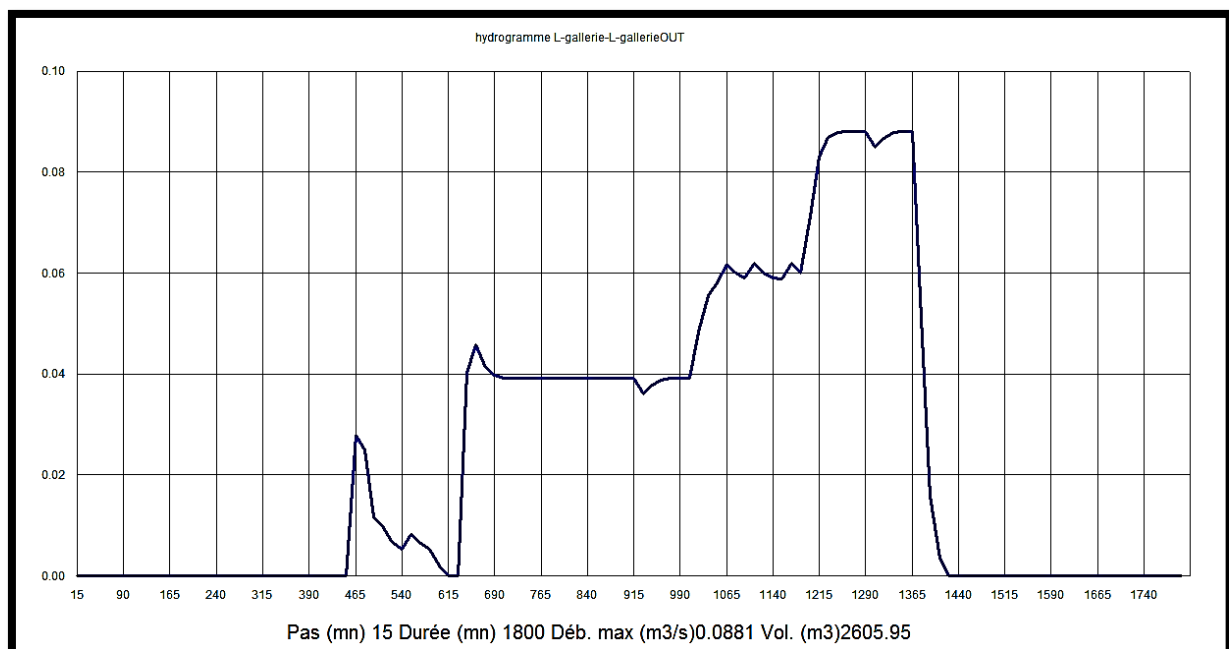
**Tableau (40) :** Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (Radar).

Nom d'exutoire	Débit max (m <sup>3</sup> /s)
L-Gallérie	8.78
Kouba rejet	59.71
EX07	3.56
AQ11-out	1.96
DO16-out	15.96
DO16-out	0.49
DO21-out	0.91
DO23-out	1.70
AN-R02	2.08
D007-out	1.85

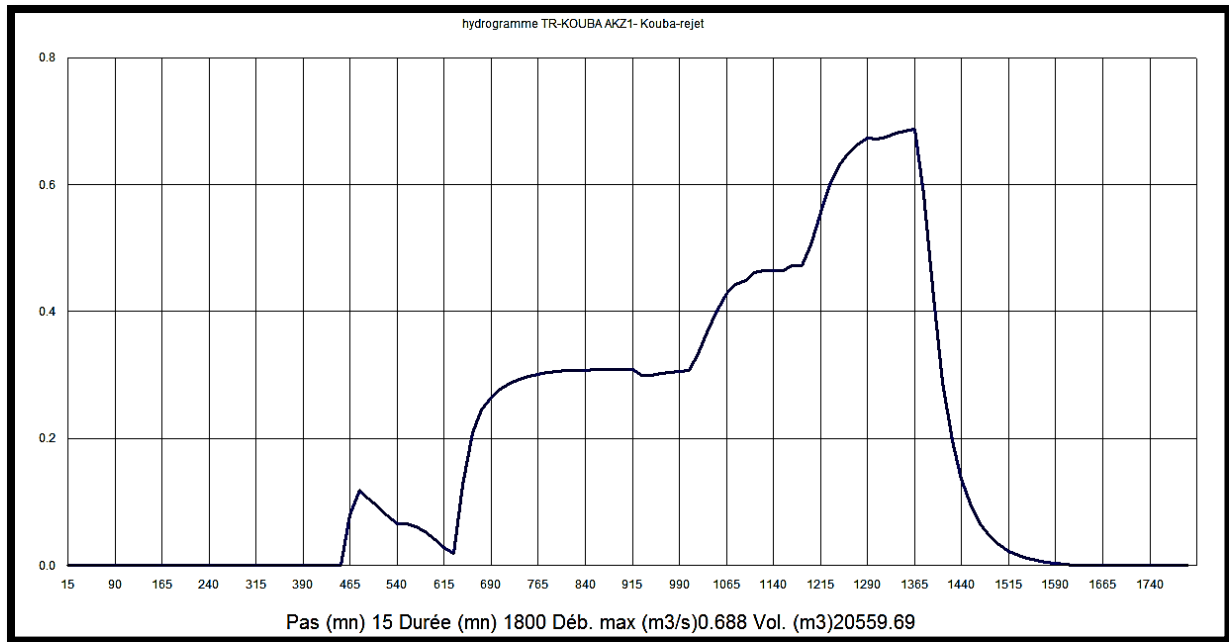
**Avec la pluie de 13/12/2005 (pluviomètre)**



**Figure (86) :** Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 13/12/2005, données de pluviomètre).



**Figure (87) :** Hydrogramme d'exutoire Gallerie OUT.

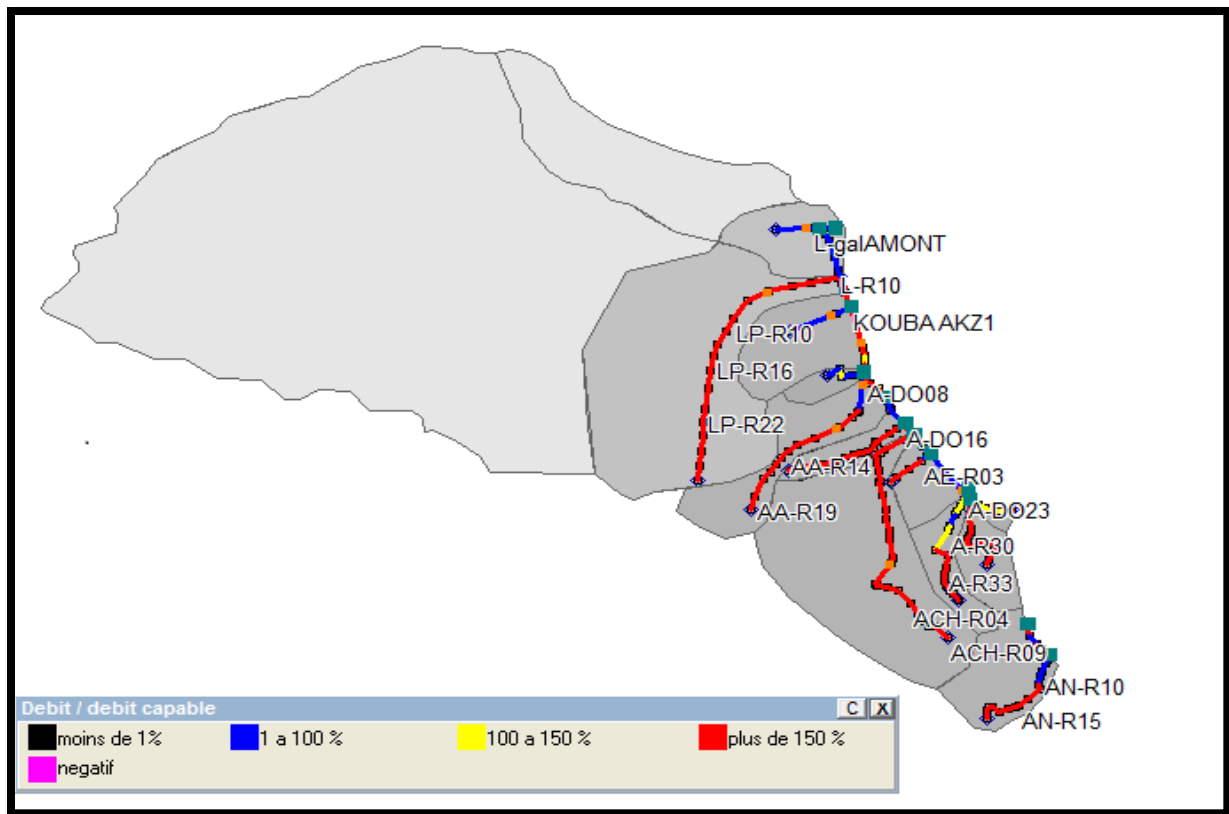


**Figure (88) :** Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet.

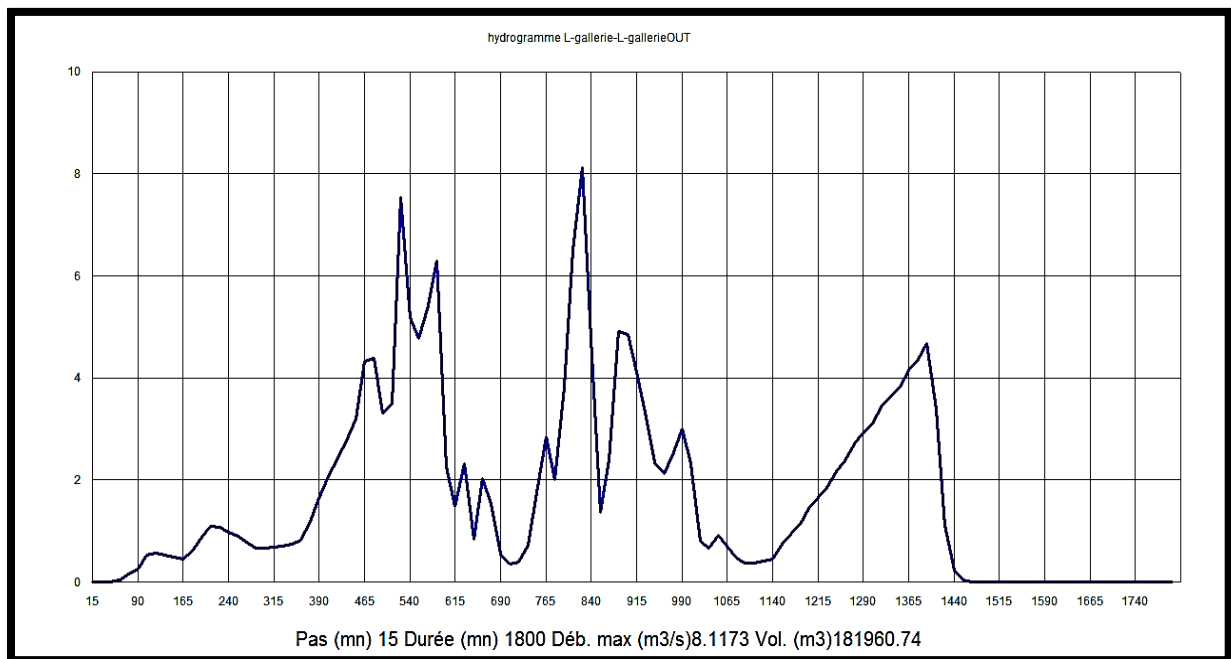
**Tableau (41) :** Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (pluviomètre).

Nom d'exutoire	Débit max (m <sup>3</sup> /s)
L-Gallérie	0.08
Kouba rejet	0.68
EX07	0.14
AQ11-out	0.08
DO16-out	0.66
DO16-out	0.02
DO21-out	0.04
DO23-out	0.07
AN-R02	0.08
D007-out	0.07

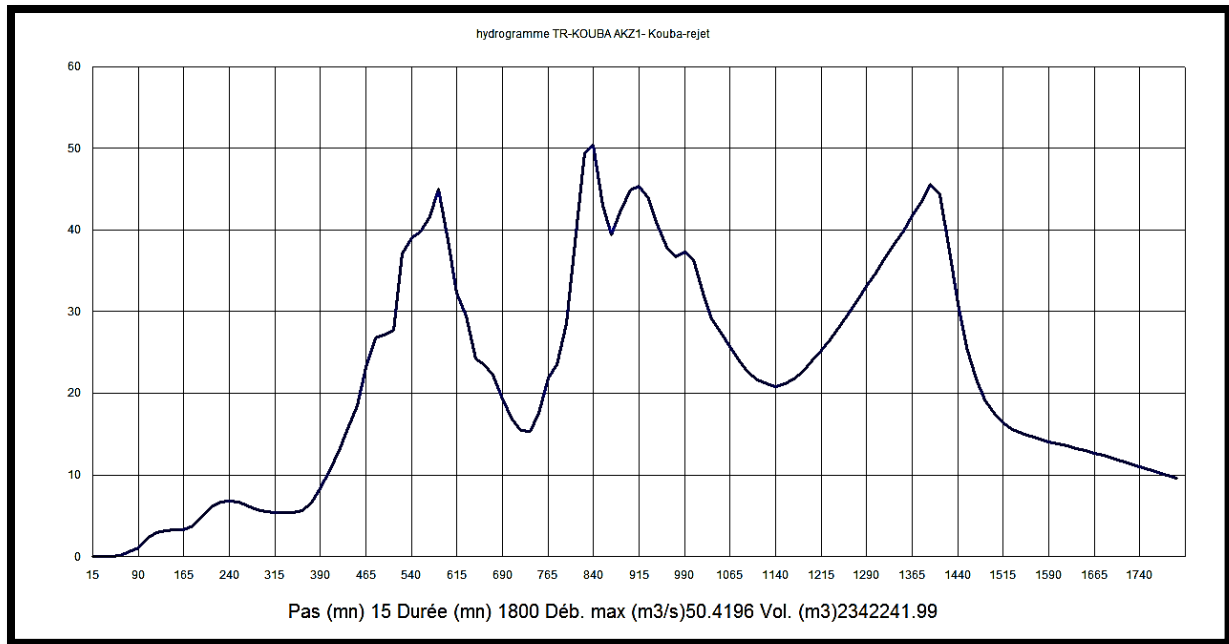
**Avec la pluie de 13/12/2005 (Radar)**



**Figure (89) :** Hauteur maximum dans les collecteurs (événement de 13/12/2005, données Radar).



**Figure (90) :** Hydrogramme d'exutoire Gallérie OUT.



**Figure (91) :** Hydrogramme d'exutoire Kouba rejet.

**Tableau (42) :** Débit d'eau pluviale maximal dans tous les exutoires (Radar).

Nom d'exutoire	Débit max (m <sup>3</sup> /s)
L-Gallérie	8.11
Kouba rejet	50.41
EX07	2.44
AQ11-out	1.18
DO16-out	9.55
DO16-out	0.30
DO21-out	0.56
DO23-out	1.01
AN-R02	1.24
D007-out	1.11

**Tableau (43) :** Comparaison entre d'eau pluviale maximal (pluviomètre / radar).

Nom d'exutoire	Evénement de 11/11/2001		Evénement de 13/12/2005	
	Pluviomètre	Radar	Pluviomètre	Radar
L-Gallérie	2.38	8.78	0.08	8.11
Kouba rejet	18.27	59.71	0.68	50.41
EX07	1.13	3.56	0.14	2.44
AQ11-out	0.65	1.96	0.08	1.18
DO16-out	5.18	15.96	0.66	9.55
DO16-out	0.17	0.49	0.02	0.3
DO21-out	0.31	0.91	0.04	0.56
DO23-out	0.55	1.7	0.07	1.01
AN-R02	0.67	2.08	0.08	1.24
D007-out	0.59	1.85	0.07	1.11

## VI.6 Conclusion

La simulation hydrologique du réseau d'assainissement par les données provenant du radar météorologique et de pluviomètre a montré un écart de résultats d'estimation (Tab: 43). Cela nous donne des points différents pour les débordements de l'eau.

Cette différence est à cause d'utilisation des données pluviométrique de la station de Pont-Bouchet, cette dernière elle est à 14 km de la zone d'étude.

De ce constat, il apparaît bien évident que les données sur les pluies provenant du radar sont directement exploitables pour être utilisées afin de dimensionner les réseaux d'assainissements.

## Conclusion générale

Aujourd'hui la connaissance de l'aléa pluvial constitue l'un des enjeux majeurs de la ville d'Annaba. La question exige d'autant plus d'attention que la somme des contraintes qui pèse sur toute la ville.

Le but général de cette étude n'est pas de chercher les problèmes liés à ce phénomène (les inondations) dans la ville d'Annaba dont les facteurs en cause sont pour une large part externes à l'agglomération.

Sur le plan méthodologique, les résultats ont montré que la faiblesse de réseau de mesure au sol 10 pluviomètres sur une surface de 1429 km<sup>2</sup>, et le manque de données pluviométriques à un pas de temps fin, ont une influence directe sur la mauvaise caractérisation et la gestion du risque pluvial dans la ville, pour cela et pour assurer une bonne couverture on a utilisé l'interpolation spatiale et aussi le radar météorologique, ce dernier a montré sa fiabilité de mesure.

Pour répondre aux questions liées à l'amélioration de la connaissance de la variabilité spatiale des précipitations. Dans un premier temps, les données pluviométriques et avant leurs utilisations ont été vérifiées par les techniques d'homogénéisation, valeurs singulières et de comblement des lacunes...etc.) afin de devenir plus homogènes et robustes, pour être utilisées dans ce travail.

Six techniques d'interpolation spatiales ont été comparées (krigeage ordinaire et universelle, régression globale et locale, splines et enfin l'inverse de distance), cette dernière méthode a toutefois été retenue, car elle fournit globalement de très bons résultats lors de l'évaluation par validation croisée. Les résultats d'interpolation des épisodes qui sont à l'origine des inondations et la création des cartes des pluies saisonnières et annuelles nous a donné une bonne connaissance de la répartition et la variation de la pluviométrie dans toute la ville.

Le radar ayant été installé en 1997, les données du radar météorologique d'Annaba n'ont pas été utilisées avant, cet instrument de mesure est efficace surtout en ce qui concerne la qualité des données fournies (pas de temps fin et une bonne résolution spatiale).

Les données radar ont montré leur efficacité par rapport au réseau de mesure au sol lors de leur confrontation et utilisation en même temps pour la modélisation "pluie-débit" pour le bassin de la Seybouse ainsi que pour la simulation hydrologique du réseau d'assainissement en utilisant le logiciel "Canoé". Les résultats sont encourageants et montrent la capacité des données radar pour dimensionner les réseaux d'assainissements et aussi créer une base de données concernant les points de débordements.

Dans cette étude nous avons essayé de comprendre le risque de pluie dans la ville d'Annaba en utilisant les nouvelles techniques. Les résultats sont encourageants et ont montré la possibilité de gérer ce risque et de réduire les dégâts qui se posent. Également l'utilisation de radar météorologique est désormais un outil indispensable pour l'étude de l'aléa pluvial et des nuisances associées.

Enfin, la méthodologie appliquée dans cette thèse sera encore testée afin de démontrer son utilité sur d'autres radars météorologiques en Algérie. Ce travail doit être considéré comme une première étape qui mérite beaucoup d'approfondissements de telle sorte que l'utilisation des images satellitaires et les images radar soient désormais prise en considération.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J., 2003.** Guidelines on climate metadata and homogenization. Report WMO-TD 1186, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Alexandersson, H., 1986.** A homogeneity test applied to precipitation data, *Journal of Climatology*, 6, pp. 661- 675.
- Amarchi, H, 2006.** Introduction de l'information de télédétection dans l'estimation statistique des disponibilité en eau de surface : cas du bassin versant de la Seybouse.131p.
- Andrieu, H., J. D. Creutin, G. Delrieu, and D. Faure, 1997.** Use of a weather radar for the hydrology of a mountainous area Radar measurement interpretation, *Journal of Hydrology*, 193, pp. 1-25.
- Arnaud M.et Emery X., 2000.** Estimation et interpolation spatiale, Hermès Science publications, Paris,221p.
- Atkinson PM, Lloyd CD., 1998.** Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging, *Journal of Geographic Information Decision*, (2)2, pp. 65-76.
- Atlas .D, Rosenfeld .D, Wolff .B., 1990.** Climatologically tuned reflectivity-rain rate relation and links to area-time integrals, *Journal of applied meteorology*, 29, pp. 1120-1135.
- Asselin, J., Ouarda, T.B.M.J., Fortin, V., Bobée, B., 1999.** Une procédure bayésienne bivariée pour détecter un décalage de la moyenne. Rapport de recherche R-528, Chaire en hydrologie statistique, INRS-Eau, Québec, QC, Canada.
- Baillargeon.S., 2005.** Kriging review of the theory and application to the interpolation of precipitation data. Thesis University of Laval (Quebec). 137 p.
- Bell, V.A., and R.J. Moore., 1998a.** A grid-based distributed flood forecasting model for use with weather radar data: Formulation. *Hydrological Earth System Science*. 2, pp. 265–281.
- Beloulou , 2008.** Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien). Thèse doctorat université badji mokhtar Annaba 320 p.
- Bessaklia, H. 2013.** Actualisation des données pluviométriques utilisées dans le cadre de l'étude des systèmes d'assainissement: étude comparative. Thèse Master 02 université badji mokhtar Annaba 123 p.

- Boroneant, C., Tomozeiu, R., 1999.** Experience with homogeneity testing of temperature data at Bucuresti Filaret station. Proc. Second seminar for homogenization of surface climatological data, 9- 13 November 1998, Budapest, Hungary, WMO-TD No. 962., World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Borga, M., P. Boscolo, F. Zanon, and M. Sangati., 2007.** Hydrometeorological analysis of the 29 August 2003 flash flood in the eastern Italian Alps, *Journal of Hydrometeorology*, 8, pp.1049-1067.
- Boutaghane, H., 2002.** Contribution à l'étude du dimensionnement et du comportement des ouvrages d'assainissement : les déversoirs d'orage. Thèse magister université Badji Mokhtar Annaba 115 p.
- Buishand, T. A., 1989.** Statistics of extremes in climatology, *Statistica Neerlandica*, 43, pp. 1-29.
- Chocat B. coord., 1997.** Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, coordination B. Chocat. Paris (France) : Technique et Documentation, 1136 p.
- Ciaponi C., Moisello U., Papiri S., 1993.** Rainfall measurements and spatial variability in a small urban catchment, *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Storm Drainage*, Niagara Falls, Canada, 13-17 September 1993, 1, pp. 158-163.
- Cleveland W. et Devlin S., 1988.** Locally weighted regression : An approach to regression analysis by local fitting, *Journal of the American Statistical Association* , 83 (403), pp. 596-610.
- Cressie, N., 1993.** Statistics for spatial data Wiley series in probability and mathematical statistics : applied probability and statistics, John Wiley 212p.
- Caussinus, H., Mestre., O, 2004.** Detection and correction of artificial shifts in climate series, *Applied Statistics* 53 (3), 405-425.
- Coulibaly. M ,S. Becker., 2007.** Spatial interpolation of annual precipitation in South Africa , *International Water Resources Association comparison and evaluation of methods* ,32, pp. 494-502.
- Craddock, J.M., 1979.** Methods of comparing annual rainfall records for climatic purposes, *Weather* 34, pp. 332-346.
- Cadet D. et Guillot B., 1991.** Estimation des pluies par satellite, Orstom éditeur ,63pp

- Caussinus, H., and F. Lyazrhi., 1997.** Choosing a linear model with a random number of change points and outliers, *Annear Institut Statistical Math.*, 49, pp. 761-775.
- Calheiros .R.V, Zawadzki .I., 1987.** Reflectivity rain-rate relationships for radar hydrology in Brazil, *Journal of Climate Application Meteorology*, 26, pp. 118–132.
- Carpenter, T. M., J. A. Sperflage, K. P. Georgakakos, T. Sweeney, and D. L. Fread., 1999.** National threshold runoff estimation utilizing GISin support of operational flash flood warning systems, *Journal of Hydrology*, 224, pp. 21-44.
- Creutin J.D.,et al., 2009.** Catchement dynamics and social response during flash floods :the potential of radar rainfall monitoring for warning procedures, *Meteorological Applications* ,32,7, pp.1003-1010.
- Daly, C., Gibson, W.P., Taylor, G.H., Doggett, M.K., Smith, J.I, 2007.** Observer bias in daily precipitation measurements at United States cooperative network stations, *Bulletin of the American Meteorological Society* 88 (6), 899-912.
- Datsenko, N.M., Moberg., A., Sonechkin, D.M, 2002.** Objective time-scale-dependent homogenization of early instrumental temperature series, *Theoretical and applied climatology* 72 (1-2), pp. 103-126.
- Djedouane A et Sekhakhfa I., 2006.** évolution du risque d’inondation dans la ville de Annaba », mémoire ingénieur hydraulique, université de Annaba.
- Delobbe, L., 2006.** Estimation des précipitations à l’aide d’un radar météorologique, Institut Royal Météorologique de Belgique.
- Dirks KN, Hay JE, Stow, CD, Harris D High., 1998.** Resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: Interpolation of rainfall data, *Journal of Hydrology* , 208, pp. 187-193.
- Dubreuil V., et al., 2004.** Estimation des précipitation par télédétection au Mato Grosso (Brésil).*Climatologie* ,1, pp. 133-156.
- Easterling, D.R., Peterson, T.C., 1992.** Techniques for detecting and adjusting for artificial discontinuities in climatologically time series, a review *Proceeding Fifth International Meeting on Statistical Climatology*, 22-26 June 1996, Toronto, Ontario, Canada.

- Einfalt T., Krejci V., Schilling W., 1998.** Rainfall data in urban hydrology. in "Hydroinformatics Tools", J. Marsalek et al. (eds), The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 129-168.
- Fankhauser R., 1997.** Measurement properties of tipping-bucket rain gauges and their influence on urban runoff simulation, *Water Science and Technology*, 36,9, pp. 7-12.
- Fankhauser R., 1998.** Influence of systematic errors from tipping bucket rain gauges on recorded rainfall data, *Water Science and Technology*, 37,11, pp. 121-129.
- Faure D., 1993.** Application à l'hydrologie du radar météorologique :comparaisons d'estimation radar et pluviométriques pour des lames d'eau horaires sur des petits bassins cévenols, Thèse de l'université Joseph Fourier Grenoble I ,260p.
- Fearnhead, P., 2006.** Exact and efficient Bayesian inference for multiple change point problems. *Statistics and Computing* 16 (2), pp. 203-213.
- Fotheringham A., Brunson C. et Charlton M., 2002.** Geographically Weighted Regression : the analysis of spatially varying relationships, Jhon Wiley & Sons Ltd ,Chichester ,231 p.
- Giuliani S., Hamouda A., Mourot G., Boukhris A., Auchet P., 1996.** Rainfall measurement from tipping-bucket rain gauges : evaluation of uncertainties and gauge calibration, *Proceedings of the 7th International Conference on Urban Storm Drainage*, Hannover, Germany, 9-13 September 1996, 1, pp.103-108.
- Gourley, J. J., S. E. Giangrande, Y. Hong, Z. L. Flamig, T. Schuur, and J. A. Vrugt., 2010.** Impacts of polarimetric radar observations on hydrologic simulation, *Journal Hydrometeorology* ,11, pp.781-796
- Gullett, D.W., Vincent, L.A., Sajecki, P.J.F., 1990.** Testing for homogeneity in temperature time series at Canadian climate stations. Report 90-4, Canadian Climate Center, Downsview, ON, Canada.
- Groisman, P.Y., Easterling, D.R., 1994.** Variability and trends of total precipitation and snowfall over the United States and Canada, *Journal of Climate* 7 (1), pp. 184-205.
- Haddad .B, Sadouki .L, Sauvageot .H, Adane ., 2006.** Analyse de la dimension fractale des échos radar en algérie, france et sénégal, *journal de Télédétection*,5, pp. 299-306.

- Heino, R., 1997.** Metadata and their role in homogenization, Proceeding First Seminar for Homogenization of Surface Climate Data. Hungarian Meteorological Service, Budapest, Hungary.
- Hubert, P., Carbonnel, J.P., Chaouche, A., 1989.** Segmentation des séries hydrométéorologiques : application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest, Journal of Hydrology 110 (3-4), pp. 349-367.
- Hutchinson M., 2003a.** Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines : I. Two dimensional smoothing of data with short range correlation, Proceedings of DIC 1997 in Ispra, Italy, pp. 78-92.
- Hutchinson M., 2003b.** Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines :II. Analysis of topographic dependence, Proceedings of DIC 1997 in Ispra, Italy.
- Jaruskova, D., 1996.** Change-point detection in meteorological measurement, Monthly Weather Review 124 (7), pp. 1535-1543.
- Jarvis, C.H. and Stuart, N., 2001.** A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperature. Part II: the interaction between number of guiding variables and the type of interpolation method, Journal of Applied Meteorology, 40, pp. 1075-1084.
- Jef, H., Clements, M., Gerwin, D. and Frans, F., 2006.** Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in Belgium, Journal of Environmental Monitoring, 8, pp. 1129-1135.
- Joly D., Brossed T., Cardot H., Cavailhès, J., Hilal M., 2008.** Interpolation par recherche d'information locale, Climatologie, 5, pp.27-48.
- Joly D., Brossed T., Cardot H., Cavailhès, J., Hilal M., 2009.** Interpolation par régressions locales : application aux précipitations en France, L'espace géographique, vol. 2, pp.157-170.
- Jones, P.D., Raper, R.S., Diaz, H.F., Kelly, P.M., Wigley, T.M.L., 1986.** Northern hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984, Journal of Climate and Applied Meteorology 25 ,2, pp. 161-179.
- J.L. Bertrand-Krajewski ., 2000.** Mesures en hydrologie urbaine et assainissement livre ., Editions Tec et Doc : Paris (France) , 794 p .

- Karl, T. R. and C. N. Jr. Williams., 1987.** An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, pp. 1744-1763.
- Keblouti M, Ouerdachi L, Boutaghane H., 2012.** Spatial interpolation of annual precipitation in Annaba-Algeria-comparison and evaluation of methods, *Journal of Energy Procedia* 18, pp.468–475.
- Khezazna et al, 2010.** mémoire master université badji mokhtar Annaba
- Krajewski .W. Smith., 1991.** On the estimation of climatologically Z-R relationships, *Journal of applied meteorology* ;30 , pp. 1436-1445.
- Krajewski W., F., and J. A. Smith., 2002.** Radar hydrology: Rainfall estimation, *Advanced Water Resource*, 25, 1387-1394.
- Krige D.G., 1951,** A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand, *Journal of Chem.,Metal. And Minning Soc. of south Africa*, n°52,pp.119-139.
- Krishana Murthy B R,G Abbaiah 2008.** Geostatistical analysis for estimation of mean rainfalls in Andhra Pradesh, India, *international journal of geology* 2007;3, pp. 35-51.
- Laborde J.P., 2004.** Exemple des cartographie d'une variable continue connue de façon discrète mais également liée à des champs de variables connues de façon continue, *Actes des journées de climatologie de la commission climat et société, Nancy* ,pp.13-30.
- Lanza L. et al ., 2005.** WMO laboratory inter comparison of rainfall intensity gauges .final report,WMO,16 pp.
- Lanza L. et al., 2009.** Laboratory investigation of instruments submitted to the WMO field inter comparison of rain intensity gauges, *proceedings of the 8th international Workshop on precipitation in urban areas ,December 2009,Saint-Mortiz,Switzerland* ,7,pp. 3-7.
- Lamas, J., 1985.** *Hydrologie générale : principes et applications.* GAETAN MORIN, Québec.

- Lamri.A, Haffar.L., 2004.** Le calibrage hydrologique du radar météorologique étude comparative entre le radar de bordeaux et de Setif, rapport de ONM .
- Laurent A., 2007.** Evaluation du potentiel archéologique du sol en milieu urbain. Thèse, université de Tours, 393 p.
- Laurent A., 2008.** Evaluation du potentiel archéologique du sol en milieu urbain. Actes de la conférence SIG 2008 ESRI, versailles, 19 p.
- Laplace D., 1997.** Mesure de hauteur et d'intensité de pluie en milieu urbain. Paris (France) : Presses de l'ENPC, Actes des journées du DEA Sciences et Techniques de l'Environnement, mai 1997, pp. 67-81.
- Lavabre J., 1983.** Pluie Fonction transfert pluie-débit Valeurs extrêmes ,Métérologie et critique des données. Aix-en-Provence (France) : CETE, document du Stage d'hydrologie.
- Mann, H.B., 1945.** Nonparametric tests against trend, *Econometrica* 13 ,3, pp. 245-259.
- Maronna, R., Yohai, V.J., 1978.** A bivariate test for the detection of a systematic change in mean, *Journal of the American Statistical Association* 73 (363), pp. 640-645.
- Marsalek J., 1981.** Calibration of the tipping-bucket rain gauge, *Journal of Hydrology*, 53, pp. 343-354.
- Martínez-Cob, A., 1996.** Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain, *Journal of Hydrology*, 174, pp. 19-35.
- Matheron G., 1970.** La théorie des variables régionalisées et ses applications, les cahiers du centre de morphologie mathématique de Fontaine bleu, Paris, 273 p.
- Meyers D., 1994.** Spatial interpolation : an overview. *Geoderma*, n°62, pp. 17-28.
- Mitasova H. et Mitas L., 1993.** Interpolation by regularized spline with tension : I. theory and implantation, *Mathematical Geology*, 25,6, pp. 641-655.
- Morin, E., Y. Jacoby, S. Navon, and E. Bet-Halachmi., 2009.** Towards flash-flood prediction in the dry dead sea region utilizing radar rainfall information, *Advanced Water Resource*, 32, 1066- 1076.
- Morineau D., 1993.** Pluviomètres au sol : installation et opération, Actes du 1er Séminaire CROWN "Instrumentation dédiée à la connaissance des crues et pollutions subites dues aux orages", Trappes, France.

- Neppel L., 1997.** Le risque pluvial en région Languedoc-Roussillon :caractérisation de l'aléa climatique. Thèse, Mécanique ,Génie Mécanique ,Génie Civil, Science de l'eau dans l'environnement continental, université de Montpellier II science et techniques du Languedoc, 272 p.
- Neppel L et al ., 2006.** Quelques illustrations des sources d'incertitudes dans l'analyse de l'aléa pluvieux, la houille blanche, 6, pp.22-25.
- Niemczynowicz J., 1986.** The dynamic calibration of tipping bucket raingauges, Nordic Hydrology, 17, pp. 203-214.
- Oberlin G., Galéa G., Rosique J.B., 1980.** Le tarage des pluviographes, La Météorologie, 20, 21,pp. 23-32.
- Overgaard S., El-Shaarawi A.H., Arnbjerg-Nielsen K, 1998.** Calibration of tipping bucket rain gauges, Water Science and Technology, 37,11, pp. 139-145.
- Pedersen, L., 2009.** Identification and quantification of uncertainties related to using distributed x-band radar estimated precipitation as input in urban drainage models. PhD Thesis.
- Peters, J. C., and D. J. Easton, 1996.** Runoff simulation using radar rainfall data, Water Resource Bulletin, 32, 753-760.
- Piman,T., M. S., 2007.** Babel, A. Das Gupta, and S. Weesakul. Development of a window correlation matching method for improved radar rainfall estimation, journal of hydrology and earth system sciences.,11, pp. 1361-1372.
- Rajagopalan B, Lall U., 1998.** Locally weighted polynomial estimation of spatial precipitation, Journal Geographique Information Decision Analyze , 2(2), pp. 44-51.
- Ramsey, E. W., 1995.** Monitoring flooding in coastal wetlands by using radar imagery and ground-based measurements, International journal of remote sensing, 16, pp. 2495-2502.
- Renard.F, Comby.J., 2006.** Évaluation de technique d'interpolation spatiale de la pluie en milieu urbain pour une meilleure gestion d'événement extrême le cas du Grande Lyon, La Houille Blanche,06 , pp. 75-78.

- Renard, F., 2010.** Le risque pluvial en milieu urbain. De la caractérisation de l'aléa à l'évaluation de la vulnérabilité : le cas du grand Lyon, Thèse de doctorat de géographie et aménagement ,(université jean Moulin Lyon 3), 528 p.
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B., and Amitai, E., 1994.** The window probability matching method for rainfall measurements with radar, *Journal Applied Meteorology*.33, pp. 682–693.
- Rhoades, D.A., Salinger, M.J., 1993.** Adjustment of temperature and rainfall records for site change, *International Journal of Climatology* 13 (8), pp. 899-913.
- Rinehart, R. E., 1997.** Radar for meteorologists: Third edition. Rinehart Publishing.
- Rossa, A., 2005.** M. Bruen, D. Frühwald, B. Macpherson, I. Holleman, D. Michelson, and S.Michaelides: Use of radar observations in hydrological and new models. COST 717 Final Report.
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B., and Atlas, D, 1993.** General probability matched relations between radar reflectivity and rain rate, *Journal of Applied Meteorology*, 32, pp. 50–72.
- Sauvageot. H., 1994,** The probability density functions of rain rate and estimation of rainfall by area integrals, *Journal of Applied Meteorology*, 33, pp. 1255-1262.
- Sevruk, B., 1996.** Adjustment of tipping-bucket precipitation gauge measurement, *Atmospheric Research* 42 (1-4), pp. 237-246.
- Schwarz, G., 1978.** Estimating the dimension of a model, *Annear Statistical.*, 6, pp. 461-464.
- Solow, A.R., 1988.** A bayesian approach to statistical inference about climate change, *Journal of Climate* 1 ,5, pp. 512-521.
- skhakhfa ,I. 2009.** Analyse de l'aléa pluviométrique dans la ville de Annaba. Thèse magister université badji mokhtar Annaba 85 p.
- Sumner, G., 1990.** Applications of weather radar systems - a guide to users of radar data in meteorology and hydrology, *collier Area*,22 , pp. 180-180.
- Szentimrey, T., 1996.** Statistical procedure for joint homogenization of climatic time series. *Proceedings, First Seminar for Homogenization of Surface Climatology Data*, Budapest, Hungary, Hungarian Meteorological Service.

- Tabary, P., 2007.** The new French operational radar rainfall product methodology, *Weather Forecast.* 22, pp. 393–408.
- Tayanc, M., Dalfes, H.N., Karaca, M., Yenigun, O., 1998.** A comparative assesment of different methods for detecting inhomogeneities in Turkish temperature data set, *International Journal of Climatology* 18 (5), pp. 561-578.
- Tabios GQ, Salas JD., 1985.** A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation, *Water Resour Bull*,3, pp. 365-380.
- Thompson, C.S., 1984.** Homogeneity analysis of rainfall series: an application of the use of a realistic rainfall model, *International Journal of Climatology* 4 (6), pp. 609-619.
- Thiessen A. H., (1911) :** Precipitation averages for large ares. *Monthly weather review*, 39,pp. 1082-1084.
- Tilford, K. A., N. I. Fox, and C. G. Collier., 2002.** Application of weather radar data for urban hydrology, *Meteorological Application*, 9, pp. 95-104.
- Vieux, B. E., and P. B. Bedient., 1998.** Estimation of rainfall for flood prediction from wsr-88dreflectivity: A case study, 17-18 october 1994, *Weather Forecast*, 13, pp. 407-415.
- Vicente-Serrano, S.M., Saz-Sánchez, M.A. and Cuadrat, J.M., (2003).** Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature, *Climate Research*, 24, pp.161-180.
- Wand M. et Jones M., 1995.** Kernel smoothing, volume 60 de *Monographs on Statistics and applied Probability*.chapman and hall ltd., London,223 p.
- White, GF 1945.** Human adjustment to floods. *Research Paper 29.* Department of Geography, University of Chicago, 225 p.
- Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M.G., Können, G.P., 2003.** Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series, *International Journal of Climatology* 23 6, pp. 679-692.
- Yang, D., Goodison, B.E., Metcalfe, J.R., Louie, P., Leavesley, G., Emerson, D., Hanson, C.L., Golubev, V.S., Elomaa, E., Gunther, T., Pangburn, T., Kang, E., Milkovic, J., 1999.** Quantification of precipitation measurement discontinuity induced by wind shields on national gauges, *Water Resources Research* 35 (2), pp. 491-508.

**Zaninetti J-M., 2005.** Statistique spatiale, méthodes et applications géomatiques, Hermes Science publications, Paris, 321 p.

**Zurbenko, I., Porter, P.S., Rao, S.T., Ku, J.Y., Gui, R., Eskridge, R.E., 1996.** Detecting discontinuities in time series of upper-air data: development and demonstration of an adaptive filter technique, Journal of Climate 9 (12), pp. 3548-3560.

## **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe I** : Publication

**Annexe IV** : Hydrogrammes de la simulation

**Annexe 1** : Publication de la thèse

**Publication Internationale**

Keblouti mehdi , Ouerdachi lahbassi , and Boutaghane hamouda , 2012. Spatial interpolation of annual precipitation in Annaba-Algeria-comparison and evaluation of methods, journal of energy procedia ,18,468-475.

Keblouti mehdi , Ouerdachi lahbassi and Berhail sabri, 2013. The use of weather radar for rainfall-runoff modeling, case of Seybouse watershed (Algeria), Arabian journal of geosciences DOI : 10.1007/s12517-013-1224-7.

### **Communication internationals**

- ✓ M.KEBLOUTI; H.BOUTAGHANE; L.OUERDACHI: A Comparative Analyses For Spatial Interpolation; the 11th Tunisia-Japan Symposium on Society, Science and Technology 11-13 November 2011.Hammamat Tunis.
- ✓ KEBLOUTIM ; OUERDACHI. L, BOUTAGHANE .H : évaluation des techniques d'interpolation spatiale en milieu urbain pour une meilleure connaissance des évènements extrêmes cas du la ville de Annaba. La Troisième Edition Du Congrès International Sur L'eau, Déchets Et Environnement (EDE3) Les 21, 22 Et 23 Novembre 2011 Fés. Maroc.
- ✓ SKHAKHFA I; KEBLOUTIM : Analyse De L'aléa Pluviométrique De La Ville De Annaba ; La Troisième Edition Du Congrès International Sur L'eau, Déchets Et Environnement (EDE3). Les 21, 22 Et 23 Novembre 2011 Fés.Maroc.
- ✓ SKHAKHFA I. OUERDACHIL ; KEBLOUTIM : Caractérisation de l'aléa climatique pluvieux du Nord -Est Algérien; congrès international sur les énergies renouvelables et l'environnement 19 -21 Mars 2012 ,Hammamet -Tunise.
- ✓ KEBLOUTIM; OUERDACHIL, BOUTAGHANE .H: Spatial Interpolation of Annual Precipitation in Annaba-Algeria - Comparison and Evaluation of Methods; TerraGreen 12 CONFERENCE 16-18 February 2012, Beirut-Lebanon.
- ✓ KEBLOUTIM ; OUERDACHIL ;BERHAIL.S : Variabilité spatiale et temporelle des précipitation du la ville d'Annaba ,Watmed 06 conférence 09-12 octobre 2012 Sousse-Tunis .
- ✓ OUERDACHIL ; KEBLOUTIM ;BERHAIL.S : gestion des eaux pluviales de la ville d'Annaba /régionalisation des paramètres climatiques ,Watmed 06 conférence 09-12 octobre 2012 Sousse-Tunis .
- ✓ KEBLOUTIM ; OUERDACHIL ;BERHAIL.S : Calibrated radar derived rainfall data for rainfall run off modeling case of seybouse watershed ,Rezas conférence 14-17 november 2012 Beni melal -Maroc .



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SciVerse ScienceDirect

Energy Procedia 18 (2012) 468 – 475

Energy

Procedia

## Spatial Interpolation of Annual Precipitation in Annaba- Algeria - Comparison and Evaluation of Methods

Mehdi Keblouti<sup>a</sup>, Lahbassi Ouerdachi<sup>a</sup>, Hamouda Boutaghane<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratory of hydraulics and hydraulic constructions, Badji Mokhtar University, P.O.BOX 12, Annaba 23000, Algeria.

### Abstract

The availability of rainfall data is fundamental for most hydrological analyses and for the design and management of water resources systems. There are many methods of spatial interpolation of rainfall despite their effectiveness and ease of use variables, the choice of one or the other depends on the aim of the study, but also on the territorial context of the area (surface, network density, etc.). The study area is the coastal city of Annaba located in eastern Algeria, and which contains a low rainfall network density. The purpose of this study is to determine the most adequate rainfall interpolation technique. Three interpolation techniques, determinist and stochastic, have been tested by visual observation and cross-validation, the best results were achieved by inverse distance weighting to characterize rainfall distribution.

© 2012 Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer review under responsibility of The TerraGreen Society.

*Key words:* Algeria, rainfall distribution, spatial interpolation techniques, Annaba, evaluation.

### Nomenclature

IDW	Inverse Distance Weighted
CRS	Completely Regularized Spline
KI	Indicator Kriging

\* Corresponding author. Tel.: +213662639042; fax:+0-000-000-0000 .  
E-mail address: [keblouti.mehdi@hotmail.com](mailto:keblouti.mehdi@hotmail.com).

## The use of weather radar for rainfall-runoff modeling, case of Seybouse watershed (Algeria)

M. Keblouti · L. Ouerdachi · S. Berhail

Received: 27 July 2013 / Accepted: 26 November 2013  
© Saudi Society for Geosciences 2013

**Abstract** The use of radar for rainfall and runoff estimation is beneficial because of the high spatial and temporal resolution and large areal coverage; the main objective of this research is the calibration of the weather radar of Annaba for hydrological applications. To improve rainfall distribution estimation for the maritime watershed (1,129 km<sup>2</sup>) (Seybouse, Annaba), located in the north eastern of Algeria, a new technique was used based on the creation of six virtual rainfall stations uniformly throughout the area. The rainfall data for these virtual stations are estimated from raw weather radar data using a newly developed program called “Rain-Data ver1.0.” The calibrated radar-derived rainfall is used as input data in the Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis model; the results show that all radar rainfall input data tend to produce more accurate runoff hydrographs than rain gauge data. Finally, the use of radar rainfall data to estimate runoff gives encouraging results, especially in regions where continuous gauge rainfall measurements are not available and rain gauges are sparsely distributed.

**Keywords** Algeria · Seybouse watershed · Weather radar · Radar rainfall calibration · Runoff

### Abbreviations

ASWR Algérie Service weather radar

M. Keblouti (✉) · L. Ouerdachi · S. Berhail  
Laboratory of Hydraulics and Hydraulic Constructions, Badji Mokhtar-Annaba University, P.O. BOX 12, 23000 Annaba, Algeria  
e-mail: keblouti.mehdi@hotmail.com

L. Ouerdachi  
e-mail: ouerdach@univ-annaba.org

S. Berhail  
e-mail: berhail\_sabri@yahoo.fr

### Introduction

Rainfall information is an important input in the hydrological modeling and in water resources. Accurate quantitative measurement of rainfall is a long-standing problem. A rainfall recorder can provide an accurate and reliable measurement of rainfall at a point over short time intervals, but the validity of such measurement over nearby areas is uncertain, particularly in convective rainfall situations (Amiryazdani et al. 2004).

At present, rainfall measurement in a watershed is generally based on rain gauge networks; these measures are only valid for the point where it is measured. Therefore, the inadequate number of rainfall stations in the catchment can have a major impact on the accuracy of runoff and flood estimations (Bevan and Hornberger 1982; Hamlin 1983; Ramli and Tahir 2011).

In hydrology, there are two types for rainfall measurements: direct by traditional measure using rain gauges and indirect by weather radar and satellite images (Milford and Dugdale 1989).

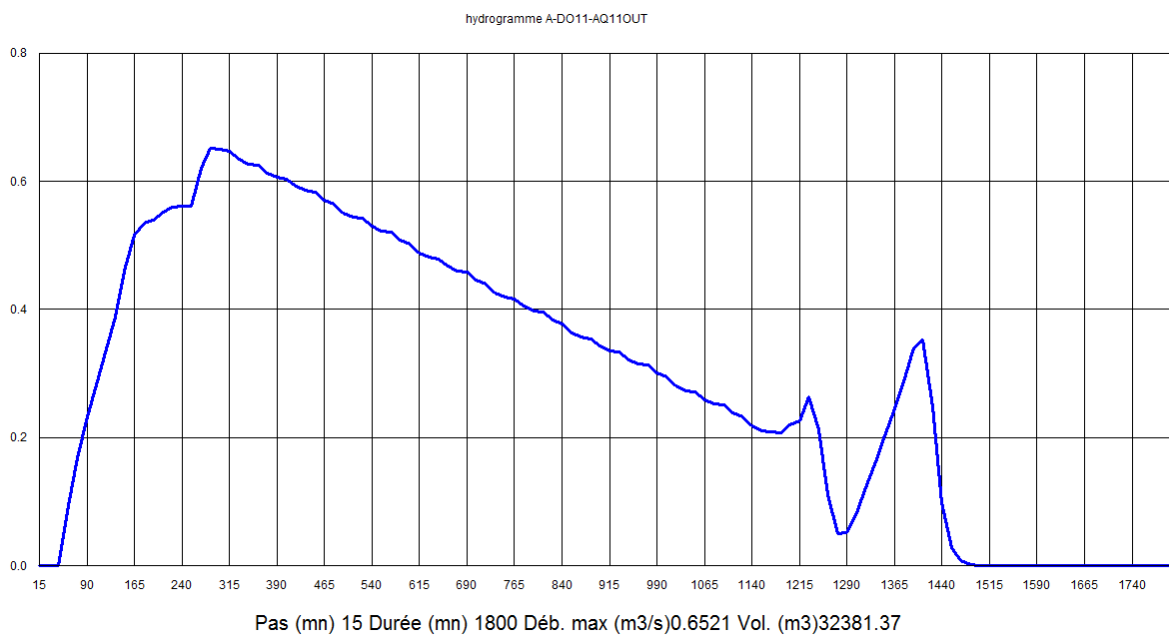
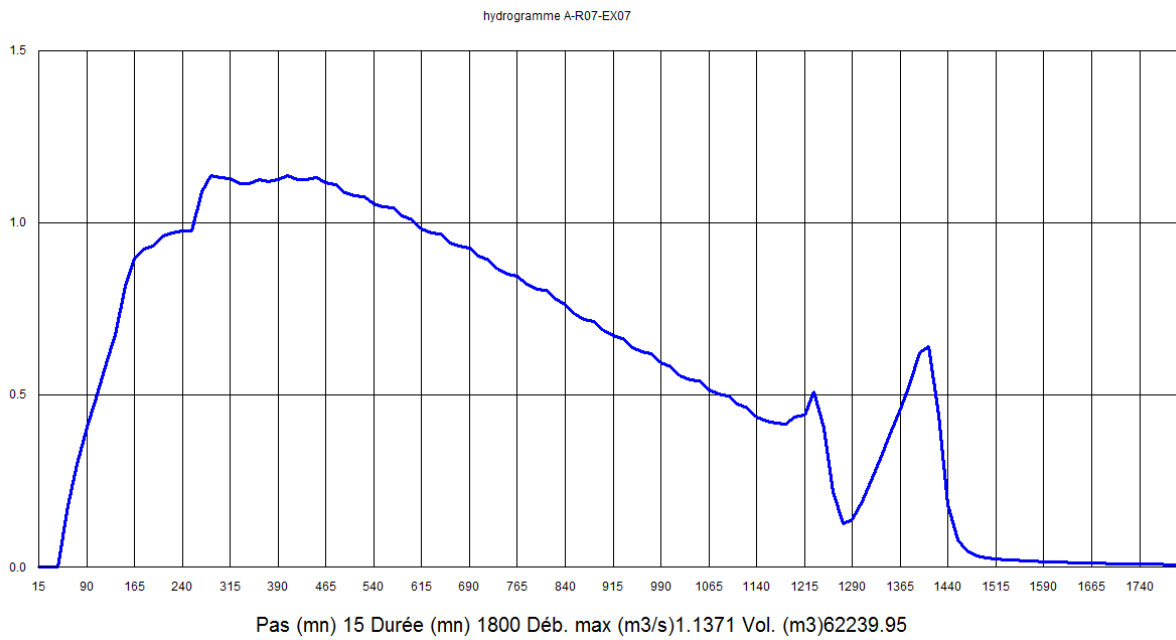
The network of the precipitation measuring stations is sparse, and available data are insufficient to characterize the highly variable precipitation. This is especially true in the case of developing countries like Algeria, where the complexity of the rainfall distribution is combined with the measurement difficulties (Masoud 2009; Keblouti et al. 2012).

Contrary to traditional measurement of rainfall by rain gauge, the weather radar presents several advantages. With weather radar, it is possible to observe precipitation at a short temporal resolution with large areal coverage as well as better capture of the spatial variation of rainfall fields. But before using it in hydrological modeling, radar data require calibration before being transformed into precipitation products (Sharif et al. 2002).

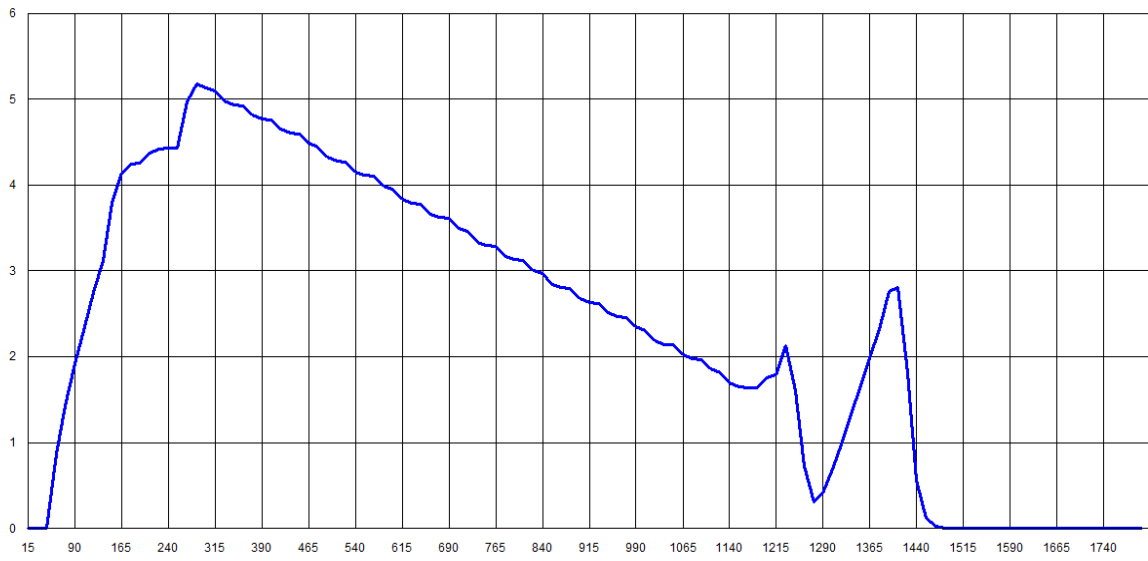
To use the weather radar as a measuring instrument, it is necessary to know accurately the constants of the radar

## ANNEXE IV: Hydrogrammes de la simulation

### ➤ Pluie de 11/11/2001 (pluviomètre)

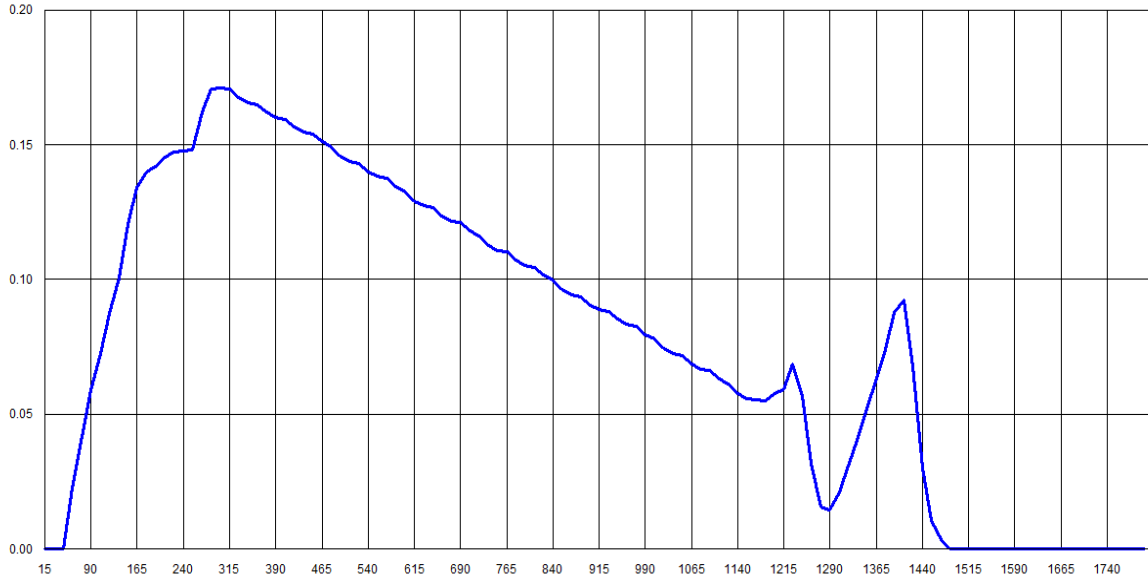


hydrogramme A-DO16-A-DO16-OUT



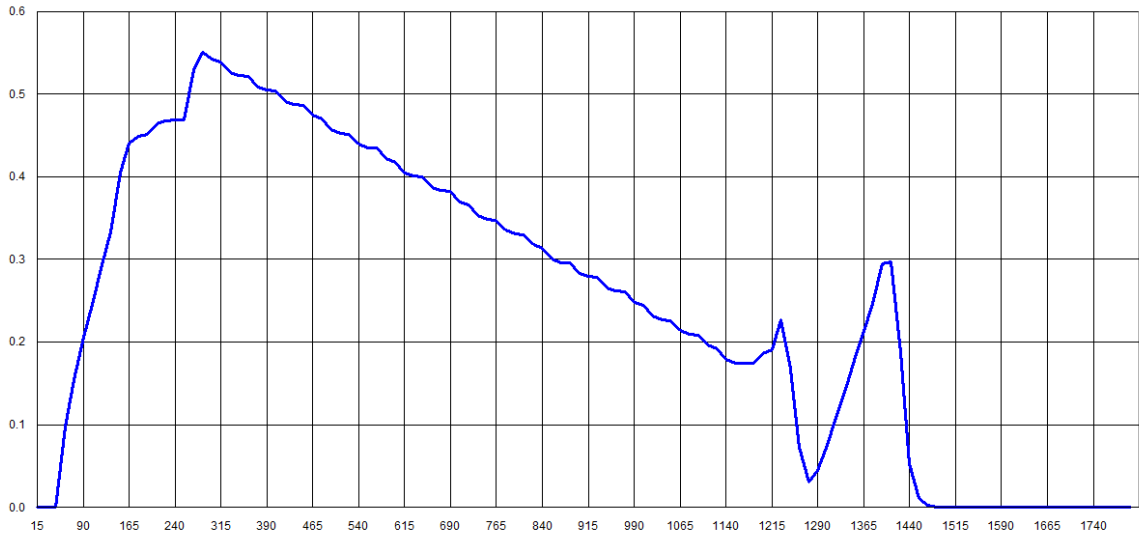
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)5.1856 Vol. (m3)255182.94

hydrogramme A-DO18-A-DO18-OUT



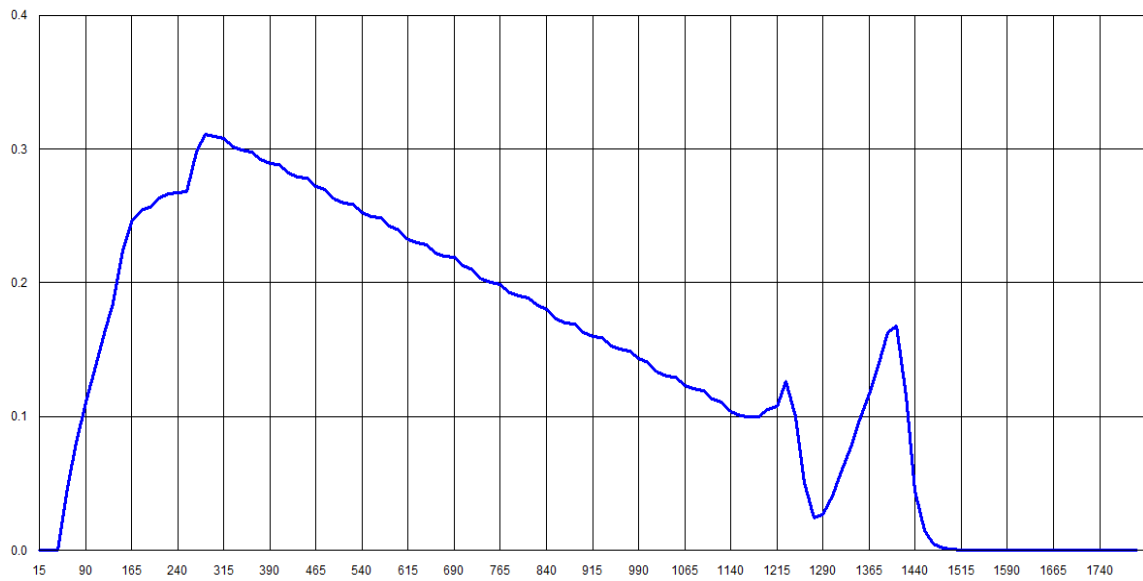
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.1713 Vol. (m3)8540.37

hydrogramme A-DO23-fc-A-DO23-OUT



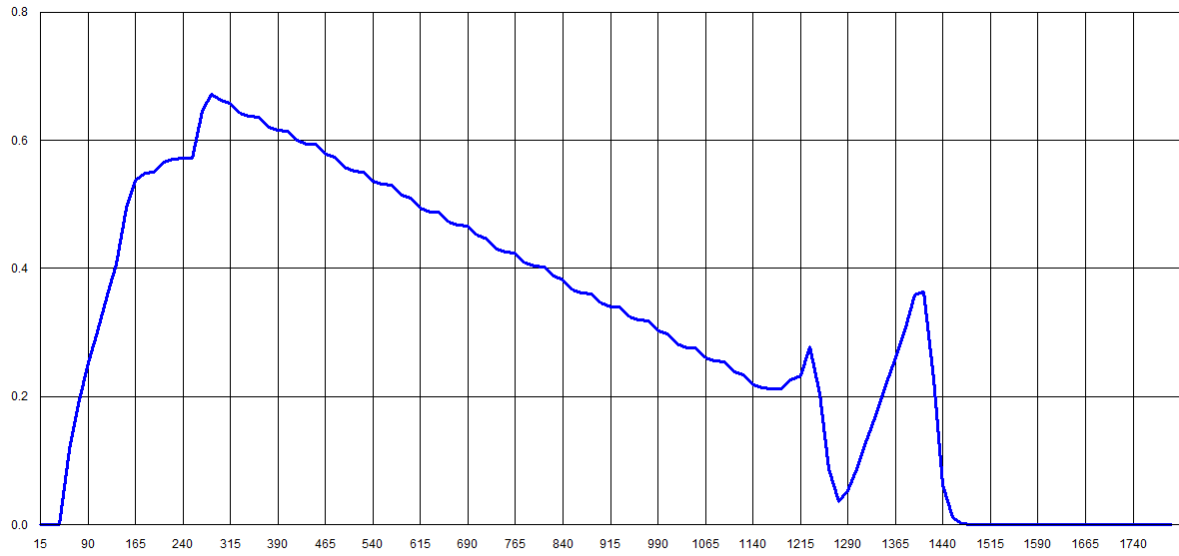
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.5502 Vol. (m3)27026.73

hydrogramme A-DO21-A-DO21-OUT



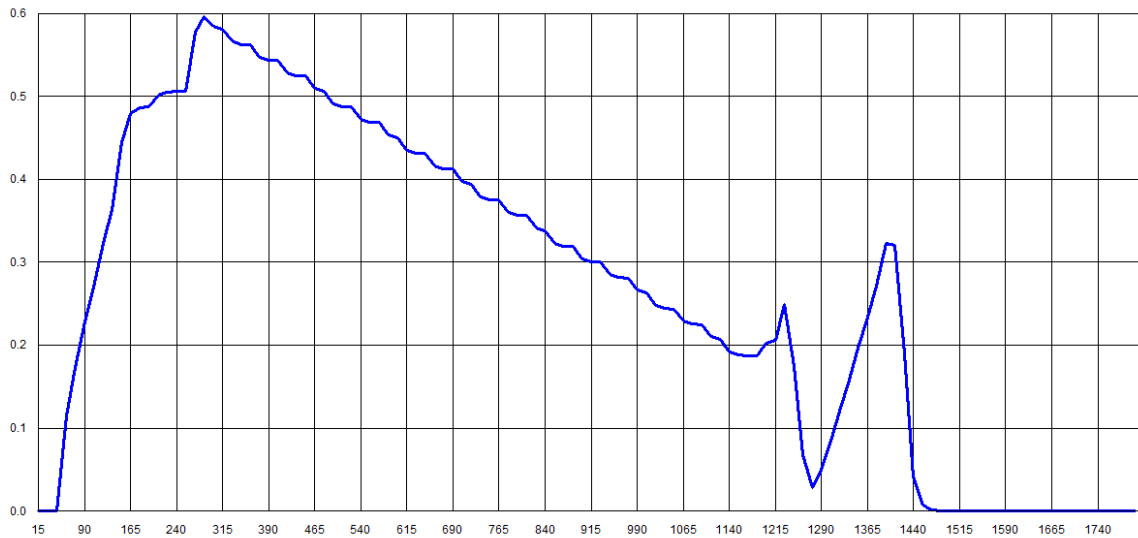
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.3108 Vol. (m3)15442.11

hydrogramme AN-R02-an-ex



Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.672 Vol. (m3)32972.13

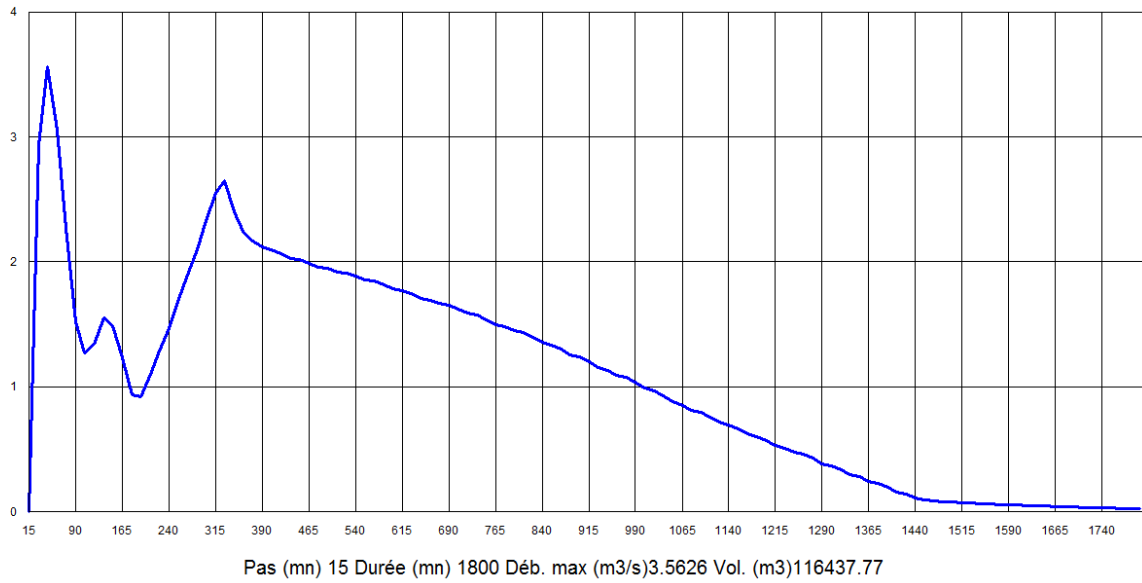
hydrogramme AN-DO07fic-AN-DO07OUT



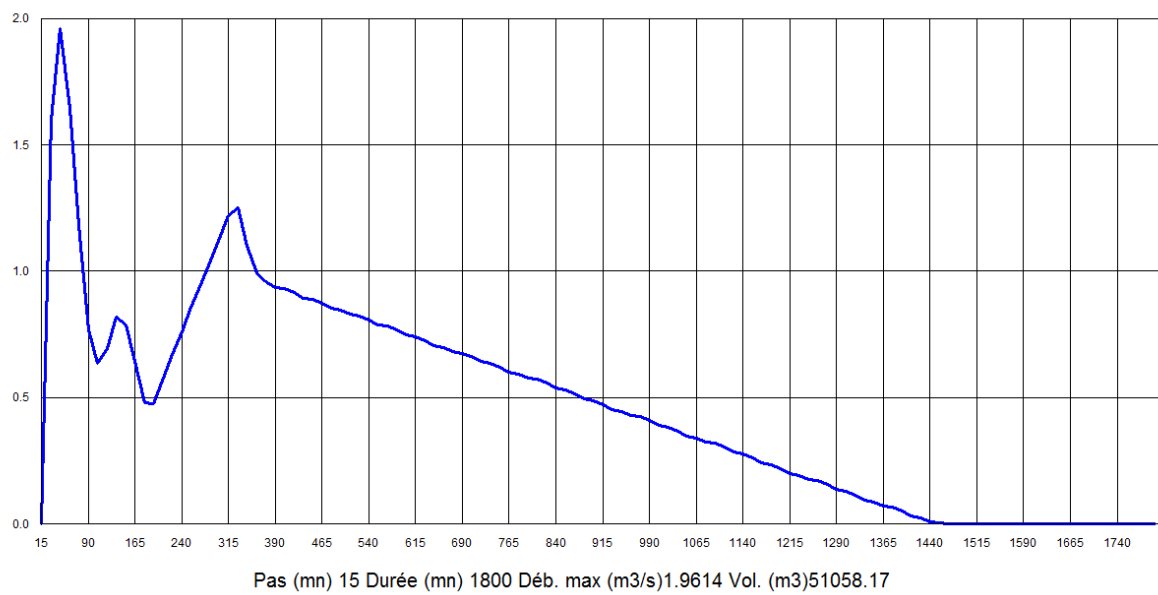
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.5961 Vol. (m3)29154.96

➤ Pluie de 11/11/2001 (Radar)

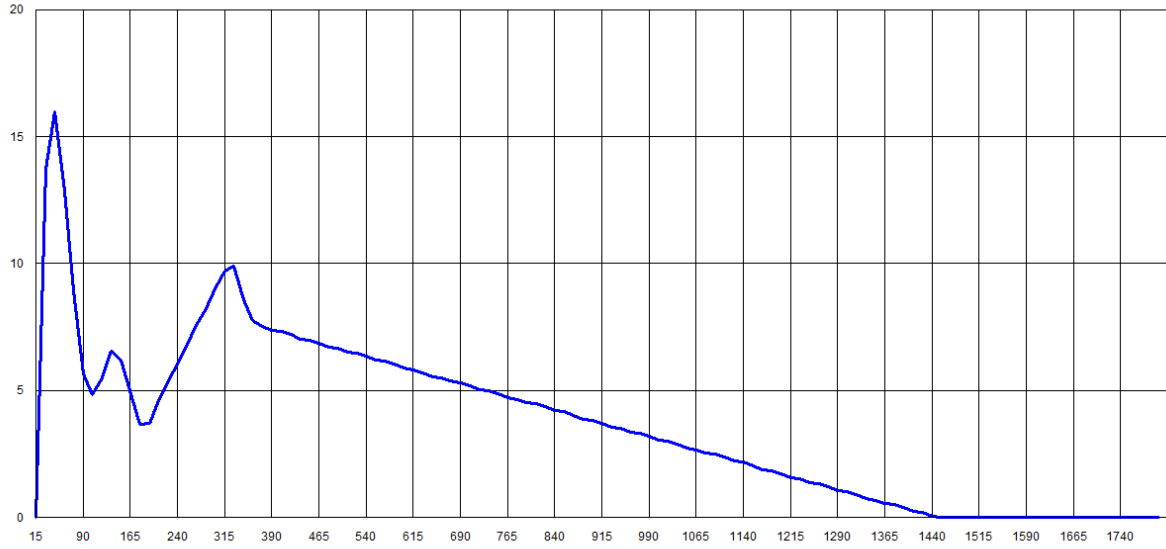
hydrogramme A-R07-EX07



hydrogramme A-DO11-AQ11OUT

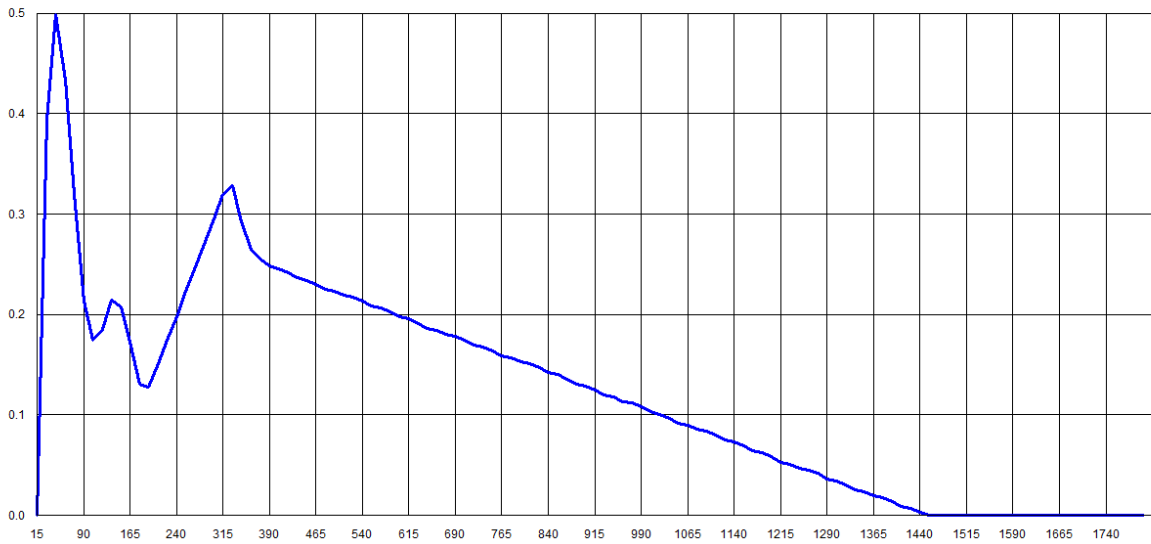


hydrogramme A-DO16-A-DO16-OUT



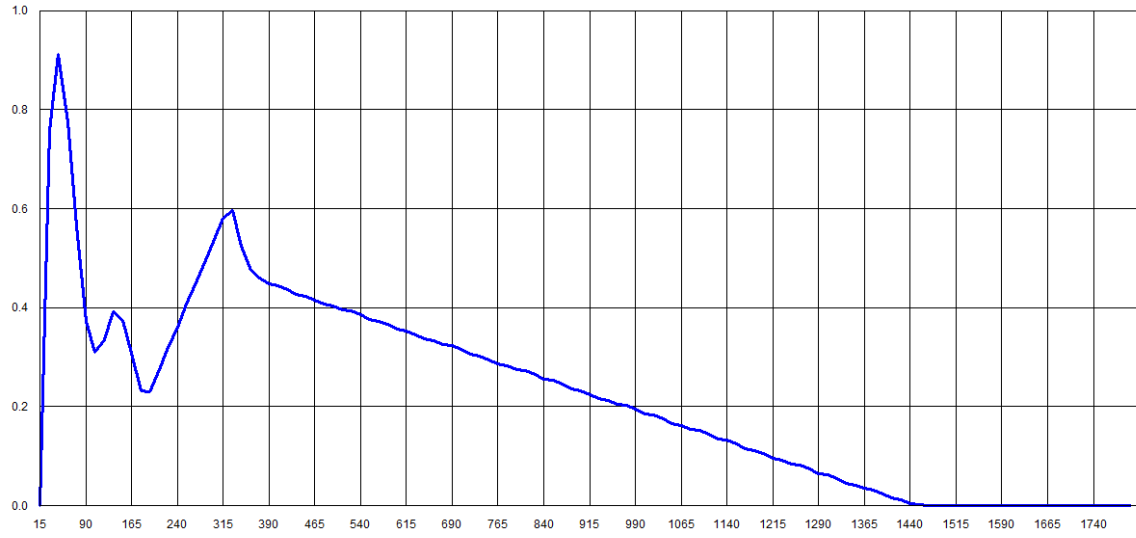
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m³/s)15.9636 Vol. (m³)402350.76

hydrogramme A-DO18-A-DO18-OUT



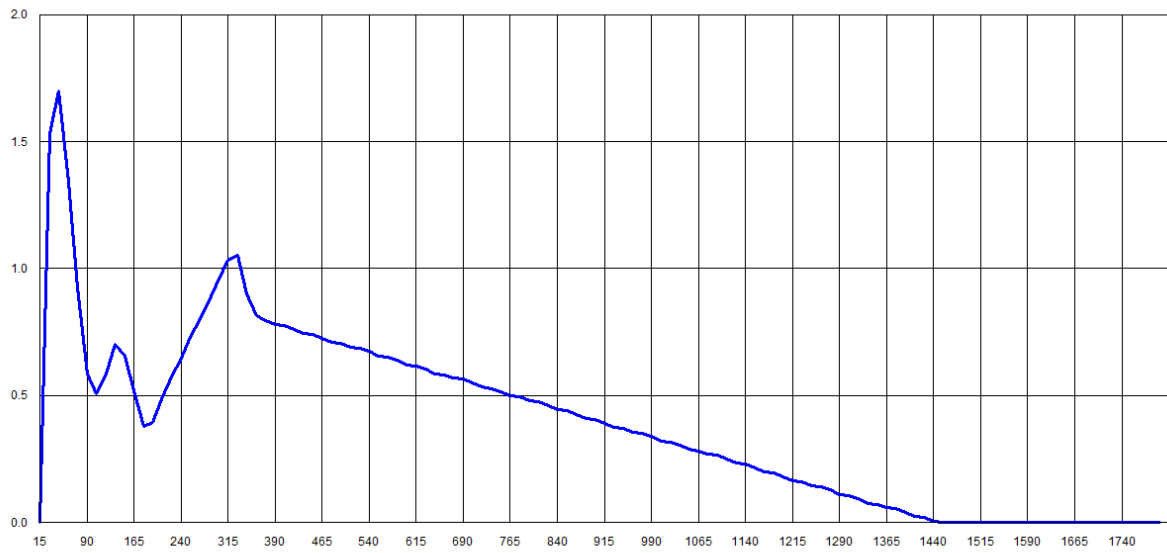
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m³/s)0.4988 Vol. (m³)13464.18

hydrogramme A-DO21-A-DO21-OUT



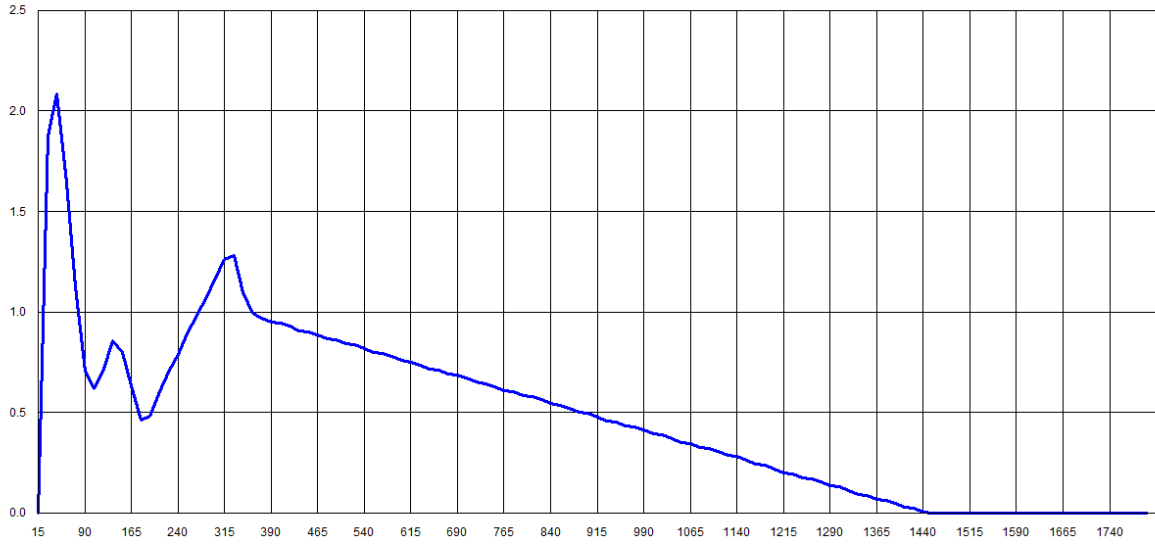
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.9122 Vol. (m3)24343.92

hydrogramme A-DO23-fic-A-DO23-OUT



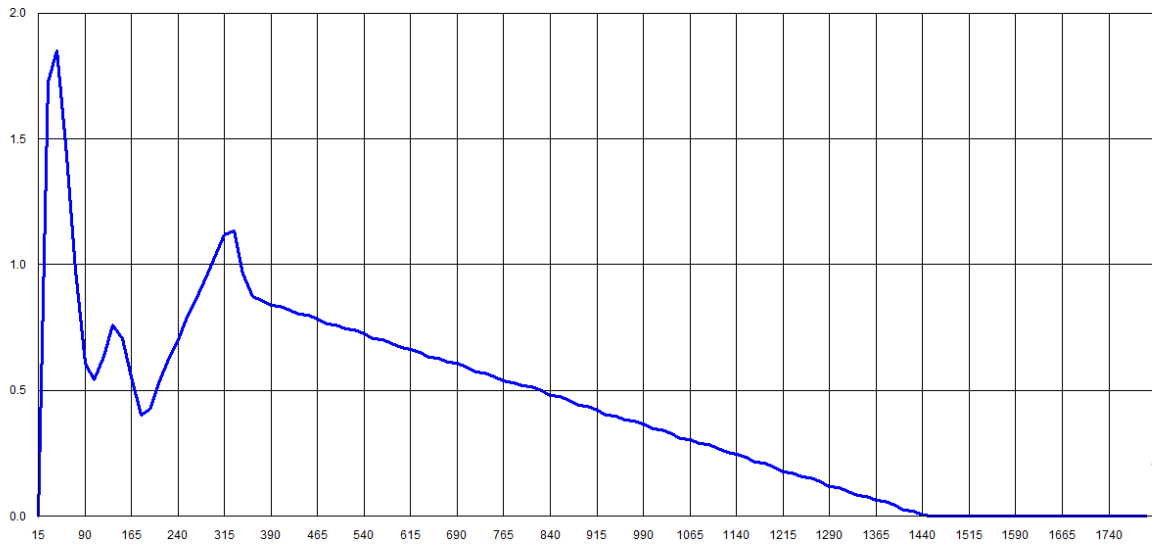
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)1.7007 Vol. (m3)42605.37

hydrogramme AN-R02-an-ex



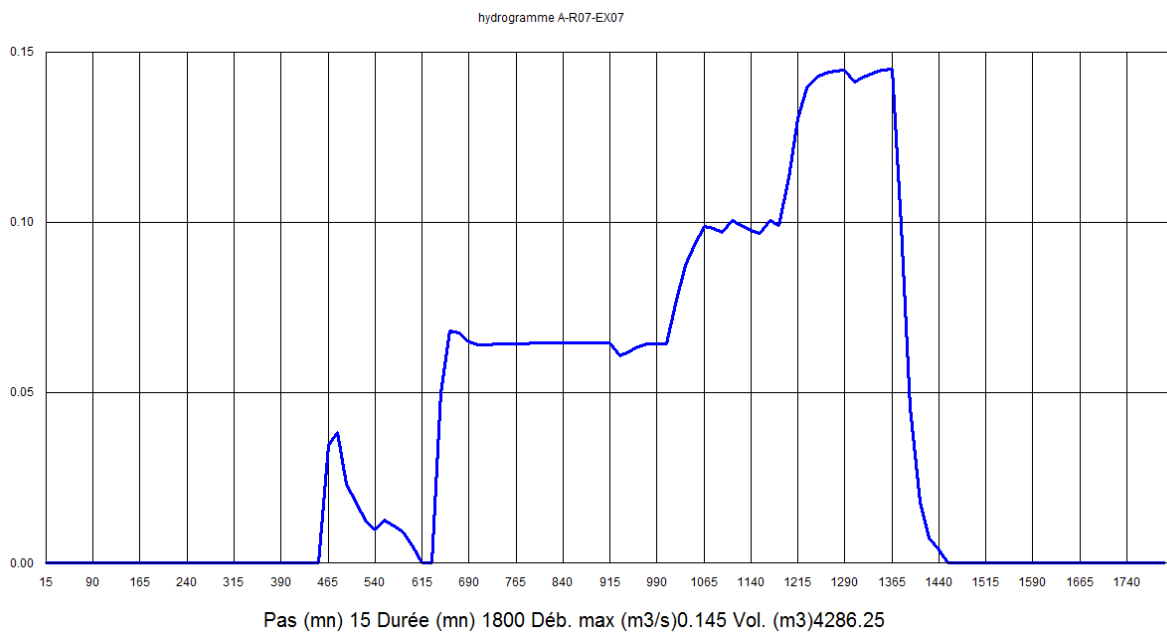
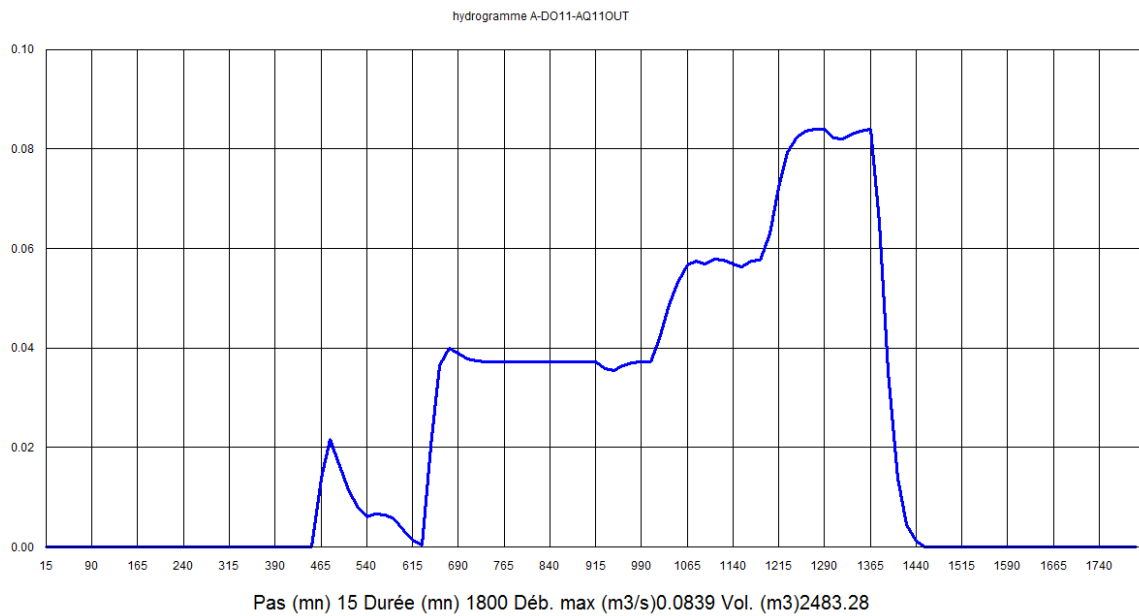
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)2.0865 Vol. (m3)51996.33

hydrogramme AN-DO07fic-AN-DO07OUT

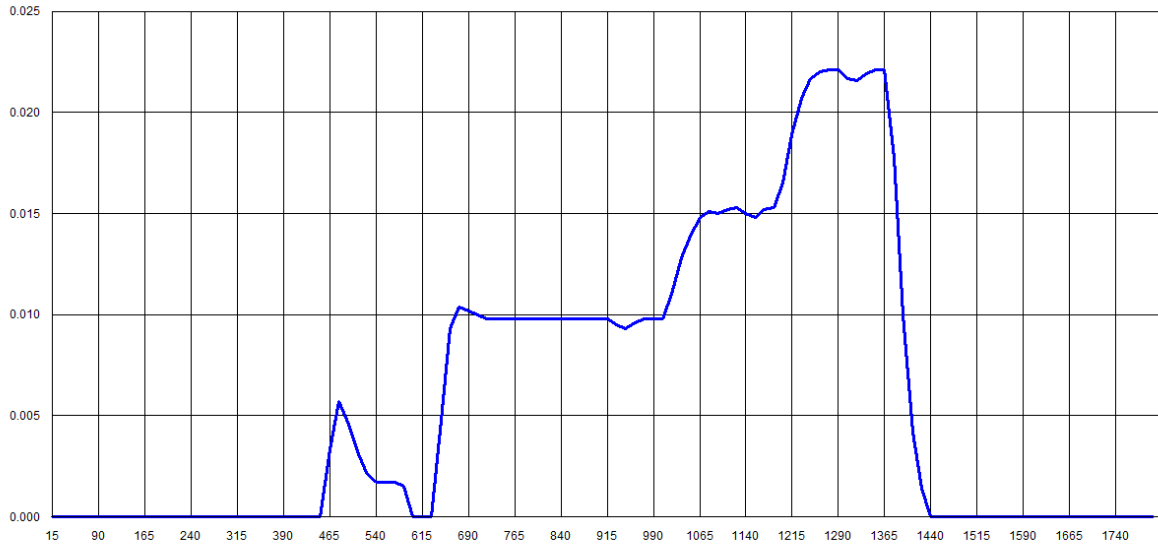


Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)1.8508 Vol. (m3)45975.96

➤ Pluie de 131/12/2005 (Pluviomètre)

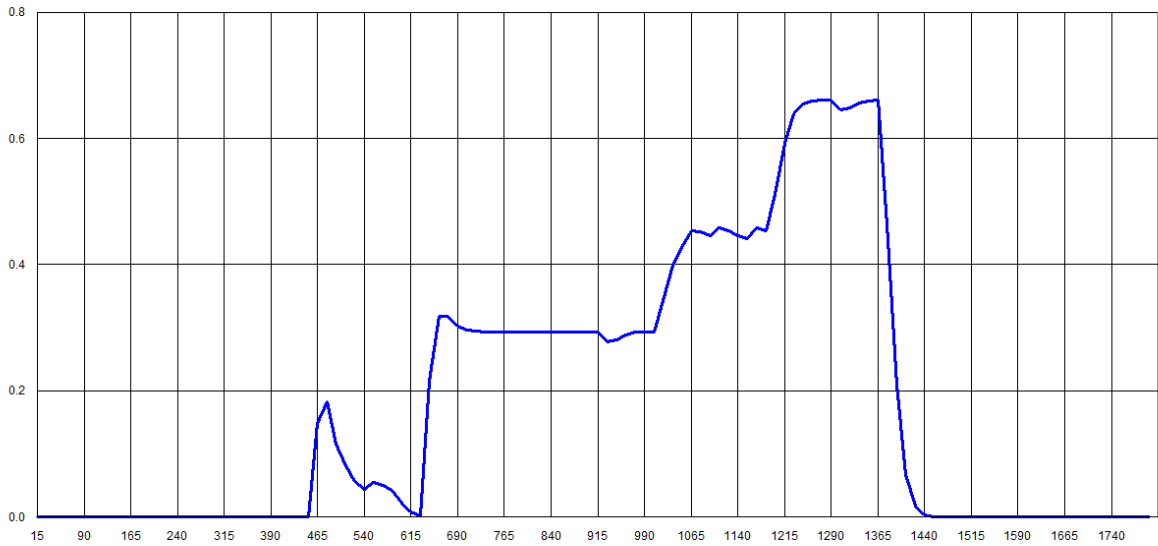


hydrogramme A-DO18-A-DO18-OUT

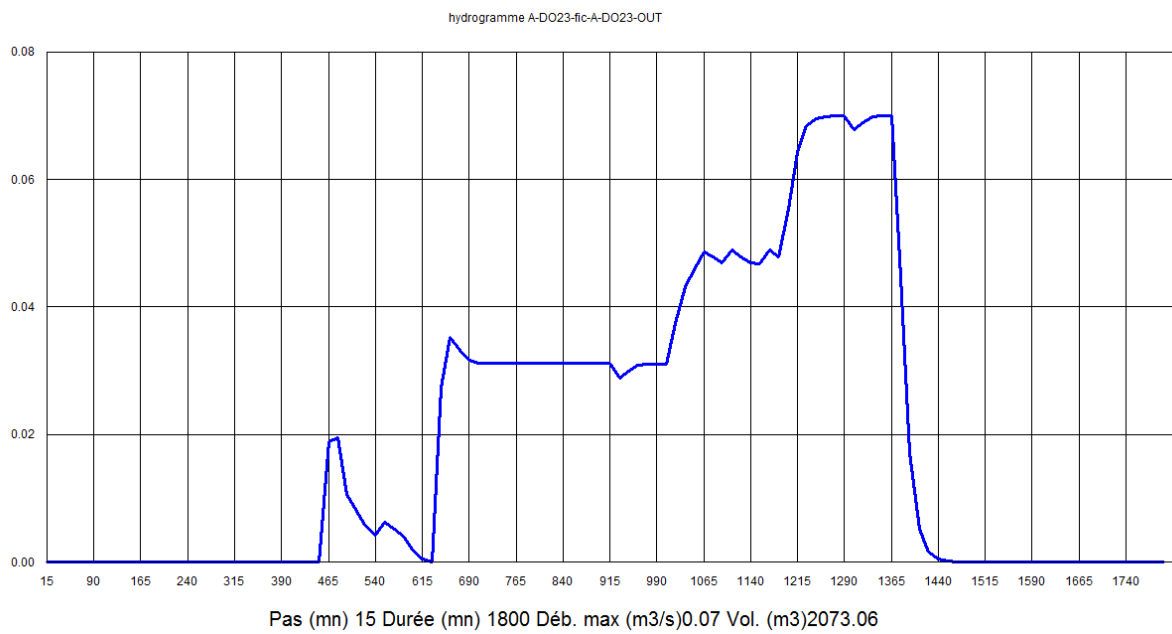
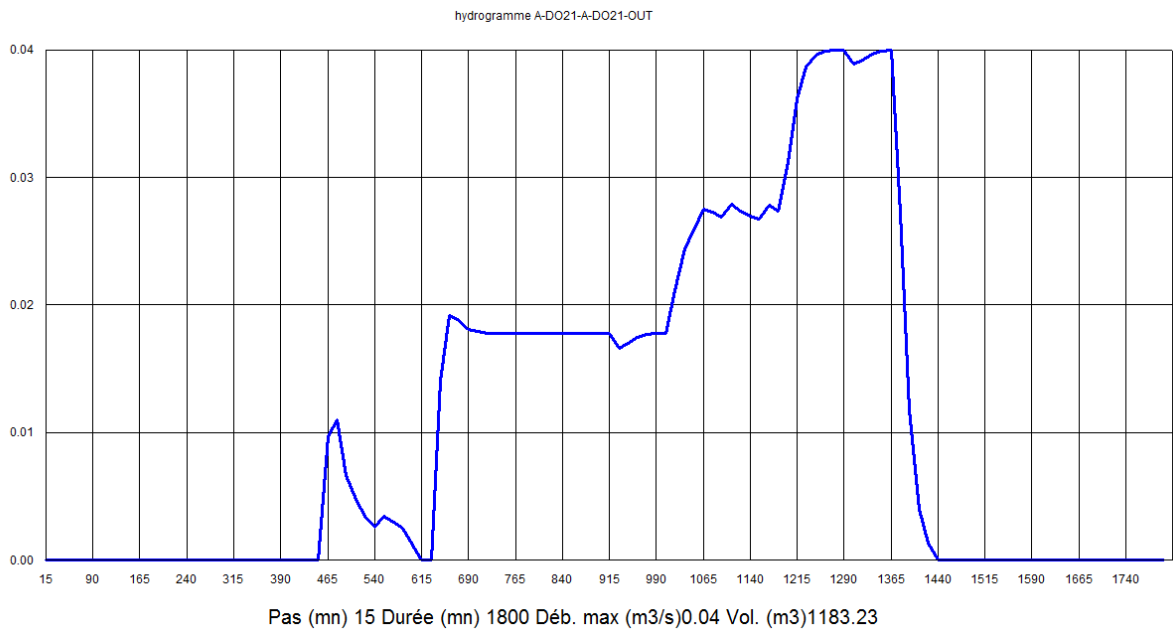


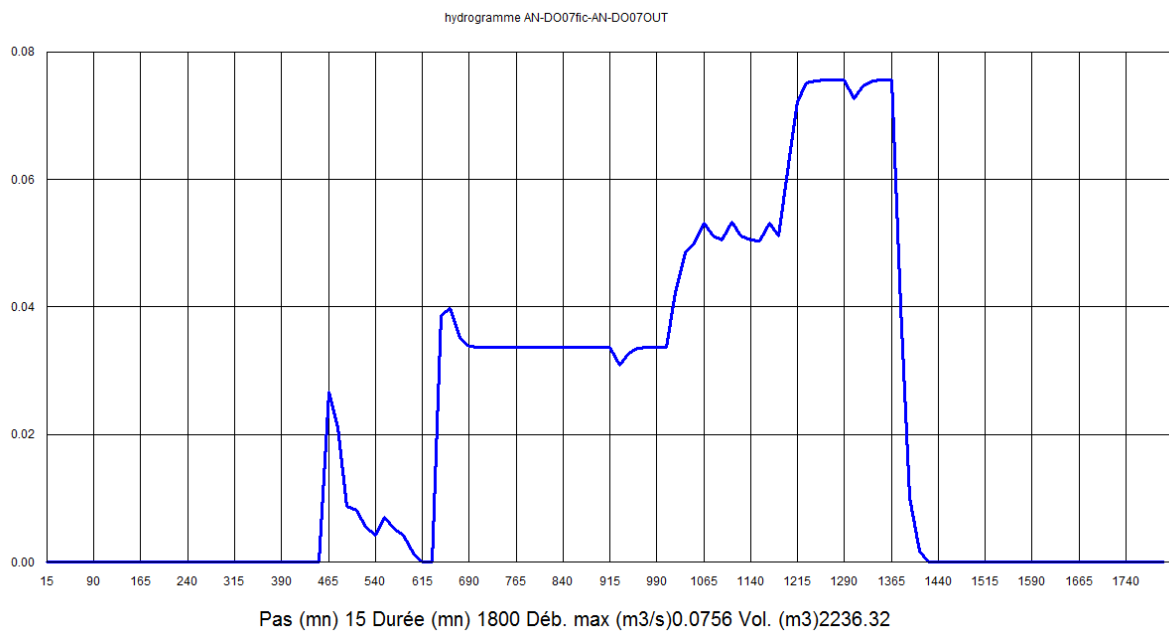
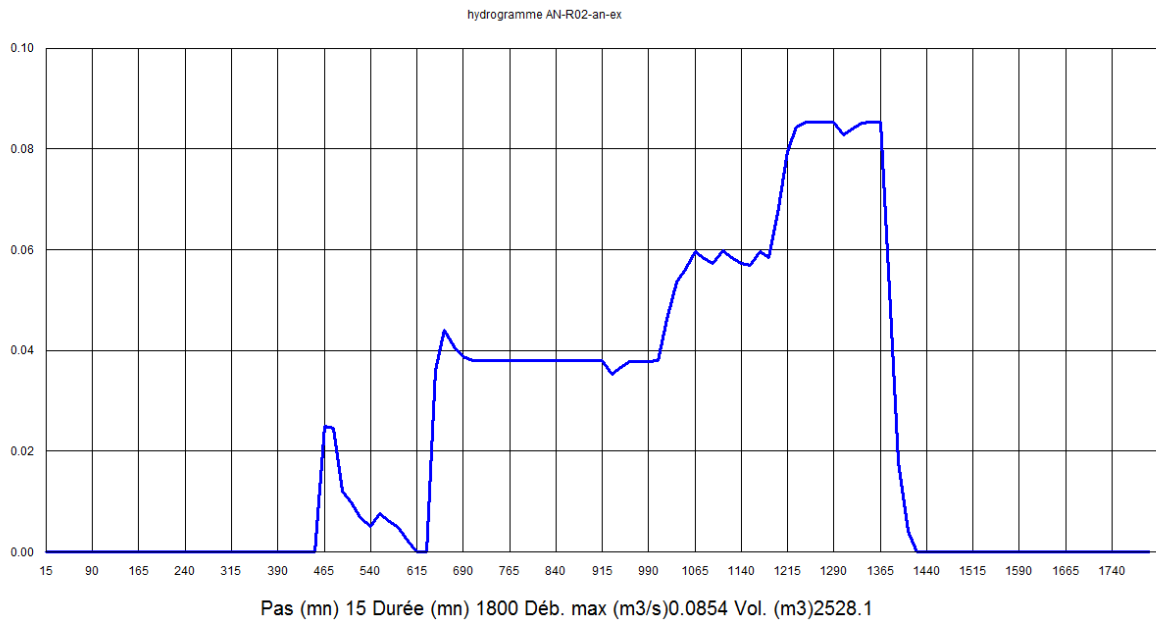
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.0221 Vol. (m3)652.95

hydrogramme A-DO16-A-DO16-OUT

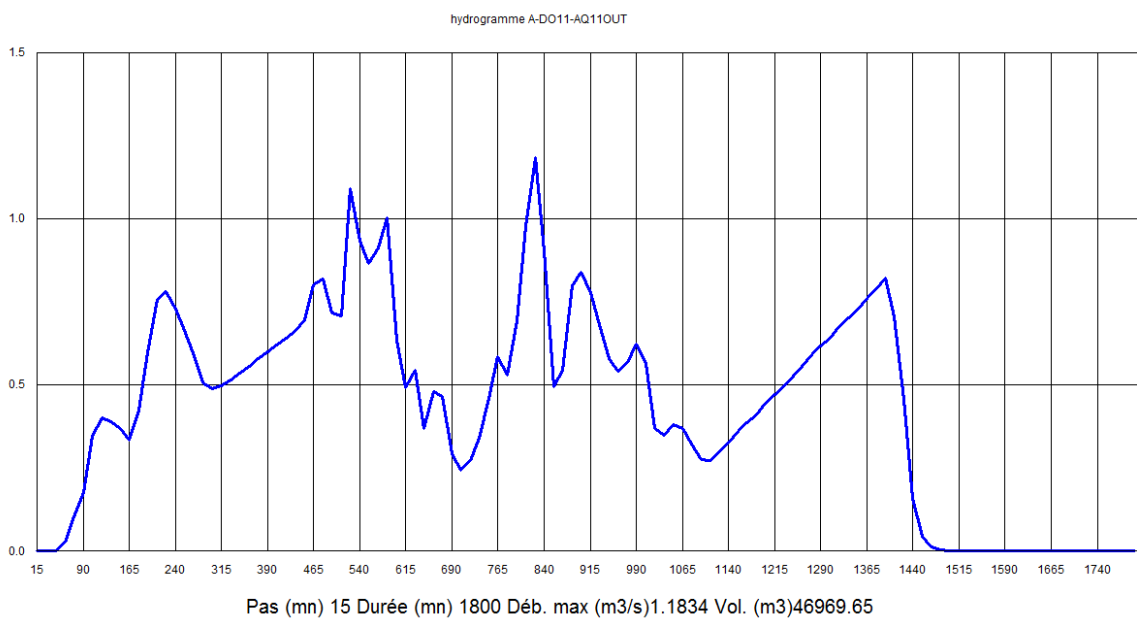
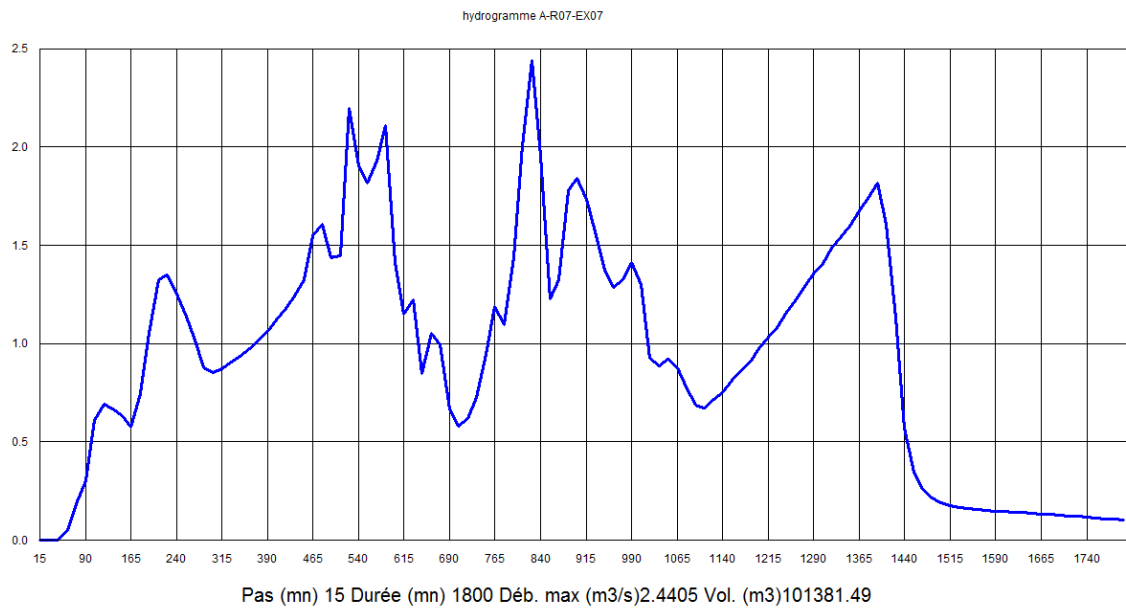


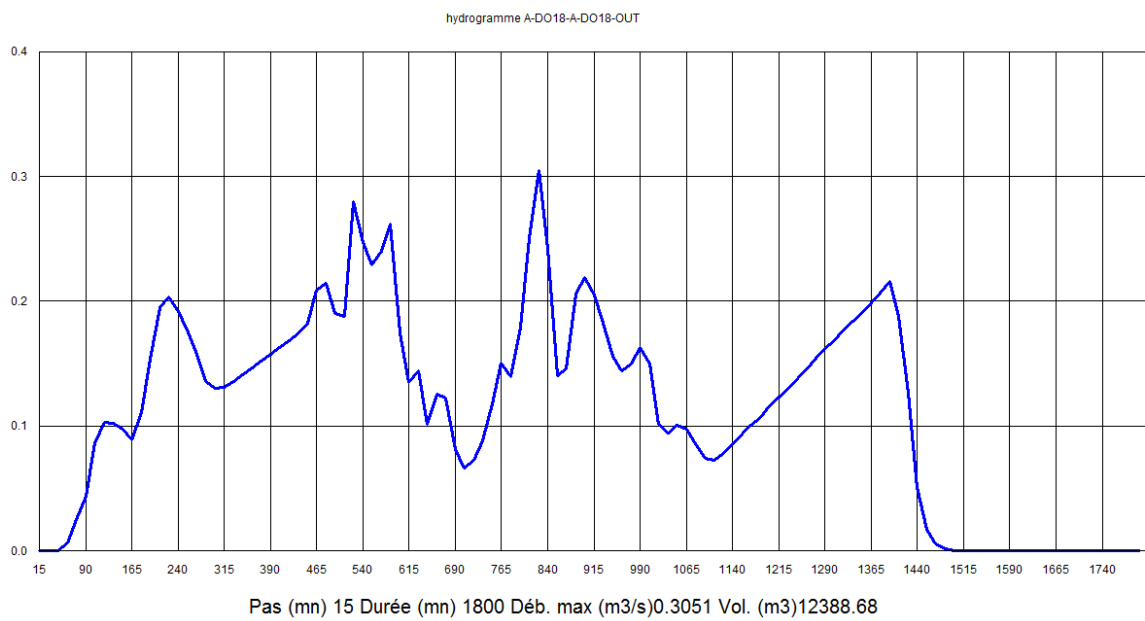
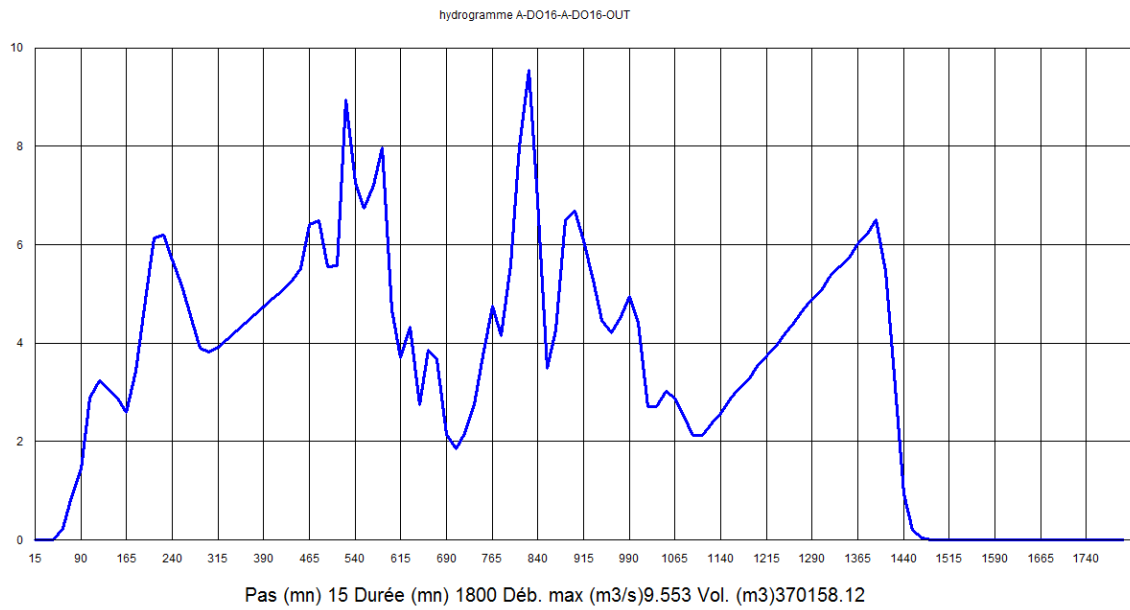
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.6612 Vol. (m3)19569.06



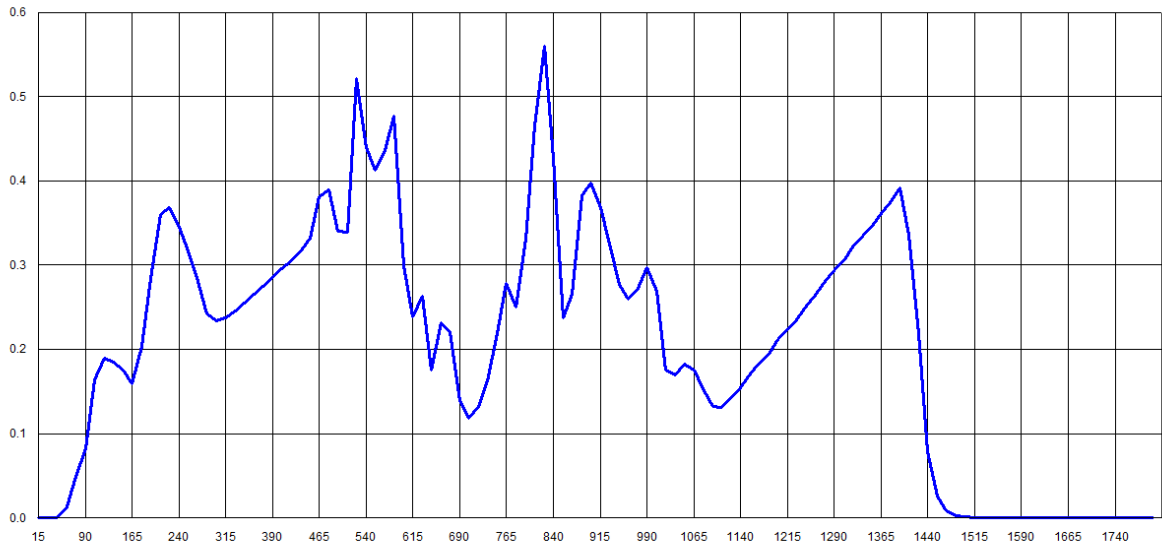


➤ Pluie de 131/12/2005 (Radar)



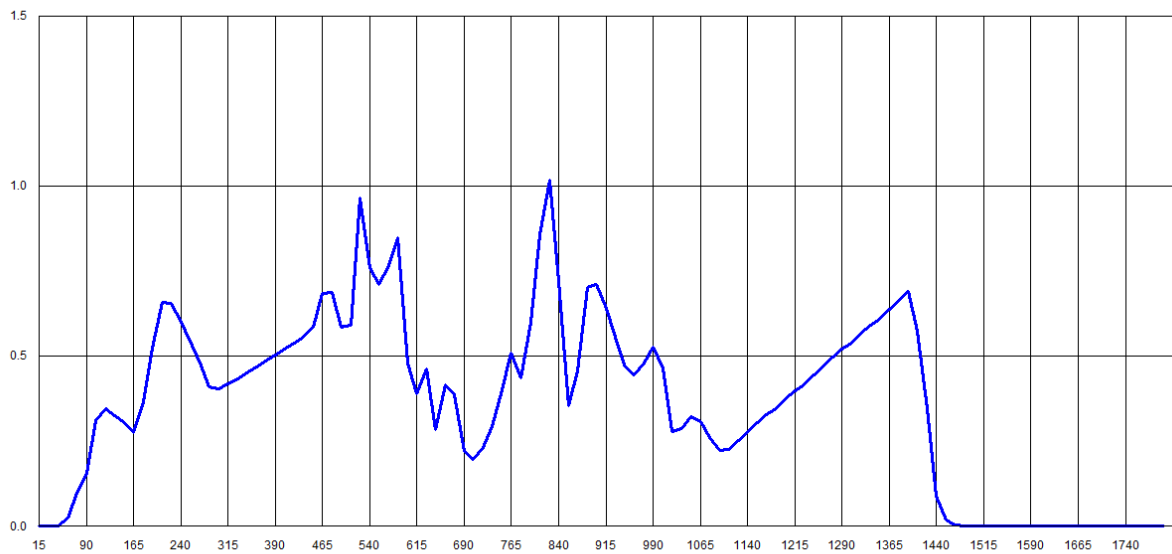


hydrogramme A-DO21-A-DO21-OUT



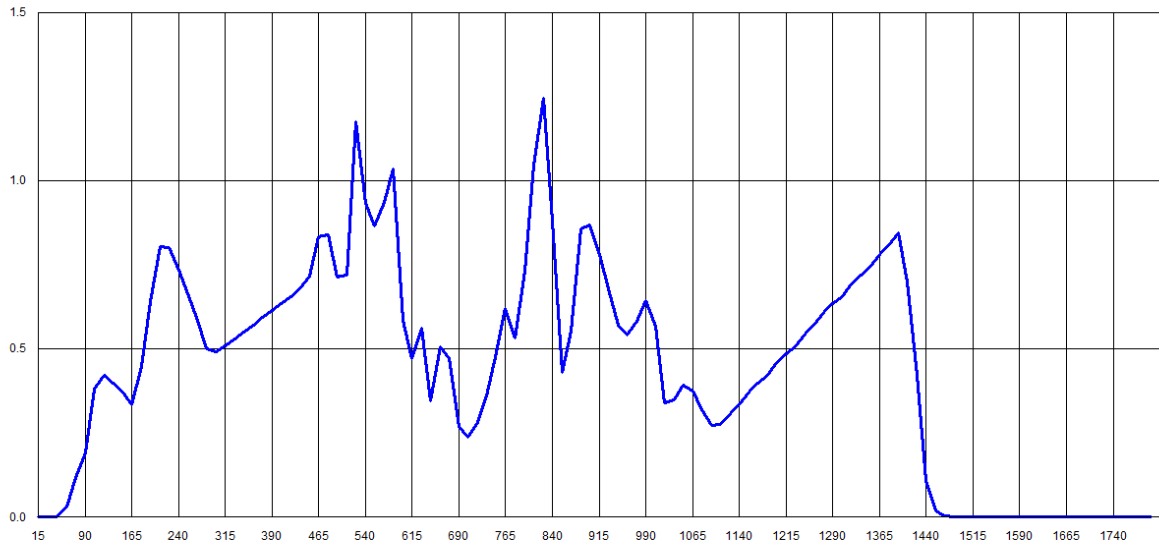
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)0.5603 Vol. (m3)22398.21

hydrogramme A-DO23-A-DO23-fic



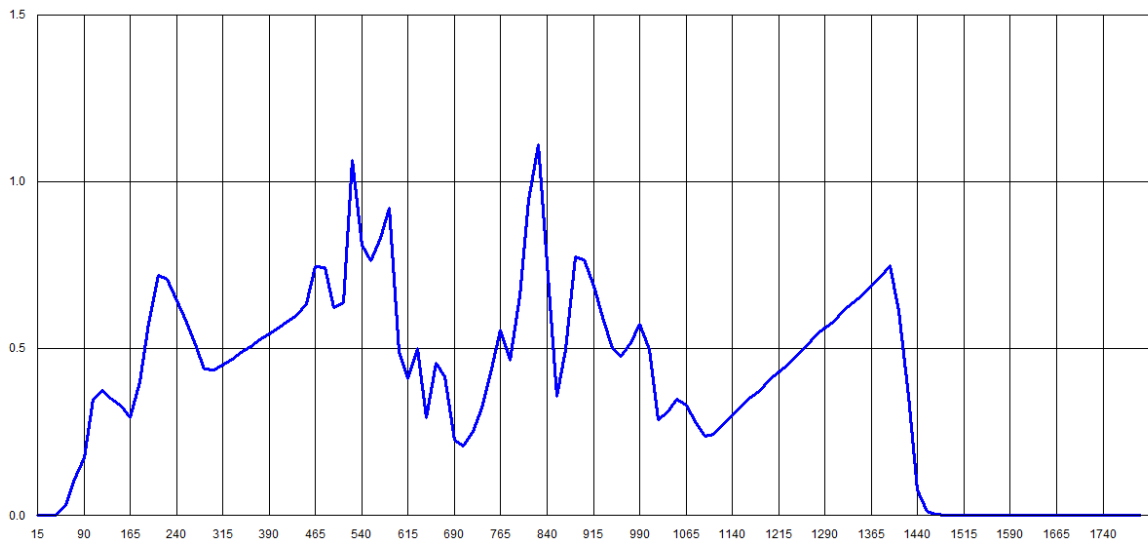
Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)1.0188 Vol. (m3)39205.71

hydrogramme AN-R02-an-ex



Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)1.2453 Vol. (m3)47831.85

hydrogramme AN-DO07fic-AN-DO07OUT



Pas (mn) 15 Durée (mn) 1800 Déb. max (m3/s)1.112 Vol. (m3)42294.06