

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

THÈSE

Présentée par

Tamrabet Zeyneb

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR EN SCIENCES

Filière : Hydraulique

Option : Hydraulique générale

Thème

**Transport solide et régionalisation des concentrations extrêmes en
particules fines dans les oueds
-Etude de quelques exemples de l'Est Algériens-**

Soutenue le : 20/03/2023

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mr BERREKSI Ali	Professeur	Univ. de Bejaia	Président
Mr REMINI Boualem	Professeur	Univ. de Blida 1	Rapporteur
Mr MAROUF Nadir	Professeur	Univ. d'Oum El Bouaghi	Co-Rapporteur
Mr IKNI Tahar	MCA	Univ. de Bejaia	Examineur
Mr HAMCHAOUI Samir	MCA	Univ. de Bejaia	Examineur
Mr ZEROUAL Ayoub	MCA	ENSH de Blida	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

Au nom du dieu le miséricordieux dont nous prions nuits et jour de nous avoir données la volonté de créer ce travail de thèse intitulé: " Transport solide et régionalisation des concentrations extrêmes en particules fines dans les oueds –Etudes de quelques exemples de l’Est Algériens- " Au terme de ce travail, qu’il me soit permis de remercier chaleureusement tous ceux qui m’ont aidé à élaborer ce travail, de leur savoir, de leurs encouragements et de leurs critiques bienveillantes, je tiens à exprimer ici ma très vive et très cordiale gratitude.

Mes remerciements particuliers vont : A mon encadreur Mr Remini Boualem, Professeur à l’université de Blida, pour avoir accepté de m’encadrer et pour toutes ses orientations précieuses et son encouragement contenu durant toute la période de la préparation de cette thèse, ses directives pertinentes m’ont été un grand apport pour mieux élaborer ce travail. A mon co-encadreur Mr Marouf. Nadir, Professeur à l’université d’Oum-El-Bouaghi pour tous ses efforts et ses directives précieuses qu’il m’a pensé pour l’enrichissement de ce travail. Son assiduité et son suivi permanent en graduation et en post graduation m’ont été un apport sans égal ainsi la rigueur scientifique dont il a fait preuve tout le long de mes années d’études universitaires. Je lui remercie pour toute la patience et la disponibilité dont elle a fait preuve à mon égard. Ses conseils et remarques constructives m'ont permis vraiment d'améliorer grandement la qualité de mes travaux.

Mes remerciements vont également aux membres du jury qui, en dépit de leurs responsabilités, ont bien voulu donner de leur temps et m’honorer de leur participation afin de parfaire ce travail de recherche en particulier :

Mr. Berreksi Ali Professeur à l’université de Bejaia, qui m’a fait l’honneur de présider le jury. Je lui en suis très reconnaissante.

Mr. Ikni Tahar et Mr. Hamchaoui Samir, maîtres de conférences à l’université de Bejaia, et Mr Zeroual Ayoub, maitre de conférences à l’université de Blida pour bien également accepter de juger le contenu de ce travail et participer au jury

Mes vifs remerciements vont ainsi à :

Mon collègue, le docteur Zeghmar Amer pour l’élaboration des cartes du document, le personnel de l’ANRH d’Alger, l’ABH de Constantine et plus particulièrement Madame Yousfi et Monsieur Bouchebia Zakaria.

Table des matières
Chapitre I : Bibliographie

Introduction	5
I.1. Les matières en suspension.....	6
I.1.1. Sources des sédiments en suspension	6
I.1.2. Rôle des crues dans l'exportation des sédiments en suspension extrêmes.....	7
I.1.3. Méthodes et réseaux de mesure des matières en suspension.....	7
I.1.4. Impacts environnementaux liés aux fortes concentrations des matières en suspension.....	8
I.2. Modélisation et régionalisation du transport sédimentaire.....	8
I.2.1. Les sites peu jaugés et les sites non jaugés.....	8
I.2.2. La régionalisation et le choix des bassins donneurs.....	8
I.2.3. Les régions homogènes et l'intérêt d'un découpage en régions homogène.....	9
I.2.3.1 Approche basée sur des régions fixes.....	10
I.4. Outils pratiques d'analyse hydrologique et méthode d'estimation régionale.....	10
I.4.1. Méthodologies de régionalisation basées sur la saisonnalité des extrêmes hydrologiques.....	11
I.4.2. Méthodologies combinant la délimitation et l'estimation régionale.....	11
I.5. Les réseaux de neurones artificiels RNA.....	12
I.5.1. Définition	13
I.5.2. Le neurone biologique.....	13
I.5.3. Le neurone artificiel.....	14
I.5.4. Les neurones formels.....	15
I.5.5. Quelques architectures de réseaux de neurone.....	15
I.5.6. Perceptron multicouches (PMC).....	16
I.5.6.1. Les fonctions de transfert.....	17
I.5.6.2. L'Apprentissage.....	19
I.6. La Neuro floue.....	20
I.6.1. Quelques types des systèmes Neuro Flous.....	20
I.6.2.1. Les ensembles flous	21
I.6.2.2. Structure de base d'un système basée sur la logique floue.....	22
I.6.3. Les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence (adaptive neuro-fuzzy inference system, ou ANFIS).....	23
I.6.4. Modèle Flou	23
I.6.4.1. Les types des Modèles flous	23
I.6.5. Les fonctions d'appartenance.....	24
I.6.6. Construction d'un modèle TS à partir de données.....	25
Conclusion.....	26

Chapitre II : Zone d'étude

Introduction.....	27
II.1. Délimitation de la zone d'étude.....	28
II.1.1. Les Côtiers Constantinois (03).....	29
II.1.2. Les Hauts plateaux Constantinois (07).....	30
II.1.3. Le bassin Kébir Rhumel (10).....	30
II.1.4. Le Seybouse (14).....	31
II.1.5. Le Soummam (15).....	32
II.2. Pluviométrie dans la zone d'étude.....	32
II.3. Climat dans la zone d'étude.....	34
II.4. Aperçu sur la géologie.....	36
II.5. Lithologie et Topographie.....	37
II.6. Occupation des sols et types de couvertures végétales.....	38
II.7. L'érosion dans la zone d'étude.....	39
II.7.1. L'érosion dans les Côtiers Constantinois.....	39
II.7.2. L'érosion dans le Kébir Rhumel.....	40
II.7.3. L'érosion dans la Seybouse.....	40
II.7.4. L'érosion dans les Hauts plateaux Constantinois.....	40
II.6.5. L'érosion dans le bassin Soummam.....	40
Conclusion.....	41

Chapitre III : Collecte et mise en forme des données

Introduction.....	43
III.1. Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité.....	44
III.1.1. Bassin des Côtiers Constantinois.....	44
III.1.2. Bassin des Hauts plateaux Constantinois (07).....	46
III.1.3. Bassin Kébir Rhumel (10).....	47
III.1.4. Bassin Seybouse (14).....	48
III.1.5. Bassin Soummam (15).....	49
III.2. Analyse en composantes principales ACP des précipitations annuelles.....	50
III.3. Ajustement des pluies moyennes annuelles à une loi de probabilité.....	56
III.4. Ajustement des pluies journalières maximales à une loi de probabilité.....	58
III.4.1. Bassin des Côtiers Constantinois.....	58
III.4.2. Bassin des Hauts Plateaux.....	60
III.4.3. Bassin Kébir Rhumel.....	61
III.4.4. Bassin Seybouse.....	62
III.4.5. Bassin Soummam.....	63
III.5. Analyse des débits liquides et des concentrations des sédiments en suspension pour 14 stations hydrométriques étudiées.....	65
III.5.1. Traitement des données des concentrations des sédiments en suspension.....	66
III.5.1.1. Vérification de la normalité des séries de concentration des sédiments en suspension.....	66
III.5.1.2. Vérification de l'homogénéité des débits liquides et des Concentration des sédiments en suspension par le Test de Wilcoxon.....	71
III.5.1.3. Vérification de l'homogénéité des débits liquides.....	72
III.5.1.4. Vérification de l'homogénéité des concentrations des sédiments en suspension.....	74
III.6. Boîte à moustache pour les débits liquides Q1 et les Concentrations des sédiments en suspension CSS.....	76
III.6.1. Boîte à moustache pour les débits liquides Q1.....	78

III.6.2. Boite à moustaches des concentrations des sédiments en suspension CSS.....	80
Conclusion.....	83
Chapitre IV : Pluviométrie et écoulement	
Introduction.....	85
IV.1. Variations Temporelle des précipitations annuelles	86
IV.1.1. Bassin des Côtiers Constantinois	86
IV.1.2. Bassin Hauts plateaux constantinois.....	87
IV.1.3. Bassin Kébir Rhumel.....	88
IV.1.4. Bassin Seybouse.....	89
IV.1.5. Bassin Soummam.....	90
IV.2. Variations des précipitations maximales journalières.....	90
IV.2.1. Précipitations max journalières bassin Côtiers Constantinois.....	91
IV.2.2. Précipitations max journalières bassin des Hauts Plateaux.....	91
IV.2.3. Précipitations max journalières bassin Kébir Rhumel.....	92
IV.2.4. Précipitations max journalières bassin Seybouse.....	93
IV.2.5. Précipitations max journalières bassin Soummam.....	93
IV.3. Étude des écoulements dans les cinq bassins versants.....	94
IV.3.1. Crues et concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes.....	94
IV.3.1.1. Crues du bassin des Côtiers Constantinois	95
IV.3.1.2. Crues du Bassin des Hauts Plateaux.....	98
IV.3.1.3. Crues du bassin Kébir Rhumel.....	99
IV.3.2.4. Crues du bassin Seybouse.....	103
IV.3.2.5. Crues du bassin Soummam.....	104
IV.4. Influences des paramètres : apport liquides, variations du débit annuel moyen spécifique M_0 , lame écoulée L_r , L'irrégularité inter annuelle K_i , et le coefficient d'écoulement R_i , sur les débits d'écoulement dans la zone d'étude.....	106
IV.4.1. Influences des paramètres : Apport liquide, M_0 , L_r , K_i , et R_i sur les débits d'écoulement - bassin Côtiers Constantinois-	106
IV.4.2. Influences des paramètres : Apport liquide, M_0 , L_r , K_i , et R_i sur les débits d'écoulement - bassin des Hauts plateaux Constantinois-	110
IV.4.3. Influences des paramètres : Apport liquide, M_0 , L_r , K_i , et R_i sur les débits d'écoulement - Bassin Kébir Rhumel-.....	114
IV.4.4. Influences des paramètres : Apport liquide, M_0 , L_r , K_i , et R_i sur les débits d'écoulement - Bassin Seybousse -	121
IV.4.5. Influences des paramètres : Apport liquide, M_0 , L_r , K_i , et R_i sur les débits d'écoulement - Bassin Soummam-.....	125
IV.5. Variation précipitations-écoulement dans les cinq bassins versants.....	127
Conclusion.....	131

Chapitre V : Modélisation et Régionalisation

Introduction.....	133
V.1. Méthode de mesure.....	134
V.2. Modélisation par régression.....	135
V.2. 1. Modélisation par régression pour le 1 ^{er} vecteur QI–Qs.....	136
V.2. 1.1. Modélisation QI-Qs Bassin Côtiers Constantinois.....	136
V.2.1.2. Modélisation QI-Qs Bassin Hauts Plateaux Constantinois.....	138
V.2.1.3. Modélisation QI-Qs Bassin Kébir Rhumel.....	139
V.2.1.4. Modélisation QI-Qs Bassin Seybouse.....	141
V.2.1.5. Modélisation QI-Qs Bassin Soummam.....	142
V.2. 2. Modélisation par régression pour le 2 ^{ème} vecteur QI-CSS.....	145
V.2. 2.1. Modélisation QI-CSS Bassin Côtiers Constantinois.....	145
V.2. 2.2. Modélisation CSS-QI Bassin des Hauts Plateaux Constantinois.....	147
V.2. 2.3. Modélisation QI-CSS Bassin Kébir Rhumel.....	148
V.2. 2.4. Modélisation QI-CSS Bassin Seybouse.....	151
V.2. 2.5. Modélisation QI-CSS Bassin Soummam.....	151
V. 3. Normalisation des données.....	154
V.4. Modélisation par Réseaux neurone artificiel RNA.....	155
V. 4. 1. Structure des RNA.....	155
V.4.2. Recherche des modèles RNA.....	157
V.5. Modélisation par système adaptatif neuro-flou d’inférence ANFIS.....	158
V.6. Résultats et discussion.....	161
V.6.1. Choix des critères de validation.....	161
V.6.2. Résultats de modélisation : Premier vecteur à une entrée QI et une sortie Qs.....	161
V.6.2.1. Premier vecteur : bassin Côtiers Constantinois.....	162
V.6.2.2. Premier vecteur : bassin des Hauts Plateaux.....	163
V.6.2.3. Premier vecteur : bassin Kébir Rhumel.....	165
V.6.2.4. Premier vecteur : bassin Seybouse.....	166
V.6.2.5. Premier vecteur : bassin Soummam.....	167
V.6.3 . Résultats de modélisation : Deuxième vecteur à deux entrées QI et Qs et une sortie CSS extrêmes.....	170
V.6.3.1. Deuxième vecteur : bassin des Côtiers Constantinois.....	170
V.6.3.2. Deuxième vecteur : bassin des Hauts plateaux.....	172
V.6.3.3. Deuxième vecteur : bassin Kebir-Rhumel.....	173
V.6.3.4. Deuxième vecteur : bassin Seybouse.....	175
V.6.3.5. Deuxième vecteur : bassin Soummam.....	176
Conclusion.....	179

Liste des Tableaux

Chapitre I : Bibliographie

Tableau (I.1) : Fonctions de Transfert $a = f(n)$ (Parizeau .2004).	18
Chapitre III : Collecte et mise en forme des données	
Tableau (III.1) : Code des stations pluviométriques dans la zone d'étude (A.N.R.H d'Alger).	45
Tableau (III.2) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=42), stations : Jijel secteur, Djamel Ramdane Berais, et Amouchas –Les Côtiers Constantinois-	46
Tableau (III.3) : Précipitations annuelles (mm) aux stations pluviométriques (n=39) : Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada - Hauts plateaux constantinois-.	47-48
Tableau (III.4) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=40), stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel-	48-49
Tableau (III.5) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=35), Stations : Guelma, Bouchegouf, Pont Bouchet-Bassin Seybouse-.	49-50
Tableau (III.6) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=26), stations : Ighil Ali, Bouchegouf, et Ouled Mossli -Bassin Soummam-.	50-51
Tableau (III.7) : Paramètres ACP pour Bassin des Côtiers Constantinois.	51
Tableau (III.8) : Paramètres ACP pour Bassin des Hauts plateaux Constantinois.	52
Tableau (III.9) : Paramètres d'ACP pour le Bassin Kébir Rhumel.	53
Tableau (III.10) : Paramètres ACP pour Bassin Seybouse.	54
Tableau (III.11) : Paramètres ACP pour Bassin Soummam.	55
Tableau (III. 12) : Test de Kolmogorov-Smirnov pour les huit stations pluviométriques représentatives.	59
Tableau (III.13) : Précipitations journalières maximales (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=43) stations : Jijel secteur, Djamel Ramdane Berais, et Amouchas -Les Côtiers Constantinois-	60
Tableau (III.14) : Précipitations journalières maximales (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=39): Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada -les Hauts plateaux constantinois-	61-62
Tableau (III.15) : Précipitations maximales journalières (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=39) Stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel-.	62-63
Tableau (III.16) : Précipitations maximales journalières (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=35) Stations : Guelma, Bouchegouf, Pont Bouchet-Bassin Seybouse-.	63-64
Tableau (III.17) : Précipitations maximales journalières (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=26) stations : Ighil Ali, Bou Birek , et Ouled Mossli -Bassin Soummam-.	64-65
Tableau (III. 18) : Test de Kolmogorov-Smirnov pour les huit stations pluviométriques représentatives- Pluies journalières maximales-.	66
Tableau (III.19) : Réseau des stations hydrométriques fournissant les débits liquides dans la zone d'étude. (ANRH d'Alger).	67

Tableau (III.20) : Stations hydrométriques fournissant les concentrations des sédiments en suspension. (ANRH Alger).	67
Tableau (III.21) : Synthèse des quatre tests étudiés : Shapiro wilk, Anderson Darling, Lilieforts, et Jarque-Bera.	72
Tableau (III.22) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels –Bassin Côtiers Constantinois.	74
Tableau (III.23) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels –Bassin Hauts plateaux Constantinois.	74
Tableau (III.24) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels -Bassin Kébir Rhumel-.	74
Tableau (III.25) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels -Bassin Seybousse.	75
Tableau (III.26) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels - Bassin Soummam.	75
Tableau (III.27) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Côtiers Constantinois.	76
Tableau (III.28) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles – Bassin des Hauts Plateaux Constantinois.	76
Tableau (III.29) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Kébir Rhumel.	77
Tableau (III.30) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Seybouse-	77
Tableau (III.31) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Seybouse-	77-78
Tableau (III.32) : Boite à moustaches -Statistiques descriptives- pour les 14 stations hydrométriques.	84-85
Chapitre IV : Pluviométrie et écoulement	
Tableau (IV.1) : Code des stations hydrométriques dans la zone d'étude (A.N.R.H d'Alger).	96
Tableau (IV.2) : Crues de Saison Froide (Novembre-Avril) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et SSC _{max} inst Bassin Côtiers Constantinois.	98-99
Tableau (IV.3) : Crues de Saison Chaude (Mai-octobre) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et SSC _{max} inst Bassin Côtiers Constantinois.	99
Tableau (IV.4) : Crues de Saison Chaude (Mai-octobre) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et SSC _{max} inst Bassin Hauts Plateaux.	101
Tableau (IV.5) : Crues de Saison Froide (Novembre-Avril) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et CSS max inst Bassin Kébir Rhumel.	103-104
Tableau (IV.6) : Crues de Saison Chaude (Mai-octobre) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et CSS max inst Bassin Kébir Rhumel.	104
Tableau (IV.7) : Débit d'étiages à la station de Tassadane.	104
Tableau (IV.8) : Crues de Saison Froide (Novembre-avril) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et SSC _{max} inst Bassin Seybousse.	105-106
Tableau (IV.9) : Crues de Saison Froide (Novembre-avril) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et CSS _{max} inst Bassin Soummam.	107
Tableau (IV.10) : Crues de Saison Chaude (Mai-Octobre) Q _{lmax} ins, Q _s max inst et CSS _{max} inst Bassin Soummam.	107
Tableau (IV.11) : Débit min, Débit moyen, Débit max, et Apport liquide au droit de la station El Mkaceb - Côtiers Constantinois- (A.N.R.H de Alger).	108-109
Tableau (IV.12) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Khmakhem - Côtiers Constantinois-(A.N.R.H d'Alger).	110-111
Tableau (IV.13) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Reboa - Hauts plateaux Constantinois- (A.N.R.H de Alger).	112-113

Tableau (IV.14) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Foum EL Gueiss - Hauts plateaux Constantinois- (A.N.R.H d'Alger).	113-114
Tableau (IV.15) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Chemora - Hauts plateaux Constantinois- (A.N.R.H de Alger).	115-116
Tableau (IV.16) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Bouchdira - Kébir Rhumel- (A.N.R.H de Alger).	117
Tableau (IV.17) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station El Kheneg - Kébir Rhumel- (A.N.R.H de Alger).	118
Tableau (IV.18) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Ain Smara - Kébir Rhumel- (A.N.R.H de Alger).	119
Tableau (IV.19) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station El Ancer - Kébir Rhumel- (A.N.R.H de Alger).	120-121
Tableau (IV.20) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Tassadane - Kébir Rhumel- (A.N.R.H d'Alger).	121-122
Tableau (IV.21) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Mdjez Ammar - Seybouse- (A.N.R.H de Alger).	123-124
Tableau (IV.22) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Borj Sabat - Seybouse- (A.N.R.H de Alger).	125
Tableau (IV.23) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Moulin Rechfort - Seybousse- (A.N.R.H de Alger).	126
Tableau (IV.24) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Farmatou - Seybouse- (A.N.R.H de Alger) (n=31).	127-128
Chapitre V : Modélisation et Régionalisation	
Tableau (V.1) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations –Totalité des données-QI-Qs.	144
Tableau (V.2) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations --Saison Humide- QI-Qs.	145
Tableau (V.3) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations --Saison sèche-QI-Qs.	145
Tableau (V.4) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations --Totalité des données :QI-CSS -.	154
Tableau (V.5) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations-Saison Humide-QI-CSS.	154
Tableau (V.6) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations -Saison sèche-QI-CSS.	155
Tableau (V.7) : Paramètres du modèles RNA choisis.	158
Tableau (V.8) : Les couches d'ANFIS (Genç O. 2014).	159
Tableau (V.9) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Côtiers Constantinois.	163
Tableau (V.10) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin des Hauts Plateaux.	165

Tableau (V.11) : comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Kébir Rhumel.	166
Tableau (V.12) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Seybouse.	168
Tableau (V.13) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Soummam.	169
Tableau (V.14) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin des Côtiers Constantinois (2ème vecteur).	171
Tableau (V.15) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin des Hauts Plateaux (2ème vecteur).	173
Tableau (V.16) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin Kebir-Rhumel. (2ème vecteur)	175
Tableau (V.17) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin Seybouse (2ème vecteur).	177
Tableau (V.18) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin Soummam (2 ème vecteur).	179

Liste des figures

Chapitre I : Bibliographie	
Figure (I.1) : Un neurone avec son arborisation dendritique (Touzet. 1992).	14
Figure (I.2) : Structure d'un neurone artificiel (Touzet. 1992).	14
Figure (I.3) : Du neurone biologique au neurone formel (Wira. 2009).	14
Figure (I.4) : Quelques architectures de réseaux de neurones (Wira. 2009)	15-16
Figure (I.5) : Schéma d'un PMC totalement connecté à trois entrées, quatre unités cachées (neurones), et trois sorties (statistica 10).	17
Figure (I.6) : Fonctions d'activation d'un neurone artificiel (Researchgate).	17
Figure (I.7) : Différents types des systèmes neuro-flous (Vasile. 2008).	21
Figure (I.8) : Structure d'une SIF (Guillaume, 2001).	22
Figure (I.9) : Les fonctions d'appartenance les plus utilisées (Mokeddem . 2018).	24
Figure (I.10) : Représentation interne d'un système flou (Grisales Palacio. 2007).	25
Figure (I.11) : Vue générale de la méthodologie d'identification non linéaire basée sur l'approche de clustering flou (Grisales Palacio. 2007).	26
Chapitre II : Zone d'étude	
Figure (II.1) : Zone d'étude et stations hydrométriques.	29
Figure (II.2) : Réseau hydrographique de la zone d'étude.	30
Figure (II.3) : stations pluviométriques.	34
Figure (II.4) : Carte des précipitations annuelles médianes de l'Est algérien.	34
Figure (II.5) : Carte bioclimatique de l'Algérie selon le système d'Emberger (ANAT, 2004).	36
Figure (II.6) : Carte géologique d'Algérie Oriental (Division Petroleum Engineering et Développement).	37

Figure (II.7) : Carte des formations végétales de l'Algérie du Nord (DGF. 2009).	39
Chapitre III : Traitement des données	
Figure (III.1) : Pourcentage des variances -bassin des Côtiers Constantinois-.	52
Figure (III.2) : Pourcentage des variances -bassin des Hauts plateaux Constantinois -.	53
Figure (III.3) : Pourcentage des variances -bassin Kébir Rhumel -.	54
Figure (III.4) : Pourcentage des variances -bassin Seybouse -.	54
Figure (III.5) : Pourcentage des variances -bassin Soummam -.	55
Figure (III.6) : ACP annuel Côtiers Constantinois.	56
Figure (III.7) : ACP annuel Hauts plateaux Constantinois.	56
Figure (III.8) : ACP annuel bassin Kébir Rhumel.	56
Figure (III.9) : ACP annuel bassin Seybouse.	56
Figure (III.10) : ACP annuel bassin Soummam.	56
Figure (III.11) : Ajustement des précipitations annuel à la loi log normale (st. Amouchas).	58
Figure (III.12) : Ajustement des précipitations ann à la loi log normale (st. Ain Beida).	58
Figure (III.13) : Ajustement des précipitations moy annuelles à la loi normale (st. Koudiat).	58
Figure (III.14) : Ajustement des précipitations moy annuelles à la loi log normale (st. Belaa).	58
Figure (III.15) : Ajustement des précipitations moy annuelles à la loi normale (st. Guelma).	58
Figure (III.16) : Ajustement des précipitations moy annuelles à la loi normale (st. Bou Birek).	58
Figure (III.17) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi log normale (st. Amouchas).	65
Figure (III.18) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi log normale (st. Ain Beida).	65
Figure (III.19) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi normale (st. Koudiat).	65
Figure (III.20) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi normale (st. Belaa).	65
Figure (III.21) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi normale (st. Guelma).	65
Figure (III.22) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi log normale (st. Bou Birek).	65
Figure (III.23) : Graphiques P-P (loi normale) St El Mkaceb.	70
Figure (III.24) : Graphiques P-P (loi normale) St Chedia.	70
Figure (III.25) : Graphiques P-P (loi normale) St Khemakhem.	70
Figure (III.26) : Graphiques P-P (loi normale) St Ain Charchar.	70

Figure (III.27) : Graphiques P-P (loi normale) St Chemora.	70
Figure (III.28): Graphiques P-P (loi normale) St Foum El Gueiss.	70
Figure (III.29): Graphiques P-P (loi normale) St Tassadane .	70
Figure (III.30): Graphiques P-P (loi normale) St Athmania.	70
Figure (III.31): Graphiques P-P (loi normale) St Grarem	71
Figure (III.32): Graphiques P-P (loi normale) St El Ancer.	71
Figure (III.33): Graphiques P-P (loi normale) St El Milia.	71
Figure (III.34): Graphiques P-P (loi normale) St Mdjez Ammar.	71
Figure (III.35): Graphiques P-P (loi normale) St Magroua.	71
Figure (III.36): Graphiques P-P (loi normale) St Farmatou.	71
Figure (III.37) : illustration des quantiles sur la Boite à moustache.	78
Figure (III.38) : Les valeurs atypiques (outliers) dans une boite à moustaches.	78
Figure (III.39) : La distribution est décomposée en 4 zones de même effectif (25%).	79
Figure (III.40) : Boite à moustache QI-st El Mkaceb.	79
Figure (III.41) : Boite à moustache QI- st Chedia.	79
Figure (III.42) : Boite à moustache QI- st Khemakhem.	80
Figure (III.43) : Boite à moustache QI- st Ain Charchar.	80
Figure (III.44) : Boite à moustache QI- st Chemora.	80
Figure (III.45) : Boite à moustache QI st- Foum El Gueiss	80
Figure (III.46) : Boite à moustache QI st- Tassadane.	80
Figure (III.47) : Boite à moustache QI- st Athmania.	80
Figure (III.48) : Boite à moustache- st Grarem.	80
Figure (III.49) : Boite à moustache st El Ancer.	80
Figure (III.50) : Boite à moustache st El Milia.	81
Figure (III.51) : Boite à moustache- st Mdjez Ammar.	81
Figure (III.52) : Boite à moustache QI- st Magroua.	81
Figure (III.53) : Boite à moustache QI st Farmatou.	81
Figure (III.54) : Boite à moustache CSS st El Mkaceb.	82
Figure (III.55) : Boite à moustache CSS st Chedia.	82

Figure (III.56) : Boite à moustache CSS st Khemakhem.	82
Figure (III.57) : Boite à moustache CSS st Ain Charchar.	82
Figure (III.58) : Boite à moustache CSS st Foug El Gueiss.	83
Figure (III.59) : Boite à moustache CSS st Chemora.	83
Figure (III.60) : Boite à moustache CSS st Tassadane.	83
Figure (III.61) : Boite à moustache CSS st Athmania.	83
Figure (III.62) : Boite à moustache CSS st Grarem.	83
Figure (III.63) : Boite à moustache CSS st El Ancer.	83
Figure (III.64) : Boite à moustache CSS st Grarem	83
Figure (III.65) : Boite à moustache CSS st El Ancer.	83
Figure (III.66) : Boite à moustache CSS st Fariatou.	84
Figure (III.67) : Boite à moustache CSS st Magroua.	84
Chapitre IV : Pluviométrie et écoulement	
Figure (IV.1) : Précipitations annuelles (mm) pour les trois stations : Amouchas, Djamel Berais , Jijel secteur.	88
Figure (IV.2) : Précipitations annuelles (mm) pour les trois stations : Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada - Hauts plateaux constantinois-	89
Figure (IV.3) : Précipitations annuelles (mm) stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel-	89
Figure (IV.4) : Précipitations moyenne annuelles (mm) stations : Guelma, Bouchegouf, et Pont Bouchet.	90
Figure (IV.5) : Précipitations moyenne annuelles (mm) stations : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mossli.	91
Figure (IV.6) : Précipitations journalière maximale (mm) pour les trois stations : Amouchas, Djamel Berais , Jijel secteur.	92
Figure (IV.7) : Précipitations journalières maximales (mm) pour les trois stations : Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada.	93
Figure (IV.8) : Précipitation journalières maximales (mm) stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel -.	93
Figure (IV.9) : Précipitations journalières maximales (mm) stations : Guelma, Bouchegouf, et Pont Bouchet.	94
Figure (IV.10) : Précipitation journalières maximales (mm) stations : Ighil Ali, Bou Birek, et Ouled Mossly.	94
Figure (IV.11) : Crue saison froide 26-27-28 novembre 1998 station el Mkaceb.	96
Figure (IV.12) : Crue saison Chaude 17-18 Octobre 1983 Chedia.	96
Figure (IV.13) : Crue saison Chaude de 6-7 Mai 1972 station Khemakhem.	96
Figure (IV.14) : Crue de saison Chaude 15 avril 1979- station Ain Charchar-.	97

Figure (IV.15): Crue de la saison chaude 24-25 Mai 1972 station Foum El Gueiss.	99
Figure (IV.16): Crue saison chaude 27 septembre 1994 -station Tassadane-	101
Figure (IV.17): Crue saison froide du 5 au 14 Mars 1985-St Grarem-.	101
Figure (IV.18): Crue saison froide 27 Décembre 5 janvier 1985-St El Ancer-.	101
Figure (IV.19): crue saison froide 23-26 décembre 1990-station El Milia-	101
Figure (IV.20): Crue de la saison froide 23-27 janvier 1973 -station Mdjez Ammar-	104
Figure (IV.21): Crue saison Chaude 10-août-2003 -st Magroua-.	105
Figure (IV.22) : Crue saison Chaude 2-4-juin-1982-Farmatou-	106
Figure (IV.23): Années humides et sèches -station El Mkaceb-	109
Figure (IV.24): Années humides et sèches -station Khemakhem-.	110
Figure (IV. 25) : Année humide et années sèches - station Reboa-.	112
Figure (IV. 26) : Années humides et années sèches -station Foum El Gueiss.	113
Figure (IV. 27) : Années humides et années sèches station Chemora.	115
Figure (IV. 28) : Années humides et années sèches - station Bouchdira-.	117
Figure (IV. 29) : Années humides et années sèches station El Kheneg.	118
Figure (IV. 30) : Années Humides années sèches-station Ain Smara-.	119
Figure (IV.31) : Années humides et années sèches-station El Ancer-.	120
Figure (IV. 32) : Années humides et années sèches - station Tassadane-.	122
Figure (IV. 33): Années humides et années sèches station Mdjez Ammar.	123
Figure (IV. 34) : Années humides et années sèches station Borj Sabat.	125
Figure (IV. 35) : Années humides et années sèches station Moulin Rechfort.	126
Figure (IV. 36) : Années humides et années sèches station Farmatou.	128
Figure (IV.37): Variation des débits liquides et précipitations bassin des côtiers constantinois (a)-(b) .	128
Figure (IV.38): Variation des débits liquides et précipitations bassin Hauts Plateaux Constantinois (c)-(d) et (e) .	129
Figure (IV.39): Variation des débits liquides et précipitations bassin Kébir Rhumel (f)-(g)-(h)-(i) et (j) .	130
Figure (IV.40): Variation des débits liquides et précipitations bassin Seybouse (k)-(l)-(m)-(i) .	131
Figure (IV.41): Variation des débits liquides et précipitations bassin Soummam (k)-(l)-(m)-(i) .	132
Chapitre V : Modélisation et Régionalisation	
Figure (V.1) : Variation des CSS bassin des Côtiers Constantinois.	135

Figure (V. 2) : Variations des CSS bassin des Hauts Plateaux.	135
Figure (V.3) : Variation des CSS bassin Kébir Rhumel.	135
Figure (V.4) : Variation des CSS bassin Seybousse.	135
Figure (V.5) : Variation des CSS bassin Soummam.	136
Figure (V.6) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -st El Mkaceb-.	137
Figure (V.7) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St El Mkaceb-.	137
Figure (V.8) : Répartition de la totalité des données QI-Qs -St Chedia-.	137
Figure (V.9) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Chedia-.	138
Figure (V.10) : Répartition de la totalité des données QI-Qs -St Khmakhem-.	138
Figure (V.11) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Khemakhem-.	138
Figure (V.12) : Répartition de la totalité des données QI-Qs -St Ain Charchar-.	138
Figure (V.13) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Ain Charchar-	139
Figure (V.14) : Répartition de la totalité des données QI-Qs -St Chemora-.	139
Figure (V.15) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Chemora-.	139
Figure (V.16) : Répartition de la totalité des données QI-Qs -St Foum El Gueiss-.	139
Figure (V.17) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Foum El Gueiss-.	139
Figure (V.18) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -St Tassadane -.	140
Figure (V.19) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche - St Tassadane-.	140
Figure (V.20) : Répartition de la totalité des données QI-Qs -St Oued El Athmania-.	140
Figure (V.21) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche-St Athmania-	140
Figure (V.22) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -St Grarem-.	141
Figure (V.23) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Grarem-.	141
Figure (V.24) : Répartition de la totalité des données : QI-Qs -St El Ancer.	141
Figure (V.25) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche -St El Ancer-.	141
Figure (V.26) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -St El Milia .	142
Figure (V.27) : Répartition QI-Qs pour la saison humide et sèche –St El Milia-.	142
Figure (V.28) : Répartition de la totalité des données : QI-Qs- St M.Rechfort-.	142
Figure (V.29) : Répartition : QI-Qs pour la saison humide et sèche - St Moulin Rechfort-.	143
Figure (V.30) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -St Mdjez Ammar .	143

Figure (V.31) : Répartition : QI-Qs pour la saison humide et sèche - St M.Ammar-.	143
Figure (V.32) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -St Farmatou.	143
Figure (V.33) : Répartition : QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Farmatou-.	144
Figure (V.34) : Répartition de la totalité des données :QI-Qs -St Magroua-.	144
Figure (V.35) : Répartition : QI-Qs pour la saison humide et sèche -St Magroua-.	144
Figure (V.36) : Répartition de la totalité des données QI-CSS -St El Mkaceb-.	146
Figure (V.37) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St El Mkaceb-.	147
Figure (V.38) : Répartition de la totalité des données QI-CSS -St Chedia-.	147
Figure (V.39) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Chedia -.	147
Figure (V.40) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Khemakhem-.	147
Figure (V.41) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Khemakhem -.	148
Figure (V.42) : Répartition de la totalité QI-CSS -St Charchar-.	148
Figure (V.43) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Ain Charchar-.	148
Figure (V.44) : Répartition de la totalité QI-CSS -St Chemora-.	148
Figure (V.45) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Ain Chemora-.	149
Figure (V.46) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St Foum El Gueiss-.	149
Figure (V.47) : Répartition des données :QI-CSS pour la saison humide et sèche -St Foum El Gueiss	149
Figure (V.48) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St Tassadane.	149
Figure (V.49) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -station Tassadane-.	149
Figure (V.50) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St Oued Athmania.	150
Figure (V.51) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Oued Athmania-.	150
Figure (V.52) : Répartition de la totalité :QI-CSS -station Grarem-.	150
Figure (V.53) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Grarem-.	151
Figure (V.54) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St El Ancer-	151
Figure (V.55) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St El Ancer-.	151
Figure (V.56) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS- St El Milia-	151
Figure (V.57) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St El Milia-.	152
Figure (V.58) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St Mdjez Ammar-	152
Figure (V.59) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Mdjez Ammar-.	152

Figure (V.60) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Fariatou-	153
Figure (V.61) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Fariatou-.	153
Figure (V.62) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St Magroua-.	153
Figure (V.63) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche –St Magroua-	153
Figure (V.64) : Architecture du réseau de neurone utilisé dans l'étude : « Feedforward network ».	156
Figure (V.65) : Structure ANFIS (Springerlink).	159
Figure (V. 66) : Organigramme des différentes étapes de l'étude.	161
Figure (V.67) : Courbe de performance bassin des Côtiers Constantinois (RNA).	163
Figure (V. 68) : Qs simulé en fonction Qs observé bassin Côtiers Constantinois (RNA).	163
Figure (V. 69) : Qs simulé en fonction de Qs observé bassin Côtiers Constantinois(ANFIS).	163
Figure (V. 70) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin des Hauts Plateaux.	164
Figure (V.71) : Courbe de performance Bassin des Hauts Plateaux (RNA).	165
Figure (V. 72) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin des Hauts Plateaux (ANFIS).	165
Figure (V. 73) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin Kébir Rhumel .	166
Figure (V. 74) : Courbe de performance Bassin Kébir Rhumel (RNA).	166
Figure (V. 75) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin Kébir Rhumel (ANFIS).	166
Figure (V. 76) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin Seybouse (RNA).	167
Figure (V. 77) : Courbe de performance Bassin Seybouse.	168
Figure (V. 78) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin Seybouse (ANFIS).	168
Figure (V. 79) : Qs simulé en fonction Qs observé bassin Soummam (RNA).	169
Figure (V. 80) : Courbe de performance Bassin Soummam (RNA).	169
Figure (V. 81) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin Soummam (ANFIS).	169
Figure (V. 82) : CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin des Côtiers Constantinois (RNA) .	171
Figure (V. 83) : Courbe de performance Bassin des Côtiers Constantinois.	171
Figure (V. 84) : CSS simulés en fonction des CSS observés Bassin des Côtiers Constantinois (ANFIS) .	171
Figure (V. 85) : CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin des Hauts plateaux (RNA).	173
Figure (V. 86) : Courbes de performance Bassin des Hauts plateaux (RNA).	173
Figure (V. 87) : CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin des Hauts plateaux (ANFIS).	173
Figure (V.88) : CSS simulées en fonction des CSS observées bassin Kebir-Rhumel (RNA).	175

Figure (V. 89): Courbes de performance bassin Kebir-Rhumel (RNA) .	175
Figure (V. 90): CSS simulées en fonction des CSS observés bassin Kebir-Rhumel (ANFIS).	175
Figure (V. 91): CSS simulées en fonction des CSS observées bassin Seybouse (RNA).	176
Figure (V.92): Courbes de performance Bassin Seybouse(RNA)	176
Figure (V.93): CSS simulées en fonction des CSS observées (ANFIS) bassin Seybouse.	176
Figure (V. 94) : CSS simulées en fonction des CSS observées bassin Soummam (RNA).	178
Figure (V. 95) : Courbes de performance bassin Soummam (RNA)	178
Figure (V.96): CSS simulées en fonction des CSS Observées bassin Soummam (ANFIS).	178

Liste des abréviations

- ANFIS** : Système adaptatif neuro-flou d'inférence (adaptive neuro-fuzzy inference system)
ANRH : Agence nationale des ressources en eau
BP : Back-Propagation
CSS : Concentrations des sédiments en suspension (SSC : suspended sediment concentrations)
DL: Apprentissage profond (Deep learning)
FNN : Flux vers l'avant (Feed forward)
FFNN: Réseau neuronal d'alimentation directe (Feed for ward neural network)
GBT : La régression par Boots de gradient
GP : Programmation génétique
LM : Levenberg-Marquardt
MAE : Erreur absolue moyenne (Mean Absolute Error)
MFs : Fonctions d'appartenance (membership functions)
MLR : Mode conventionnel de régression multilinéaire
MSE : Erreur quadratique moyenne (mean square error)
NF : Neuro floue
NSE : Coefficient de Nash (Nash–Sutcliffe efficiency)
PP : Précipitations
PMC : Perceptron multi-couche
PL : fonction linéaire (Pure line)
Ql : Débit liquide
Qs : Débit solide
R: Coefficient de corrélation
R² : Coefficient de détermination
RF : La forêt aléatoire
RBF: Fonction de base radiale
RBFNN : Réseau neuronal à fonction de base radiale
RMSE : Racine de l'erreur quadratique moyenne (root mean square error)
RNA : Réseaux de neurones artificiels
SSL : Charge sédimentaire en suspension (suspended sediment Load)
SVM : Support Vector Machine
St: Station.
Tansig : Fonction tangente hyperbolique
TSK :Takagi-Sugeno-Kang

Introduction générale

Les milieux arides et semi-arides sont soumis à un climat particulier qui fait d'eux des zones fragiles et complexes. En Algérie septentrionale, les conditions physiques, géomorphologiques, hydroclimatiques et socioéconomiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène de transport solide. Demmak (1982) a démontré qu'il existe une corrélation entre la lithologie et les formes d'érosion, et qu'à chaque forme d'érosion peut être associée une concentration moyenne des charges en suspension

La quantification des matières transportées par les cours d'eau est une tâche délicate à cause du caractère irrégulier du régime hydrologique et du manque de données (El Mahi et al. 2012). L'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodibles du monde. La forte érosion en résultant réduit la capacité de stockage des barrages de 0,5 à 3 % chaque année suite à l'envasement dû au transport et au dépôt de sédiments. Il existe, actuellement, 63 barrages en exploitation en Algérie et chaque année $45 \times 10^6 \text{ m}^3$ de vase se déposent au fond de 57 grands barrages du pays, ce qui représente une perte de capacité annuelle de stockage égale à 0,7% de la capacité totale (Remini. 2008). Le rôle essentiel des événements extrêmes sur le transport sédimentaire à long terme, ainsi que la grande variabilité de l'érosion des bassins versants à l'échelle spatiale et temporelle est souligné dans la littérature (Lenzi et Marchi. 2000 ; Boardman et Poesen. 2007 ; Vanmaercke et al. 2012).

La disponibilité de bonnes mesures des concentrations des sédiments en suspension notamment celles des événements hydrologiques extrêmes est essentielle pour bien accomplir différentes activités d'ingénieur. Cependant, il n'est pas possible de disposer de stations de mesure dans tous les sites d'intérêt. On est alors souvent amené à estimer des événements extrêmes dans des sites où peu ou aucune information hydrologique n'est disponible. Dans ces cas, les hydrologues se basent sur des procédures d'estimation régionale qui permettent de transférer les données hydrologiques spatiales disponibles à d'autres bassins ayant un régime hydrologique similaire vers le site d'intérêt où l'estimation hydrologique est requise (Ouarda et al. 2008). En fonction du choix des variables hydrologiques à utiliser pour la régionalisation, de l'échelle d'analyse et de la finalité de la régionalisation, on peut regrouper les travaux de régionalisation en trois approches différentes : l'approche géographique, l'approche hydrologique et l'approche écologique. Plusieurs nouvelles méthodes régionales caractérisées par leur originalité ont été proposées récemment. Ceci inclut les méthodes basées sur les réseaux de neurones artificiels, la neuro floue, la machine à vecteurs de support

SVM, le krigeage dans des espaces transformées, ou la notion de fonction de profondeur (depth function)

En raison des incertitudes liées à la science de l'eau, la modélisation est un outil important souvent utilisée par les gestionnaires de l'eau du monde entier pour prévoir les résultats probables des options de gestion. Les progrès importants réalisés au cours des dernières années dans le domaine de l'intelligence artificielle ont permis de réduire les difficultés et de s'affranchir des limitations des modèles linéaires. Des modèles basés sur la technique des réseaux de neurones artificiels ont été mis au point (Maier et al. 2004).

Les approches des réseaux neuronaux ont été appliquées avec succès dans un certain nombre de domaines y compris les ressources en eau. Dans le contexte des prévisions hydrologiques, des expériences récentes ont révélé que les réseaux de neurones artificiels (RNA) pourraient offrir une alternative prometteuse pour la modélisation des précipitations et des ruissèlements (Hu et al. 2001 ; Wilby et al. 2003), la prévision des débits fluviaux (Sivakumar et al. 2002 ; Aoulmi et al. 2021).

Kisi. 2004, a utilisé différents modèles RNA pour la prédiction des concentrations de sédiments en suspension journalières ; il a constaté que le perceptron multi couches (PMC) est plus performant que les autres modèles RNA. Kisi. 2005, a développé un modèle neuro flou NF pour la modélisation des sédiments en suspension, la comparaison des résultats montre que le modèle NF produit de meilleures estimations que d'autres techniques tels que : le perceptron multicouche, la courbe d'étalonnage, et la régression multilinéaire.

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) constituent donc une nouvelle méthode d'approximation de systèmes complexes, particulièrement utile lorsque ces systèmes sont difficiles à modéliser par des méthodes statistiques classiques. Une classe des modèles RNA appelée perceptrons multicouches (PMC), a été privilégiée ces dernières années, pour la prévision de phénomènes hydrologiques. La régionalisation par modélisation en réseaux de neurone artificiels est l'une des meilleures méthodes utilisées dans nos jours vu sa simplicité et sa fiabilité (Coulibaly et al. 2000). Les comparaisons des RNA avec d'autres modèles conceptuels ou physiques, apportent la preuve que les RNA peuvent fournir des prévisions aussi bonnes que les approches plus "classiques", parfois meilleure. Parmi les comparaisons récentes, on peut citer Anctil et al. (2004b) qui ont comparé les performances de GR4J et des modèles RNA, en s'attachant à évaluer l'impact de la longueur de la série d'apprentissage (de calage).

Dans la perspective d'augmenter la capacité d'adaptabilité du modèle neuronal aux changements brusques de conditions, Muster et al. 1994, ont couplé le modèle neuronal à un système de logique floue. Le modèle hybride qui en résulte est appelé « Neuro-fuzzy system » a été appliqué pour la prévision des prises d'eau au fleuve Ruhr en Allemagne. La logique floue fut développée par Zadeh en 1965 à partir de sa théorie des sous-ensembles floue. Plusieurs approches logiques floues ont été appliquées dans l'estimation des ressources en eau (Talei et al. 2010 ; Wahyuni et al. 2017 ; Bukhari et al. 2020)

Les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence (ANFIS) proposés par Jang (1992) ont été appliqués pour étudier de nombreux problèmes. Récemment, les systèmes ANFIS ont été largement appliqués en hydrologie, profitant à la fois des avantages de la neuro-flou NF : les règles SI-ALORS, et les paramètres d'optimisation, et ceux des réseaux de neurones artificielles RNA: la capacité d'apprentissage (Keskin et al. 2006). Kisi et al. 2008 ont utilisé plusieurs modèles pour améliorer la précision de la courbe liant la charge en MES et le débit afin d'estimer la charge journalière en MES. La comparaison faite entre les estimations fournies par le modèle neuro-flou, les réseaux de neurones à base radiale (RBNN), les réseaux de neurones « Feed-forward » (FFNN), les réseaux de neurones à régression généralisée (GRNN), la régression multi-linéaire (MLR) et la courbe de transport sédimentaire (SRC), a révélé que le modèle neuro-flou donne de meilleures estimations que les autres techniques.

L'objectif de cette thèse est la régionalisation des débits solides Q_s et des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes par deux paradigmes d'intelligence artificielles : les réseaux de neurones artificiels RNA et les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence ANFIS, dans cinq grands bassins versants de l'Est Algérien : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux constantinois, le Kébir Rhumel, le Seybouse, et le Soummam. Cette zone est caractérisée à la fois par une grande charge sédimentaire et un manque, voire une absence quasi-totale de mesure du transport solide dans certains sites non jaugés ou peu jaugés. La zone d'étude est contrôlée par 14 stations hydrométriques.

Démarche et organisation de la thèse

Cette thèse est composée de cinq chapitres. Le premier chapitre a été consacré pour une synthèse bibliographique concernant les divers outils et méthodes utilisées pour la modélisation et régionalisation des sédiments en suspension notamment ceux des réseaux de neurone artificiels RNA et des systèmes d'inférence adaptatifs Neuro floue ANFIS. Le deuxième chapitre présente une étude descriptive bien détaillée de la zone d'étude constitué

de cinq grands bassins versants situés dans l'Est Algérien. Le troisième chapitre présente l'analyse, le traitement, et les caractéristiques statistiques d'une importante banque des données, à savoir les données pluviométriques pour 22 stations, qui ont été mises à une analyse en composantes principales ACP, un ajustement à une loi de probabilité des pluies annuelles et maximales, et ceux hydrométriques (débit liquide- débit solide-concentrations des sédiments en suspension) pour 14 stations contrôlant la zone d'étude, qui ont été mises à une vérification de la normalité par quatre tests : Shapiro Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, et Jarque-Bera, et de l'homogénéité par le test de Wilcoxon, et un résumé de l'allure générale des données par les boîtes à moustaches servant à définir les valeurs atypiques. Le quatrième chapitre présente les variations temporelles des précipitations annuelles et celles maximales journalières, ainsi que l'ensemble des crues observées durant la période d'observation pour la saison humide et sèche sur l'ensemble de la zone d'étude, l'influence des paramètres hydrométriques sur les écoulements dans la zone d'étude, et la relation entre les précipitations-écoulement. Le cinquième Chapitre présente la modélisation et la prévision des débits solide et des concentrations des sédiments en suspension, par deux méthodes : la régression et l'application des modèles RNA et ANFIS pour deux vecteurs d'entrée des données. Enfin, une conclusion générale récapitule les principales démarches et l'essentiel des résultats obtenus par cette étude.

Chapitre I :

Bibliographie

Introduction

Dans les zones semi-arides, caractérisées par des précipitations très irrégulières souvent intenses (Marouf. 2012), les facteurs climatiques ont une influence considérable sur les pertes des sols (Bergaoui et al. 1998). Or, en région méditerranéenne, la quantification des matières transportées par les cours d'eau est une entreprise peu aisée, du fait du caractère irrégulier du régime hydrologique (Serrat et al. 2001) et du manque de données nécessaires à ces études (Achite et Meddi. 2005).

Les facteurs favorisant l'érosion sont nombreux : pente, nature des roches, relief, climat, et homme en fin de chaîne. En région méditerranéenne, et notamment en zone semi-aride, le climat est le premier responsable du phénomène avec les variations spatiotemporelles brusques observées de la pluie et des écoulements, l'action du gel et du dégel, le pouvoir évaporant du sirocco. Les facteurs anthropiques ont participé de façon remarquable à la dégradation des sols par les incendies, les défrichements, le morcellement du foncier, le surpâturage, ...rendant les bassins versants très vulnérables au ruissellement (Touibia. 2010). L'érosion hydrique pose de graves problèmes sociaux, poussant la population à l'exode rural, suite à la réduction de la surface agricole utile. Face à de graves pénuries d'eau, l'envasement précoce de plus de 50% des barrages et une dégradation croissante de la qualité des eaux (Demmak. 1982). Dans ces zones semi-arides, plusieurs relations fonctionnelles liant l'érosion aux paramètres explicatifs ont été mises au point, à savoir celle de Kassoul et al. (1997) et Touaibia et Achite (2003), Achite et Meddi (2005) ainsi que Marouf. (2012). Des modèles plus globaux ont été développés sous d'autres climats, citons ceux de Walling et Webb (1981) et de Ferguson (1987).

En Algérie septentrionale l'érosion hydrique est très caractéristique, favorisée par des conditions topographiques, physiques, géomorphologiques, climatiques, hydrologiques et socio-économiques spécifiques. Cependant, la quantification des apports solides dans les oueds reste peu aisée, suite à la variabilité temporelle et spatiale du régime hydrologique conjuguée à une insuffisance de données disponibles y afférant. Seule l'approche par la modélisation des phénomènes d'érosion et du transport solide permettra de mieux les aborder (Salhi et al. 2013). L'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodibles du monde, dont les transports solides représentent une contrainte pour la plupart des cours d'eau équipés de barrages. La sédimentation importante dans les retenues a conduit à leur envasement progressif (Remini. 1997, Marouf, 2012).

1.1. Les matières en suspension

Les fortes variations spatiales de la quantité et de la nature des matières en suspension MES, varient d'un cours d'eau à l'autre ou le long d'un même cours d'eau, en fonction de morphologie du lit, des berges des occupations du sol (Butt et al. 2000). Ces variations spatiales sont particulièrement importantes dans la zone d'agriculture intensive, où elles sont liées à certaines pratiques : sols nus après : maïs, accès du bétail au cours d'eau, etc. Le calendrier agricole est aussi responsable des variations temporelles qui s'ajoutent à celles liées au cycle hydrologique.

Les mesures de flux, de concentrations de MES, leur caractérisation physicochimique se limitent en général à quelques points situés aux exutoires des bassins versants, négligeant la variabilité et la redistribution interne. Dans le meilleur des cas, ces mesures sont réalisées par des préleveurs automatiques (Butt et al. 2000).

1.1.1. Sources des sédiments en suspension

L'érosion naturelle des formations géologiques est la source la plus courante de sédiments en suspension dans les masses d'eau. La vitesse d'érosion est fonction du climat, des caractéristiques géologiques, de l'exposition, de la pente, du type de sol et du couvert végétal. Les sédiments déposés peuvent rester en place dans le lit et les bancs des cours d'eau, jusqu'à ce que les vitesses critiques soient dépassées et qu'il y ait une mobilisation de la charge de fond. Le déplacement des matériaux de fond entraîne par ailleurs, sous l'effet de l'abrasion, la formation de nouvelles particules de faible granulométrie. Les sédiments présents dans les fleuves et les rivières peuvent provenir de dépôts glacio-lacustres. Certains sédiments sont formés par érosion des berges ou par décapage du fond, les particules se déposant à quelque distance en aval ou demeurantes en suspension. Les concentrations naturelles de sédiments en suspension varient considérablement d'une masse d'eau à l'autre et peuvent afficher des fluctuations journalières et saisonnières importantes (Singleton. 1985).

Les activités humaines, notamment l'exploitation forestière, les travaux de voirie et de construction, le dragage et l'exploitation de gravières peuvent modifier considérablement les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des cours d'eau situés à proximité et en aval des lieux où elles se déroulent.

1.1.2. Rôle des crues dans l'exportation des sédiments en suspension extrêmes

L'exportation des sédiments en suspension vers l'exutoire se fait principalement durant les périodes de crue (Sibari et al. 2001, Marouf et Remini. 2011). Il est connu que le transport des matières en suspension se fait principalement en période de crue (Megnounif et al. 2004).

Il est connu que le transport des matières en suspension se fait principalement en période de crue et que les principaux facteurs qui contrôlent la production et le transport en suspension dans les bassins versants sont dus essentiellement à l'effet conjugué de l'intensité des précipitations, la configuration du bassin versant et les caractéristiques hydrauliques du cours d'eau (Megnounif et al. 2004, Marouf et Remini. 2011, Marouf. 2012). Au cours de ces événements, la concentration en sédiments en suspension augmente rapidement pour atteindre jusqu'à 547 fois celle enregistrée juste avant le déclenchement de la crue (Ghenim. 2001). La quantification des exportations solides par une rivière est un exercice délicat, tout particulièrement en domaine méditerranéen où les phénomènes de crue éclair (crue violente et de courte durée) rendent les prélèvements de matières en suspension difficiles (Petelet-Giraud et Negrel. 2007).

L'analyse du transport solide par événement peut permettre de déterminer la provenance des sédiments transportés par l'analyse des courbes représentant la concentration en fonction du débit liquide. Plusieurs études sur l'évaluation et l'analyse spatiale de la variabilité temporelle des sédiments en suspension ont été menées par différents chercheurs au cours de la dernière décennie : Achite et Meddi (2005), Achite et Ouillon (2007), Ghenim et al. (2008), et Zabaleta et al. (2007).

1.1.3. Méthodes et réseaux de mesure des matières en suspension

À l'échelle mondiale, de nombreuses études ont été menées en vue de quantifier le transport de la charge en suspension et de suivre les variations saisonnières et spatiales de la concentration des matières en suspension dans des contextes morphoclimatiques variés (Meybeck et al. 2003, Rovira et Batalla. 2006, Le François. 2007, Picouet et al. 2009, Tena et al. 2011, Araujo et al. 2012...).

1.1.4. Impacts environnementaux liés aux fortes concentrations des matières en suspension

En présence d'une forte concentration de sédiments en suspension et de nutriments et d'un faible ombrage, la température du cours d'eau augmente et une plus grande quantité de lumière est disponible pour alimenter la photosynthèse, ce qui peut entraîner un accroissement temporaire de la biomasse algale et une hausse conséquente de l'abondance d'invertébrés et de poissons (Bilby et Bisson. 1992). On a montré en laboratoire que les particules minérales (p. ex., la silice, le kaolin et la bentonite) avaient une incidence sur de nombreux processus physiques et biotiques, comme la floculation et la sédimentation des algues et des argiles (Soballe et Threlkeld. 1988). Ces effets se répercuteraient ensuite sur les interactions trophiques.

1.2. Modélisation et régionalisation du transport sédimentaire

1.2.1. Les sites peu jaugés et les sites non jaugés

**En site peu jaugé* : dans ces bassins le nombre de mesures est jugé comme insuffisant pour obtenir une estimation directe fiable des statistiques de débit. Des développements ont donc été réalisés. Ils visent à estimer des statistiques à partir de ces quelques données avec le soutien d'une station d'appui disposant d'enregistrements continus suffisamment longs pour établir de manière fiable la statistique (Reilly et Kroll. 2003, Zhang et Kroll. 2007).

**En site non jaugé* : Un bassin versant non jaugé est un bassin dont les données hydrologiques mesurées sont considérées comme insuffisantes pour permettre le calcul des variables hydrologiques d'intérêt à des échelles spatiales et temporelles appropriées, à une précision acceptable pour des applications pratiques (Sivapalan et al. 2003). Nous ferons l'hypothèse que des données météorologiques existent toujours. Donc, un bassin versant sera considéré "non jaugé" quand les mesures débitométriques à son exutoire sont manquantes et/ou absentes (Reilly et Kroll. 2003, Zhang et Kroll. 2007).

1.2.2. La régionalisation et le choix des bassins donneurs

Il n'est pas possible de disposer de stations de mesure dans tous les sites d'intérêt. On est alors souvent amené à estimer des événements extrêmes dans des sites où peu ou aucune information hydrologique n'est disponible. Dans ces cas, les hydrologues se basent sur des procédures d'estimation régionale qui permettent de transférer les données hydrologiques spatiales disponibles à d'autres bassins ayant un régime hydrologique similaire vers le site d'intérêt où l'estimation hydrologique est requise (Ouarda et al. 2008).

Le recours aux techniques de régionalisation hydrologique est motivé par la reconnaissance du grand degré d'incertitude des estimations basées seulement sur les analyses ponctuelles. Cette incertitude est d'autant plus grande que les séries hydrologiques (débits et/ou pluies) sont courtes et que la fréquence d'extrapolation est plus rare (Mic et al. 2002).

L'approche décrite par (Oudin et al. 2008) qui consiste à classer les bassins donneurs (jaugés) par ordre décroissant de proximité au bassin versant receveur (non-jaugé), cette proximité dépend de l'approche de régionalisation adaptée. Donc chaque bassin doit avoir un rang qui exprime leur similarité par rapport au bassin non jaugé.

1.2.3. Les régions homogènes et l'intérêt d'un découpage en régions homogène

En général, les méthodologies communément utilisées pour l'analyse fréquentielle régionale des variables hydrologiques extrêmes comprennent deux étapes. Dans la première étape on effectue la détermination des régions hydrologiquement homogènes, on regroupe les stations ayant un comportement hydrologique semblable. Dans la deuxième étape, l'estimation régionale est effectuée à l'intérieur de la région hydrologiquement homogène ; l'information est transférée à partir des sites jaugés vers le site cible non jaugé ou partiellement jaugé. Les régions homogènes garantissent une meilleure estimation car elles rassemblent des sites similaires en phase de calage. Aucun découpage ne peut se prétendre universel : il est associé à la variable hydrologique pour lequel il a été construit (donc doit être renouvelé lorsqu'une autre variable est étudiée), il est fonction du degré d'expertise de l'hydrologue et du critère de similitude entre bassins (Ouarda et al. 2008).

Les approches de régionalisation s'appuient en général sur un des deux principes suivants :

- la proximité géographique entre le bassin d'intérêt et les bassins jaugés : la faible variation spatiale des conditions physiques environnantes peut justifier un transfert d'information entre bassins voisins. En France, l'approche fondée sur la proximité géographique a donné les meilleurs résultats (Oudin et al. 2008).
- la similarité physique entre le bassin d'intérêt et les bassins jaugés : cette approche repose sur le fait que les bassins avec des caractéristiques physiques semblables peuvent avoir une réponse hydrologique proche, même si les bassins sont éloignés géographiquement.

Trois différents types d'approches d'identification des régions homogènes peuvent être distingués :

I.2.3.1 Approche basée sur des régions fixes : Ensemble de stations d'une région homogène.

- **Régions géographiquement contiguës** : ensemble de stations formant une même région homogène et géographiquement contiguë ; (Gingras et al. 1994). Cette technique a été popularisée en hydrologie par Hosking (1986).

- **Régions non contiguës** : ensemble de stations formant une même région homogène mais géographiquement non contiguës (Benzecri. 1973).

I.4. Outils pratiques d'analyse hydrologique et méthode d'estimation régionale

Un nombre d'outils pratiques ont été développés pour la régionalisation des extrêmes hydrologiques. Le mieux connu est le logiciel WINFAP-FEH (Nerc. 2008) développé pour le Royaume-Uni (Reed et Robson. 1999). Ce logiciel permet d'effectuer des analyses fréquentielles locales et régionales basées sur les maximas annuels. Le logiciel REGIONS (Ouarda et al. 2008) est un outil général d'analyse régionale des événements hydrologiques extrêmes. Il intègre différentes approches de détermination des régions homogènes et d'estimation régionale et contient un module d'analyse régionale des crues et un autre pour l'analyse régionale des étiages (Ouarda et al. 2008).

Plusieurs approches d'estimation régionale peuvent être considérées. Dans son étude comparative, Grehys (1996 a, b) a montré que, au niveau de l'estimation régionale, la méthode de l'indice de crue (Dalrymple. 1960) et les méthodes régressives (Shu et Burn. 2004 b) sont pratiquement équivalentes et conduisent à des estimations supérieures aux autres méthodes.

L'approche basée sur la régression permet d'établir une relation entre les variables hydrologiques et les variables explicatives physiographiques ou météorologiques (surface drainée, pente du cours d'eau, pourcentage de l'aire du bassin couverte de forêt, surface contrôlée par les lacs et marais, précipitation moyenne annuelle, neige ou sol à une date donnée, etc.). Elle est simple, rapide et permet d'utiliser des distributions différentes pour les différents sites de la région. Elle n'est également pas sensible à l'hétérogénéité qui peut exister dans la région. Il faut noter que cette méthode introduit généralement un biais : une transformation logarithmique des variables est généralement effectuée afin de linéariser la relation du type puissance qui est souvent adoptée entre quantiles et variables explicatives.

D'autres directions de recherche intéressantes ont été explorées par certains travaux. Fill et Stedinger 1997 ont présenté la méthode de régression des quantiles normalisés, qui utilise la régression régionale pour améliorer l'approche de l'indice de crue. Fortin et al. 1995

ont proposé une approche de délimitation des régions hydrologiques homogènes basée sur le concept des nombres flous. Ces méthodes sont très sensibles à la corrélation spatiale entre les données des différents sites d'une région. Toutefois, cette corrélation spatiale entre les sites n'a toujours pas été incorporée explicitement dans les procédures de régionalisation. L'approche de krigeage canonique proposée par Chokmani et Ouarda 2004 permettra éventuellement de répondre à ce besoin.

1.4.1. Méthodologies de régionalisation basées sur la saisonnalité des extrêmes hydrologiques

Une autre approche de régionalisation, qui a récemment gagné en popularité, est basée sur la similarité dans la saisonnalité des crues. Dans ces modèles régionaux saisonniers, la délimitation des régions homogènes est basée sur le comportement saisonnier des débits de crues dans les différentes stations. Le partitionnement saisonnier de l'année dans chaque station (nombre de saisons significatives, les dates de début et de fin de chaque saison) est utilisé pour identifier des groupes de bassins ayant un comportement saisonnier similaire. Le principal avantage de cette approche est que la saisonnalité des crues est décrite en utilisant des données de dates des crues, qui sont pratiquement sans erreurs et plus robustes que les données d'amplitude des crues puisque les données de dates sont bornées (Ouarda et al. 2000).

1.4.2. Méthodologies combinant la délimitation et l'estimation régionale

Certains travaux ont proposé des méthodologies qui intègrent la tâche de délimitation des régions homogènes et la tâche d'estimation régionale en une seule étape. Les variables hydrologiques sont plutôt discrètes dans l'espace géographique. Elles peuvent changer drastiquement d'un bassin à un autre bassin versant adjacent, puisque les mécanismes de génération des crues sont propres à chaque bassin. En conséquence, l'application directe des méthodes d'interpolation spatiale dans l'espace géographique se heurte à un sérieux problème (Sauquet. 2000). Chokmani et Ouarda .2004 ont proposé une méthode de krigeage dans l'espace physiographique pour l'analyse fréquentielle régionale des crues. Deux méthodes d'analyse multivariée ont été testées : l'Analyse Canonique des Corrélations (ACC) et l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Le krigeage ordinaire est ensuite utilisé pour interpoler les quantiles de crue dans l'espace physiographique "méthode du krigeage canonique". Il a été montré que le krigeage canonique donne des résultats aussi précis que la méthode traditionnelle d'ACC, avec une fraction de l'effort et du temps de calcul.

Au cours des dernières décennies, des progrès importants ont été accomplis dans deux techniques qui ne font aucune hypothèse sur le modèle sous-jacent, la logique floue et les

réseaux de neurones artificiels (RNA). Ces deux techniques offrent une alternative intéressante aux outils traditionnels de modélisation. Mathématiquement, un RNA peut être considéré comme un approximateur universel. Dans le domaine de l'analyse fréquentielle régionale, ils ont été introduits par Shu et Burn (2004) pour l'indice de crue et l'estimation des quantiles de crue.

Une judicieuse intégration du système flou et du RNA peut produire un système fonctionnel flou de neurones capable d'apprentissage, de haut niveau de réflexion et de raisonnement. Il fournit une approche efficace pour faire face aux grands systèmes complexes définis d'une façon imprécise. Un système adaptatif neuro-flou d'inférence (adaptive neuro-fuzzy inference system, ou ANFIS) est l'un des systèmes les plus performants qui combine les avantages de ces deux puissants paradigmes en une seule capsule (Jang et al. 1997).

Shu et Ouarda. 2008 ont proposé un modèle ANFIS pour obtenir des estimations régionales des quantiles de crues. Cette approche fournit un mécanisme intégré permettant d'identifier les régions hydrologiques homogènes, de générer les connaissances à partir des données, de fournir des estimations des quantiles de crues et de se mettre à jour d'une façon automatique (self-tuning) afin d'atteindre les performances optimales. L'approche proposée a été comparée à l'approche des RNA, à la régression non linéaire (RNL) et à la régression non linéaire avec régionalisation (RNL-R). Les résultats ont indiqué que le modèle ANFIS possède une meilleure capacité de généralisation que l'ensemble des autres approches.

1.5. Les réseaux de neurones artificiels RNA

Les premières recherches en domaine des réseaux de neurone, remontent à la fin du 19^{ème} et au début du 20^{ème} siècle. Ils consistent des travaux multidisciplinaires en Physique, en psychologie et en neurophysiologie par des scientifiques tels Hermann von Helmholtz, Ernst Mach et Ivan Pavlov. À cette époque, il s'agissait de théories plutôt générales sans modèle mathématique précis d'un neurone. On s'entend pour dire que la naissance du domaine des réseaux de neurones artificiels remonte aux années 1940 avec les travaux de Warren Mc Culloch et Walter Pitts qui ont montré qu'avec de tels réseaux, on pouvait, en principe, calculer n'importe quelle fonction arithmétique ou logique. Vers la fin des années 1940, Donald Hebb a ensuite proposé une théorie fondamentale pour l'apprentissage (Parizeau. 2004).

De nombreux ouvrages ont permis de documenter l'histoire des recherches en réseaux de neurones. En particulier, le livre intitulé « Neurocomputing : Foundations of Research»

édité par John Anderson et Edward Rosenfeld (1988), c'est une compilation de 43 articles qui ont marqué le domaine sur le plan historique. Chacun d'entre eux est d'ailleurs précédé d'une introduction qui permet de situer l'article dans son contexte. La première application concrète des réseaux de neurones artificiels est survenue vers la fin des années 1950 avec l'invention du réseau dit « perceptron » par un dénommé Rosenblatt (Parizeau. 2004). Dans les années 1980, une pierre d'achoppement a été levée par l'invention de l'algorithme de rétro propagation des erreurs. Depuis ce temps, c'est un domaine ou bouillonne constamment de nouvelles théories, de nouvelles structures et de nouveaux algorithmes (Parizeau. 2004).

1.5.1. Définition

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Les réseaux de neurones artificiels (RNA) peuvent être définis comme un modèle de raisonnement basé sur le cerveau humain. Ils font partie de la catégorie des modèles « boîtes noires ». Mc Culloch et Pitts (1943) sont les premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (Abda et al. 2018).

1.5.2. Le neurone biologique

Le neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau. Le corps cellulaire se ramifie pour former ce que l'on nomme les dendrites. Celles-ci sont parfois si nombreuses que l'on parle alors de chevelure dendritique ou d'arborisation dendritique. C'est par les dendrites que l'information est acheminée de l'extérieur vers le soma, corps du neurone. L'information traitée par le neurone chemine ensuite le long de l'axone (unique) pour être transmise aux autres neurones. La transmission entre deux neurones n'est pas directe. En fait, il existe un espace intercellulaire de quelques dizaines d'angstroms (10^{-9} m) entre l'axone du neurone afférent et les dendrites (on dit une dendrite) du neurone efférent. La jonction entre deux neurones est appelée la synapse (figure I.1) (Touzet. 1992).

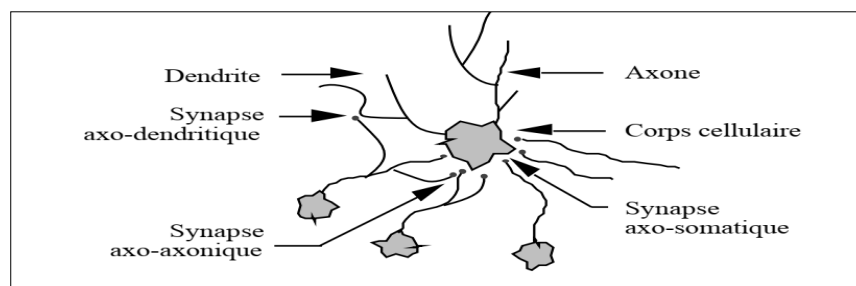


Figure (I.1) : Un neurone avec son arborisation dendritique (Touzet. 1992).

I.5.3. Le neurone artificiel

Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d'entrées en provenance de neurones amont. A chacune de ces entrées est associé un poids w (abréviation de Weight (poids en anglais) représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d'une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones aval. A chaque connexion est associé un poids (Touzet. 1992).

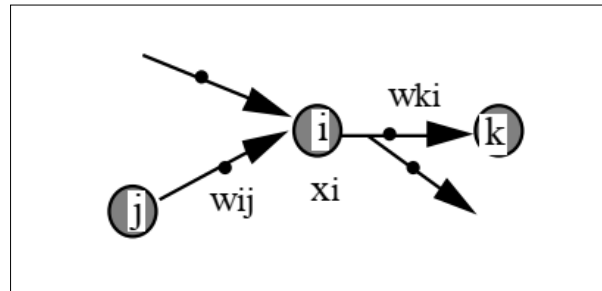


Figure (I.2) : Structure d'un neurone artificiel (Touzet. 1992).

Pour le neurone d'indice i , les entrées sur celui-ci sont de poids w_{ij} alors que les connexions aval sont de poids w_{ki} .

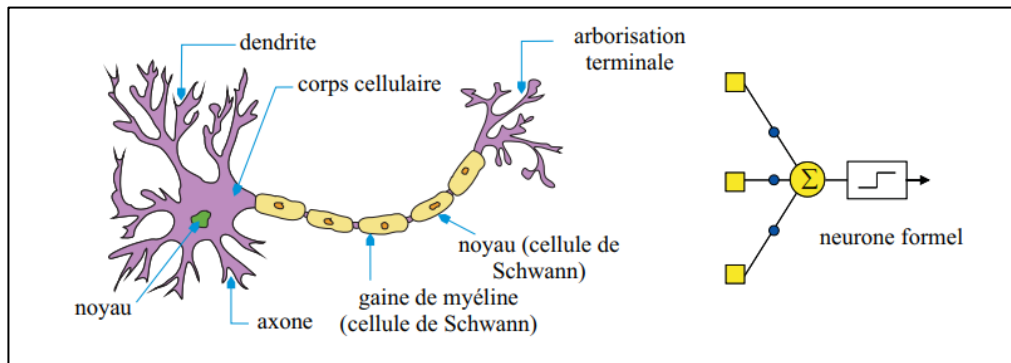


Figure (I.3) : Du neurone biologique au neurone formel (Wira. 2009).

I.5.4. Les neurones formels

Un "neurone formel" (ou simplement "neurone") est une fonction algébrique non linéaire et bornée, dont la valeur dépend de paramètres appelés coefficients ou poids. Les variables de cette fonction sont habituellement appelées "entrées" du neurone, et la valeur de la fonction est appelée sa "sortie". On a pris l'habitude de représenter graphiquement un neurone comme indiqué sur la figure 1.2 (Dreyfus. 1998).

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; c_1, c_2, \dots, c_p) \dots \dots \dots (1)$$

où les $\{x_i\}$ sont les variables et les $\{c_j\}$ sont des paramètres.

Les neurones les plus fréquemment utilisés sont ceux pour lesquels la fonction f est une fonction non linéaire (généralement une tangente hyperbolique) d'une combinaison linéaire des entrées :

$$y = \tanh[\sum_{i=1}^n c_i x_i] \dots \dots (2)$$

Les $\{x_i\}$ sont les variables (ou entrées) du neurone, les $\{c_i\}$ sont des paramètres ajustables.

1.5.5. Quelques architectures de réseaux de neurone

L'architecture du réseau précise le nombre de couches qui le composent et le nombre de neurones dans chaque couche, ainsi que le poids des connexions. Un réseau de neurones artificiels est organisé en couches, chacune de ces couches comportant plusieurs neurones. Chacun de ces neurones qui se présentent comme unité de calcul autonome, est relié à la totalité ou à certains neurones de là où des couches précédentes par l'imposition de poids (W_i). L'architecture d'un réseau de neurone est l'organisation des neurones entre eux au sein d'un même réseau. Autrement dit, il s'agit de la façon dont ils sont ordonnés et connectés. Cette architecture dépend de la tâche à apprendre (problème à résoudre) (Figure I.4) (Wira, 2009).

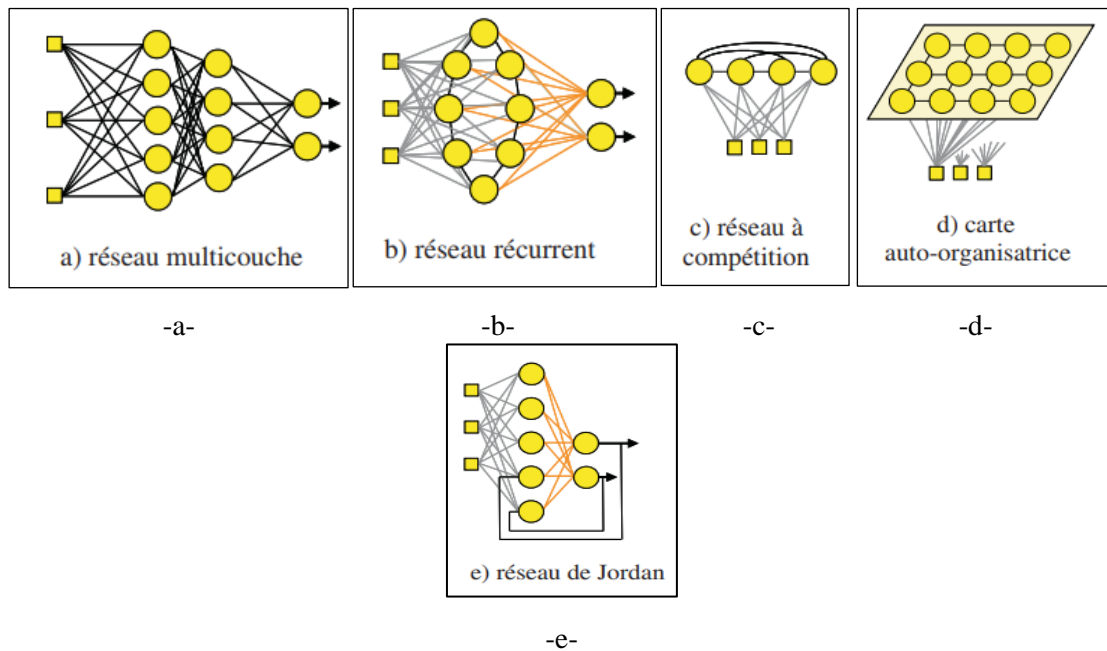


Figure (I.4) : Quelques architectures de réseaux de neurones (Wira, 2009)

Un réseau de neurone multicouche est composé d'une succession de couches dont chacune prend ses entrées sur les sorties de la précédente, chaque couche (i) n'est composée de N_i neurones, prenant leurs entrées sur les N_{i-1} neurones de la couche précédente. A chaque synapse est associé un poids synaptique, de sorte que les N_{i-1} sont multipliés par ce poids, puis

additionnés par les neurones de niveau i , ce qui est équivalent à multiplier le vecteur d'entrée par une matrice de transformation (Wira. 2009).

- **Le réseau « Feed forward »**

Les réseaux de neurones à une seule couche ne pouvaient résoudre que des problèmes de classification linéairement séparables. Les réseaux de neurones multicouches « Feed forward » permettent de lever cette limitation, à condition d'employer une fonction de transfert non linéaire et de disposer de suffisamment de neurones sur les couches cachées (Parizeau. 2004). La définition de la taille du réseau et de sa structure sont deux étapes difficiles de la construction d'un RNA (Rumelhart et al. 1986, Hassoum. 1995), mais le choix de la structure du réseau reste plus facile à effectuer parce qu'il n'existe que deux formes principales de structure : la forme dite « Feed forward » et la forme récursive avec « feedback ». Les RNA de types « Feed forward » (figure I.4-a-) ou à propagation directe sont les réseaux de neurones où l'information passe de la couche i à la couche j avec $i < j$. Un réseau de type Feed forward est un réseau dont tous les neurones d'une couche sont reliés à tous les neurones de la couche suivante.

I.5.6. Perceptron multicouches (PMC)

Plusieurs architectures de réseaux de neurones existent. Mais, le Perceptron Multicouches, qui est une extension du Perceptron Monocouche, avec une ou plusieurs couches cachées entre l'entrée et la sortie est le plus répandu. Au niveau de cette architecture, chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (excepté pour les couches d'entrée et de sortie) et il n'y a pas de connexions entre les cellules d'une même couche. Ce type de réseaux a été récemment classé comme outil de prévision et de simulation des débits (Fortin et al. 1997). Ainsi, on considère que les informations circulent depuis l'espace des entrées jusqu'à l'espace des sorties (FFN) (Hopfield. 1982).

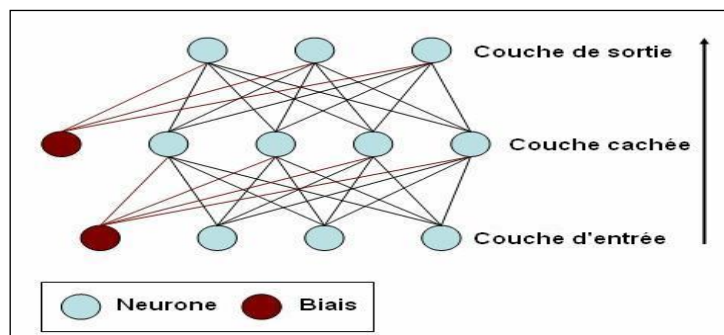


Figure (I.5) : Schéma d'un PMC totalement connecté à trois entrées, quatre unités cachées (neurones), et trois sorties (statistica 10).

Chaque neurone va en fait calculer une somme pondérée de ses entrées qu'il va transmettre à une fonction de transfert f afin de produire ses sorties. Pour chaque couche du réseau de neurones dans un réseau PMC, il existe également un terme de biais. Un biais est un neurone dans lequel la fonction d'activation est en permanence égale à 1 (Statistica 10). Les neurones et les biais sont organisés dans une structure de couches non-bouclées (Feed-Forward). Lors de la conception des Perceptrons Multicouches, il est important de bien spécifier le nombre de couches cachées ainsi que le nombre d'unités dans ces couches (Bishop. 1995). Mais il est également important de bien choisir les fonctions d'activation et les méthodes d'apprentissage (Statistica 10).

I.5.6.1. Les fonctions de transfert

La fonction d'activation est la fonction de transfert qui relie la sommation pondérée au signal de sortie. Il y'a plusieurs types de fonction d'activation. La figure (I.6) illustre les fonctions d'activation les plus utilisées.

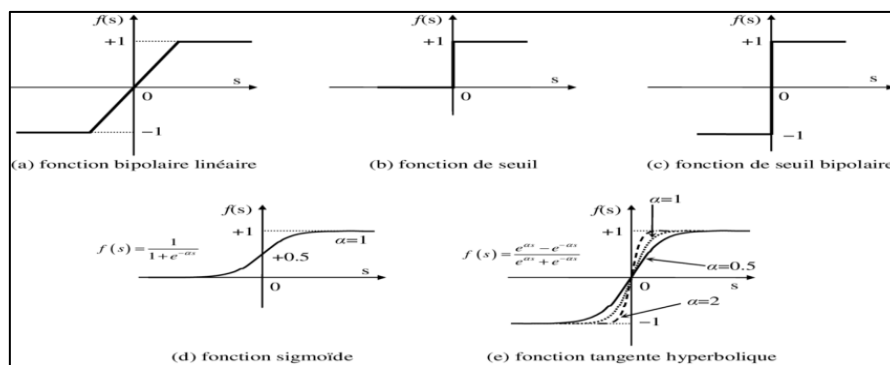







Figure (I.6) : Fonctions d'activation d'un neurone artificiel (Researchgate).

Différentes fonctions de transfert peuvent être utilisées comme fonctions d'activation du neurone sont énumérées au tableau (I. 1), dont les plus utilisés sont les fonctions : seuil, (en anglais : Hard limt), linéaire, et sigmoïde (Parizeau. 2004).

Tableau (I.1) : Fonctions de Transfert $a = f(n)$ (Parizeau .2004).

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icone	Nom Matlab
seuil	$a = 0$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$		hardlim
seuil symétrique	$a = -1$ si $n < 0$ $a = 1$ si $n \geq 0$		hardlims
linéaire	$a = n$		purelin
linéaire saturée	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $0 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$		satlin

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icone	Nom Matlab
linéaire saturée symétrique	$a = -1$ si $n < -1$ $a = n$ si $-1 \leq n \leq 1$ $a = 1$ si $n > 1$		satlins
linéaire positive	$a = 0$ si $n < 0$ $a = n$ si $n \geq 0$		poslin
sigmoïde			logsig
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^{nn} - e^{-nn}}{e^{nn} + e^{-nn}}$		tansig
compétitive	$a = 1$ si n maximum $a = 0$ autrement		compet

La fonction linéaire est très simple, elle affecte directement son entrée à sa sortie : $a=n$. Appliquée dans le contexte d'un neurone, cette fonction est illustrée à la figure I.6. Dans ce cas la sortie du neurone correspond à son niveau d'activation dont le passage à zéro se produit lorsque : $w^T p = b$.

La fonction de transfert sigmoïde est quant à elle illustrée à la figure (I.6). Son équation est donnée par :
$$a = \frac{1}{1 + \exp^{-n}} \dots\dots\dots (2).$$

Elle ressemble soit à la fonction seuil, soit à la fonction linéaire, selon que l'on est loin ou près de b , respectivement. La fonction seuil est très non-linéaire car il y a une discontinuité $w^T p = b$. De son côté, la fonction linéaire est toute à fait linéaire. Elle ne comporte aucun changement de pente. La sigmoïde est un compromis intéressant entre les deux précédentes. Notons finalement, que la fonction « tangente hyperbolique » est une version symétrique de la sigmoïde.

1.5.6.2. L'Apprentissage

Parmi les propriétés désirables pour un réseau de neurones, la plus fondamentale est sûrement la capacité d'apprendre de son environnement, d'améliorer sa performance à travers un processus d'apprentissage. L'apprentissage est un processus dynamique et itératif permettant de modifier les paramètres d'un réseau en réaction avec les stimuli qu'il reçoit de son environnement. Le type d'apprentissage est déterminé par la manière dont les changements de paramètre surviennent (Parizou. 2004). Ainsi, le réseau peut s'améliorer avec le temps. Au niveau des algorithmes d'apprentissage, il a été défini deux grandes classes selon

que l'apprentissage est dit supervisé ou non supervisé. Dans le cas de l'apprentissage supervisé, les exemples sont des couples (entrée, Sortie associée) alors que l'on ne dispose que des valeurs (entrée) pour l'apprentissage non supervisé (Touzet .1992).

La procédure usuelle dans le cadre de la prévision est l'apprentissage supervisé (ou à partir d'exemples) qui consiste à associer une réponse spécifique désirée à chaque signal d'entrée. La mise à jour des poids s'effectue progressivement jusqu'à ce que l'erreur (ou l'écart) entre les sorties du réseau (ou résultats calculés) et les résultats désirés soit minimisée (Coulibaly et al. 1999).

➤ *Les algorithmes d'apprentissage*

La plupart des algorithmes d'apprentissage des réseaux de neurones formels sont des algorithmes d'optimisation : ils cherchent à minimiser, par des méthodes d'optimisation non linéaire, une fonction de coût qui constitue une mesure de l'écart entre les réponses réelles du réseau et ses réponses désirées. Cette optimisation se fait de manière itérative, en modifiant les poids en fonction du gradient de la fonction de coût : le gradient est estimé par une méthode spécifique aux réseaux de neurones, dite méthode de rétropropagation, puis il est utilisé par l'algorithme d'optimisation proprement dit. Les poids sont initialisés aléatoirement avant l'apprentissage, puis modifiés itérativement jusqu'à obtention d'un compromis satisfaisant entre la précision de l'approximation sur l'ensemble d'apprentissage et la précision de l'approximation sur un ensemble de validation disjoint du précédent (Press et al. 1992).

Le choix de l'algorithme d'apprentissage pour un modèle connexionniste peut s'effectuer en fonction de plusieurs des critères suivants : la rapidité de convergence soit le nombre d'itérations nécessaires pour converger "suffisamment près" de la solution optimale, la mesure de cette "proximité" entre la solution optimale et la solution obtenue, la capacité de poursuite des variations (non-stationnarités) du système, la robustesse au bruit, la complexité et les coûts algorithmiques engendrés, etc (Wira. 2009). L'algorithme de Levenberg-Marquardt (LM) est parmi les algorithmes les plus populaires pour la résolution des problèmes des moindres carrés non linéaire. Il est basé sur une mise à jour de type Gauss-Newton des inconnues. L'utilisation de l'algorithme d'optimisation de Levenberg Marquardt offre de meilleures performances que l'algorithme classique des moindres carrés alternés, particulièrement pour l'extraction de données mal conditionnées (Nion et De Lathauwer. 2007).

I.6. La Neuro floue

La logique floue a été développée par Zadeh (1965) qui a proposé de modéliser un système complexe par un raisonnement « approximatif » basé sur des variables linguistiques et des sous-ensembles flous (Zadeh. 1971). Le principal intérêt de l'intégration neuro-floue réside dans l'utilisation conjointe des principales composantes de la logique floue et des réseaux de neurones en tirant parti d'une synergie entre les deux méthodes afin d'exploiter les avantages de chacune tout en compensant ses inconvénients par l'utilisation d'une autre dont les propriétés sont complémentaires. Cependant, les systèmes neuro-flous estiment une fonction sans avoir besoin d'un modèle mathématique et apprennent par expérience par le biais de données entrées-sorties (Mordjaoui. 2008). Des développements actuels sur des problèmes de prédiction de séries temporelles non linéaires montrent que les performances des Neuro Floue dépassent celles d'autres méthodes aussi bien en termes de précision des résultats que d'efficacité d'apprentissage (Wang et al. 2004). Les systèmes NF sont très prometteurs dans les cas où les données disponibles sont limitées (Mahabir et al. 2006).

I.6.1. Quelques types des systèmes Neuro Flous

Diverses associations des méthodes et architectures neuro-floues ont été développées depuis 1988, (Vasile. 2008). La figure suivante montre quelques modèles des systèmes neuro-flous. FALCON (a) et GARIC (b) interprètent la règle floue avec une structure à 5 couches, NEFCLASS (c) interprète la règle floue avec une structure à 3 couches et ANFIS (d) interprète la règle floue avec une structure à 6 couches.

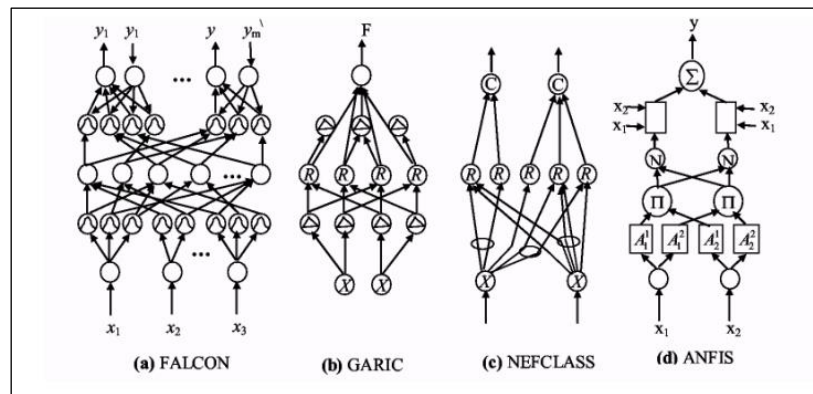


Figure (I.7): Différents types des systèmes neuro-flous (Vasile. 2008).

- **ANFIS (Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System):** ANFIS représente un système à inférence floue mis en application dans le cadre des réseaux adaptatifs. Il utilise la procédure d'apprentissage hybride. Cette architecture affine les règles floues obtenues par des experts humains pour décrire le comportement d'entrée-sortie d'un système complexe. Ce modèle

donne de très bons résultats en poursuite de trajectoire, approximation non linéaire, commande dynamique et traitement du signal (Vasile. 2008).

1.6.2.1. Les ensembles flous

Une variable linguistique (Zadeh. 1971) est une variable dont les valeurs sont des mots ou des phrases exprimées dans une langue naturelle ou un langage artificiel (Nakoula. 1997). Une variable linguistique est définie par : « $x_{\text{nom}}, L(x), U, M_x$ » avec : (i) x_{nom} : le nom de la variable linguistique

$L(x) = \{L_1; L_2; \dots; L_n\}$ est l'ensemble des valeurs linguistiques (ou encore appelé symbole ou terme linguistique ou étiquette) que peut prendre la variable x_{nom} .

U correspond à l'univers de discours associé à la variable x_{nom} . C'est l'ensemble de toutes les valeurs numériques que peut prendre la variable numérique associée à la variable linguistique x_{nom} ; (iv) M_x est une fonction qui associe à tout symbole de $L(x)$ une signification floue (Heddam et al. 2012).

Un sous-ensemble flou A est défini sur un domaine physique appelé univers de discours U , et par une fonction d'appartenance $F(x)$ qui associe, à chaque élément x de U , le degré de vérité (d'appartenance) $f(A)$ à x compris entre l'intervalle 0 et 1, soit, et cela contrairement à la logique classique où le degré d'appartenance ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). Un système d'inférence flou est une représentation théorique d'un processus en fonction des variables floues, des règles et des méthodes qui définissent la relation entre les entrées et les sorties d'un modèle (Guillaume et Charnomordic. 2013).

1.6.2.2. Structure de base d'un système basée sur la logique floue

La structure de base d'un système basée sur la logique floue est composée de quatre éléments principaux : Un premier bloc représente une base de connaissance, qui contient à la fois un ensemble de règles floues, connu sous le nom de la base de règles, et un ensemble de fonctions d'appartenance connue sous le nom de la base de données. Le deuxième bloc est le bloc de fuzzification qui réalise la transformation de valeurs numériques en informations symboliques floues. Un troisième bloc représente un moteur d'inférence qui applique un mécanisme de raisonnement flou afin d'obtenir une sortie floue. Enfin, le dernier bloc est le bloc de défuzzification, qui représente l'opération inverse de la fuzzification. La défuzzification fait correspondre à chaque résultat flou calculé, la sortie précise adéquate (Yager et Filev. 1994).

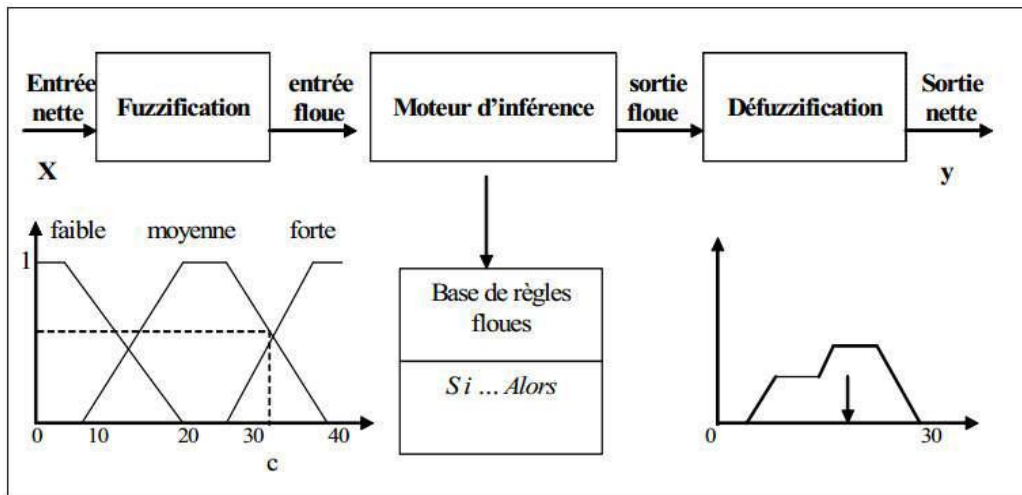


Figure (I.8): Structure d'un SIF (Guillaume. 2001).

Les systèmes flous s'appuient sur une représentation de la connaissance sous forme de règles « Si.....Alors » qui permettent de représenter les relations entre les variables d'entrée et de sortie dont l'expression générique est de la forme :

$$\mathbf{Si} \text{ (Antécédent) } \mathbf{Alors} \text{ (Conséquent)} \quad (3)$$

$$\mathbf{Si} \text{ (X est A) } \quad \mathbf{Alors} \text{ (Y est B)} \quad (4)$$

L'antécédent (prémisse) est une description linguistique qui indique les conditions de validité du phénomène représenté. Pour sa part, le conséquent (conclusion) représente le comportement associé aux conditions de validité décrites par l'antécédent (Heddami et al. 2012).

1.6.3. Les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence (adaptive neuro-fuzzy inference system, ou ANFIS)

Les systèmes neuro-flous sont des systèmes flous formés par un algorithme d'apprentissage inspiré de la théorie des réseaux de neurones. La technique d'apprentissage opère en fonction de l'information locale et produit uniquement des changements locaux dans le système flou d'origine (Nauck et Kruse. 1997).

1.6.4. Modèle Flou

Un modèle flou est un modèle linguistique basé sur des règles de type SI-ALORS. Il utilise des opérations logiques et des valeurs floues pour ses variables, ce qui permet de gérer l'information d'un processus tout comme l'homme le fait, Cela permet d'associer une valeur numérique à une valeur linguistique avec un certain « degré » entre 0 (aucune appartenance) et 1 (appartenance maximale) (Zadeh. 1965).

La structure d'un modèle flou comprend le choix :

- Du type de modèle à utiliser : Mamdani ou Takagi-Sugeno TSK

- Du type de fonction d'appartenance pour les ensembles flous décrivant une valeur linguistique.
- -Du type d'opérateurs logiques de connexion entre les variables.

Ensuite, l'ajustement du modèle traite de :

- L'ajustement des paramètres :
- Des fonctions d'appartenance ;
- De la fonction de sortie dans le cas des modèles de type TSK ;
- L'ajustement du nombre de règles.

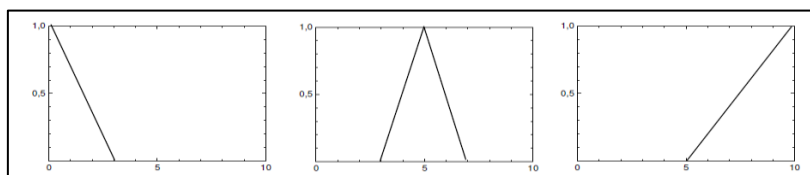
1.6.4.1. Les types des Modèles flous

On peut distinguer trois types de modèles flous basés sur des règles (Babuška. 1998) :

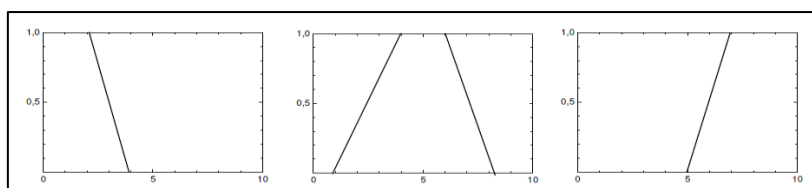
- **Modèle flou linguistique (ou modèle Mamdani)** dans lequel l'antécédent et le conséquent sont tous les deux des propositions floues qui utilisent des variables linguistiques (Mamdani. 1977).
- **Modèle flou relationnel** qui peut être considéré comme une généralisation du modèle linguistique dans lequel il est possible d'associer une proposition antécédent spécifique avec plusieurs propositions conséquentes différentes via une relation floue (Pedrycz. 1984).
- **Le modèle flou de type Takagi-Sugeno TS** Un autre type de modèle flou, approprié pour l'approximation d'une classe générale de systèmes non linéaires est celui proposé par Takagi et Sugeno (Takagi et Sugeno. 1985).

1.6.5. Les fonctions d'appartenance

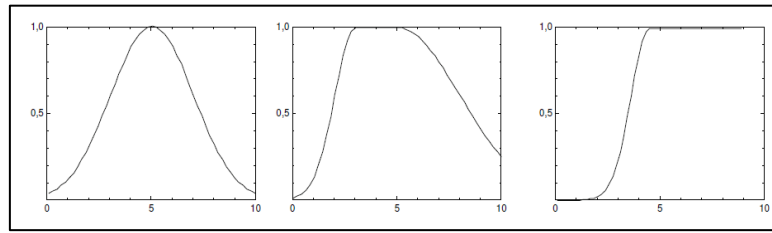
Typiquement plusieurs formes de fonctions d'appartenance sont utilisées dans les applications. La figure (I.9) montre un aperçu des fonctions d'appartenance les plus usuelles (Mokeddem. 2018).



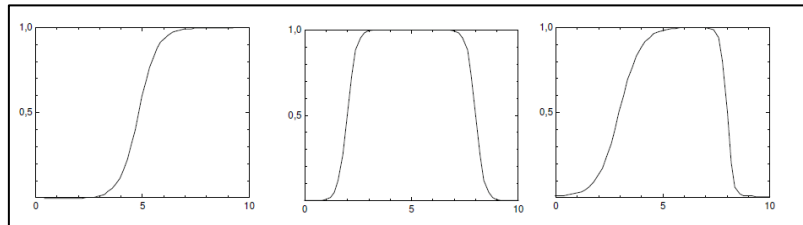
(a) Fonctions d'appartenance triangulaires



(b) Fonctions d'appartenance trapézoïdales



(c) Fonctions d'appartenance Gaussiennes



(d) Fonctions d'appartenance sigmoïdes

Figure (I.9) : Les fonctions d'appartenance les plus utilisées (Mokeddem. 2018).

Dans les univers de discours continus, les ensembles flous sont définis analytiquement par des fonctions d'appartenance. Afin de faciliter les calculs, elles sont souvent paramétrées (Babuška. 1998).

Dans la plupart des applications d'ingénierie, les entrées et les sorties sont des valeurs numériques. Dans ce cas, les éventuels prétraitements et post-traitement d'information peuvent inclure des opérations telles que le filtrage dynamique et la normalisation/dénormalisation des données.

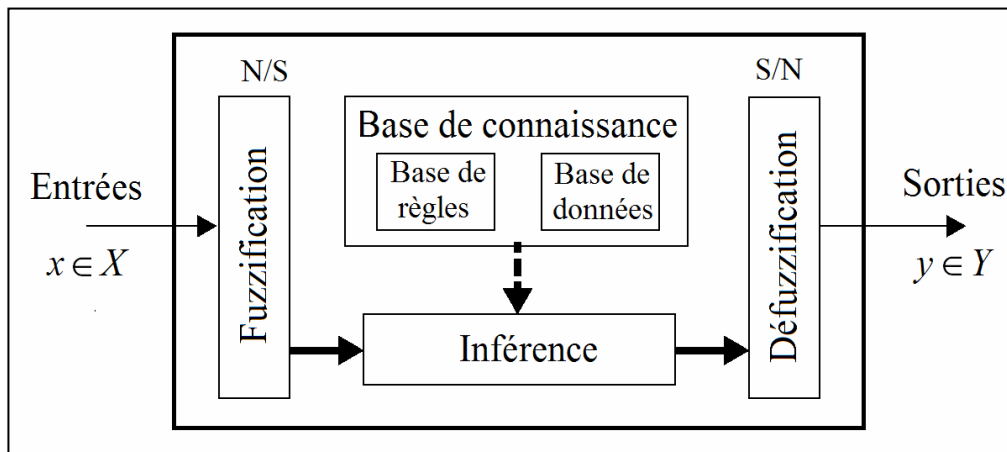


Figure (I.10) : Représentation interne d'un système flou (Grisales Palacio. 2007).

L'étape de fuzzification consiste à transformer les entrées numériques disponibles en parties floues. Celles-ci alimentent alors le mécanisme d'inférence qui à partir d'une valeur d'entrée et selon la connaissance fournie par la base de connaissance, détermine la valeur correspondante de la sortie. Cette base de connaissance est composée par la base de règles et par la base de données, qui stocke les fonctions d'appartenance associées aux termes linguistiques employés dans le système flou. Cela constitue le fondement du « raisonnement

approché » du système, car la combinaison des entrées avec les règles floues permet de tirer des conclusions. Enfin, la défuzzification est l'opération inverse de la fuzzification, en convertissant les parties floues relatives aux sorties du mécanisme d'inférence en sorties numériques (Palacio. 2007).

1.6.6. Construction d'un modèle TS à partir de données

Les techniques de clustering flou sont des outils puissants pour la reconnaissance des formes à partir des données. Dans le cadre de la modélisation floue des systèmes, les modèles Takagi-Sugeno sont considérés sous l'optique d'une approche de modélisation multi-linéaire, qui essaye de résoudre un problème complexe de modélisation en le décomposant en plusieurs sous-problèmes plus simples. Ces modèles permettent une décomposition automatique d'un système non linéaire dans un ensemble de régions linéaires (clusters). Pour cela, nous appliquons des techniques de clustering flou dans l'espace produit d'entrée-sortie des données. La figure (I.11) illustre la procédure de construction des modèles flous de type Takagi- Sugeno à partir de données, en utilisant des techniques de clustering. La procédure est itérative, dans la mesure où, dans une même session de modélisation, on peut répéter certains pas afin de tester différents choix pour plusieurs paramètres.

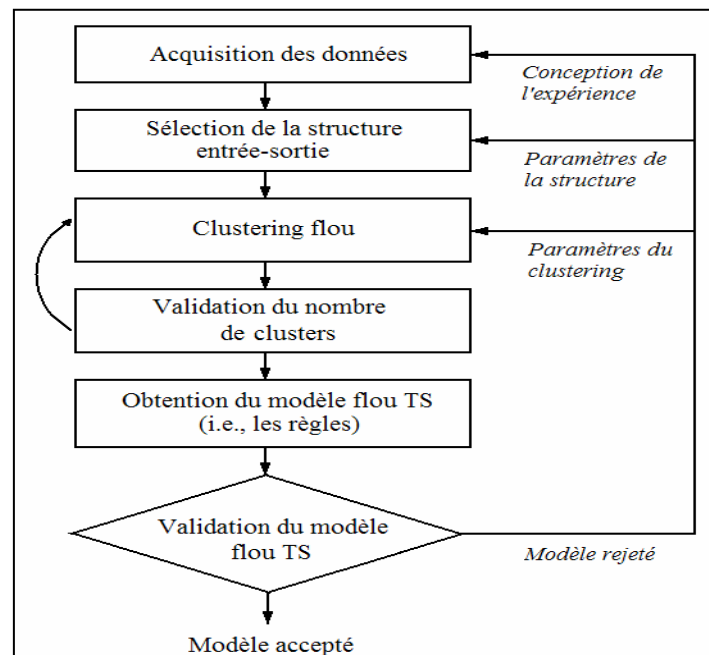


Figure (I.11) : Vue générale de la méthodologie d'identification non linéaire basée sur l'approche de clustering flou (Palacio, 2007).

Par intermédiaire de la validation, le modèle flou obtenu est considéré comme approprié pour le propos donné ou bien, il est rejeté. Dans ce dernier cas, certaines étapes de la méthodologie générale d'identification présentée sur la figure (I.11) peuvent être répétées

(Smith et Johansen. 1997). En plus de la validation numérique habituelle au moyen des critères de validation telle que les coefficients de détermination R^2 , les coefficients de NASH NSE, le calcul des erreurs entre les valeurs observées et celles simulées : Erreur quadratique moyenne RMSE (Root Mean Square Error), l'erreur moyenne absolue MAE..... L'interprétation des modèles flous créés joue un rôle important dans l'étape de validation.

Conclusion

L'érosion hydrique est spectaculaire dans le Nord Algérien, notamment dans les zones arides et semi-arides. En raison de la sévérité des phénomènes d'érosion hydriques et leur impact environnementaux, de nombreux chercheurs ont développé des relations liant le transport solide aux facteurs hydrologiques, dans le but d'estimer la dégradation spécifique du sol. Plusieurs auteurs ont souligné le rôle primordial des événements extrêmes (crues) dans la mobilisation d'importantes quantités de charges sédimentaires. La quantification et la modélisation du transport solide a fait l'objet d'études de plusieurs travaux à travers le monde dont les plus connus sont : la régression simple ou multiple, le krigeage, l'analyse Canonique des corrélations (ACC), l'analyse des composantes principales (ACP), support vector machine (SVM).... Récemment, plusieurs outils modernes ont été développés par les hydrologues pour faire face au manque et à l'insuffisance des mesures hydrologiques plus particulièrement celle des concentrations des sédiments en suspension CSS. Parmi ces méthodes, on peut souligner la méthode d'analyse fréquentielle régionale ou « la régionalisation » qui consiste à transférer l'information hydrologique d'un site jaugé vers un site non jaugé ou peu jaugé ayant un régime hydrologique similaire.

Au cours des dernières décennies, le progrès scientifique a été accompli par deux paradigmes d'intelligences artificielles : les réseaux de neurones artificiels RNA et les systèmes adaptifs d'inférence floue ANFIS, caractérisées par leur originalité, d'une importante capacité d'apprentissage, et d'un haut niveau de réflexion et de raisonnement. Ces deux modèles ont gagné récemment une grande popularité dans le domaine de la modélisation et la régionalisation hydrologique. Les deux approches ont prouvé leur capacité de capturer la non-linéarité des événements hydrologiques, ainsi que leur robustesse par rapport aux modèles précédents.

Chapitre II :

Zone d'étude

Introduction

Ce chapitre se propose de rappeler les principaux éléments structurants la zone d'étude, à savoir leurs caractéristiques, hydrogéologiques, climatiques, régime pluviométrique et la couverture végétale des cinq grands bassins versants : Côtiers Constantinois, Hauts plateaux constantinois, Kébir Rhumel, Seybouse, et Soummam, dans le but de bien définir le comportement des régimes d'écoulement des oueds influençant les phénomènes d'érosion dans l'Est Algérien.

Le choix de la zone d'étude composée par cinq grands bassins versants situés dans le Nord Est Algérien, est justifié par l'importance des phénomènes du transport solide et de l'insuffisance ou l'absence quasi-totale des mesures hydrologiques notamment ceux des concentrations des sédiments en suspension dans certains sites non jaugés ou peu jaugés, ce qui pose des grandes difficultés lors de la quantification de la charge solide et la détermination de son impact sur les barrages et les cours d'eau dans la zone d'étude.

Les disparités physiques confèrent à la région de l'Est algérien deux systèmes hydrologiques opposés : des oueds à écoulement exoréique, relativement abondant, au Nord et des oueds à écoulement endoréique, à manifestation modeste, au Sud. Les apports des cours d'eau, à forte variabilité spatio-temporelle, sont analysés et cartographiés à l'aide des séries de débits mesurés aux stations de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH d'Alger. Les profils hydrologiques offrent l'avantage de visualiser les variations spatio-temporelles, des apports des cours d'eau. Le rendement hydrologique différencié des bassins est appréhendé à travers l'étude des débits spécifiques. C'est ainsi que le rôle prépondérant du facteur climatique, pluviométrique en particulier, est apparu bien plus déterminant que celui de la surface drainée (Mebarki. 2005).

II.1. Délimitation de la zone d'étude

L'étude concerne cinq grands bassins versants situés au Nord-Est de l'Algérie : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux Constantinois, le Kébir Rhumel, le Seybouse, et le Soummam. Cette région hydrographique est limitée au Nord par la Mer Méditerranée, à l'Est par les frontières tunisiennes et par le bassin de la Mdjerda (12), à l'Ouest par les bassins versants : bassins des Côtiers Algérois 02, Bassin de l'Isser 09 et bassin du Chott Hodna. Quant au Sud notre zone est limitée par le bassin versant de Chot Melrhir. Elle s'étend sur une superficie de 45 531 Km², et englobe 48 sous-bassins versants qui forment les cinq grands bassins : les Côtiers Constantinois subdivisées en 18 sous-bassins ; les Hauts Plateaux Constantinois subdivisés en 7 sous bassins ; le Kebir Rhumel subdivisé en 7 sous-bassins versants ; le bassin de la Seybouse avec 06 sous bassins, et enfin celui de Soummam avec 10 sous-bassins versants (Figure II.1).

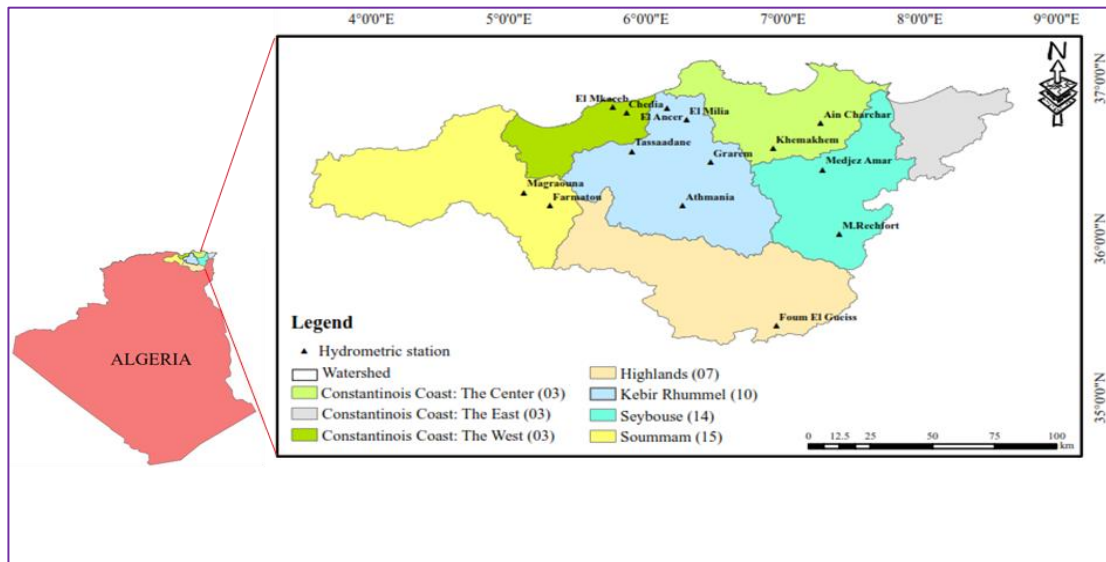


Figure (II.1) : Zone d'étude et stations hydrométriques.

Les superficies des cinq bassins versants sujet d'études sont de l'ordre suivant (figure II.1) :

- Côtiers Constantinois : 11 509 km².
- Hauts Plateaux Constantinois : 9 615 km².
- Kebir Rhumel : 8 811 km².
- Seybouse : 6 471 km².
- Soummam : 9125 Km².

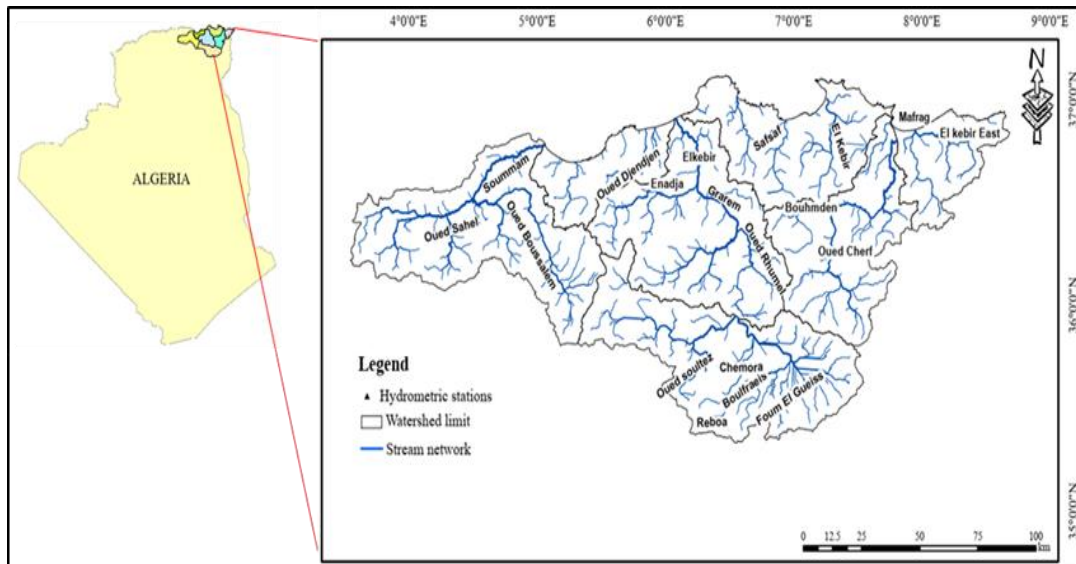


Figure (II.2) : Réseau hydrographique de la zone d'étude.

II.1.1. Les Côtiers Constantinois (03)

Le bassin versant des Côtiers Constantinois est situé au Nord-Est de l'Algérie. Il se décompose de trois grands bassins ; les côtiers Constantinois Ouest, Centre et Est. Ce bassin s'étend sur une superficie de 11119 Km², et limité au Nord par la mer méditerranée, au Sud par le bassin Kebir Rhumel (10), et celui de la Seybouse (14) et le bassin de la Medjerda (12), à l'Ouest par les bassins de la Soummam (15), et à l'Est par la frontière Tunisienne. Le bassin des Côtiers Constantinois couvre dix wilayas « Bejaia -Jijel - Skikda-Annaba –El Tarf- Setif- Mila-Constantine-Guelma-Souk Ahras» (Abdeddaim. 2018).

➤ Les Côtiers Constantinois Est

Le bassin des Côtiers Constantinois Est de 3 203 km² de surface est un espace rural limité : au Nord par la Mer Méditerranée ; au Sud par le bassin versant de la Medjerda ; à l'Ouest par le bassin versant de la Seybouse ; A l'Est par la frontière Algéro-Tunisienne. Le bassin versant est à vocation essentiellement agro-sylvo-pastorale où l'application d'une très grande variété de cultures est favorable (périmètres irrigués de : Bounamousa 14800 ha, Cheffia 250 ha, El Frin 250 ha, Mouaissia 100 ha, Zeribi 110 ha et Souarek 50 ha). (Zenati et Messadi. 2014). Le bassin confère des zones humides dont certaines sont classées par la convention Ramsar : Tonga ; El Mellah ; Oubeira ; Lac des oiseaux. Un réseau hydrographique très développé draine le bassin, dont les principaux cours d'eaux sont : les oueds El Kebir Est et Bounamousa, leur confluence conduit à l'oued Mafragh. Les deux oueds transitent un apport de 309 et 76 hm³/an respectivement (Zenati et Messadi. 2014).

➤ *Les Côtiers Constantinois Centre*

Le bassin d'une superficie totale de 5 582 km² est limité à l'ouest par le bassin versant de l'oued Safsaf (wilaya de Skikda) à l'Est par celui de la Seybouse à l'Ouest et celle de Guelma au Sud, et au Nord par la Méditerranée. Plusieurs cours d'eau importants à écoulement hydrologique assez dense, s'écoulent de différentes chaînes de montagnes et débouchent dans la Méditerranée (ANRH de Constantine. 2006.). Le cour d'eau principal Kébir Ouest débite de 282 m³/an (Ben Rabbah et al. 2006).

➤ *Les Côtiers Constantinois Ouest*

Le Côtier Ouest est limité par la mer méditerranée au Nord, par le Kebir Rhumel au Sud et à l'Est et par la région du Côtier Algérois-Soummam-Hoda à l'Ouest. L'apport liquide annuel de l'oued Djendjen est important. Il est de l'ordre de 110 millions de m³ (Fenazi et al .2013).

II.1.2. Les Hauts plateaux Constantinois (07)

Le bassin versant des Hauts Plateaux Constantinois s'étend sur une superficie de 9615 Km², le bassin est limité au Nord par le bassin du Kébir Rhumel (10) et la Seybouse (14), au Sud par le bassin du Chott Melrhir (06), à l'Ouest par celui de la Soummam (15), et de Hodna (05) et à l'Est par le bassin de la Medjerda. Il couvre cinq wilayas « Oum El Bouaghi - Khenchela - Mila - Sétif - Batna ». Le territoire de ce bassin comprend les plaines d'Ain M'lila au Nord du bassin et les plaines d'Ain Touta et Batna au Sud, aussi les hautes plaines Sétifiennes et les plaines de Bellaezma à l'Ouest et les plaines de Remila à L'Est. Le bassin nommé remembre sept sous bassins versants présentant un chevelu hydrographique ramifié et moins dense drainé par deux grands oueds « Chemora-Boulefrais » (Abdeddaim. 2018).

Les bassins élémentaires d'oued Chemora d'oued El Gueiss et d'oued Reboa sont parmi les plus importants. A eux trois, ils représentent le volume le plus conséquent des écoulements des Hauts Plateaux Constantinois. Ils font partie de la zone de transition entre la montagne et la plaine qui s'allonge d'Ouest en Est au pied des Aurès. Cette zone renferme de grandes dépressions continentales salées appelées chotts et Sebkhas. Elle est parcourue par un réseau hydrographique assez dense, à écoulement endoréique. Les oueds Chemora, Reboa et El Gueiss alimentent ces sebkhas : Sebkhet Djendli Garâet, Ank-Djemel, et Garâet Et-Tarf (Tatar et al. 2015).

II.1.3. Le bassin Kébir Rhumel (10)

Le bassin kébir-Rhumel s'étendant entre la Mer Méditerranée et les Hautes Plaines des lacs Sales au Sud, il est juxtaposé aux autres unités hydrologiques recouvrant également Tell et Hautes plaines : le bassin de la Seybouse à l'Est et le bassin de la Soummam à l'Ouest.

Le bassin est drainé par deux cours d'eau importants : dans la partie sud, l'oued Rhumel et dans la partie ouest l'Oued Enndja. Leur confluence à l'aval de Grarem donne l'oued El Kébir, lequel rejoint plus au nord la Méditerranée. L'oued Kebir-Rhumel, long de 200 km, draine plusieurs domaines géologiques et hydrogéologiques très différents (Mebarki, 1988). Le bassin du Kebir-Rhumel couvre six wilayas « Oum El Bouaghi - Skikda-Constantine Mila-Sétif- Jijel ».

Le territoire de ce bassin comprend les plaines de Fadj M'zala, Ain M'lila et celles d'El Khroub au niveau du côté Sud du bassin, et les massifs « de Skikda-Jijel» au Nord du bassin. Le bassin du Kebir-Rhumel remembre sept sous bassins versants présentant un chevelu hydrographique très ramifié et très dense totalisant plus de 8000 Km. Il comprend trois grands oueds « Boumerzoug – Rhumel Endja - Kebir». C'est un bassin septentrional, à écoulement relativement fourni, de type exoréique (Abdeddaim, 2018).

II.1.4. Le Seybouse (14)

Le bassin qui s'étend entre les longitudes 6°48'W et 7°59'E, et les latitudes 35°53' Sud et 36°57' nord-est. L'un des cinq grands bassins versants, il occupe la troisième place quant à sa superficie après les bassins Kébir-Rhumel et de Medjerdah-Mellegue. Le bassin de la Seybouse couvre sept wilayas « Oum El Bouaghi - Skikda-Annaba –El Tarf -Constantine-Guelma-Souk Ahras ». La Seybouse, est un oued méditerranéen, naît dans les hautes plaines semi arides, sur les revers méridionaux de l'Atlas Tellien. Il s'étend vers le sud-ouest sur une distance de 160 Km jusqu'à l'Atlas Saharien. Depuis sa source dans les hautes plaines de Sellaoua et Heracta, la Seybouse draine un ensemble de régions très hétérogènes. Aux hautes plaines, au relief assez simple et aux écoulements lents et parfois même nuls, succède l'Atlas Tellien fortement accidenté de structure très complexe où le réseau hydrographique et tantôt adapté, tantôt inadapté à la structure. Les oueds sont à débits irréguliers. Le profil en long, permet l'évacuation rapide des eaux (Khelifa et al. 2011).

Le bassin de la Seybouse se compose de trois sous-bassins : le sous bassin de la haute Seybouse ; le sous bassin de la moyenne Seybouse et le sous bassin de la basse Seybouse.

- **Le bassin de la haute Seybouse** : Dans Cette zone, le relief est assez simple dans son ensemble. Les oueds et leurs affluents convergent tous vers Moulin Rochefort. L'Oued Trouch et l'Oued Aïn Snob se jettent dans l'Oued Cherf au sud de Moulin Rochefort, de même que l'Oued Settara qui se jette aussi au Moulin Rochefort (ABH de Constantine, 2019).

- **Le bassin de la moyenne Seybouse** : Cette vaste partie centrale de la Seybouse se caractérise par une hétérogénéité du relief et son cloisonnement (montagnes, vallées, plaines, collines, versants...), elle se compose de quatre sous bassins : Le sous bassin du bas Charef, Bouhamdanne, Guelma, et le sous bassin d'Oued Maleh.
- **Le bassin de la basse Seybouse (Seybouse maritime)** : Le cours d'eau de la Seybouse prend sa voie entre Bouchegouf et Dréan, où il reçoit oued Ressoul, drainant la région humide d'Ain Berda. La basse Seybouse est constituée principalement par la plaine subsidence d'Annaba. C'est une région à vocation agricole avec de grands périmètres d'irrigation moderne (ABH Constantine. 2019).

II.1.5. Le Soummam (15)

Le bassin versant de la Soummam se trouve au Nord de l'Algérie. Il est caractérisé par la présence de deux plateaux (le plateau du Bouira et le plateau du Sétif) et de la vallée de la Soummam. Il est limité au Nord par les montagnes de la grande Kabylie (massif du Djurdjura), par la mer méditerranée et les chaînes côtières de la petite Kabylie. Au Sud, il est limité par les monts de Hodna (Benhamiche. 1997). Le bassin de la Soummam fait partie des bassins versants tributaires de la Méditerranée. Il est composé de 10 sous-bassins versants (Viasimir. 1965). Le système de drainage principal du bassin versant de la Soummam comprend vers l'Ouest, l'oued Sahel et ses affluents, et vers l'Est, l'oued Boussellem et ses affluents. Ces deux rivières se réunissent près d'Akbou pour former l'oued Soummam qui se jette dans la mer méditerranée à Béjaïa après un parcours de 80 km environ (Zouggaghe et al. 2014).

Le bassin couvre une région essentiellement montagneuse caractérisée par un réseau hydrographique très marqué et bien alimenté ayant provoqué des érosions profondes. Il est caractérisé par son irrégularité avec des resserrements jusqu'à 100 m de largeur, en amont de sidi Aich, et des élargissements jusqu'à 4-5 km, comme dans la région d'El Kseur, ou à la plaine de Bejaia (Belkhiri et Mouni. 2014).

II.2. Pluviométrie dans la zone d'étude

Les précipitations sont plus importantes dans la partie Nord-Est de l'Algérie, où elles atteignent jusqu'à 1400 mm/an. Le massif du Djurdjura, situé en Kabylie, et le massif de l'Edough, situé plus à l'Est, sont les zones les plus arrosées en l'Algérie (Touazi et al. 2011). Encore plus à l'intérieur des terres, les précipitations sont moins abondantes. Les vents dominants de l'Est et du Nord-Est en été changent pour l'Ouest et le Nord en hiver avec un effet sur l'augmentation générale des précipitations de septembre à décembre, une baisse vers

la fin de l'hiver et les mois du printemps, et une absence presque totale durant les mois d'été (Meddi et al. 2015). La carte des précipitations présente un intérêt scientifique, dans les études des régimes pluviométriques. Elle se place en amont de toutes les études relatives au fonctionnement hydrologique. En effet, elle demeure le facteur le plus important dans la détermination des régimes hydrologiques des cours d'eau. Plusieurs études ont été faites sur cette variable climatique. Selon (Mebarki. 2005), les travaux réalisés auparavant sont basés sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes, à partir des données mesurées aux stations, en s'appuyant sur un fond hypsométrique.

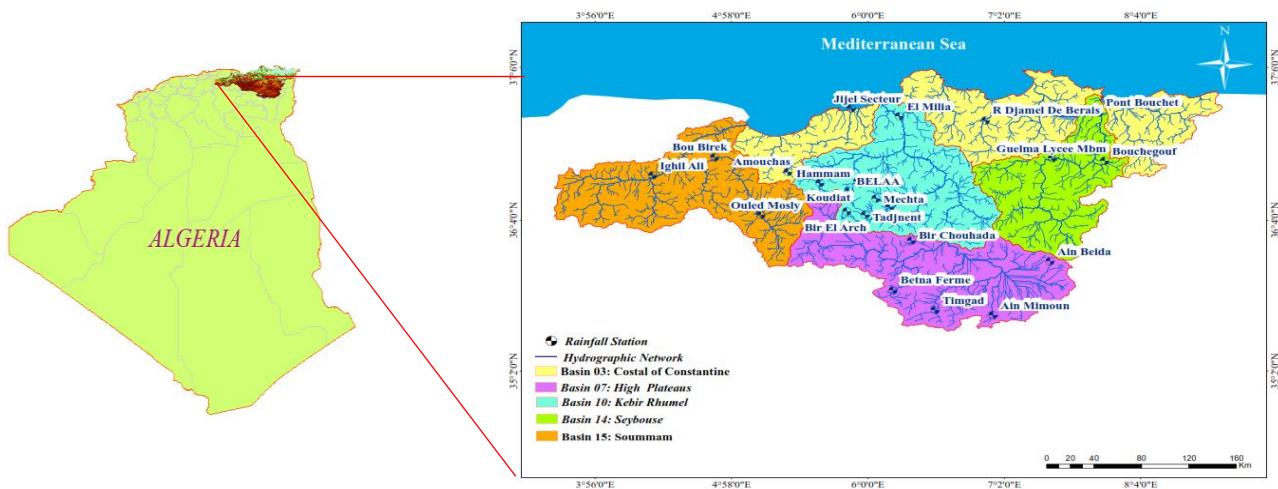


Figure (II.3) : stations pluviométriques.

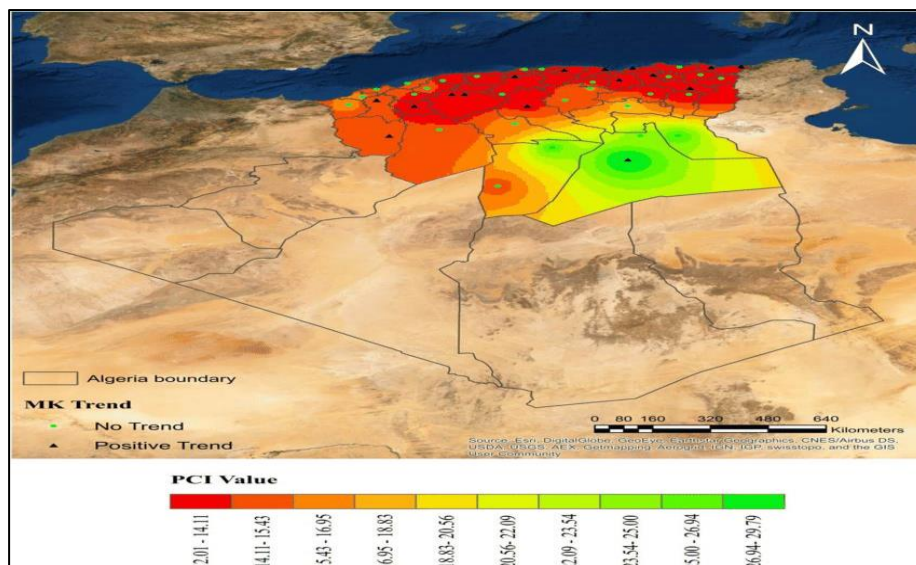


Figure (II.4) : Répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles dans le nord de l'Algérie pour la période de (1980-2013) (Aieb, et al 2022).

L'analyse du régime pluviométrique à l'échelle spatiale n'a fait que confirmer la forte variabilité des précipitations de l'Est et Ouest et du Nord au Sud, qui est principalement liée aux grands ensembles géographiques du pays (Taibi. 2011). En 2004, l'Agence nationale des

ressources hydriques (ANRH) a consacré une étude sur l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau au Nord de l'Algérie. L'analyse met en évidence une nette tendance à la baisse des précipitations à partir de 1975 (plus de 25 années successives), les cinq plus faibles totaux annuels du siècle ont été enregistrés pendant cette période. L'analyse de persistance des années sèches par quartile a mis en évidence à l'échelle spatiale la variation du degré de sévérité de l'Est en Ouest, qui a été plus importante pendant les années 80 et 90 (Taibi. 2011).

La figure (II.4) montre la quantité de précipitations dans le nord de l'Algérie entre 1901 et 2020. Selon la carte, la variabilité spatio-temporelle des précipitations interannuelle IARR (Inter-annual rainfall) varie entre un maximum de 221 mm et un minimum de 5 mm, répartis respectivement des régions du Nord-Est au sud, dans lesquelles la zone couvrant la partie nord des bassins Soummam 15, kébir Rhumel 10, et Seybouse 14 montre des valeurs IARR allant de 190 mm à 221 mm, entre 1901 et 1930. D'une autre part, la zone qui couvre les bassins Seybouse 7 et la partie sud des bassins : Kébir Rhumel 10 et Soummam 15 ont montré des valeurs IAR s'étalant entre 110 et 125 mm. Une sécheresse a été observée pour les pluviométries interannuelles entre 1931 et 1960, en particulier dans les bassins des Côtiers Constantinois 3, Kébir Rhumel 10 et le Seybouse 14. Le minimum des mesures de l'IAR a atteint 80 mm. Pour la période (1991-2020), la zone nord-est couvrant les bassins : 3, 10, 15 a montré une abondance d'eau, en particulier dans les bassins 10, et la partie sud des bassins Soummam, la quantité de la pluviométrie interannuelle avait des valeurs supérieures à 140 mm (Aieb et al . 2022).

II.3. Climat dans la zone d'étude

De nombreux travaux sur la climatologie et la bioclimatologie ont été réalisés sur l'Algérie. L'ensemble de ces auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen de transit entre la zone tempérée et la zone tropicale. Soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, ce climat est marqué par des oscillations saisonnières avec une longue période de sécheresse estivale (3 à 4 mois sur le littoral, 5 à 6 mois aux niveaux des Hautes Plaines, et supérieurs à 6 mois au niveau des versant sud l'Atlas saharien). Les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle, due à l'existence de gradients longitudinal et latitudinal (Djellouli. 1990).

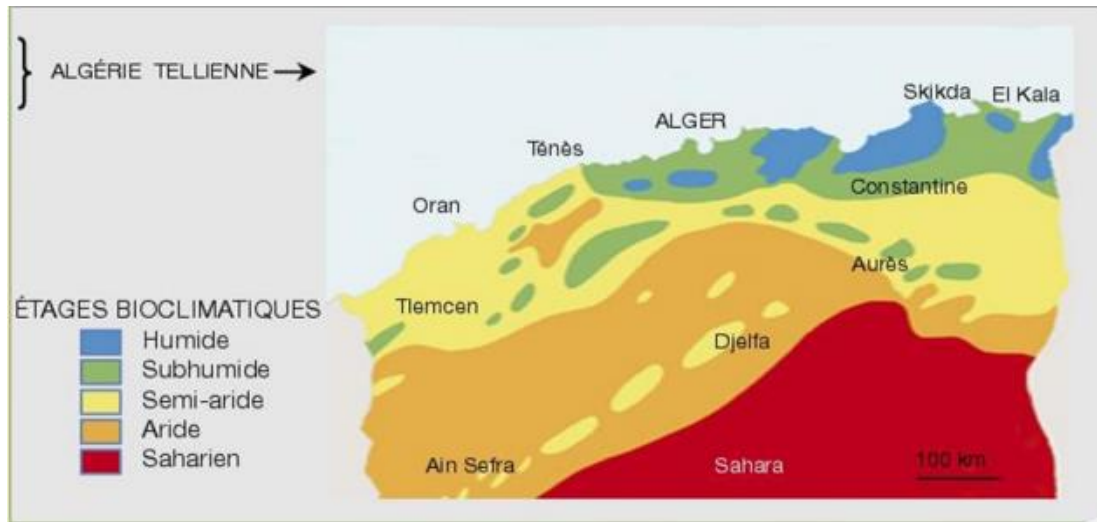


Figure (II.5) : Carte bioclimatique de l'Algérie selon le système d'Emberger (ANAT, 2004).

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de septembre à mai et un été sec et ensoleillé. L'Atlas tellien joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles. Dans l'Est de l'Algérie, les températures moyennes sont un peu plus basses, et sur les steppes du Haut Plateau, les températures hivernales sont à quelques degrés au-dessus de zéro. Une caractéristique marquante du climat dans cette région est le sirocco : un vent soufflant du sud au large du désert. Ce vent atteint aussi, à l'occasion, les zones côtières. Les pluies sont assez abondantes le long de la partie côtière du Tell, les précipitations augmentent de l'ouest vers l'Est (Meddi et al. 2015).

Le bassin versant des Côtiers Constantinois Est est soumis à un climat méditerranéen sub-humide. Il reçoit une lame d'eau moyenne annuelle de 789 mm. La prédominance du relief montagneux au sud du bassin versant explique le taux élevé du ruissellement (Mebarki. 2005). Le climat des Hauts Plateaux est caractérisé par une continentalité marquée compte tenu de la latitude de la disposition Est-Ouest des reliefs qui limitent le passage vers l'intérieur du pays des influences méditerranéennes. Il est marqué par une faiblesse et une irrégularité des précipitations. Plusieurs mois sans pluies, se succèdent en dehors de la saison estivale (Tatar et al. 2015). Les conditions climatiques au bassin du Soummam ne sont pas uniformes, elles varient suivant la continentalité. A Bejaia et dans la vallée de la Soummam inférieure, le climat est essentiellement méditerranéen, généralement humide. Sur les plateaux de Sétif et de Bouira, le climat est continental. La partie sud de plateau de Sétif est aride (Zougaghe et al. 2014).

Le bassin de Seybouse est soumis à un climat humide et sub-humide, son climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes. L'une, humide et froide, et l'autre, sèche et chaude (Derradji et al. 2004). Le bassin Kébir Rhumel est marqué par un climat méditerranéen à forte variabilité spatiale et sur tout temporelle influencée fortement par l'évapotranspiration.

II.4. Aperçu sur la géologie

L'Algérie orientale a fait l'objet de plusieurs études géologique, dont celles de : J-M Vila (1980) sur la chaîne alpine de l'Algérie orientale, la synthèse de Wildi (1983) sur la chaîne tellorifaine de l'Algérie du Nord, et l'étude de Laffite (1939) sur les Aurès.

La géologie bassin des Côtiers Constantinois est très complexe, elle est constituée par un empilement de nappes du Nord au Sud : le Socle Kabyle et la Dorsale Kabyle, la série des Flyschs (Mauritanien, Massylien, Numidien et ultra Tellien), la série des grès numidiens et la nappe néritique du Constantinois (carte géologique INGA. 1962). Dans les Hauts plateaux, les monts du Tell qui les isolent de l'influence maritime et constituent la limite septentrionale des hauts plateaux Constantinois. Les dépôts accumulés dans une plaine sont composés dans l'ensemble, de sable, gravier et de limon, résultants de la charge solide des oueds qui perdent leur compétence avant d'atteindre les lacs salés.

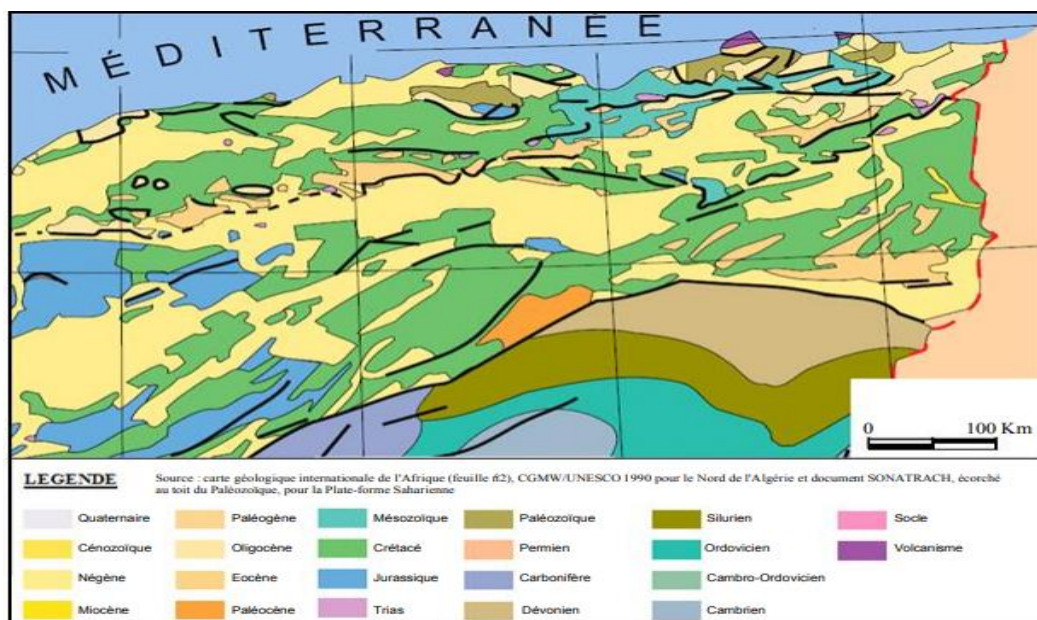


Figure (II.6) : Carte géologique d'Algérie Orientale (Division Petroleum Engineering et Développement).

Les principaux oueds du bassin kébir Rhumel s'inscrivent dans un contexte géographique qui présente de l'amont à l'aval des aspects nettement contrastés : au relief plat et dénudé et au chevelu hydrographique assez lâche des hautes-plaines, succèdent de basses

collines telliennes aux vallées encaissées, lesquelles se prolongent au nord par des massifs montagneux (massifs anciens de la petite Kabylie) affectés par une densité de drainage importante (Mebarki. 1988). On compte cinq grands domaines géologiques et hydrogéologiques dans le bassin: Le domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises, le bassin néogène de Constantine-Mila, le domaine des « nappes » tectoniques de Djemila, le domaine de la dorsale kabyle et des masses gréseux numidiens et le domaine du socle granitique et cristallophylien de la petite Kabylie d'El Milia.

L'existence de dépressions et de bassins renfermant des nappes alluviales traversées et reliées par la Seybouse permettent de régulariser l'écoulement saisonnier de cet oued. Le réseau est en partie en baïonnettes qui sont dû au compartimentage des volumes montagneux influencés par lithologie (Khelifa et al .2011). Le bassin-versant de l'oued Soummam est constitué dans ses grandes lignes, sur la rive gauche, par de l'Oligocène traversé par des formations du Crétacé inférieur, du Miocène apparaît dans la partie aval, en bordure de l'oued (Admiraal et al. 1993).

II.5. Lithologie et Topographie

La zone d'étude est disposée en chaînes parallèles de Gneiss et de Granite au niveau de bande littorale de l'atlas tellien (Jijel-Skikda-Annaba) et des marnes qui dominent le bassin des Côtiers Constantinois Est et celui de Kébir-Rhumel. Cette formation se trouve aussi au niveau de la wilaya de Souk Ahras et au sud de Tébessa. On y trouve aussi les alluvions au niveau des plaines de Barika, les hautes plaines de Khenchela et les monts de Mahouna et d'oued Cheham (Guelma). Les grès s'aperçoivent au niveau du bassin des Côtiers Constantinois Ouest et Est. Les flyschs se dispersent au niveau de la bande côtière. L'argile se trouve au niveau du bassin de la Seybouse, dans des Haux-plateaux (les hautes plaines d'El-Madher-Chemora) et le Nord-Est du bassin de la Medjerda (Mebarki. 2002). À la lumière des cartes altimétriques et pentes, établies par la direction générale des forêts en 2010, la région d'étude est divisée en quatre zones selon un axe Nord-Sud :

- *Zone à faible altitude (0-400m) ;
- * Zone à moyenne altitude (400-800m) ;
- *Zone à altitude élevée (800-1200 m) ;
- * Zone à altitude très élevée (800-1200 m) ;
- *Zone à altitude très élevée (1200-2200 m).

Concernant les pentes, elles sont subdivisées en quatre classes :

*Classe 1 : $0\% \leq \text{Pente} \leq 5\%$;

*Classe 2 : $5\% \leq \text{Pente} \leq 15\%$;

*Classe 3 : $15\% \leq \text{Pente} \leq 35\%$;

•Classe 4: $\text{Pente} > 35\%$.

II.6. Occupation des sols et types de couvertures végétales

La végétation joue aussi un rôle essentiel dans la protection du sol, elle exerce une protection mécanique directe sur l'écoulement fluvial, en diminuant la force vive des eaux et en favorisant leur infiltration. Cette résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. En matière d'érosion des sols, c'est surtout le facteur « taux de recouvrement » qui intervient le plus, même s'il varie d'une espèce à l'autre (Guidoum. 2017). Les divers types de couverture végétale sont classés de la façon suivante :

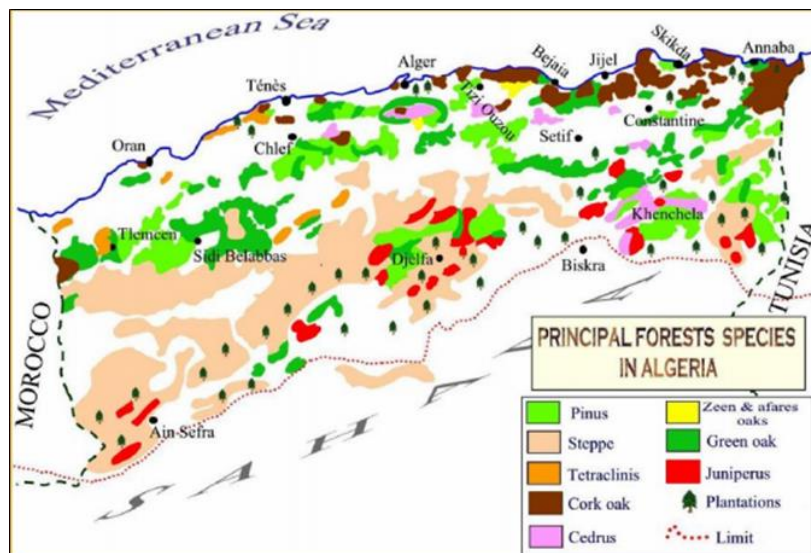


Figure (II.7) : Carte des formations végétales de l'Algérie du Nord (DGF. 2009).

- **La végétation forestière**

Avec sa faible extension en termes de surfaces et sa discontinuité, le couvert forestier s'étend depuis les forêts des montagnes méditerranéennes jusqu'aux forêts des hautes montagnes des Aurès (Guidoum. 2017). Les massifs d'Edough, la Mahouna, et les assises gréseuses de la chaîne numidique ont des taux de recouvrement de 70%, 40% et 35% respectivement. Le climat continental des hautes plaines marque durement la végétation (dominance de la céréaliculture) de cette région. (Mebarki. 2005). Les Cédraies présentent 66 % de la surface de l'ensemble des versants Nord des Aurès. Le couvert forestier dans cette région se trouve à différents niveaux de dégradation et de défrichement. Actuellement, la

sécheresse prolongée a aggravé la situation et en certains terrains le couvert forestier a cédé la place à l'installation d'espèces steppiques (Guidoum. 2017).

- ***Végétation Steppique***

Elle occupe les hautes plaines Constantinoises, elle est plus développée encore dans la région de Nememcha, qui est une zone tampon entre le Tell agricole au Nord, et le désert du Sahara au sud. Dans l'Atlas Tellien, la steppe d'Alfa (*Stipe Tenacissima*) domine, et se partage avec l'espace cultivé (Ghachi. 1986). La dégradation steppique est concomitante à une extension de labours illicites, au surpâturage et au phénomène de sédentarisation des tribus pasteurs-nomades (Mebarki. 2005). Ces effets négatifs, aggravés par de longues périodes de sécheresse, ont provoqué de graves phénomènes érosifs.

- ***Végétation des terres cultivées***

La céréaliculture est la principale spéculation effectuée dans les hautes plaines à climat semi-aride à hiver frais. Elle est souvent pratiquée avec la jachère dans les hautes plaines du nord. Les zones bioclimatiques humides et subhumides sont le domaine de cultures méditerranéennes et de l'arboriculture de montagne. La plaine d'Annaba, les périmètres de Guelma et Bouchegouf sont des terres fertiles aux ressources agricoles nombreuses et variées. Dans la région montagneuse des Aurès, les terrains occupés par les arbres fruitiers et les cultures intensives sont répartis en petites surfaces, le long des vallées étroites des oueds (Guidoum. 2017).

II.7. L'érosion dans la zone d'étude

L'Algérie du Nord est soumise à des fortes pressions en homme et en bétail qui ont engendré une sérieuse dégradation des sols et de la couverture végétale. Nous estimons pratiquement à plus de 20 millions d'hectares les terres sont touchées par l'érosion particulièrement dans les zones montagneuses où sont implantés plus de 90% des barrages (Mazour et al. 2002). L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie de l'Est l'érosion touche (26%) (Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire, 2000).

II.7.1. L'érosion dans les Côtiers Constantinois : Le lessivage est la forme d'érosion la plus dominante en Algérie, Elle est observée dans les sols cultivés dans toute la région méditerranéenne, en particulier le long des côtières Constantinois, qui est particulièrement vulnérable à l'érosion pendant les saisons d'automne et d'hiver, avec de grandes fluctuations

spatio-temporelles. Le bassin de Djendjen, dans le nord de l'Algérie, demeure le plus dégradé avec un taux de perte annuelle de l'ordre de 7619 t/km²/an (Bourouba. 1998).

II.7.2. L'érosion dans le Kébir Rhumel : la partie arrosée du Nord correspond aux terrains à dominante imperméable qui favorise largement le ruissellement superficiel, au contraire, la partie méridionale du bassin correspond à des formations perméables. Le bassin est caractérisé par une couverture végétale discontinue, en temps espacé, favorable à l'écoulement et à l'érosion, mis à part le bassin inférieur, où une bonne partie est recouverte par des formations arbustives efficaces. La dégradation spécifique est estimée de à : 648 t/km²/an à la station d'El Milia ,280 t/km²/an à la station de Koudiet Tenedart ,4,5 t/km²/an à la station d'Oued Athménia, 2480 t/km²/an à la station d'El Ancer, 2314 t/km² /an à la station de Douar Tassadane (Meddi et Tahri. 2014).

II.7.3. L'érosion dans la Seybouse : le cours d'eau de la Seybouse charrie entre 70 et 86 % du tonnage annuel notamment. Tout se passe comme si le matériel mobilisable sur les versants du bassin en question était préparé par les pluies des saisons humides de l'année précédente avant d'être charrié et évacué par les premières pluies automnales de l'année suivante (Zaghouane et al. 2006). Avec une perte moyenne de l'ordre de 11,18 t/ha/an, le sous-bassin de Bouhamdane est le plus érodable dans le bassin Seybouse.

II.7.4. L'érosion dans les Hauts plateaux Constantinois : dans le bassin des Hauts plateaux, les techniques conventionnelles de production de céréales semblent atteindre leurs limites. Elles sont mises en cause dans les phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, la destruction de la matière organique et de la structure de sols (Bouzerzour. 1983). Ces phénomènes sont accentués par la pratique de la jachère intégrale et la pratique systématique du labour profond qui augmentent les risques d'érosions hydrique et éolienne dans des milieux déjà fragilisés (Zaghouane et al. 2006). Le Bassin des Hauts Plateaux Constantinois peut être divisé en trois zones : zones à grande a très grande sensibilité à l'érosion, zones à sensibilité moyenne, zones à sensibilité réduite (Balla. 2019).

II.6.5. L'érosion dans le bassin Soummam : le bassin versant de la Soummam subit une érosion hydrique intense à très intense par endroits. En effet, l'agressivité des pluies affecte la quasi-totalité du bassin versant et notamment sa partie Nord-Est. Les formations géologiques montrent, dans leur majorité, une vulnérabilité importante à l'érosion hydrique. Aussi, l'action anthropique est loin d'être négligeable (PNE. 2011). Trois formes d'érosion se manifestent dans ce bassin :

- **Erosion en nappe** : La classe d'érosion faible (100 – 200 t/km²/an), la classe d'érosion moyenne (200 – 400 t/km²/an) et la classe (400 – 700 t/km²/an) d'érosion forte. La quantification des pertes en terre par classe d'érosion en nappe permet de constater que les classes d'érosion très faible et faible occupent plus de 50 % de la surface du bassin versant avec un apport moyen annuelle égale à 447 000 t/an (Iskounen et Bougherara . 2019).
- **Erosion par ravinement** : Cette forme d'érosion est omniprésente dans le bassin de la Soummam. Le ruissellement très fort caractérise particulièrement la partie aval de l'oued Sahel, il n'affecte que 11 % de la surface totale, mais participe avec 407 160 t/an. Le reste de la surface du bassin (72 %) subit une érosion faible à moyenne et ne participe qu'avec 120 000 t/an (Iskounen et Bougherara . 2019).
- **Erosion par mouvement de masse** : Les zones les plus vulnérables n'occupent que 12 % de la surface totale du bassin. L'apport des mouvements de masse vient en troisième position des trois formes d'érosion à l'origine des pertes en terre, il participe avec 24 % de l'apport global (Iskounen et Bougherara. 2019).

Conclusion

La brève description de la zone d'étude, nous a permis de distinguer l'étendue et l'importance de cette dernière. Les bassins de l'Est algérien sont alimentés par deux systèmes hydrologiques opposés : des oueds à écoulement exoréique, relativement abondant, qui s'écoulent des zones semi-arides vers des zones sub-humides et humides. Pour les oueds du système endoréique, à manifestation modeste, les écoulements finissent par échouer dans les cuvettes lacustres.

La région d'étude confère des grandes disparités physiques. Le bassin des Côtiers Constantinois est caractérisé par une géologie très complexe, dont l'oued Bounamoussa, El kébir Est, l'oued Djendjen véhiculent des débits fort abondants. Les Hauts plateaux Constantinois sont caractérisés par un réseau hydrographique ramifié et moins dense avec un écoulement modeste drainé par deux grands oueds Chemora et Boulefreis. L'oued El Kébir résultant de la jonction de l'oued Rhumel et l'Oued Enndja, draine une variété de domaines géologiques et hydrogéologiques. Le bassin Soummam couvrant une région montagneuse, est drainé par l'oued Sahel et l'oued Bousselem, leur jonction forme l'oued Soummam qui se jette à la mer. L'oued méditerranéen de la Seybouse draine des reliefs très hétérogènes depuis, les reliefs assez simples avec un écoulement lent, vers les terrains fortement accidentés.

Le lessivage (washout) est la forme d'érosion la plus dominante en Algérie, en particulier le long des Côtiers Constantinois, dont Le bassin de Djendjen est le plus dégradé en Algérie (7619 t/km²/an). Le bassin de Kébir Rhumel appartient à la zone Tellienne où l'érosion est générée par la nature érosive dynamique des mouvements de masse. Le cours d'eau drainant le bassin de Seybouse transporte entre 70 et 86 % du tonnage annuel pendant l'automne. Le bassin de la Soumam subit une érosion hydrique intense à très intense notamment sur sa partie Nord-Est. Les techniques conventionnelles de production de céréales sont mises en cause dans les phénomènes d'érosion, dans le bassin des Hauts plateaux.

Dans notre zone d'étude dominée par un climat de type méditerranéen, les précipitations sont assez abondantes sur les côtiers, elles augmentent de l'ouest vers l'est. Encore plus à l'intérieur des terres, les précipitations sont moins abondantes, avec des périodes de sécheresse qui durent plusieurs mois en dehors de la saison estivale. La répartition de la couverture végétale est très hétérogène, depuis la végétation forestière jusqu'aux forêts des hautes montagnes avec une faible extension. La zone tampon entre le Tell agricole au Nord et le désert du Sahara au sud, est occupée essentiellement par la végétation Steppique. Le labour profond et illicite dans des milieux déjà fragilisés, le surpâturage aggravé par des longues périodes de sécheresse, provoquent de graves phénomènes érosifs dans la zone.

Chapitre III :

Collecte et mise en forme des données

Introduction

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les habitants et les écosystèmes. Les régions méditerranéennes semi-arides et arides sont particulièrement touchées par les sécheresses récurrentes et prolongées et la question de l'eau représente un véritable enjeu au cours de ce siècle. Plusieurs études concernant l'analyse de la tendance des précipitations de la région méditerranéenne mettent en évidence une baisse des précipitations à partir des années 70 (Taibi et al. 2013). En Algérie du Nord où domine un climat de type méditerranéen, les précipitations se caractérisent par une forte variabilité spatiotemporelle. Elles constituent, par ailleurs, le facteur le plus fortement explicatif des régimes hydrologiques des cours d'eau. L'Est algérien, connu pour être la région la plus arrosée du pays mais où les contrastes géographiques sont les plus forts (Mebarki. 2003).

Les premières mesures systématiques et standardisées du transport solide en suspension ont débuté en 1946 à la station de traïlle, qui contrôle le bassin de l'oued Gueiss, ces mesures ont été étendues à une trentaine de station sur les bassins des Côtiers Constantinois, Côtiers Algérois, Chélif, Machta, Hodna, et le bassin du Soummam. Après une interruption d'une dizaine d'années, ces mesures ont été reprises en 1970 et étendues à l'ensemble du réseau hydrique national.

Le but ce chapitre est la collecte d'une banque de données hydrologiques (pluviométrie, débit liquide, débit solide, concentration des sédiments en suspension) assez suffisante pour effectuer une étude bien détaillée du phénomène de transport solide dans la zone d'étude.

La totalité des données recueillies ont été mise à un traitement statistique bien déterminé : à savoir les données d'un réseau pluviométrique constitué de vingt-deux stations réparties sur la totalité de la zone d'étude, dont les périodes d'observations se diffèrent d'une station à une autre. Les séries de débits liquides sont fournies par 14 stations hydrométriques, qui sont : El Mkaceb, Khemakhem, Reboa, Foum El Gueiss, Chemora, Tassadane, Ain Smara, Bouchrída, El Kheneg, El Ancer, Mdjez Ammar, Borj Sabat, Moulin Rechfort, Fariatou et Magroua. Les mesures des concentrations des sédiments en suspension (CSS) extrêmes sont fournies par les stations hydrométriques : El Mkaceb, Chedia, Khemakhem, et Ain Charchar, Foum El Gueiss et Chemora, Tassadane, Athmania, Grarem, El Ancer et El Milia, Mdjez Ammar, Fariatou et Magroua pour des périodes qui se diffèrent d'une station à une autre.

III.1. Ajustement des précipitations annuelles à une loi de probabilité

Notre zone d'étude est équipée par vingt-deux stations pluviométriques réparties comme suit : trois stations contrôlant le bassin des côtiers Constantinois, cinq stations contrôlant le bassin des Hauts plateaux, huit stations pour le bassin Kébir Rhumel, trois stations pour le bassin Seybouse, et trois stations pour le bassin Soummam (Tableau III.1).

Tableau (III.1) : Code des stations pluviométriques dans la zone d'étude (A.N.R.H d'Alger).

Station	Code	X	Y	Z
Amouchas	030204	743 ,60	346,15	800,00
Jijel Secteur	030301	774 ,10	396,15	5,00
Ramdane Djamel De Berais	030909	874,95	389,85	50,00
Batna Ferme	070316	814,70	257,35	1040,00
Timgad	070409	841,75	250,90	1000,00
Ain Beida	070707	924,15	288,00	1004,00
Bir Chouhada	070305	824,80	295 ,30	832,00
Ain Mimoun	070704	886,35	243,60	1180,00
Hammam	100110	763,30	338,80	710,00
Koudiat	100208	788,21	340,12	635,00
Belaa	10302	738,80	327,10	990,00
Bir El Arch	10306	782,30	319,10	952,00
Ain El Kebch	100307	806,55	307,40	955,00
Mechta	100308	805,00	331,50	900,00
Chelghoum	100312	811,40	323,50	768,00
El Milia	100706	819 ,30	389 ,70	100,00
Guelma Lycee Mbm	140412	924 ,10	361,40	280,00
Bouchegouf	140505	949,15	362,20	110,00
Pont Bouchet	140631	950 ,25	402 ,80	3,00
Ighil Ali	150503	658,90	338,95	700,00
Ouled Mosly	150627	722,80	313,50	882,00
Bou Birek	150703	689,60	354,50	500,00

Un comblement de lacunes par la méthode de « Bouche trou » avec le logiciel Hydrolab s'est avéré nécessaire, afin d'obtenir des séries pluviométriques annuelles homogènes. La technique « Bouche trou » consiste à établir des régressions multiples successives entre les valeurs observées et les vecteurs régionaux issus d'une analyse en composante principale ACP (Mebarki. 2003).

III.1.1. Bassin des Côtiers Constantinois

Pour mieux cerner l'irrégularité interannuelle des précipitations présentant un rôle décisif sur l'écoulement, nous allons essayer de trouver une loi d'ajustement de la distribution des pluies annuelles pour les trois stations contrôlant le bassin des Côtiers Constantinois (Amouchas, Djamel Berais, et Jijel secteur), dont la période d'observation s'étale de 1968 à 2010.

Tableau (III.2) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=42), stations : Jijel secteur, Djamel Ramdane Berais, et Amouchas –Les Côtiers Constantinois-

Code station	030301	030309	030204
Année /Station	Jijel secteur	Djamel Berais	Amouchas
1968	1210,00	358,70	397,30
1969	883,80	790,50	715,60
1970	853,70	647,10	446,10
1971	1073,60	725,30	763,40
1972	1162,60	526,50	723,70
1973	867,30	392,50	646,70
1974	736,10	378,80	544,90
1975	996,90	569,30	746,00
1976	671,10	637,20	557,90
1977	398,50	458,00	397,70
1978	890,00	615,20	522,60
1979	810,50	475,00	473,80
1980	993,10	455,70	563,50
1981	877,30	646,10	635,50
1982	543,60	484,60	481,50
1983	749,50	638,50	798,00
1984	353,20	1028,00	907,60
1985	859,50	464,80	464,70
1986	941,20	825,90	873,00
1987	590,90	388,60	407,90
1988	941,80	456,80	713,00
1989	631,90	491,20	392,50
1990	940,80	593,60	554,00
1991	1038,90	680,40	638,00
1992	841,10	545,50	559,90
1993	569,70	438,10	409,60
1994	928,20	625,40	637,10
1995	1083,60	630,10	577,90
1996	657,00	396,60	293,90
1997	964,80	520,40	696,60
1998	1035,70	514,50	647,00
1999	767,10	431,50	394,40
2000	772,70	400,70	530,50
2001	512,30	440,70	398,00
2002	1347,30	868,80	1015,50
2003	976,50	695,30	836,00
2004	1253,50	835,40	919,70
2005	917,50	476,70	545,40
2006	975,80	486,30	517,50
2007	1122,70	518,40	703,90
2008	1077,30	612,00	626,60
2009	1140,10	631,70	594,40
2010	1049,70	664,30	733,60
Max	1347,30	1028,00	1015,50
Min	353,20	358,70	293,90
Moyenne	883,92	568,85	604,71
Médiane	917,50	526,50	577,90
Variance	49953,84	22292,75	27440,35
Ecart type	223,50	149,31	165,65
Coef d'asy	-0,41	0,96	0,43
Coef d'aplati	-0,03	0,89	-0,25
Coeffi de variation	3,95	3,81	3,65

III.1.2. Bassin des Hauts plateaux Constantinois (07)

Le bassin des Hauts Plateaux Constantinois est contrôlé par cinq stations pluviométriques : Batna ferme, Timgad, Ain Beida, Ain Mimoun et Bir Chouhada, dont la période d'observation s'étale sur 39 ans de 1970 jusqu'au 2009. Les précipitations annuelles des stations étudiées sont présentées au tableau (III. 3) avec leurs caractéristiques statistiques.

Tableau (III.3) : Précipitations annuelles (mm) aux stations pluviométriques (n=39) : Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada - Hauts plateaux constantinois-

Code station	070316	070409	070707	070704	070305
Année /Station	Batna ferme	Timgad	Ain Beida	Ain Mimoun	Bir Chouhada
1970	400	228,7	303,8	257,4	97,30
1971	530,5	486,9	428,8	550,4	312,60
1972	517,5	491,8	589,2	615,6	279,00
1973	309,9	225,7	236,7	418	148,80
1974	361,6	321,9	360,8	568,6	174,50
1975	488,9	463,4	391,9	512,4	370,40
1976	424,7	342	430,7	473,8	272,30
1977	530,5	61,5	385	288,4	179,00
1978	293	215,4	383,8	283,2	258,10
1979	306,3	300,7	402,9	388,6	333,40
1980	337,4	187,7	457,1	460,5	265,40
1981	378,4	329,7	387,4	530,6	262,90
1982	336	306,9	365,6	445,4	167,30
1983	307,7	151,7	387,6	301,4	272,00
1984	412,3	326	469,3	423,2	407,90
1985	435,8	242,1	265,7	400,8	304,10
1986	338,8	232	374,6	363,4	303,20
1987	238,1	120	304,7	292,4	226,80
1988	432,1	296,4	343,3	422,9	312,60
1989	499,2	415,8	419,8	704,4	331,70
1990	462,7	321,4	450,4	501	319,70
1991	383,4	318,7	471,7	528	278,70
1992	317,7	198,1	323,4	432,3	264,30
1993	185,8	194,9	250,5	325	149,50
1994	352	167,5	384,6	315,4	348,70
1995	510,5	391,5	653,2	686	542,00
1996	191,8	102,1	218,2	139,9	88,60
1997	476,2	353,6	492,8	534,9	194,00
1998	530,5	158,8	416	339,3	201,10
1999	306,8	269,7	336,8	417,2	229,40
2000	269,4	146,6	349,5	257,7	300,00
2001	254,7	210,2	408,8	351,7	280,00
2002	476	444,6	594,1	415,4	469,90
2003	603,8	390	590,5	459,6	476,20
2004	456,3	337,5	481,5	472,5	405,10
2005	435,8	325,7	400	592,9	303,50
2006	265,4	247,3	302,4	444	230,70
2007	375,7	438,5	353,7	299,8	241,60
2008	550,6	468,3	592,1	478,2	421,90
2009	462,3	285,5	351,3	483,9	381,20
Max	603,80	491,80	653,20	704,40	542,00
Min	185,80	61,50	218,20	139,90	88,60
Moyenne	393,65	287,92	402,76	429,40	285,14
Médiane	391,70	298,55	387,50	427,75	278,85
Variance	10905,05	12402,64	10168,00	14693,85	10032,93
Ecart type	104,43	111,37	100,84	121,22	100,16

Code station	070316	070409	070707	070704	070305
Coef d'asymétrie	-0,09	0,07	0,61	0,09	0,35
Coef d'aplatissement	-0,79	-0,69	0,33	0,07	0,27
Coeffi de variation	0,27	0,37	0,26	0,28	0,36

III.1.3. Bassin Kébir Rhumel (10)

Le bassin Kébir Rhumel est contrôlé par sept stations pluviométriques : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, Chelghoum, et El Milia dont la période d'observation s'étale sur 40 ans de 1970 jusqu'au 2010. Les précipitations annuelles des neuf stations pluviométriques sont présentées au tableau (III.4) avec leurs caractéristiques statistiques.

Tableau (III.4) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=40), stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel- .

Code station	100110	100208	100302	100306	100307	100308	100312	100706
Année /Station	Hammam	koudiat	Belaa	Bir el Arch	Ain el kebch	Mechta	Chelghoum	El Milia
1970	374,12	371,41	210,90	197,14	132,54	296,75	293,77	1220,8
1971	611,42	576,73	609,00	199,46	353,39	420,94	459,70	1456,1
1972	441,02	538,24	481,10	405,70	416,51	460,60	393,20	870,04
1973	318,40	427,51	352,20	275,70	300,30	431,06	326,73	636,4
1974	390,70	420,67	383,60	205,00	238,97	506,60	347,69	613,2
1975	537,00	645,46	580,00	414,30	509,30	517,42	601,39	550,3
1976	369,50	467,92	439,80	386,20	265,60	456,00	487,27	660,5
1977	327,30	391,31	515,60	464,50	307,30	395,60	394,27	761,6
1978	406,90	521,40	499,40	375,00	292,20	436,90	447,20	1008,8
1979	294,80	319,70	201,70	259,50	238,20	276,20	259,10	735,8
1980	277,90	370,40	317,40	252,30	290,90	485,18	344,80	1082,1
1981	514,00	519,40	365,40	181,40	237,60	330,01	353,52	860,7
1982	305,60	250,60	221,86	212,62	162,70	237,85	123,07	751,1
1983	453,90	375,80	276,50	202,80	172,30	332,51	142,12	861
1984	471,60	538,80	268,00	398,30	296,50	461,10	362,31	1114,2
1985	346,60	328,30	251,00	380,80	137,70	348,20	285,90	762,2
1986	532,00	554,60	505,00	333,30	206,06	472,90	439,70	989,1
1987	253,81	331,90	188,80	170,70	186,00	239,00	306,90	624,6
1988	352,82	578,50	376,83	412,20	262,79	306,00	487,70	774,7
1989	262,85	312,50	323,80	307,63	190,14	207,42	329,40	641,9
1990	375,75	511,50	380,10	244,60	226,60	348,25	390,60	1196,6
1991	440,57	541,90	510,60	351,46	250,70	216,40	513,10	783,7
1992	353,30	399,00	275,20	290,10	180,70	132,88	291,60	840
1993	313,70	381,60	255,90	210,30	142,10	168,70	315,40	665,4
1994	440,91	387,50	280,09	356,03	198,88	257,30	423,50	891,5
1995	506,00	585,80	325,20	230,90	374,80	564,80	532,20	858,2
1996	236,10	299,20	176,40	280,40	120,30	283,80	252,90	597,3
1997	403,90	441,30	271,33	337,50	270,17	394,40	394,40	1076,9
1998	429,07	628,70	393,40	204,15	258,94	499,80	403,30	924,4
1999	228,60	416,80	275,61	308,70	253,35	308,00	262,50	628,7
2000	376,27	302,60	131,60	142,50	209,53	228,70	229,70	798,8
2001	233,88	232,20	277,40	395,40	184,49	285,92	265,60	500,8
2002	750,82	647,10	717,00	448,20	438,15	721,92	624,70	1314,7
2003	419,21	491,97	485,20	394,80	363,90	426,58	506,00	1015,9
2004	574,77	680,89	680,30	431,93	376,58	581,41	445,10	1314,3
2005	302,33	476,84	370,80	240,54	252,02	355,82	337,09	732,1
2006	391,87	343,51	390,30	227,31	268,61	247,54	265,80	769,1

Code station	100110	100208	100302	100306	100307	100308	100312	100706
2007	293,03	298,84	390,30	317,75	280,03	330,49	170,20	761
2008	625,70	609,71	828,90	337,90	441,86	479,45	490,59	893,9
2009	459,65	434,35	672,80	355,50	374,42	402,49	440,50	1003,9
2010	636,19	511,40	802,70	354,61	495,32	493,20	476,90	943,9
Max	750,82	680,89	828,9	464,5	509,3	721,92	624,7	1456,1
Min	228,6	232,2	131,6	142,5	120,3	132,88	123,07	500,8
Moyenne	409,61	450,63	400,45	304,70	274,14	376,76	371,28	870,22
Médiane	390,70	434,35	370,80	308,70	258,94	355,82	362,31	819,40
Variance	14786,13	14001,91	29680,53	7679,60	9600,05	15639,38	13417,53	51418,67
Ecart typ	121,60	118,33	172,28	87,63	97,98	125,06	115,83	226,76
Coef d'asy	0,78	0,12	0,87	-0,02	0,69	0,35	-0,01	0,75
Coef d'aplat	0,40	-0,95	0,19	-1,20	-0,03	0,08	-0,22	0,09
Coef de variation	0,30	0,26	0,43	0,29	0,36	0,33	0,31	0,26

III.1.4. Bassin Seybouse (14)

Le bassin de Seybouse est contrôlé par trois stations pluviométriques : Guelma, Bouchehouf, et Pont Bouchet dont la période d'observation s'étale sur 35 ans allant de 1977 jusqu'au 2011. Les précipitations annuelles des cinq stations pluviométriques sont présentées au tableau (III.5).

Tableau (III.5) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=35), stations : Guelma, Bouchehouf, Pont Bouchet-Bassin Seybouse-.

Code station	140412	140505	140631
Année /Station	Guelma	Bouchehouf	Pont Bouchet
1977	491,80	432,60	457,50
1978	509,40	542,10	589,20
1979	413,90	442,40	520,30
1980	539,40	535,60	468,90
1981	636,20	479,20	665,40
1982	418,10	420,60	526,20
1983	681,90	537,40	824,60
1984	670,00	550,00	900,20
1985	362,20	381,80	433,70
1986	795,30	694,60	737,40
1987	394,40	357,80	366,10
1988	459,60	416,20	487,80
1989	425,40	467,70	489,50
1990	624,50	627,50	653,60
1991	589,50	556,60	622,90
1992	575,30	571,00	632,10
1993	386,20	340,80	488,80
1994	501,70	468,30	531,70
1995	693,50	811,80	726,80
1996	245,30	324,00	389,50
1997	652,50	809,90	748,60
1998	546,50	652,20	687,30
1999	576,00	595,40	470,50
2000	490,00	479,80	521,40
2001	336,00	294,00	411,50
2002	802,00	884,00	933,60
2003	762,00	745,80	574,40
2004	703,50	617,20	765,30
2005	446,50	421,70	526,30
2006	500,50	575,10	651,90

Code station	140412	140505	140631
2007	364,80	448,00	587,00
2008	626,50	690,50	870,10
2009	572,20	508,90	707,60
2010	685,30	537,90	776,40
2011	438,10	697,90	759,80
Max	802,00	884,00	933,60
Min	245,30	294,00	366,10
Moyenne	540,46	540,47	614,40
Médiane	539,40	537,40	589,20
Variance	19060,07	20811,76	22700,49
Ecart type	138,06	144,26	150,67
Coef d'asymétrie	0,06	0,52	0,36
Coef d'applatiss	-0,65	-0,16	-0,73
Coef de variation	0,26	0,27	0,25

III.1.5. Bassin Soummam (15)

Le bassin de Soummam est contrôlé par trois stations pluviométriques : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mosly, dont la période d'observation s'étale seulement sur 26 ans de 1987 jusqu'au 2012. Les précipitations moyennes annuelles et leurs caractéristiques statistiques sont présentées dans le tableau pour les trois stations pluviométriques (III.6).

Tableau (III.6) : Précipitations annuelles (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=26), stations :Ighil Ali, Bouchegouf, et Ouled Mossli -Bassin Soummam- .

Code station	150503	150703	150627
Année /Station	Ighil Ali	Bou Birek	Ouled Mosly
1987	345,30	376,60	168,00
1988	380,50	239,70	212,10
1989	374,00	394,60	131,00
1990	400,20	490,20	162,20
1991	444,50	516,20	269,90
1992	381,00	497,10	137,20
1993	295,00	351,00	130,50
1994	490,50	668,00	340,40
1995	202,70	617,00	316,10
1996	78,40	349,50	157,20
1997	74,60	694,60	307,40
1998	322,40	517,60	211,10
1999	315,40	384,10	202,60
2000	362,90	496,30	164,70
2001	271,10	256,40	129,90
2002	597,60	877,90	256,50
2003	522,00	746,10	286,10
2004	371,80	553,80	224,20
2005	463,20	399,70	395,40
2006	456,70	669,70	326,50
2007	402,00	608,90	327,70
2008	468,20	800,60	323,30
2009	422,10	559,30	327,40
2010	537,00	608,20	286,10
2011	383,80	593,20	238,20
2012	501,70	670,20	338,90
Max	597,60	877,90	395,40
Min	74,60	239,70	129,90
Moyenne	379,41	536,02	245,02
Médiane	382,40	535,70	247,35
Variance	15617,66	26347,29	6497,82

Code station	150503	150703	150627
Ecart typ	124,97	162,32	80,61
Coef d'asy	-0,91	0,07	-0,01
Coef d'applati	1,17	-0,44	-1,31
Coef de var	0,33	0,30	0,33

III.2. Analyse en composantes principales ACP des précipitations annuelles

L'Analyse en Composantes principales (ACP) fait partie du groupe des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. L'ACP propose, à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de P variables quantitatives pour n unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Les représentations des variables permettent d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées. Ainsi, on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent, celles qui se distinguent des autres. Pour les variables, on cherchera quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles, celles qui, au contraire ne sont pas corrélées aux autres (Duby et Robin, 2006).

Nous avons appliqué la méthode ACP sur l'ensemble des données des précipitations annuelles pour 22 stations pluviométriques, dans le but de ressortir les stations les plus représentatives pour chaque bassin versant des cinq bassins étudiés. Grâce au logiciel «XLSAT», on a formé une matrice initiale rectangulaire avec les valeurs des précipitations annuelles en ligne les années d'observations et en colonne.

- **Bassin des Côtiers Constantinois**

Les résultats d'ACP annuel appliquée pour 3 variables (postes pluviométriques :Jijel secteur Djamel Berais Amouchas) et 43 observations (années) pour le bassin des Côtiers Constantinois sont résumés dans les tableaux (III.7).

Tableau (III.7) : Paramètres ACP pour Bassin des Côtiers Constantinois.

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables			
Variables	Jijel secteur	Djamel Berais	Amouchas
Jijel secteur	1,00	0,23	0,48
Djamel Berais	0,23	1,00	0,77
Amouchas	0,48	0,77	1,00
Valeurs propres			
Valeur propre	2,02	0,80	0,18
Variabilité (%)	67,47	26,54	5,99
Cumulé %	67,47	94,01	100,00
Projection des variables actives			
Vecteur	F1	F2	F3
Jijel secteur	0,64	0,76	-0,11
Djamel Berais	0,85	-0,45	-0,26
Amouchas	0,94	-0,11	0,31

F1, F2 et F3 : première, deuxième et troisième composante du vecteur régional.

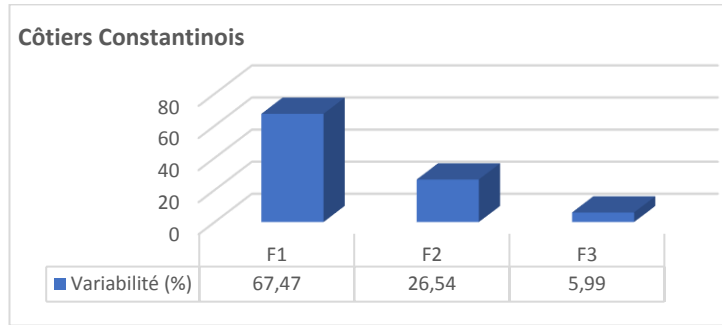


Figure (III.1) : Pourcentage des variances -bassin des Côtiers Constantinois-.

Pour les valeurs propres d’après le tableau (III.7) et la figure (III.1), les deux premières composantes F1 et F2 expliquent près de 94 % de la variance totale (67,47+26,54) et nous n’avons donc que 6 % de perte d’information pour le bassin des Côtiers Constantinois. La station Amouchas présente la grande valeur de la composante F1=0,94, donc, on peut la considérer comme la station la plus représentative du bassin étudié.

- La somme des valeurs propres des composantes 1 à 3 est : $3 = (2,02 + 0,80 + 0,18)$. Le pourcentage d’inertie expliqué par la $i^{\text{ème}}$ composante dépend de la valeur propre C_i et du nombre de variable nv : C_i / nv .

- **Bassin des Hauts plateaux Constantinois**

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 5 variables (stations pluviométriques : Batna ferme, Timgad, Ain Beida, Ain Mimoun et Bir Chouhada) et 39 observations (années) pour le bassin des Hauts plateaux Constantinois.

Tableau (III.8) : Paramètres ACP pour Bassin des Hauts plateaux Constantinois.

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables					
Variabiles	Batna ferme	Timgad	Ain Beida	Ain Mimoun	Bir Chouhada
Batna ferme	1,00	0,61	0,69	0,56	0,54
Timgad	0,61	1,00	0,62	0,71	0,53
Ain Beida	0,69	0,62	1,00	0,55	0,73
Ain Mimoun	0,56	0,71	0,55	1,00	0,46
Bir Chouhada	0,54	0,53	0,73	0,46	1,00
Valeurs propres					
Vecteur	F1	F2	F3	F4	
Valeur propre	3,40	0,66	0,43	0,28	
Variabilité (%)	67,97	13,20	8,57	5,62	
Cumulé %	67,97	81,17	89,74	95,35	
Projection des variables actives					
Vecteur	F1	F2	F3	F4	F5
Batna ferme	0,83	0,02	0,54	-0,03	-0,17
Timgad	0,84	-0,33	-0,12	0,41	0,00
Ain Beida	0,87	0,30	0,04	-0,04	0,38
Ain Mimoun	0,79	-0,48	-0,17	-0,33	-0,01
Bir Chouhada	0,79	0,48	-0,30	-0,03	-0,24

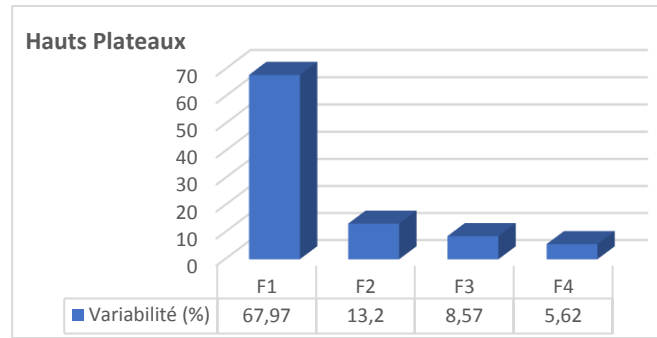


Figure (III.2) : Pourcentage des variances -bassin des Hauts Plateaux Constantinois -.

D’après le tableau (III.8) et la figure (III.2) des valeurs propres, on constate que les deux premières composantes F1 et F2 expliquent près de 81,97 % de la variance totale (67,97+13,20), et nous n’avons donc que 18,97 % de perte d’informations pour le bassin Hauts plateaux Constantinois. La station d’Ain Beida (F1=0,87) est la station la plus représentative pour le bassin des Hauts plateaux Constantinois.

- **Bassin Kébir Rhumel**

Le tableau (III.9) présente les résultats d’analyse en composantes principales sur 8 variables (stations pluviométriques : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir El Arch, Ain El Kebch, Mechta, Chelghoum, et El Milia) et 40 observations (années) pour le bassin Kébir Rhumel.

Tableau (III.9) : Paramètres d’ACP pour le Bassin Kébir Rhumel.

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables								
Variables	Hammam	koudiat	Belaa	Bir el Arch	Ain el kebch	Mechta	Chelghoum	El Milia
Hammam	1,00	0,77	0,76	0,25	0,68	0,66	0,67	0,61
koudiat	0,77	1,00	0,69	0,34	0,68	0,70	0,82	0,50
Belaa	0,76	0,69	1,00	0,50	0,82	0,63	0,70	0,40
Bir el Arch	0,25	0,34	0,50	1,00	0,47	0,39	0,53	0,08
Ain el kebch	0,68	0,68	0,82	0,47	1,00	0,72	0,70	0,30
Mechta	0,66	0,70	0,63	0,39	0,72	1,00	0,63	0,44
Chelghoum	0,67	0,82	0,70	0,53	0,70	0,63	1,00	0,35
El Milia	0,61	0,50	0,40	0,08	0,30	0,44	0,35	1,00
Valeurs propres								
Vecteur	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	5,09	1,07	0,56	0,43	0,39	0,19	0,14	0,13
Variabilité %	63,57	13,39	6,96	5,33	4,92	2,39	1,77	1,68
Cumulé %	63,57	76,95	83,91	89,24	94,16	96,55	98,33	100,00
Projection des variables actives								
Vecteur	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Hammam	0,87	-0,31	-0,07	-0,05	-0,18	0,29	-0,15	-0,09
koudiat	0,88	-0,12	-0,11	0,34	0,04	0,01	0,23	-0,15
Belaa	0,88	0,12	-0,07	-0,24	-0,30	0,01	0,17	0,19
Bir el Arch	0,54	0,67	0,50	-0,01	0,02	0,08	0,00	-0,08
Ain el kebch	0,87	0,19	-0,24	-0,25	-0,01	-0,24	-0,09	-0,17
Mechta	0,83	-0,03	-0,08	-0,15	0,52	0,09	0,01	0,10
Chelghoum	0,86	0,16	-0,04	0,40	-0,05	-0,10	-0,17	0,16
El Milia	0,56	-0,66	0,47	-0,07	0,00	-0,15	0,00	0,01

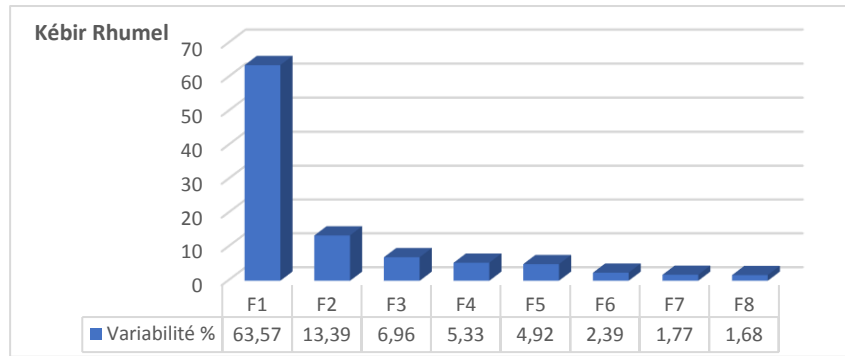


Figure (III.3) : Pourcentage des variances -bassin Kébir Rhumel -.

D’après le résultat du tableau (III.9) des valeurs propres, on constate que les deux premières composantes F1 et F2 expliquent près de 76,96 % de la variance totale (63,57+13,39). On remarque ainsi une perte d’information significative de 23,96 % pour ce bassin d’étude. Les stations représentatives du bassin Kébir Rhumel (Koudiat et Belaa) présentent les plus grandes valeurs du vecteur régional F1.

- **Bassin Seybouse**

Dans ce bassin, on a procédé ainsi à une analyse en composantes principales sur les 3 variables (stations pluviométriques : Guelma, Bouchegouf et Pont Bouchet) et 35 observations (années).

Tableau (III.10) : Paramètres ACP pour Bassin Seybouse.

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables			
Variables	Guelma	Bouchegouf	Pont Bouchet
Guelma	1,00	0,80	0,76
Bouchegouf	0,80	1,00	0,74
Pont Bouchet	0,76	0,74	1,00
Valeurs propres			
Vecteur	F1	F2	F3
Valeur propre	2,54	0,27	0,20
Variabilité %	84,52	8,99	6,49
Cumulé %	84,52	93,51	100,00
Projection des variables actives			
Vecteur	F1	F2	F3
Guelma	0,93	-0,14	0,34
Bouchegouf	0,92	-0,27	-0,28
Pont Bouchet	0,91	0,42	-0,07

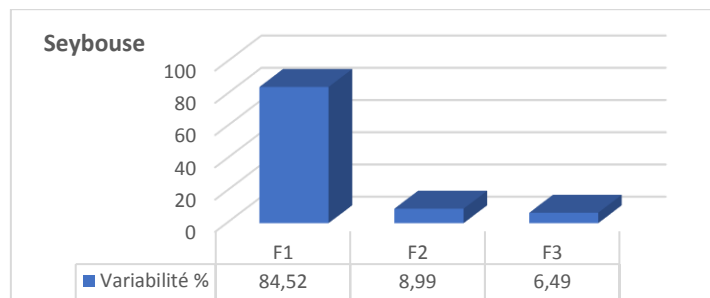


Figure (III.4) : Pourcentage des variances -bassin Seybouse -.

D'après les résultats du tableau (III.10) et la figure (III.4), on a constaté que les deux premières composantes F1 et F2 expliquent près de 93,51 % de la variance totale (84,52+8,99), et seulement 6.49% de perte d'information est mentionnée dans ce bassin. Les résultats obtenus montrent que la station de Guelma est la station représentative du bassin Sybousse avec la plus grande valeur du vecteur régional F1 de 0,93.

- **Bassin Soummam**

Les résultats d'ACP pour les 3 variables (stations pluviométriques : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mosly) et 26 observations (années) pour le bassin Soummam sont présentés par le tableau (III.11).

Tableau (III.11) : Paramètres ACP pour Bassin Soummam.

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables			
Variabes	Ighil Ali	Bou Birek	Ouled Mosly
Ighil Ali	1,00	0,45	0,37
Bou Birek	0,45	1,00	0,61
Ouled Mosly	0,37	0,61	1,00
Valeurs propres			
Vecteur	F1	F2	F3
Valeur propre	1,96	0,66	0,38
Variabilité (%)	65,43	21,91	12,67
Cumulé %	65,43	87,33	100,00
Projection des variables actives			
Vecteur	F1	F2	F3
Ighil Ali	0,72	-0,68	-0,09
Bou Birek	0,86	0,20	0,46
Ouled Mosly	0,83	0,39	-0,40

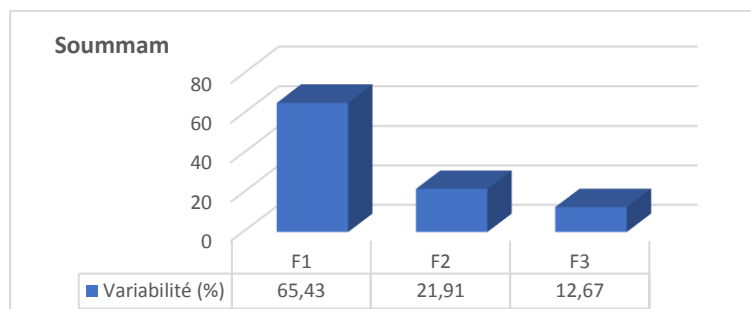


Figure (III.5) : Pourcentage des variances -bassin Soummam -.

On constate toujours que les deux premières composantes expliquent plus de 87% de la variance totale (Tableau III.11 et Figure III.5) et une 12,34 % perte d'information de 12.34%. La station représentative du bassin Soummam est celle de Bou Birek avec un coefficient régional F1 de 0,86.

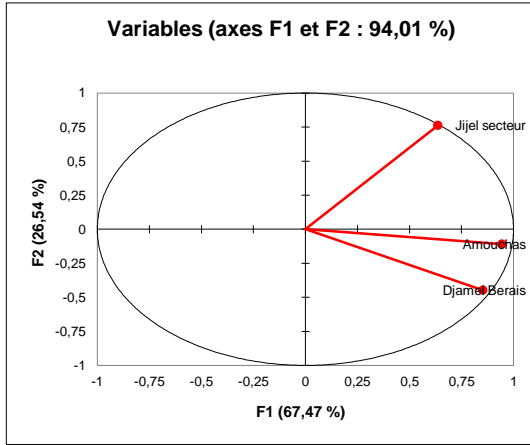


Figure (III.6) : ACP annuel Côtiers Constantinois.

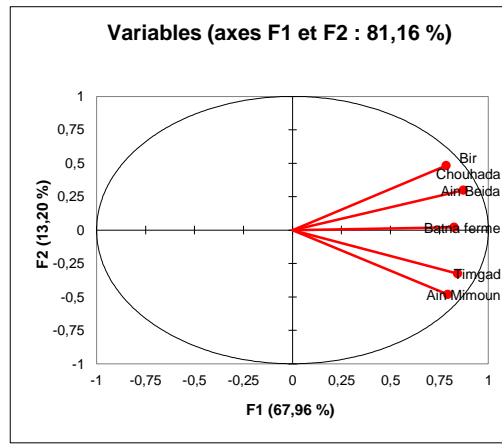


Figure (III.7) : ACP annuel Hauts plateaux Constantinois.

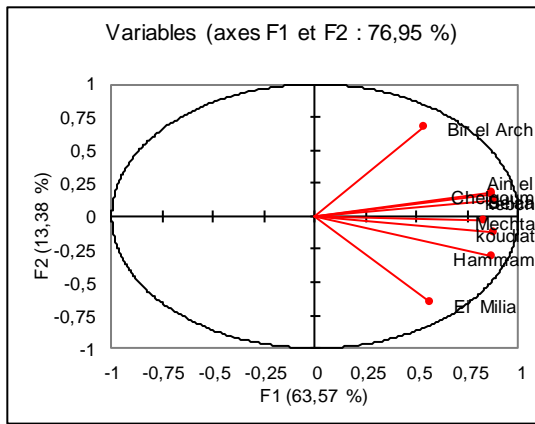


Figure (III.8) : ACP annuel bassin Kébir Rhumel.

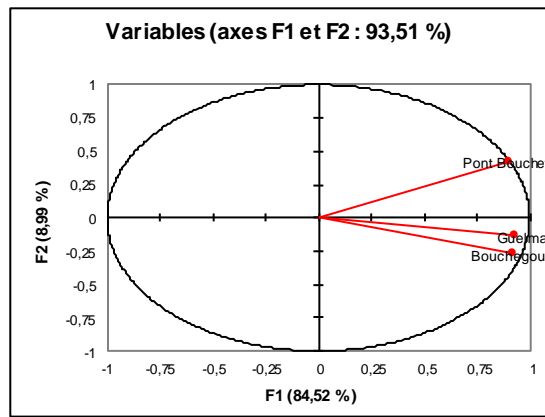


Figure (III.9) : ACP annuel bassin Seybouse.

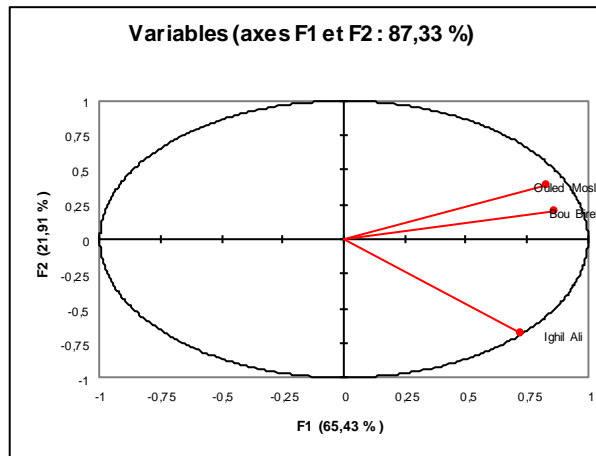


Figure (III.10) : ACP annuel bassin Soummam.

Les cercles des corrélations présentées par les figures (III.6, III.7, III.8, III.9 et III.10) montrent respectivement la projection des variables sur le plan F1 F2 pour les bassins des : Côtiers Constantinois, Hauts plateaux Constantinois, bassin Kébir Rhumel, bassin Seybouse, et bassin Soummam. Les tailles de vecteurs expliquent la qualité de représentation des variables sur les dimensions d'ACP exploités.

Si nos variables sont associées à des vecteurs courts sur les dimensions F1 et F2, alors l'information est probablement mieux représentée sur d'autres dimensions d'ACP (par Exp F2, F3), dans ce cas il est recommandé de relancer l'analyse on choisissait d'afficher d'autres dimensions. Autrement dit, La taille des vecteurs prend des valeurs entre 0 (pas corrélé du tout) et 1 (fortement corrélé). Les points situés près du centre sont donc généralement mal représentés par le plan factoriel.

L'interprétation des vecteurs de variables peut être faite par type d'angle soit entre variables, soit entre variable et axe de dimensions (F1, F2). Les angles aigus reflète un lien positif entre variable : les pluviométries annuelles à la station de Bir Chouhada et celle à la station d'Ain Beida sont positivement corrélées, les angles droits (90°) séparent deux variables non liées, c'est le cas de la pluviométrie à la station de Bir El Arch et celle d'El Milia. Les angles obtus entre variable représentent une corrélation négative (quand x augmente y diminue). Les stations de : Jijel secteur, Amouchas, Djamel Berais, Bir Chouhada, Ain Beida, Ain Mimoun, Timgad, Hammam, Koudiat, Belaa, Chelghoum, Pont Bouchet, Bouchegouf, Guelma, Ouled Mosly, Bou Birek et Ighil Ali au droit du bassin Kébir Rhumel sont fortement et positivement corrélées à l'axe F1. Les stations de : Batna Ferme, Bir El Arch, El Milia, et Mechta sont nettement corrélées positivement à l'axe F1.

Plusieurs groupes de stations ont été distingués : Amouchas et Djamel Berais au droit du bassin Côtiers Constantinois, Les deux stations de Bir Chouhada et celle d'Ain Beida, et ceux de Timgad et Ain Mimoun au droit du bassin des Hauts plateaux, Les deux stations :Guelma et Bouchegouf au droit du bassin Seybouse, les cinq stations : Ain El Kebch, Chelghoum, Belaa, Mechta et Hammam au droit du bassin Kébir Rhumel, les deux stations :Ouled Mosly et Bou Birek au droit du bassin Soummam. Ces stations sont fortement et positivement corrélées entre eux, dont les précipitations annuelles et maximales ont la même tendance d'évolution dans chaque groupe.

III.3. Ajustement des pluies annuelles à une loi de probabilité

Les figures (III.11), (III.12), (III.13), (III.14), (III.15) et (III.16) montrent l'ajustement des précipitations moyennes annuelles au droit de six stations représentatives déterminées par l'analyse des composantes principales ACP pour chaque bassin versant étudié : Amouchas (Côtiers Constantinois), Ain Beida (Hauts Plateaux Constantinois), Koudiat et Belaa (Kébir Rhumel), Guelma (Seybouse), Bou Birek (Soummam). La stationnarité des séries pluviométriques est déterminée à un niveau de confiance de 95%. Les tableaux d'ajustement et les fonctions de répartition sont présentés dans l'annexe I.

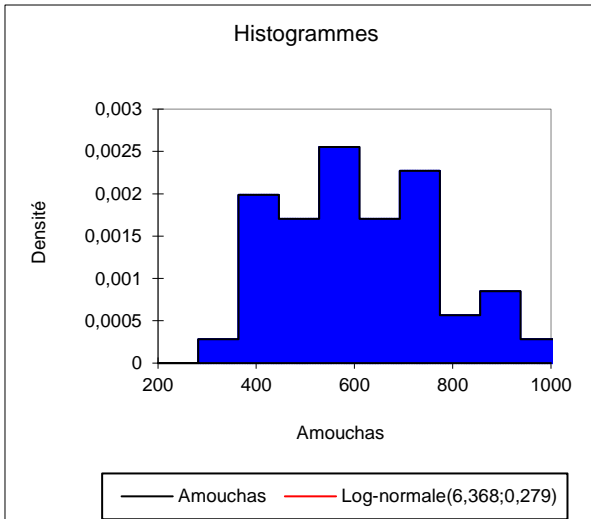


Figure (III.11) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale (st. Amouchas).

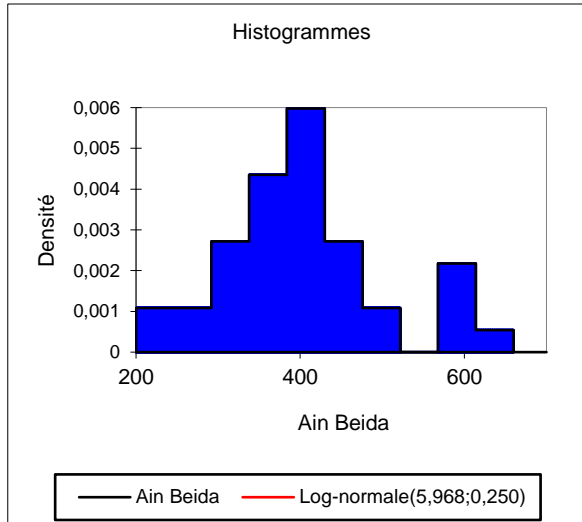


Figure (III.12) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale (st. Ain Beida).

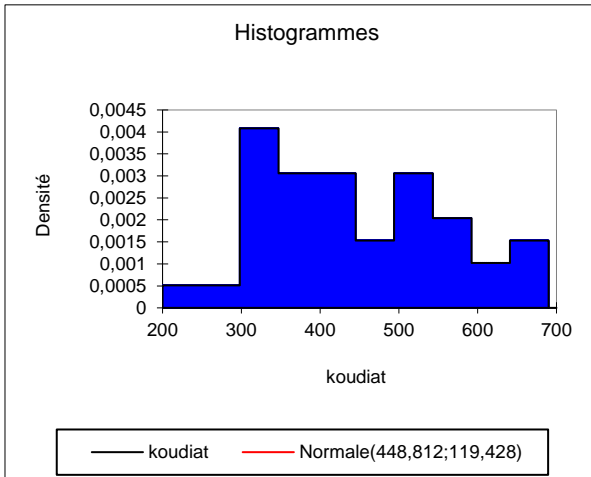


Figure (III.13) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi normale (st. Koudiat).

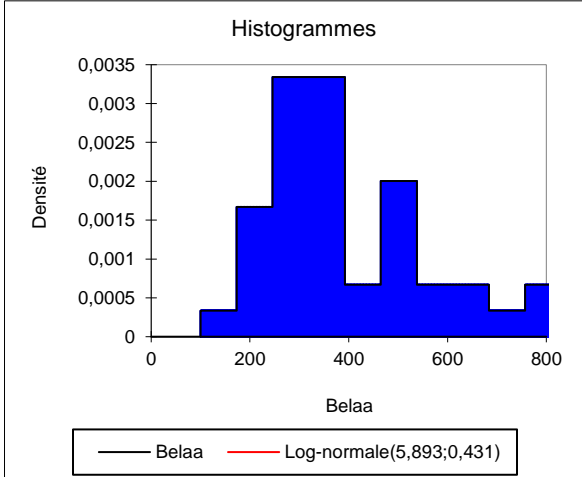


Figure (III.14) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi log normale (st. Belaa).

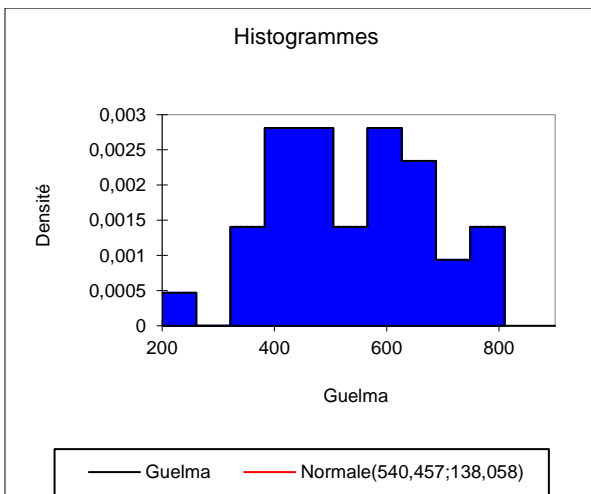


Figure (III.15) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi normale (st. Guelma).

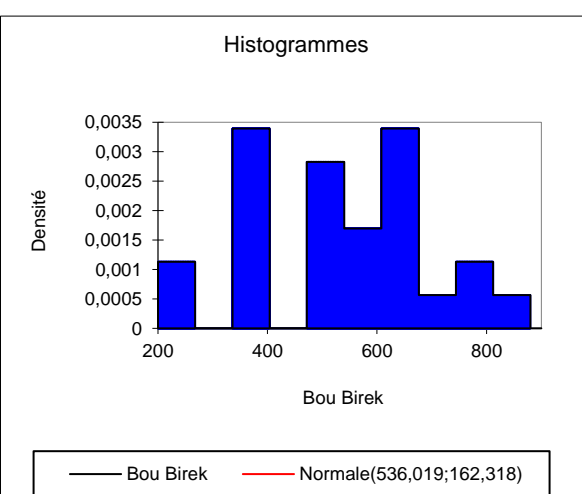


Figure (III.16) : Ajustement des précipitations annuelles à la loi normale (st. Bou Birek).

Tableau (III. 12) : Test de Kolmogorov-Smirnov pour les huit stations pluviométriques représentatives.

Station	D	P-value	Alpha	Risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 %
Amouchas	0,083	0,904	0,05	90,41
Ain Beida	0,078	0,953	0,05	95,29
Koudiat	0,087	0,899	0,05	89,91
Belaa	0,092	0,851	0,05	85,09
Guelma	0,075	0,982	0,05	98,16
Bou Birek	0,107	0,895	0,05	89,54

Interprétation du test : H_0 : L'échantillon suit une loi Log-normale, H_a : L'échantillon ne suit pas une loi Log-normale. Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

L'ajustement des précipitations moyennes annuelles au droit des six stations représentatives, montre que les trois stations : Amouchas, Ain Beida et Belaa suivent une loi log normale, Alors que les stations : Koudiat, Guelma et Belaa suivent une loi normale.

III.4. Ajustement des pluies journalières maximales à une loi de probabilité

L'estimation des précipitations associées aux événements extrêmes est un sujet qui suscite de plus en plus d'intérêt dans tous les domaines liés à l'eau. La connaissance des quantiles des précipitations de fréquences rares est nécessaire pour la conception des ouvrages hydrauliques tels que les ouvrages de protection contre les inondations, les réseaux d'assainissement pluvial et dans de nombreuses applications d'ingénierie. L'estimation de ces fréquences est difficile car les événements extrêmes sont par définition rares et que les données disponibles localement proviennent souvent des observations de courte durée, insuffisantes pour pouvoir estimer les quantiles extrêmes de manière fiable (Kondratieva et Amarchi. 2015).

III.4.1. Bassin des Côtiers Constantinois

Le tableau (III.13) présente les pluies journalières maximales des trois stations : Jijel secteur, Djamel Berais et Amouchas pour une période d'observation de 43 ans allant de 1968 jusqu'au 2010.

Tableau (III.13) : Précipitations journalières maximales (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=43) stations : Jijel secteur, Djamel Ramdane Berais, et Amouchas -Les Côtiers Constantinois-

Code station	030301	030309	030204
Année /Station	Jijel secteur	Djamel Berais	Amouchas
1968	181,00	38,20	46,60
1969	85,00	58,00	48,00
1970	48,20	84,00	24,00
1971	73,00	54,00	58,50
1972	68,00	50,50	40,80
1973	90,80	42,00	70,60
1974	49,20	32,00	72,00
1975	58,20	38,00	31,50
1976	34,60	69,30	42,00
1977	41,60	27,20	40,00
1978	108,60	38,10	51,00
1979	53,40	24,80	30,00
1980	111,40	37,40	105,00
1981	54,60	37,50	51,00
1982	149,40	96,30	32,00
1983	68,00	48,70	48,00
1984	42,50	111,20	64,00
1985	55,60	27,70	50,00
1986	52,50	66,80	53,00
1987	46,50	26,80	40,00
1988	71,30	38,00	74,50
1989	49,40	56,60	65,00
1990	99,50	35,80	40,00
1991	88,70	42,20	70,00
1992	62,70	61,80	48,00
1993	64,20	42,50	32,20
1994	68,70	59,80	50,70
1995	72,30	50,30	49,70
1996	61,50	36,90	24,80
1997	60,00	28,00	56,00
1998	53,20	44,20	53,30
1999	52,40	62,80	41,70
2000	69,00	33,00	42,10
2001	60,10	36,60	41,30
2002	85,00	52,90	72,80
2003	42,00	90,10	103,00
2004	87,50	124,70	109,50
2005	80,50	44,50	34,50
2006	131,00	59,10	41,30
2007	61,00	54,00	62,80
2008	67,90	32,10	46,00
2009	58,00	53,60	37,00
2010	78,20	75,50	62,10
Max	181,00	124,70	109,50
Min	34,60	24,80	24,00
Moyenne	72,00	51,71	52,47
Médiane	64,20	44,50	48,00
Variance	852,84	508,26	387,53
Ecart type	29,20	22,54	19,69
Coef d'assy	1,88	1,47	1,30
Coef d'aplatis	4,35	2,24	1,87
Coeffi de variation	0,41	0,44	0,38

III.4.2. Bassin des Hauts Plateaux

Le tableau (III.14) présente les pluies maximales observées aux droits des cinq stations pluviométriques : Batna ferme, Timgad, Ain Beida, Ain Mimoun et Bir Chouhada pour une période d’observation de 39 ans allant de 1970 à 2009.

Tableau (III.14) : Précipitations journalières maximales (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=39): Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada -les Hauts plateaux constantinois-

Code station	070316	070409	070707	070704	070305
Année /Station	Batna ferme	Timgad	Ain Beida	Ain Mimoun	Bir Chouhada
1970	38,00	28,20	25,60	36,70	17,10
1971	31,40	22,20	36,50	36,90	21,60
1972	64,40	53,60	56,00	31,80	34,70
1973	32,70	28,30	25,00	54,50	30,00
1974	25,80	36,40	48,10	49,00	17,50
1975	20,70	39,30	28,10	26,50	24,40
1976	46,40	41,00	37,10	33,50	50,00
1977	32,90	12,90	42,20	34,40	19,50
1978	22,80	39,00	51,20	46,40	45,90
1979	30,50	27,00	48,20	37,30	43,30
1980	25,30	18,50	52,00	36,80	25,20
1981	25,40	16,40	33,10	54,90	16,10
1982	59,60	48,00	49,50	116,90	21,40
1983	48,40	28,20	104,00	33,70	33,60
1984	48,30	32,00	59,20	42,90	41,20
1985	31,30	32,20	25,00	48,80	24,00
1986	41,10	18,00	28,20	41,00	27,20
1987	23,50	16,50	32,00	30,70	23,10
1988	57,00	34,00	40,00	23,80	34,20
1989	60,00	45,50	41,00	60,90	50,80
1990	39,70	49,20	30,40	38,10	28,00
1991	22,10	21,50	27,40	37,20	18,60
1992	40,80	19,00	38,40	50,00	22,70
1993	31,40	33,20	38,30	45,50	18,00
1994	47,00	20,90	31,10	26,00	48,90
1995	34,30	35,80	41,40	41,50	81,00
1996	27,30	20,40	31,50	9,50	17,50
1997	51,90	38,50	33,70	43,30	25,60
1998	17,20	24,30	25,30	37,40	27,70
1999	26,80	37,80	27,60	40,00	26,70
2000	39,80	25,10	44,20	47,60	13,80
2001	20,30	43,50	31,50	36,80	28,90
2002	52,40	24,80	40,10	34,30	67,60
2003	45,20	37,30	48,20	48,00	40,80
2004	42,80	34,30	48,70	37,00	52,70
2005	49,90	31,70	37,10	88,00	47,50
2006	21,10	21,10	41,00	48,50	23,90
2007	36,20	93,70	39,40	23,00	37,50
2008	39,30	59,10	31,00	52,30	36,40
2009	32,60	32,10	43,20	42,20	34,20
Max	64,40	93,70	104,00	116,90	81,00
Min	17,20	12,90	25,00	9,50	13,80
Moyenne	37,09	33,01	39,79	42,59	32,47
Médiane	35,25	32,05	38,35	39,05	27,85
Variance	153,99	214,61	190,79	301,43	214,41
Ecart type	12,41	14,65	13,81	17,36	14,64
Coef d'asy	0,40	1,93	2,66	2,32	1,32

Code station	070316	070409	070707	070704	070305
Coef d'applati	-0,71	6,45	11,20	8,80	2,06
Coeffi de variation	0,33	0,44	0,35	0,41	0,45

III.4.3. Bassin Kébir Rhumel

Le tableau (III.15) donne les pluies maximales journalières au droit des stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Tdjanet, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum et El Milia contrôlant le bassin Kébir Rhumel pour une période d'observation de 39 ans allant de 1970 jusqu'au 2009.

Tableau (III.15) : Précipitations maximales journalières (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=39) stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel-

Code	100110	100208	100302	100303	100306	100307	100308	100312	100702
Année /ST	Hammam	Koudiat	Belaa	Tdjanet	Bir el arch	Ain el kebch	Mechta	Chelghoum	El Milia
1970	106,72	124,75	124,10	58,00	58,09	100,24	127,43	31,39	54,8
1971	183,67	207,30	177,80	53,20	111,12	174,83	147,13	57,02	78,1
1972	183,25	206,37	176,10	93,90	184,60	229,04	144,50	131,62	50,00
1973	107,00	190,05	137,60	114,80	125,70	169,70	168,13	98,53	22,4
1974	166,00	170,08	158,40	118,10	112,20	119,02	189,60	93,66	15,8
1975	184,10	199,15	210,00	182,90	195,30	106,79	171,65	216,72	9,8
1976	172,70	184,51	151,50	187,90	147,80	134,10	187,90	167,97	37,3
1977	129,70	116,22	96,50	96,50	98,00	114,40	105,60	92,00	96,5
1978	116,90	146,70	165,30	151,50	126,80	112,20	116,60	116,80	71,6
1979	141,65	162,20	128,00	161,40	141,50	162,10	158,80	122,10	46,5
1980	75,40	163,00	155,30	137,40	107,20	127,50	145,36	148,48	92,8
1981	180,90	176,80	159,50	166,40	116,40	113,60	170,20	163,13	51,7
1982	120,20	119,40	110,95	126,50	65,20	98,10	150,90	68,39	112
1983	202,10	135,74	122,40	141,80	98,92	113,80	195,62	43,45	112,3
1984	183,20	193,20	157,40	214,30	144,00	146,30	198,60	203,28	154,3
1985	149,90	156,50	126,60	145,80	155,50	100,50	151,00	154,40	125
1986	187,10	245,90	220,40	173,40	210,00	115,93	126,80	187,10	45,1
1987	139,01	176,30	118,36	141,30	107,50	121,50	97,50	141,50	38,9
1988	160,57	207,60	147,59	186,80	142,55	150,04	127,00	199,70	52,2
1989	129,55	148,60	156,40	181,35	177,71	141,18	139,57	149,30	74,2
1990	215,86	193,50	212,30	186,66	186,36	172,90	101,53	193,10	210,3
1991	199,29	231,80	218,80	174,07	164,85	177,20	64,30	255,60	45
1992	158,20	179,60	110,80	145,28	166,30	134,30	52,49	160,80	80,9
1993	115,30	125,40	106,80	107,76	94,50	98,30	58,50	130,70	73
1994	162,78	142,10	118,87	132,30	105,53	111,47	92,80	151,30	57,7
1995	193,69	220,60	106,10	210,65	179,50	165,20	211,50	197,40	59,9
1996	109,90	146,70	92,82	129,60	96,30	73,07	150,50	117,00	58,3
1997	139,80	160,00	110,24	145,20	137,60	129,65	173,50	129,00	82,9
1998	140,72	258,50	177,60	177,90	134,70	191,24	158,70	177,20	67,5
1999	123,80	212,90	163,41	165,90	124,20	205,95	120,70	130,10	67,7
2000	142,35	111,90	74,10	75,20	74,10	98,71	122,00	86,20	72
2001	101,70	85,30	155,30	113,80	77,40	67,70	117,94	101,80	44,5
2002	212,75	212,60	184,00	214,40	200,00	187,50	211,15	235,90	70,5
2003	220,60	192,02	210,70	254,60	187,80	147,75	265,60	204,70	67,7
2004	256,87	184,92	166,80	195,20	122,95	139,40	186,39	181,20	91,3
2005	158,18	179,29	166,70	156,70	145,67	133,53	188,58	171,56	53,7
2006	144,07	175,95	211,80	128,90	156,75	137,43	114,56	113,10	63,3
2007	165,25	169,44	241,30	168,30	187,90	151,11	234,29	144,30	46,9
2008	218,01	221,98	265,70	173,00	129,50	204,79	173,69	238,23	55,7
2009	195,99	181,06	154,40	170,90	153,80	144,31	175,75	177,70	90,7
Max	256,87	258,50	265,70	254,60	210,00	229,04	265,60	255,60	210,30
Min	75,40	85,30	74,10	53,20	58,09	67,70	52,49	31,39	9,80
Moyenne	159,87	175,40	156,22	151,49	136,30	138,06	149,86	147,09	69,34
Variance	1570,11	1459,02	1909,06	1842,11	1522,87	1326,99	2147,37	2822,58	1347,06

Code	100110	100208	100302	100303	100306	100307	100308	100312	100702
Ecart-Typ	39,62	38,20	43,69	42,92	39,02	36,43	46,34	53,13	36,70
Coeff d'assy	0,16	-0,13	0,44	-0,24	-0,02	0,45	0,02	-0,14	1,77
Coef d'aplat	-0,33	-0,13	-0,18	0,30	-0,73	-0,05	0,16	-0,31	5,13
Coef de var	0,25	0,22	0,28	0,28	0,29	0,26	0,31	0,36	0,53

III.4.4. Bassin Seybouse

Le tableau (III.16) donne les pluies maximales journalières au droit des stations : Guelma, Bouchegouf et Pont Bouchet contrôlant le bassin Seybouse pour une période d'observation de 35 ans allant de 1977 jusqu'au 2011.

Tableau (III.16) : Précipitations maximales journalières (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=35) stations : Guelma, Bouchegouf, Pont Bouchet-Bassin Seybouse - .

Code station	140412	140505	140631
Année /Station	Guelma	Bouchegouf	Pont Bouchet
1977	38,30	38,50	48,90
1978	36,40	59,90	57,70
1979	29,80	32,50	34,00
1980	42,00	51,80	36,00
1981	41,70	24,30	38,40
1982	46,00	46,20	114,60
1983	62,70	44,30	114,60
1984	58,70	25,00	83,70
1985	22,90	31,40	28,80
1986	48,40	37,00	23,60
1987	25,00	30,00	26,20
1988	39,50	40,60	47,40
1989	34,00	35,40	54,00
1990	44,00	33,60	45,00
1991	44,00	47,30	58,00
1992	82,00	74,10	71,00
1993	48,00	46,80	32,80
1994	35,50	31,80	32,80
1995	38,00	41,40	43,00
1996	15,00	33,50	34,40
1997	51,00	52,50	47,20
1998	56,00	55,70	60,00
1999	100,00	120,00	82,80
2000	32,00	38,20	28,70
2001	36,00	25,90	39,00
2002	68,00	62,50	101,00
2003	51,00	63,70	38,70
2004	72,00	48,40	82,90
2005	68,00	82,70	61,80
2006	48,00	77,70	62,10
2007	39,00	44,70	53,70
2008	37,80	51,00	63,30
2009	62,90	77,40	77,40
2010	61,50	58,00	68,10
2011	56,70	95,40	101,50
Max	100,00	120,00	114,60
Min	15,00	24,30	23,60

Code station	140412	140505	140631
Moyenne	47,77	50,26	56,95
Médiane	44,00	46,20	53,70
Variance	298,70	452,29	628,43
Ecart typ	17,28	21,27	25,07
Coefd'asy	0,90	1,56	0,94
Coef d'applati	1,34	2,28	-0,03
Coef de variation	2,76	2,36	2,27

III.4.5. Bassin Soummam

Le tableau (III.17) présente les précipitations maximales journalières au droit des stations : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mosly contrôlant le bassin Soummam pour une période d'observation de 26 ans allant de 1987 jusqu'au 2011.

Tableau (III.17) : Précipitations maximales journalières (mm) aux différentes stations pluviométriques (n=26) stations :Ighil Ali, Bou Birek , et Ouled Mossli -Bassin Soummam-.

Code station	150503	150703	150627
Année /Station	Ighil Ali	Bou Birek	Ouled Mosly
1988	34,00	41,00	17,10
1989	30,00	29,50	17,00
1990	34,00	55,30	17,50
1991	31,00	38,80	19,50
1992	36,00	45,80	15,50
1993	42,00	35,00	15,50
1994	70,00	48,30	34,40
1995	17,00	58,70	22,20
1996	6,70	21,50	13,50
1997	9,00	45,60	21,70
1998	56,00	36,30	25,30
1999	41,00	55,50	44,00
2000	37,00	45,80	14,90
2001	33,20	30,80	16,10
2002	76,00	58,70	18,00
2003	30,50	40,10	22,20
2004	30,40	54,90	19,80
2005	38,00	34,50	40,40
2006	65,00	63,20	31,30
2007	38,00	55,60	30,20
2008	25,80	90,00	21,90
2009	34,80	48,20	30,60
2010	35,70	37,10	21,40
2011	32,30	40,00	24,10
2012	32,50	44,10	34,90
Max	76,00	90,00	44,00
Min	6,70	21,50	13,50
Moyenne	36,77	45,63	23,50
Médiane	34,40	44,85	21,80
Variance	251,45	191,47	66,64
Ecart typ	15,86	13,84	8,16
Code station	150503	150703	150627
Coef d'applati	1,39	2,99	0,39
Coef de variation	2,32	3,30	2,88

Les figures (III.17, III.18, III.19, III.20, III.21, et III.22) montrent l'ajustement des précipitations maximales journalières au droit des six stations représentatives pour notre zone d'étude (Amouchas (Côtiers Constantinois), Ain Beida (Hauts Plateaux Constantinois), Koudiat et Belaa (Kébir Rhumel), Guelma (Seybouse), Bou Birek (Soummam)). Les tableaux d'ajustement et les fonctions de répartition sont présentés dans l'annexe I.

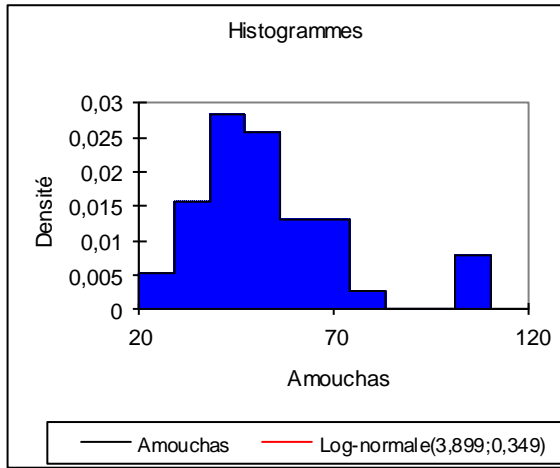


Figure (III.17) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi log normale (st. Amouchas).

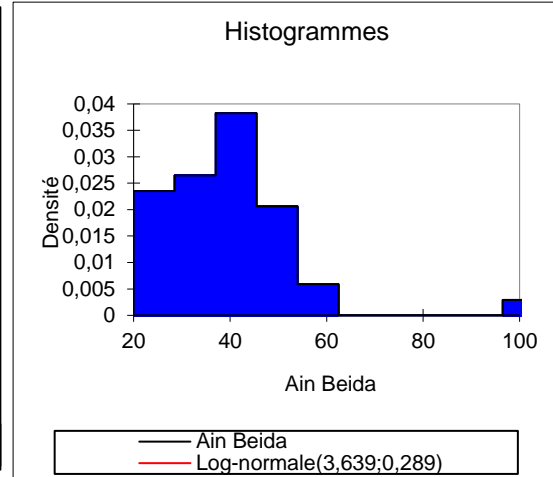


Figure (III.18) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi log normale (st. Ain Beida).

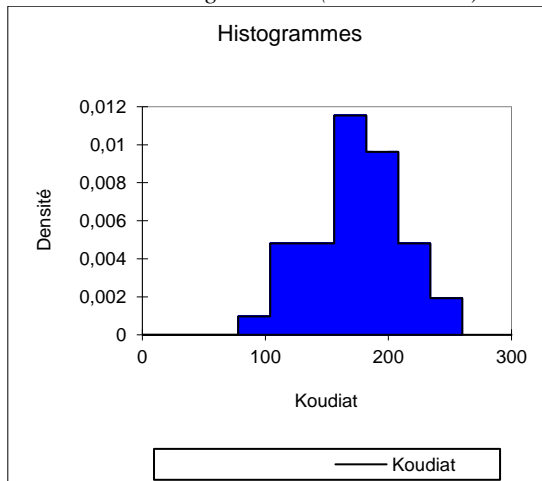


Figure (III.19) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi normale (st. Koudiat).

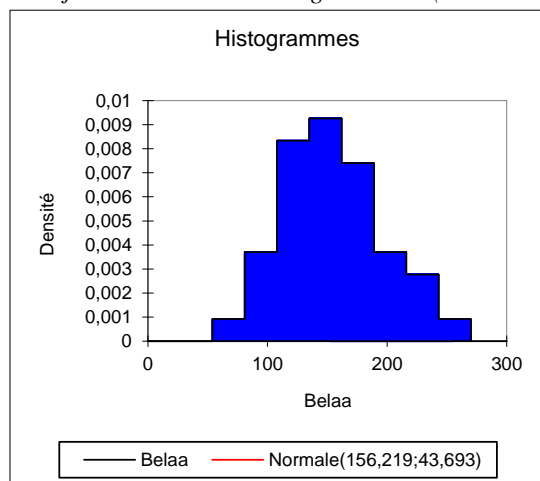


Figure (III.20) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi normale (st. Belaa).

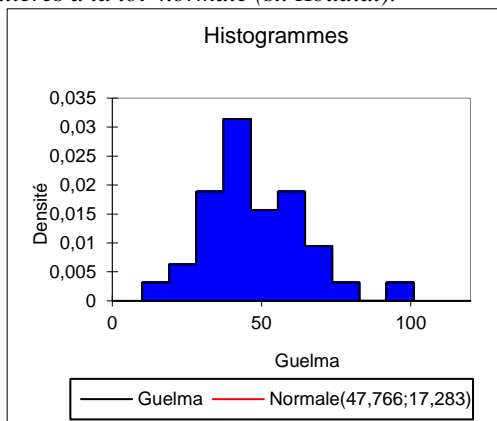


Figure (III.21) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi normale (st. Guelma).

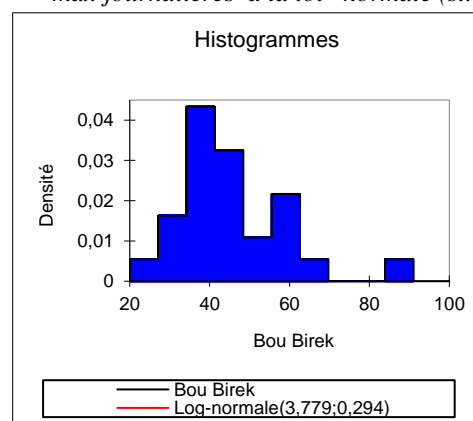


Figure (III.22) : Ajustement des précipitations max journalières à la loi log normale (st. Bou Birek).

Tableau (III. 18): Test de Kolmogorov-Smirnov pour les huit stations pluviométriques représentatives- Pluies journalières maximales-.

Station	Loi	D	P-value	Alpha	Risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 %
Amouchas	log normale	0,090	0,843	0,05	84,27
Ain Beida	log normale	0,121	0,518	0,05	51,77
Koudiat	normale	0,081	0,938	0,05	93,78
Belaa	normale	0,104	0,738	0,05	73,77
Guelma	normale	0,114	0,711	0,05	71,14
Bou Birek	log normale	0,087	0,978	0,05	97,84

Les résultats d'ajustement des précipitations maximales journalières au droit des six stations représentatives montre que les trois stations : Amouchas, Bou Birek et Ain Beida s'ajustent bien à la loi log normale, alors que les stations : Koudiat, Belaa, et Guelma s'ajustent bien à une loi normale. La stationnarité des séries des précipitations maximales journalières est déterminée à un niveau de confiance de 95%. Les tableaux d'ajustement sont présentés toujours à l'annexe.

III.5. Analyse des débits liquides et des concentrations des sédiments en suspension pour 14 stations hydrométriques étudiées

Notre zone d'étude est équipée par un réseau hydrométrique de 14 stations réparties comme suit (Tableau III. 19) : trois stations pour le Bassin Côtiers Constantinois : El Mkaceb, Khemakhem, et Chemora ; deux stations pour le bassin des Hauts plateaux : Chemora, et Foum El Gueiss ; cinq stations pour le bassin Kébir Rhumel : Tassadane, Athmania, Grarem, El Ancer et El Milia, deux stations pour le Seybousse : M.Rechfort et Mdjez Ammar, deux stations pour le Bassin Soumam : Farnatou et Magroua.

Parmi les différentes distributions, la distribution log normale est celle qui est le plus souvent utilisée en Algérie dans l'analyse fréquentielle des débits extrêmes (Boutoutaou . 2011). Toutes les données des débits liquides sont fournies par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) d'Alger.

Tableau (III.19) : Réseau des stations hydrométriques fournissant les débits liquides dans la zone d'étude. (ANRH d'Alger).

Station	Code	Période	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)
El Mkaceb	030310	1977 - 2004	773,52	393,11	167,00
Khemakhem	030901	1973 -2001	878,95	370,3	628
Reboa	070403	1980 - 2001	848,20	250,2	1010
Foum el Gueiss	070702	1980 -2004	885,2	247,3	1305
Chemora	070501	1977-2004	855,1	264,5	890
Tassadane	100109	1987 -1997	785,7	359,4	955
Ain Smara	100403	1985 -1995	839,556	336,04	711
Bouchrida	100602	1979 -2003	842,08	364,53	/
El kheneg	100620	1985 - 1996	838,26	357,14	/

Station	Code	Période	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)
El Ancer	100702	1972 -1993	807,6	395,45	/
Mdjez Ammar	140301	1980 -1981	912,3	358,75	785
Borj Sabat	140302	1980 - 2000	889,05	355,1	540
Moulin Rechfort	140202	1974-1990	922,35	319,8	710
Farmatou	150601	1974 -2004	742,02	329,40	1205
Magroua	150702	1972 -1993	713,65	333,10	1000

III.5.1. Traitement des données des concentrations des sédiments en suspension

Chaque station des 14 stations hydrométriques étudiées nous fournit une série de mesures comportant : la date de prélèvement, le débit liquide en (m³/s), et le débit solide en (kg/s), et les concentrations des sédiments en suspension CSS (g/l). Il est à noter que la période d'observation se diffère d'une station à l'autre, tableau (III.20).

Tableau (III. 20) : Stations hydrométriques fournissant les concentrations des sédiments en suspension. (ANRH Alger).

Code	Station	Période d'observation	Oued	Coordonnées		
				X(Km)	Y(Km)	Z(Km)
030310	El Mkaceb	21 octobre 1976 - 22 décembre	EL Kantara	773,52	393,11	167
030334	Chedia	21 novembre 1972 - 30 avril 1986	El Agrème	779,75	386,7	437
030901	Khemakhem	04 septembre 1970 - 31 décembre	Saf-Saf	878,95	370,3	628
031101	Ain Charchar	01 septembre 1972 - 05 octobre	Kebir-Ouest	909,6	393,15	278
070702	Foum El Gueiss	15 septembre 1971 - 29 mars 1996	Gueisse	885,2	247,3	1305
070501	Chemora	01 septembre 1972-10 Aout 1995	/	850,50	260,25	942
100109	Tassaadane	01 janvier 1987 - 27 aout 1997	El Kebir	785,7	359,4	955
100301	Athmania	19 novembre 1978 - le 25 juin	/	821,99	332,07	/
100601	Grarem	02 novembre 1977 - 30 novembre	Rhumel	821,55	363,35	772
100701	El Ancer	25 novembre 1978 - 31 décembre	K.Rhumel	807,6	395,45	/
100702	El Milia	21 octobre 1976 - 28 mais 1988	Boussiaba	819,05	391,9	386
140301	Medjez Amar	12 septembre 1969 - 13 juin 2000	Bouhamdane	912,3	358,75	785
150601	Farmatou	26 novembre 1971 - 31 janvier	Bousselam	742,02	329,4	1205
150702	Magraouna	21 octobre 1976 - 22 décembre	Bousselam	713,65	333	1000

III.5.1.1. Vérification de la normalité des séries de concentration des sédiments en suspension :

Le choix des tests d'homogénéité se repose sur la vérification de la normalité de la série des données, on utilisant le logiciel xlstat 2015, on a vérifié la normalité pour les 14 stations hydrométriques contrôlant la zone d'étude : El Mkaceb , Chedia , Khemakhem, et Ain Charchar pour le bassin des Côtiers Constantinois, Foum El Gueiss et Chemora pour le bassin des Hauts plateaux, station de Tassaadane, Athmania, Grarem, El Ancer et El Milia pour le bassin Kébir Rhumel , station Mdjez Ammar pour le bassin Seybouse , la station Farmatou et Magroua pour le bassin Soummam, par quatre tests : le test de Shapiro Wilk, le test de Anderson-Darling, le test de Lilliefors, et le test de Jarque-Bera. Les tableaux d'ajustement et les figures sont présentés dans l'annexe I.

- **Test de Shapiro wilk**

Le test de Shapiro-Wilk (W) est utilisé pour tester la normalité des séries de concentrations. Si la statistique W est significative, il faut alors rejeter l'hypothèse selon laquelle la distribution correspondante est normale. Le test W de Shapiro-Wilk est le test de normalité le plus utilisé parce que c'est un test puissant par rapport à de nombreux tests alternatifs (Shapiro et Chen. 1968). On utilisant le logiciel Xlstat, on peut vérifier la normalité des séries des concentrations des sédiments en suspension CSS pour les 13 stations hydrométriques étudiées. On se basant sur les résultats des tests de normalité, on peut choisir un test d'homogénéité : test paramétrique ou non-paramétrique.

H0 : La variable dont provient l'échantillon suit une loi Normale.

Ha : La variable dont provient l'échantillon ne suit pas une loi Normale.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

- **Test de Anderson-Darling**

La procédure Anderson-Darling (NIST. 2005) est un test général permettant de comparer l'ajustement d'une fonction de répartition observée cumulée à une fonction de répartition théorique cumulée. Ce test est applicable à un ensemble de données complet (sans observations censurées) et constitue une alternative au test de Kolmogorov-Smirnov pour deux échantillons. Si le test de Kolmogorov-Smirnov est assez sensible à la médiane, le test d'Anderson-Darling est plus sensible sur toute l'étendue de la distribution et a donc plus de chances de détecter des différences dans la répartition des distributions cumulées. Ainsi, le test d'Anderson-Darling est préférable pour savoir si les données simulées modélisent bien les données observées sur toute leur étendue (<http://www.statsoft.fr/>).

- **Test de Lilliefors**

En statistique, le test de Lilliefors est un test de normalité adapté du test de Kolmogorov-Smirnov permettant de tester l'hypothèse nulle que les données soient issues d'une loi normale quand les paramètres de la loi normale ne sont pas connus, c'est-à-dire quand ni l'espérance μ ni l'écart type σ ne sont connus. Dans un test de Kolmogorov-Smirnov pour la normalité, lorsque la moyenne et l'écart-type de la distribution normale supposée ne sont pas connus (c'est-à-dire qu'ils sont estimés à partir d'un échantillon de données), les valeurs de probabilité tabulées par Massey (1951) ne sont pas correctes. A la place, les probabilités de Lilliefors (Lilliefors. 1967) doivent être utilisées pour déterminer si la statistique de différence de KS est significative (<http://www.statsoft.fr/>).

Le test de Lilliefors est utilisé pour décider d'une population statistique si elle est normale ou pas. Il s'agit donc, pour une série statistique, de calculer sa moyenne μ et son écart-type σ , et puis de tester si $N(\mu, \sigma)$ est gaussienne. En d'autres termes, on teste si la distribution empirique de la population à étudier est compatible avec la loi normale (<https://scientificsentence.net>).

- **Test de Jarque-Bera**

Publié en 1980 par Carlos Jarque et Anil K. Bera, le test de Jarque-Bera est une approche non paramétrique permettant de tester si une variable continue X suit une loi normale. La particularité du test de Jarque-Bera repose sur le fait qu'il n'étudie pas directement l'adéquation à la loi normale mais plutôt simultanément si le coefficient d'asymétrie (appelé également coefficient of Skewness ou coefficient β_1 de Pearson) et le coefficient d'aplatissement (appelé également coefficient of Kurtosis ou coefficient β_2 de Pearson) sont tous deux égaux à ceux d'une loi normale. Le test de Jarque-Bera ne teste pas à proprement parler si les données suivent une loi normale, mais plutôt si le kurtosis et le coefficient d'asymétrie des données sont les mêmes que ceux d'une loi normale de même variance (<https://lemakistatheux.wordpress.com>).

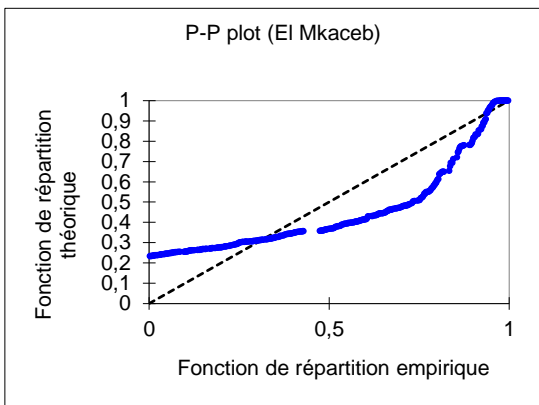


Figure (III.23) : Graphiques P-P (loi normale)
St El Mkaceb.

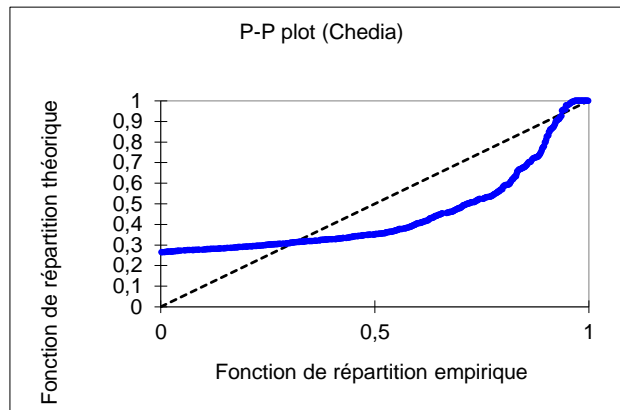


Figure (III.24) : Graphiques P-P (loi normale)
St Chedia.

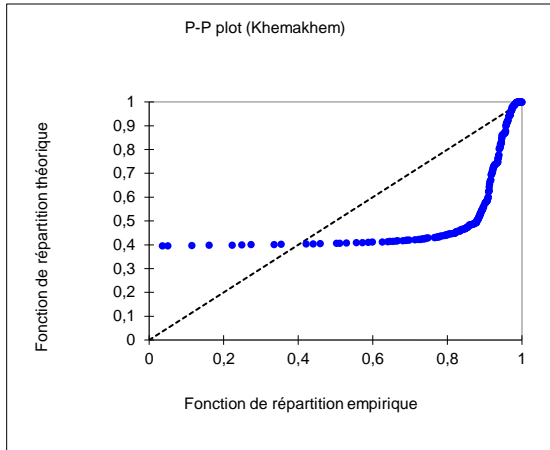


Figure (III.25): Graphiques P-P (loi normale) St Khemakhem.

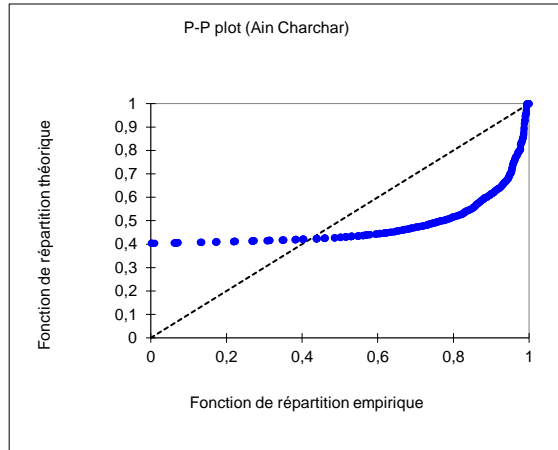
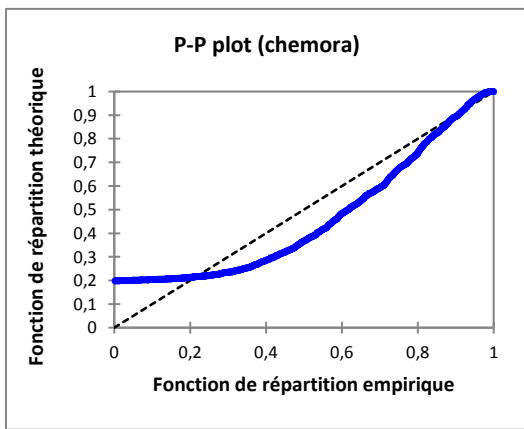


Figure (III.26): Graphiques P-P (loi normale) St Ain Charchar.



Figure(III.27): Graphiques P-P (loi normale) St Chemora.

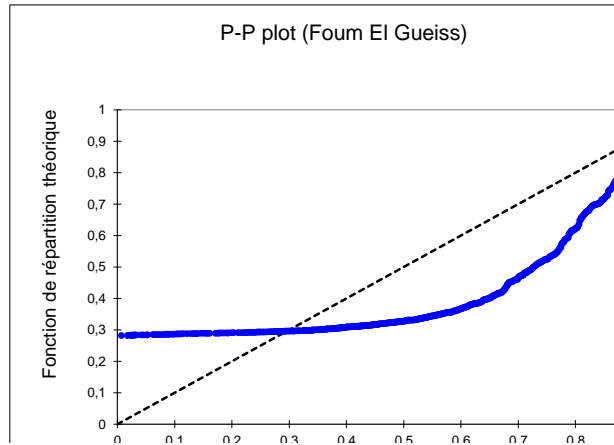
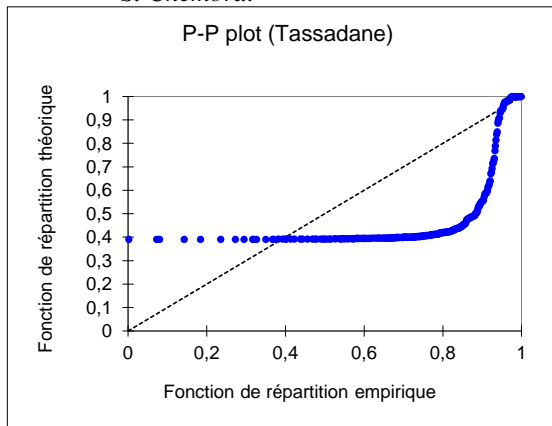


Figure (III.28): Graphiques P-P (loi normale) St Foum El Gueiss.



Figure(III.29): Graphiques P-P (loi normale) St Tassadane .

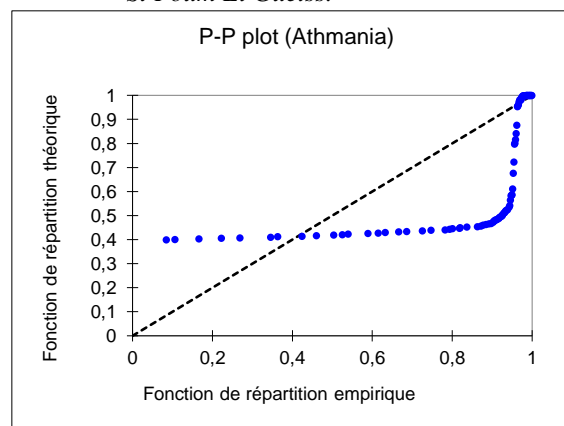


Figure (III.30): Graphiques P-P (loi normale) St Athmania.

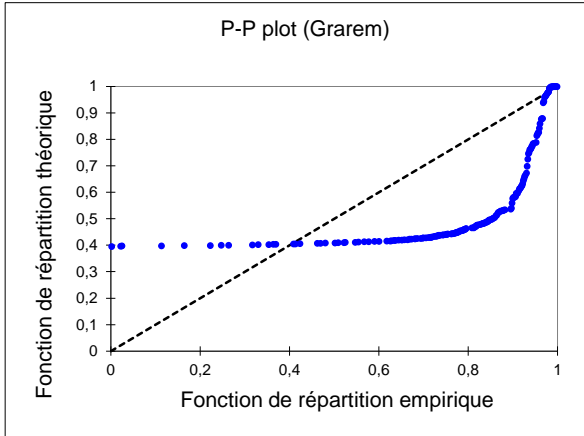


Figure (III.31): Graphiques P-P (loi normale) St Grarem.

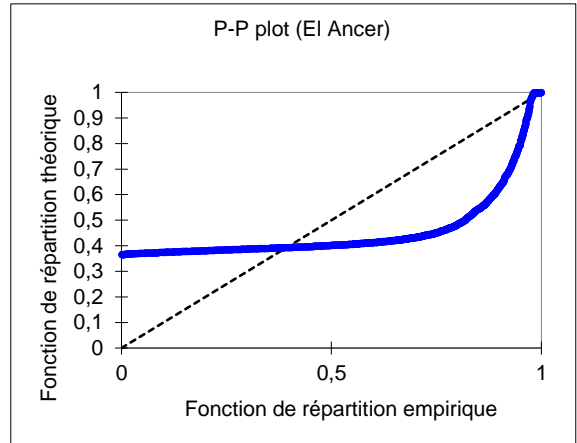


Figure (III.32): Graphiques P-P (loi normale) St El Ancer.

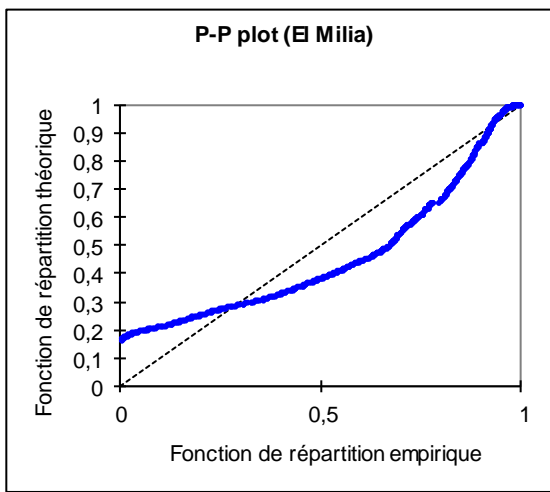


Figure (III.33): Graphiques P-P (loi normale) St El Milia.

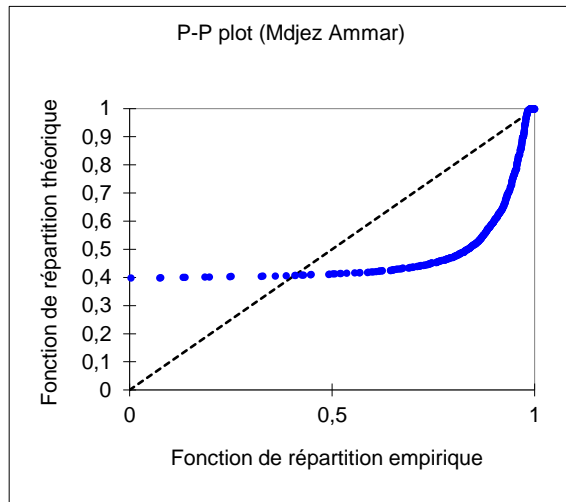


Figure (III.34): Graphiques P-P (loi normale) St Mdjez Ammar.

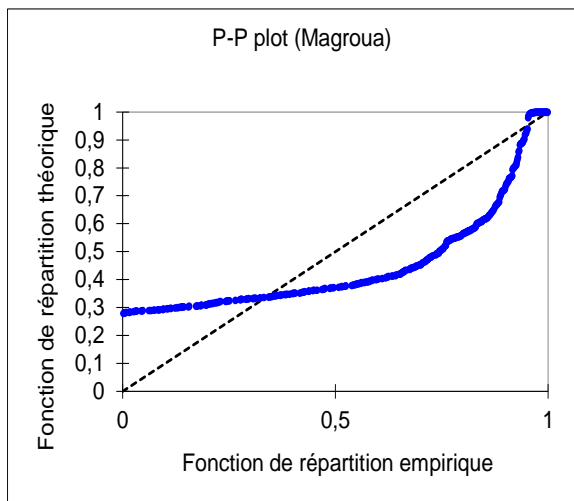


Figure (III.35): Graphiques P-P (loi normale) St Magroua.

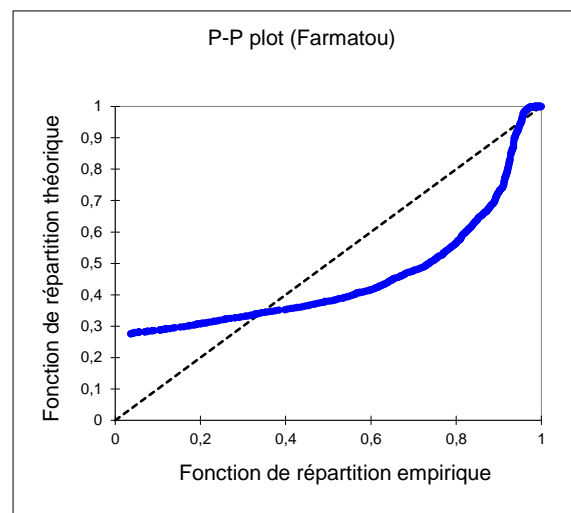


Figure (III.36): Graphiques P-P (loi normale) St Farmatou.

Tableau (III.21) : Synthèse des quatre tests étudiés : Shapiro wilk, Anderson Darling, Lilliefors, et Jarque-Bera.

Bassin	Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Côtiers Constantinois	El Mkaceb	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Chedia	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Khemakhem	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Ain Charchar	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Hauts Plateaux	Foum el Gueiss	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Chemora	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Kébir Rhumel	Tassadane	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Athmania	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Grarem	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	El Ancer	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	El Milia	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Seybouse	Mdjez Ammar	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Soummam	Magroua	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Farmatou	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%. D'après l'analyse graphique par l'histogramme de Shapiro-Wilk, il s'avère que les valeurs de P sont inférieures à 0,05 pour les 14 stations hydrométriques étudiées. Alors, on conclut que toutes les séries de données des concentrations des sédiments en suspension CSS ne suivent pas une loi normale. Donc la vérification de l'homogénéité des séries des concentrations des sédiments en suspension CSS, doit être faite avec un test non-paramétrique.

III.5.1.2. Vérification de l'homogénéité des débits liquides et des Concentration des sédiments en suspension par le Test de Wilcoxon

Le test de Wilcoxon, est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs, au lieu de la série de leurs valeurs. Le test de Wilcoxon se base sur le principe suivant : Si l'échantillon X est issu d'une même population y, l'échantillon X U Y (union de X et de Y) en est également issu. Il permet de tester l'hypothèse selon laquelle les distributions de chacun de deux groupes de données sont proches.

On procède ainsi : Soit une série d'observations de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons X et Y : N_1 et N_2 sont respectivement les tailles de ces échantillons.

Avec : $N = N_1 + N_2$ (III.1)
 et $N_1 \leq N_2$

On classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant. Par la suite, nous ne nous intéressons 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 calcul ensuite la somme W_x des rangs des éléments du premier échantillon dans la série commune : $W_x = \sum Rang_x$ (III.2)

Wilcoxon a montré que, dans le cas où les deux échantillons X et Y constituent une série homogène, la quantité W_x est comprise entre deux bornes : W_{max} et W_{min} données par les formules suivantes :

$$W_{min} = \frac{(N_1+N_2+1)N_1-1}{2} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{N_1N_2(N_1+N_2+1)}{12}} \dots\dots\dots(III.3)$$

$$W_{max} = (N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{min} \dots\dots\dots(III.4)$$

$Z_{1-\alpha/2}$: représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à $1-\alpha/2$ (au seuil de confiance de 95 %, nous avons $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$).

III.5.1.3. Vérification de l'homogénéité des débits liquides

L'homogénéité des débits liquides moyens annuels des cours d'eau dans la zone d'études est vérifiée par le test Wilcoxon pour 15 stations hydrométriques : El Mkaceb, Khemakhem, Reboa, Foug El Gueiss, Chemora, Bouchdira, El Kheneg, Ain Smara, El Ancer, Tassadane, Mdjez Ammar, Borj Sabat, Moulin Rechfort, Farnatou et Magroua.

• **Bassin Côtiers Constantinois**

Tableau (III.22) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels –Bassin Côtiers Constantinois.

El Mkaceb	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	13	0,92	0,07	93,00	7,15
N2	15	7,69	0,51	313,00	20,87
Wmin=131,46 > Wx= 93 et Wx= 93 < Wmax=245,54 Série station El Mkaceb non homogène					
N1					
N2					
Wmin= 13,94 < Wx= 42,00 < Wmax=51,06 série station Chedia homogène					
Khemakhem	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	13	12,29	0,95	192,50	14,81
N2	19	20,06	1,06	335,50	17,66
Wmin= 146,92 < Wx= 192 < Wmax= 282,08 série station Khemakhem est homogène					

• **Bassin des Hauts plateaux Constantinois**

Tableau (III.23) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels –Bassin Hauts plateaux Constantinois.

Reboa	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	10	4,38	0,44	122,50	12,25
N2	12	4,17	0,35	130,50	10,88
Wmin= 73,78 < Wx= 122,50 < Wmax=156,22 Série station Reboa homogène					
Foug El Gueiss	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	9	1,47	0,16	96,00	10,67
N2	12	2,27	0,19	135,00	11,25
Wmin= 60,43 < Wx=96 < Wmax= 137,56 série station Foug El Gueiss homogène					
Chemora	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	12	4,41	0,37	139,50	11,63
N2	16	12,72	0,80	266,50	16,66
Wmin= 117,28 < Wx= 139,50 < Wmax= 230,72 série station Chemora est homogène					

• **Bassin Kébir Rhumel**

Tableau (III.24) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels -Bassin Kébir Rhumel-.

Bouchdira	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	11	14,77	1,34	126,00	11,45
N2	14	26,83	1,92	199,00	14,21
Wmin= 94,20 < Wx=126,00 < Wmax= 191,80 Série station Bouchdira homogène					
El Kheneg	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	4	17,57	4,39	25,50	6,38
N2	8	32,11	4,01	52,50	6,56
Wmin= 7,96 < Wx=25,50 < Wmax=44,04 série station Foug El Gueiss homogène					
Ain Smara	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	5	4,44	0,89	27,00	5,40
N2	7	7,87	1,12	51,00	7,29
Wmin= 13,93 < Wx=27,00 < Wmax= 51,07 série station Chemora est homogène					
El Ancer	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	10	15,82	1,58	127,00	12,70
N2	12	70,70	5,89	126,00	10,50
Wmin=73,78 < Wx=127,00 < Wmax= 156,22 série station El Ancer est homogène					
Tassadane	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	13	47,03	3,62	227,50	17,50
N2	17	46,98	2,76	237,50	13,97
Wmin=139,17 < Wx=227,50 < Wmax=263,83 série station Tassadane est homogène					

• **Bassin Seybousse**

Tableau (III.25) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels -Bassin Seybousse.

Mdjez Ammar	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	10	28,85	2,89	109,00	10,90
N2	12	33,47	2,79	144,00	12,00
Wmin= 73,78 < Wx=109,00 < Wmax= 156,22 Série station Mdjez Ammar homogène					
Borj Sabat	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	9	9,05	1,01	116,50	12,94
N2	12	6,23	0,52	114,50	9,54
Wmin= 60,42 < Wx=116,50 < Wmax=137,58 série station Borj Sabat homogène					
Moulin Rechfort	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	6	3,43	0,57	43,00	7,17
N2	8	5,51	0,69	62,00	7,75
Wmin= 22,32 < Wx=43,00 < Wmax= 67,68 série station Moulin Rechfort est homogène					

• **Bassin Soummam**

Tableau (III.26) : Test de Wilcoxon pour les débits moyens annuels - Bassin Soummam.

Farmatou	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	12	7,09	0,59	204,50	17,04
N2	19	7,76	0,42	291,50	15,34
Wmin= 127,67 < Wx=204,50 < Wmax=256,33 série station Farmatou homogène					
Magroua	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	8	9,51	1,19	109,50	13,69
N2	9	8,39	0,70	100,50	8,38
Wmin=42,63 < Wx= 109,50 < Wmax= 101,37 série station Magroua non homogène					

Le test de Wilcoxon, nous a permis de vérifier l'homogénéité des séries des débits liquides moyens annuels QI pour les la totalité des stations hydrométriques, les résultats du test ont montré que l'ensemble des stations étudiées sont homogènes, sauf la station de Bouchdira, au droit des bassins Kébir Rhumel, qui a été jugée non homogène.

III.5.1.4. Vérification de l'homogénéité des concentrations des sédiments en suspension

L'homogénéité des concentrations des sédiments en suspension CSS annuelles, pour les stations hydrométriques : El Mkaceb, Chedia, Khemakhem, Ain Charchar, Fom El Gueiss, Chemora, Tassadane, Athmania, Grarem, El Ancer, El Milia, Moulin Rechfort, et Mdjez Ammar, Farmatou, et Magroua, par le test de Wilcoxon.

• **Bassin Côtiers Constantinois**

Tableau (III.27) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Côtiers Constantinois.

El Mkaceb	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	3	36,62	12,21	17,00	5,67
N2	6	45,42	7,57	28,00	4,67
Wmin=1,4 < Wx= 17 < Wmax=28,6 série station El Mkaceb homogène					
Chedia	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	5	80,83	16,17	42,00	8,40
N2	7	49,75	7,11	36,00	5,14
Wmin= 13,94 < Wx= 42,00 < Wmax=51,06 série station Chedia homogène					
Khemakhem	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	5	9,23	1,85	40,00	8,00
N2	7	7,75	1,11	38,00	5,43
Wmin=13,93 < Wx=40 < Wmax=51,07 série station Khemakhem est homogène					
Ain Charchar	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	4	1,71	0,43	13,00	3,25
N2	7	13,42	1,92	53,00	7,57
Wmin=7,63 < Wx= 13,00 < Wmax=40,37 série station Ain Charchar est homogène					

• **Bassin des Hauts Plateaux Constantinois**

Tableau (III.28) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles – Bassin des Hauts Plateaux Constantinois.

Foum El Gueiss	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	10	132,37	13,24	133,00	13,30
N2	14	170,90	12,21	167,00	11,93
Wmin=79,02 < Wx=133,00 < Wmax=145,98 série ST Foum El Gueiss est homogène					
Chemora	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	10	379,59	37,96	114,00	11,40
N2	13	498,82	38,37	162,00	12,46
Wmin=76,40 < Wx=114,00 < Wmax=139,6 Série ST Chemora est homogène					

• **Bassin Kébir Rhumel**

Tableau (III.29) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Kébir Rhumel.

Tassadane	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	3	15,62	5,21	8,00	2,67
N2	5	199,21	39,84	28,00	5,60
Wmin=2,43 < Wx=8,00 < Wmax=24,57, Série station de Tassadane homogène.					
Athmania	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	2	1,02	0,51	9,00	4,50
N2	4	0,77	0,19	12,00	3,00
Wmin=2,7 < Wx=9,00 < Wmax=11,3 Série station Athmania homogène.					
Grarem	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	3	4,18	1,39	13,00	4,33
N2	4	6,46	1,61	15,00	3,75
Wmin=2,46 < Wx=13,00 < Wmax= 21,54 Série station de Grarem homogène.					
El Ancer	Taille d'échantillon	X U Y		Rangs	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	7	64,95	9,28	76,00	10,86
N2	10	75,57	7,56	77,00	7,70
Wmin=33,91 < Wx=76,00 < Wmax=92,09 , Série station d'El Ancer homogène.					
El Milia	Taille d'échantillon	X U Y		Ordre	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	7	20,60	2,94	65,00	9,29
N2	10	29,00	2,90	88,00	8,80
Wmin=33,92 < Wx=65,00 < Wmax=92,08 , Série station d'El Milia homogène					

• **Bassin Seybouse**

Tableau (III.30) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Seybouse-

Moulin Rechfort	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	2	26,27	13,13	7,00	3,50
N2	4	30,75	7,69	14,00	3,50
Wmin=0,73 < Wx=7,00 < Wmax=14,73, Série station Moulin Rechfort homogène					

Mdjez Ammar	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	12	16,94	1,41	143,00	11,92
N2	18	55,73	3,10	322,00	17,89
Wmin=124,20 < Wx=143 < Wmax=247,8, Série station de Mdjez Ammar homogène					

• **Bassin Soummam**

Tableau (III.31) : Test de Wilcoxon pour les CSS moyennes annuelles –Bassin Soummam-

Farmatou	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	12	83,43	6,95	128,00	10,67
N2	18	250,42	15,65	278,00	17,38
Wmin=124,2 < Wx=128,00 < Wmax=247,8, Série station Farmatou homogène.					
Magroua	Taille d'échantillon	X U Y		Rang	
		Somme	Moyen	Somme	Moyen
N1	10	164,87	16,49	135,00	13,50
N2	13	163,38	12,57	141,00	10,85
Wmin=76,4 < Wx=135,00 < Wmax=163,60, Série station de Magroua homogène.					

Le test de Wilcoxon, nous a permis de vérifier l'homogénéité des séries des Concentrations CSS pour les stations hydrométriques, les résultats du test ont montré que l'ensemble des stations étudiées sont homogènes.

III.6. Boîte à moustache pour les débits liquides Ql et les Concentrations des sédiments en suspension CSS

La boîte à moustaches aussi appelée diagramme en boîte, boîtes à pattes, une traduction de Box & Whiskers Plot, est une invention de Tukey (1977) pour représenter schématiquement une distribution. Cette représentation graphique peut être un moyen pour approcher les concepts abstraits de la statistique (Le Guen. 2002). C'est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative. La boîte à moustaches utilise 5 valeurs qui résument des données : le minimum, les 3 quartiles Q1, Q2 (médiane), Q3, et le maximum.

- La médiane Q2 partage la série en deux groupes d'effectif égaux.
- Le Quartile Q1 repartage le groupe du bas en deux groupes d'effectif égaux.
- Le Quartile Q3 repartage le groupe du haut en deux groupes d'effectif égaux.

Selon que l'effectif n des valeurs est pair ou impair, on procédera différemment pour évaluer les quartiles (Le Guen. 2002).

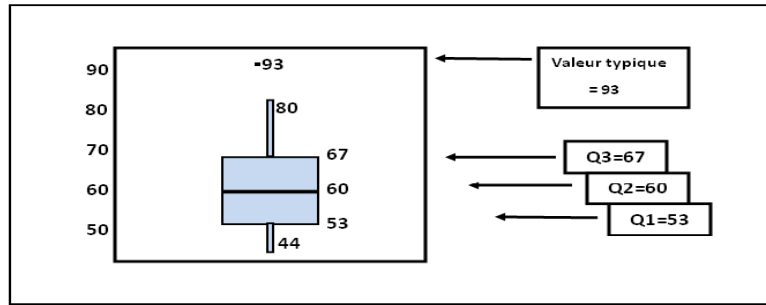


Figure (III.37) : illustration des quantiles sur la Boîte à moustache.

Dans la boîte à moustaches définie par Tukey, la boîte a pour hauteur la distance interquartile ($Q3 - Q1$), et les moustaches sont basées généralement sur 1,5 fois la hauteur de la boîte. Dans ce cas, une valeur est atypique si elle dépasse de 1.5 fois l'écart interquartile au-dessous du 1^{er} quartile ou au-dessus du 3^{ème} quartile (Le Guen. 2002).

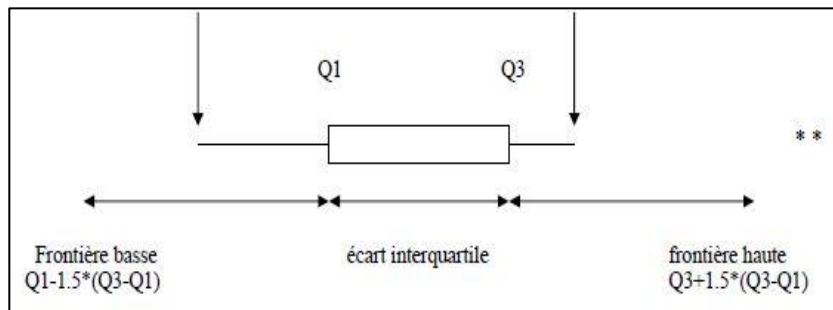


Figure (III.38) : Les valeurs atypiques (outliers) dans une boîte à moustache.

On repère sur la boîte à moustaches d'une variable :

- l'échelle des valeurs de la variable, située sur l'axe vertical.
- la valeur du 1^{er} quartile $Q1$ (25% des effectifs), correspondant au trait inférieur de la boîte,
- la valeur du 2^{ème} quartile $Q2$ (50% des effectifs), représentée par un trait horizontal à l'intérieur de la boîte,
- la valeur du 3^{ème} quartile $Q3$ (75% des effectifs), correspondant au trait supérieur de la boîte,
- les 2 « moustaches » inférieure et supérieure, représentées ici par les petits rectangles verticaux de part et d'autre de la boîte. Ces 2 moustaches, délimitent les valeurs dites adjacentes qui sont déterminées à partir de l'écart interquartile ($Q3 - Q1$).
- les valeurs dites extrêmes, atypiques, exceptionnelles, (outliers) situées au-delà des valeurs adjacentes sont individualisées (Le Guen. 2002). Elles sont représentées par des marqueurs (carré, ou étoile, etc.)

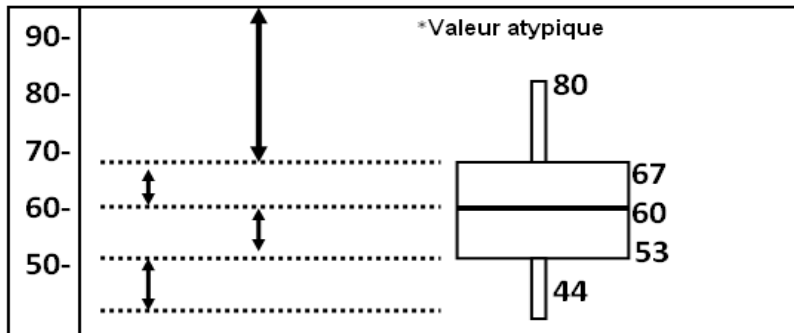


Figure (III.39) : La distribution est décomposée en 4 zones de même effectif (25%).

Si une variable suit une distribution normale, alors la zone délimitée par la boîte et les moustaches devrait contenir 99,3 % des observations. On ne devrait donc trouver que 0.7% d'observations atypiques (outliers). Si le coefficient vaut 1, la probabilité serait de 0.957, et elle vaudrait 0.999 si le coefficient est égal à 2. Pour Tukey, la valeur 1.5 est donc un compromis pour retenir comme atypiques assez d'observations mais pas trop d'observations. Selon les logiciels le coefficient 1,5 est imposé ou paramétrable.

III.6.1. Boîte à moustache pour les débits liquides QI

On procède au tracé des boîtes à moustaches de Tukey par le logiciel xlstat, pour les débits liquides moyens journaliers et les concentrations des sédiments en suspension CSS, aux droits des 14 stations qui contrôlent. La zone d'étude (El Mkaceb, Chedia, Khemakhem, Ain Charchar ,Foum El Gueiss, Chemora, Tassadane, Athmania, Grarem , El Ancer , El Milia ,Mdjez Ammar, Farmatou et Magroua).

Notre but est la définition des points atypiques (s'ils existent) dans les séries des données des débits liquides et ceux des concentrations des sédiments en suspension CSS.

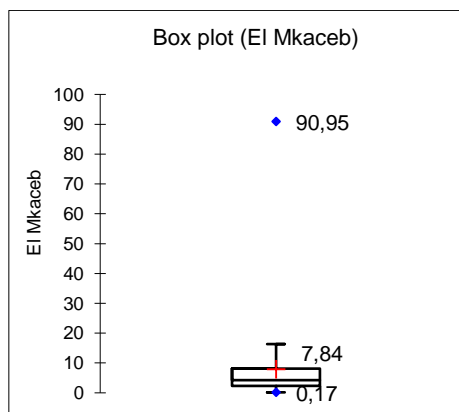


Figure (III.40) : Boite à moustache QI-st El Mkaceb.

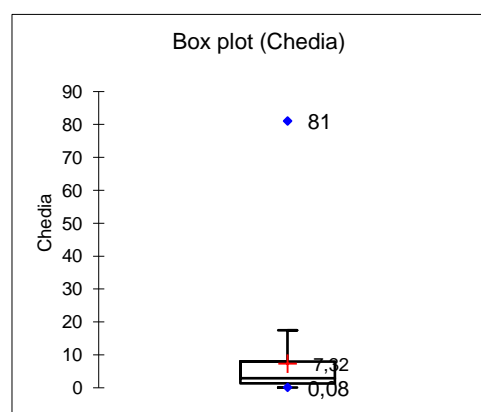


Figure (III.41) : Boite à moustache QI- st Chedia.

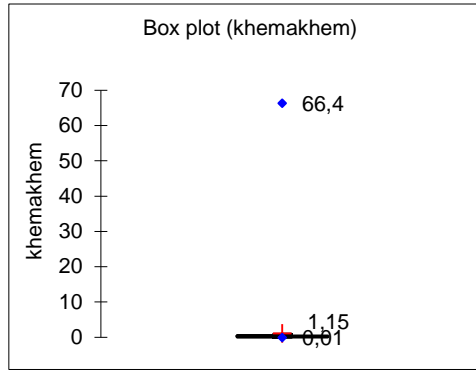


Figure (III.42) : Boite à moustache QI - st Khemakhem.

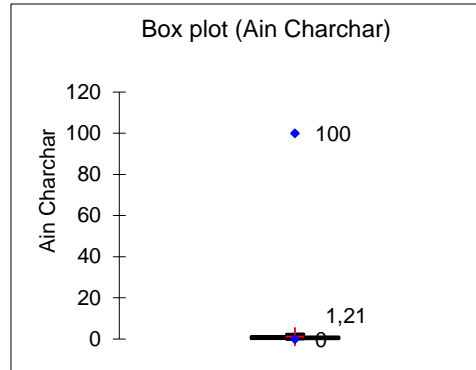


Figure (III.43) : Boite à moustache QI - st Ain Charchar.

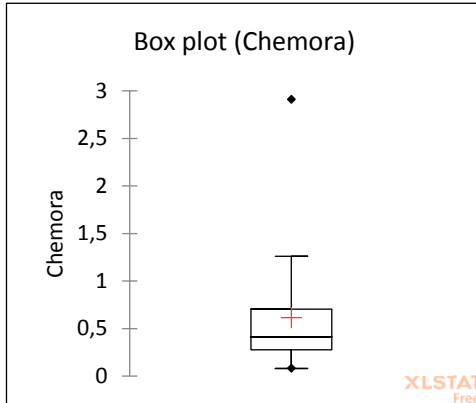


Figure (III.44) : Boite à moustache QI - st Chemora.

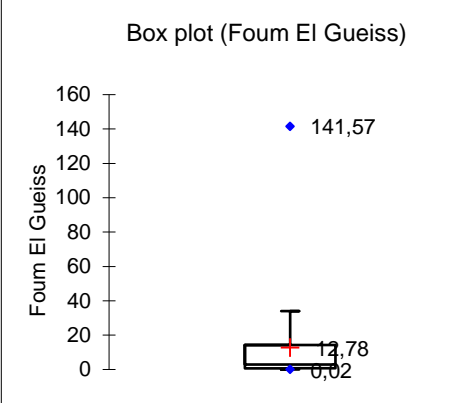


Figure (III.45) : Boite à moustache QI st- Foum El Gueiss.

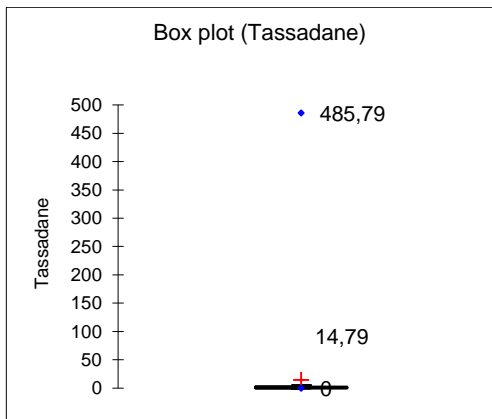


Figure (III.46) : Boite à moustache QI st- Tassadane.

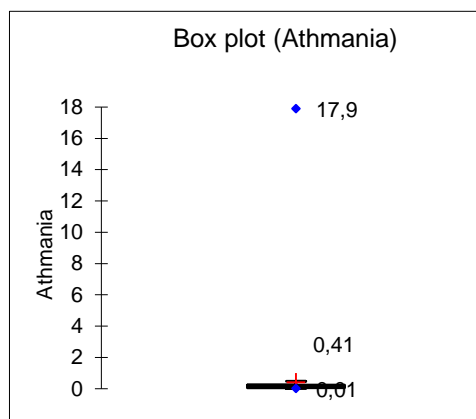


Figure (III.47) : Boite à moustache QI - st Athmania.

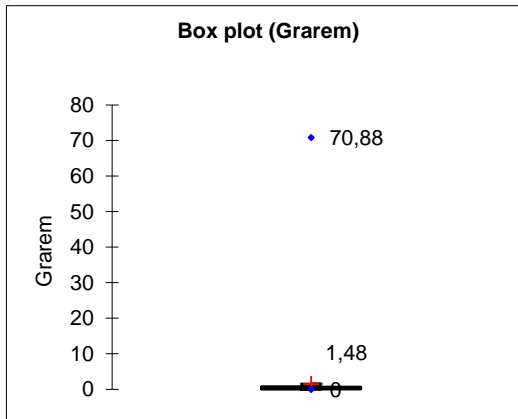


Figure (III.48) : Boite à moustache- st Grarem.

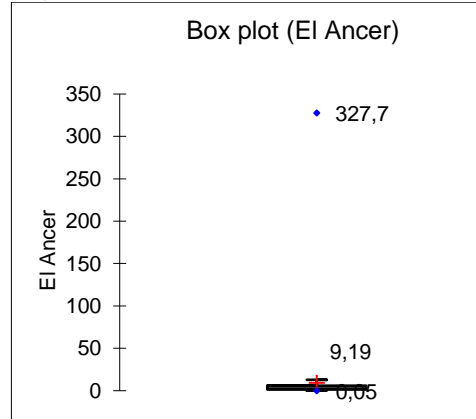


Figure (III.49) : Boite à moustache st El Ancer.

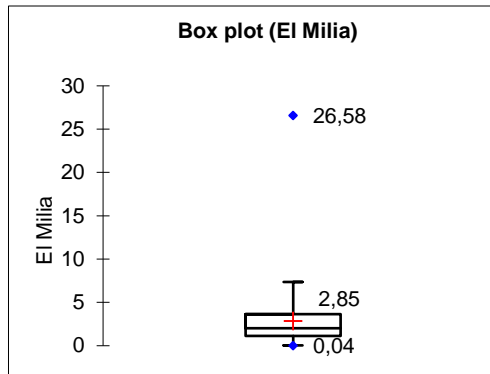


Figure (III.50) : Boite à moustache st El Milia.

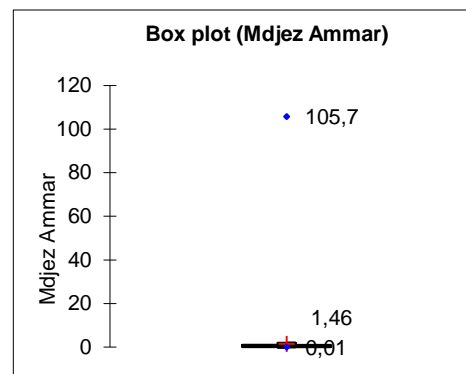


Figure (III.51) : Boite à moustache- st Mdjez Ammar.

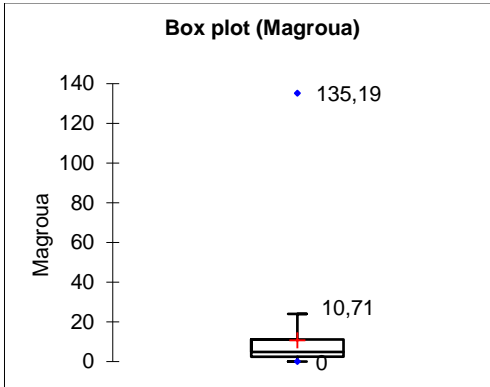


Figure (III.52) : Boite à moustache QI- st Magroua.

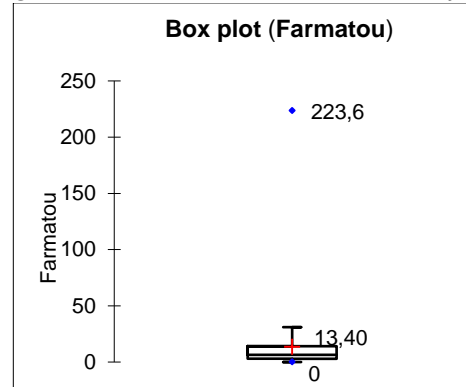


Figure (III.53) : Boite à moustache QI st Farmatou.

Bien que la distribution soit découpée en 4 zones (quartiles) de même effectif (25%) les plages de valeurs du poids ne sont pas égales (Figure III.37). La distribution est plus allongée vers les valeurs élevées du débit liquide journaliers pour les 14 stations hydrométriques étudiées, notamment pour celles de : Ain Charchar, Tassadnae, Athmania, Grarem, El Ancer, et Mdjez Ammar.

- la médiane et la moyenne de la distribution des débits liquides ne sont plus centrées dans les 13 boîtes, et les moustaches délimitées par des crochets ou des sérifs (empattements), ne sont pas symétriques, donc la distribution est dissymétrique pour les 13 stations hydrométriques.
- les 14 boites à moustache n'affichent pas des points atypiques (outliers) pour les séries des débits liquides étudiées.

La comparaison des distributions des débits liquides des 14 stations hydrométriques laisse visualiser :

- une différence des valeurs minimales et maximales (représentées par des points en bleu) ;
- une différence de la médiane (trait du milieu) et de la moyenne (symbolisée par une croix rouge) ; la moyenne varie de 0,41 pour la station d'Athamania à 14,79 pour la station de Tassadane ;
- La moyenne est toujours supérieure à la médiane dans les 14 boîtes. Lorsque la distribution est plus allongée vers les grandes valeurs, la médiane est inférieure à la moyenne. Lorsque la

distribution est plus allongée vers les petites valeurs, la médiane est supérieure à la moyenne (Le Guen. 2002).

-Plus la distribution est dissymétrique, plus la médiane s'écarte de la moyenne (Le Guen. 2002), c'est le cas pour les stations de : El Mkaceb, Chedia, Foum El Gueiss, et Magroua.

- la moyenne est très influencée par les valeurs extrêmes, ce qui n'est pas le cas de la médiane.

- Une différence des quartiles Q1

- Une différence des quartiles Q3.

III.6.2. Boîte à moustaches des concentrations des sédiments en suspension CSS

De même, on procède au tracé des boîtes à moustaches de Tukey par le logiciel Statistica, pour les concentrations des sédiments en suspension aux droits des 14 stations qui contrôlent la zone d'étude : El Mkaceb, Chedia, Khemakhem, Ain Charchar, Foum El Gueiss, Chemora, Tassadane, Athmania, Grarem, El Ancer, El Milia, Mdjez Ammar, Farnatou et Magroua. La représentation de la boîte à moustache par statistica affiche seulement les médianes (pas de moyennes). Les boîtes à moustaches juxtaposées servent à la comparaison d'une variable entre groupes (stations). Cette visualisation conduit plus facilement à l'analyse de la variance (Le Guen. 2002).

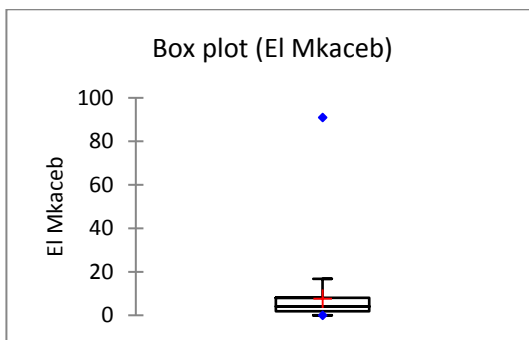


Figure (III.54) : Boîte à moustache CSS st El Mkaceb.

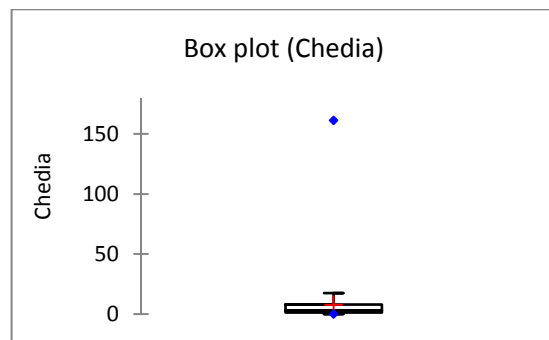


Figure (III.55) : Boîte à moustache CSS st Chedia.

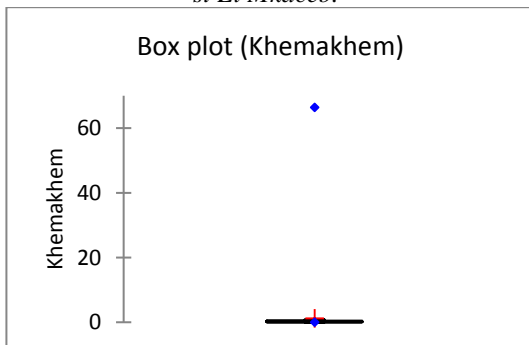


Figure (III.56) : Boîte à moustache CSS st Khemakhem.

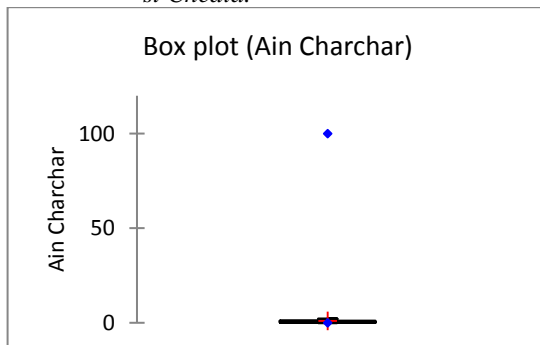


Figure (III.57) : Boîte à moustache CSS st Ain Charchar.

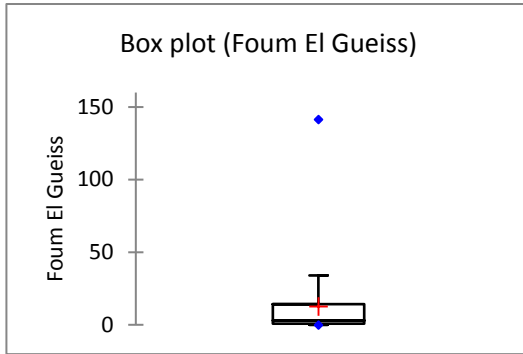


Figure (III.58) : Boite à moustache CSS st Foum El Gueiss.

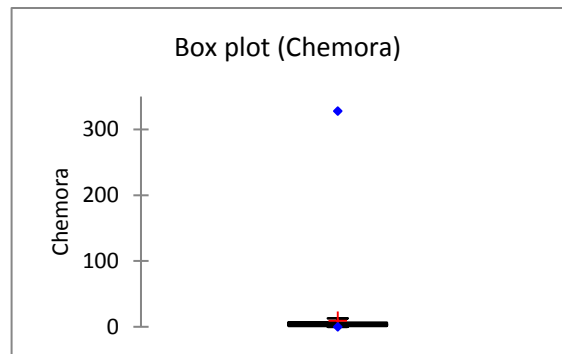


Figure (III.59) : Boite à moustache CSS st Chemora.

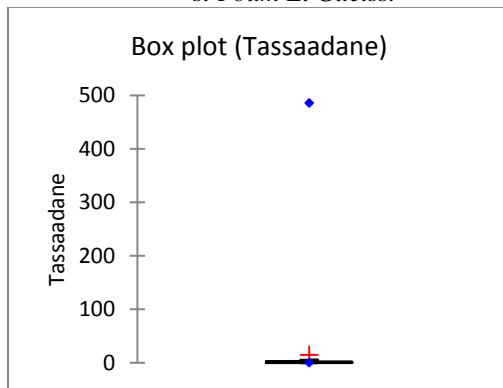


Figure (III.60) : Boite à moustache CSS st Tassadane .

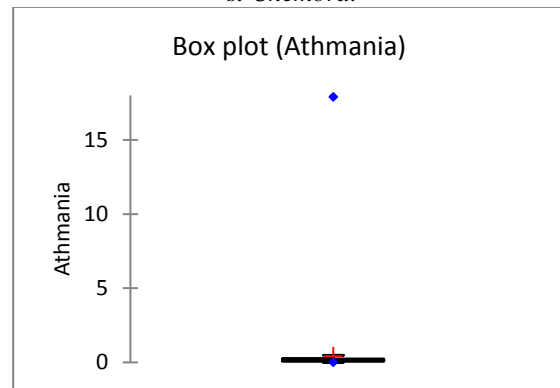


Figure (III.61) : Boite à moustache CSS st Athmania.

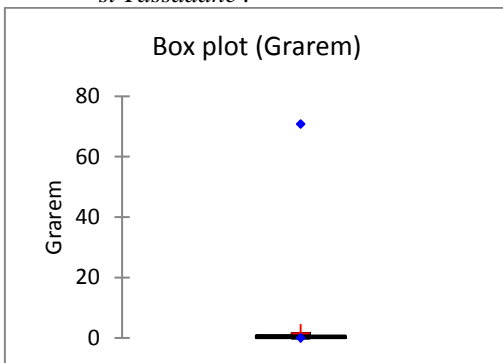


Figure (III.62) : Boite à moustache CSS st Grarem.

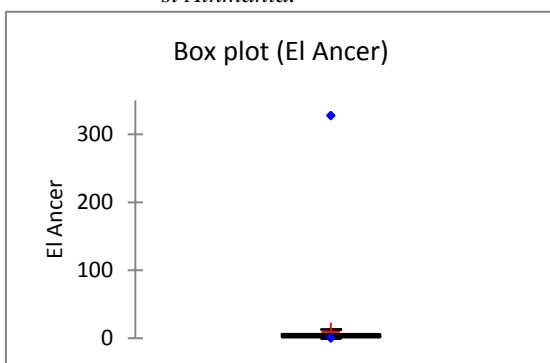


Figure (III.63) : Boite à moustache CSS st El Ancer.

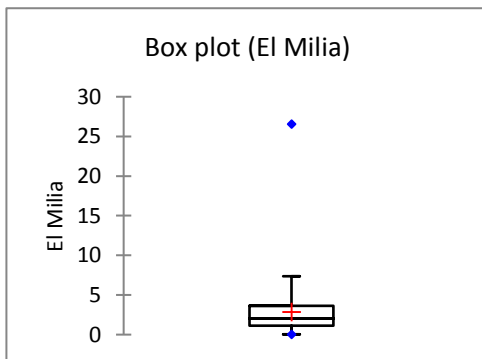


Figure (III.64) : Boite à moustache CSS st Grarem.

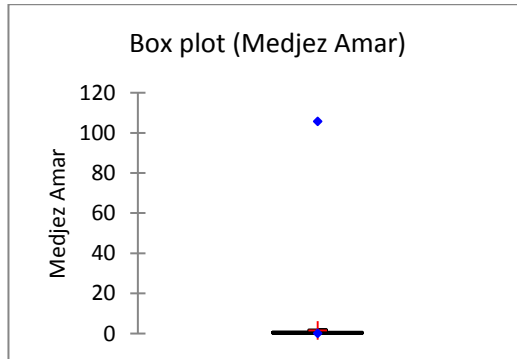


Figure (III.65) : Boite à moustache CSS st El Ancer.

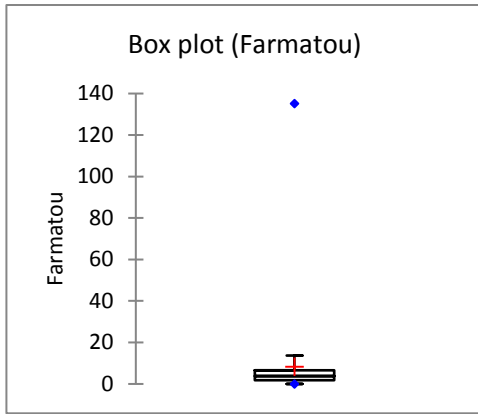


Figure (III.66) : Boite à moustache CSS st Farmatou.

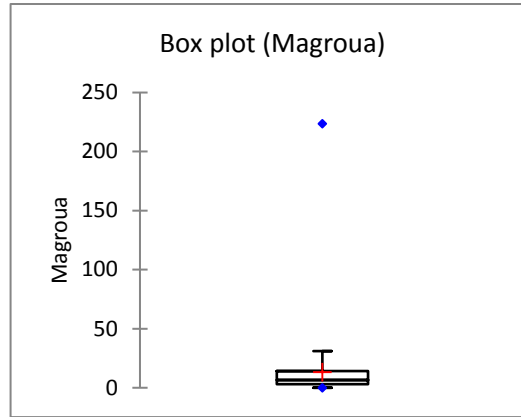


Figure (III.67) : Boite à moustache CSS st Magroua.

Tableau (III.32) : Boite à moustaches -Statistiques descriptives- pour les 14 stations hydrométriques.

station	Nb. d'observation	Min	Max	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Moyenne	Variance (n-1)	Ecart-type (n-1)
El Mkaceb	481	0	90,95	1,9	4,07	8	7,588	109,263	10,45
Chedia	625	0,08	161,1	1,31	2,97	8	7,592	169,936	13,03
Khemakhem	1496	0,01	66,4	0,07	0,13	0,39	1,154	19,175	4,37
Ain Charchar	2129	0	100	0,1	0,26	0,9	0,967	16,155	4,01
Foum El Gueiss	1037	0	141,57	0,74	2,93	14,2	12,788	492,569	22,19
Chemora	2325	0,05	327,7	1,4	2,6	5,99	9,192	711,152	26,66
Tassadane	690	0	485,79	0,07	0,31	2,12	14,792	2844,83	53,33
Athmania	902	0,01	17,9	0,06	0,13	0,23	0,409	2,413	1,55
Grarem	688	0	70,88	0,07	0,19	0,65	1,481	31,64	5,62
El Ancer	2327	0,05	327,7	1,4	2,6	5,985	9,185	710,593	26,6
El Milia	1178	0,04	26,58	1,13	2,01	3,638	2,86	8,218	2,86
Medjez Amar	2411	0,01	105,7	0,095	0,22	0,8	1,47	32,204	5,67
Farmatou	484	0	135,19	1,853	3,785	6,613	8,356	285,957	16,91
Magroua	1905	0	223,6	2,9	6,5	14,2	13,402	508,448	22,5

La distribution est dissymétrique pour la plupart des séries des Concentrations des sédiments en suspension, dont les médianes sont écartées des moyennes, dans les 14 boîtes à moustaches. Les moustaches ne sont pas symétriques de part et d'autre, pour les 14 stations hydrométriques étudiées. Il n'y a plus de valeurs atypiques pour séries des CSS dans l'ensemble des stations étudiées. Une différence des médianes (Q2), du premier quartile Q1, et du troisième quartile Q3, a été remarquée entre les 14 stations hydrométriques.

Conclusion

L'analyse en composante principale ACP appliquée pour les 22 stations pluviométriques contrôlant la zone d'étude, nous a permis de résumer l'information en identifiant les stations les plus représentatives pour les cinq bassins étudiés : la station d'Amouchas pour le bassin des Côtiers Constantinois, la station d'Ain Beida pour le bassin des Hauts Plateaux Constantinois, deux stations pour le bassin de Kébir Rhumel, Koudiat et

Belaa, la station de Guelma pour le bassin de Seybouse et la station de Bou Birek pour le bassin de Soumam. À partir des résultats d'ACP, on a pu distinguer les ressemblances entre les stations pluviométriques et dégager les liaisons entre eux dans chaque groupe. Ces dernières ont la même tendance d'évolution temporelle du régime pluviométrique. L'ajustement des précipitations annuelles et celles maximales journalières montre que la moitié des stations représentatives suit une loi log normale, alors que l'autre moitié suit une loi normale.

La vérification de la normalité des séries des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes au droit des 13 stations hydrométriques par le test de Shapiro wilk, indique qu'elles ne suivent pas une loi normale, pour cette raison, on a choisi le test non paramétrique de Wilcoxon pour la vérification de leur homogénéité. Ce dernier a révélé que toutes les séries des débits liquides moyens annuels sont homogènes sauf une seule station qui est celle de Mkaceb, qui a été jugée non homogène, concernant les séries des concentrations des sédiments en suspension CSS toutes les stations sont homogènes.

La boîte à moustaches est un outil très pratique servant à résumer l'allure générale des variables étudiées, ainsi que la définition des valeurs atypiques (outliers), dans le but de les éliminer avant de procéder à la modélisation des séries des débits liquides et celles des concentrations des sédiments en suspension CSS par les modèles d'intelligence artificielle.

La visualisation des débits liquides par cette technique nous a permis de conclure que les médianes ne sont plus centrées, donc la distribution est dissymétrique pour les séries des débits liquides Q1 et celles des concentrations des sédiments en suspension CSS, elle est plus allongée vers les grandes valeurs des débits liquides pour l'ensemble des stations hydrométriques étudiées, les médianes sont décalées pour la plupart des boîtes à moustaches. Ils n'existent plus de points atypiques pour les deux séries de données étudiées.

Chapitre IV :

Pluviométrie et

écoulement

Introduction

L'étude hydrologique d'un bassin versant dépend directement des données disponibles observées et des mesures effectuées sur l'ensemble des stations hydroclimatologiques à l'intérieur comme au voisinage du bassin, ainsi que de leur répartition spatiotemporelle (Dakiche et Benaini. 2011). Plusieurs études concernant l'analyse de la tendance des précipitations de la région méditerranéenne mettent en évidence une baisse des précipitations à partir des années 70. Selon Xoplaki et al. (2000), les précipitations de la saison humide ont augmenté en Méditerranée au début de la moitié du 20^{ème} siècle avec un maximum enregistré dans les années 1960 puis ont diminué ensuite. À l'exception de quelques périodes humides survenues dans les années 70, début des années 80 et fin des années 90, la seconde moitié du 20^{ème} siècle montre une tendance générale à la baisse de 2,2 mm/mois/décennie, en particulier, la période fin 80 début 90, qui a connu une sécheresse générale sur de larges parties de la Méditerranée.

Il est incontestable que les précipitations en Algérie décroissent du littoral vers l'intérieur suivant un fort gradient latitudinal, altéré toutefois par l'effet orographique (Mebarki. 2005). L'étude des variations interannuelles et inter-saisonnières des précipitations s'avère essentielle pour connaître l'écoulement saisonnier et le comportement hydrologique annuel d'un bassin versant (Ghachi. 1986). Donc, ce chapitre est consacré pour une analyse détaillée du régime pluviométrique et hydrométrique de la zone étudiée, en tenant compte la variation des précipitations annuelles et maximales journalières. La zone d'étude est équipée par un réseau pluviométrique de vingt-deux stations pluviométriques contrôlant les cinq bassins versants : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux, le Kébir Rhumel, le Seybouse et le Soummam. Dans le but d'apprécier la réaction des cinq bassins-versants étudiés vis-à-vis aux événements extrêmes (crues), responsables de l'exportations des volumes max des charges solides, on a procédé à l'étude des crues de la saison froide et chaude sur l'ensemble de la zone d'étude. L'étude des modules des écoulements : apport liquide, module spécifique M_0 , l'hydraulicité K_i , la lame d'eau ruisselée, le coefficient d'écoulement R_i , présente un intérêt indéniable pour cerner l'irrégularité des écoulements dans les cours d'eau contrôlés par les stations hydrométriques étudiées.

IV.1. Variations Temporelle des précipitations annuelles

L'année hydrologique en Algérie se caractérise par des précipitations rares et très irrégulières mais souvent agressives impliquantes des intensités fortes dépassant parfois 30 mm par heure (Demmak. 1982). Ces précipitations, qui sont souvent le résultat d'orages violents, induisent des crues torrentielles dans les cours d'eau qui sont pour la plupart du temps à sec (Mekerta et Tisot. 1993).

Nous allons procéder à une étude détaillée des précipitations annuelles et maximales sur la totalité de la zone d'étude, dans le but de permettre une confrontation avec l'écoulement des cours d'eau drainant la zone d'étude, afin de bien cerner l'irrégularité inter-annuelle et extrême des précipitations qui joue un rôle essentiel et décisif sur l'écoulement fluvial, de dégager une étude hydro pluviométrique et d'estimer les lames d'eau moyennes tombées sur les cinq bassins.

Notre zone d'étude est équipée par vingt-deux stations pluviométriques couvrant une superficie totale de 45531 Km². Ce réseau est répartie comme suit : trois stations contrôlant le bassin des côtiers Constantinois : Jijel secteur, Djamel Berais et Amouchas, cinq stations contrôlant le bassin des Hauts plateaux : Batna Ferme, Timgad, Ain Beida, Ain Mimoun , et Bir Chouhada, huit stations contrôlant le kébir Rhumel : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir El Arch, Ain El Kebch, Mechta, Chelghoum et El Milia, trois stations pour le bassin de Seybouse : Guelma, Bouchegouf, et Pont Bouchet, et trois stations pour le bassin Soummam :Ighil Ali , Bou Birek Birek .

Ce réseau pluviométrique fournit les quantités des pluies moyennes annuelles ainsi que celles maximales journalières pour chaque station étudiée. Les périodes d'observations se diffèrent d'une station à une autre. Toutes les données sont fournies par l'agence nationale ressources hydriques ANRH d'Alger.

IV.1.1. Bassin des Côtiers Constantinois

Les variations des précipitations annuelles au droit du bassin Côtiers Constantinois sont présentées sur la figure (IV.1) pour une période d'observation s'étale sur 42 ans entre 1968-2010 et pour les trois stations pluviométriques : Jijel Secteur, Djamel Berais, et Amouchas.

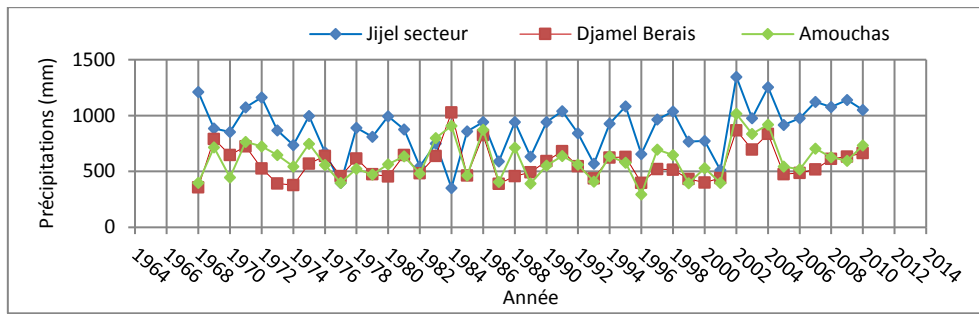


Figure (IV.1) : Précipitations annuelles (mm) pour les trois stations : Amouchas, Djamel Berais , Jijel secteur.

D’après le tableau (III.2) et la figure (IV.1), la station la plus arrosée est celle de Jijel secteur avec 883,92 mm, où le maximum des précipitations annuelles a été enregistré avec une valeur de : 1347,30 mm suivi par la station d’Amouchas avec 604,71 mm, et de 570 mm à la station de Djamel Berais. Le coefficient de variation et l’écart-type permettent de saisir les fluctuations des modules dans le temps et ont l’intérêt de mettre en évidence les caractéristiques de l’écoulement saisonnier (Ghachi. 1986). Les valeurs des écart-types sont très élevées : allant de 149,31 mm à la station de Djamel Berais, 165,65 à la station d’Amochas jusqu’au 223,50 pour la station de Jijel secteur, témoignent les grandes fluctuations des précipitations annuelles enregistrées pour le bassin des Côtiers Constantinois. Les coefficients d’aplatissement « Kurtosis » sont négatifs dans les deux stations : Jijel secteur et Amouchas, et positifs à la station Djamel Berais, ce qui indique une distribution plus plate avec des extrémités moins épaisses par rapport à la distribution normale (distribution platykurtique). Dans le cas d'une distribution normale, la valeur de la statistique kurtosis est égale à zéro.

IV.1.2. Bassin Hauts plateaux constantinois

Les variations des précipitations annuelles au droit du bassin des Hauts Plateaux Constantinois sont présentées sur la figure (IV.2) pour une période d’observation de 39 ans allant de 1970 jusqu’au 2009, pour cinq stations pluviométriques : Batna ferme, Timgad, Ain Beida, Ain Mimoun et Bir Chouhada.

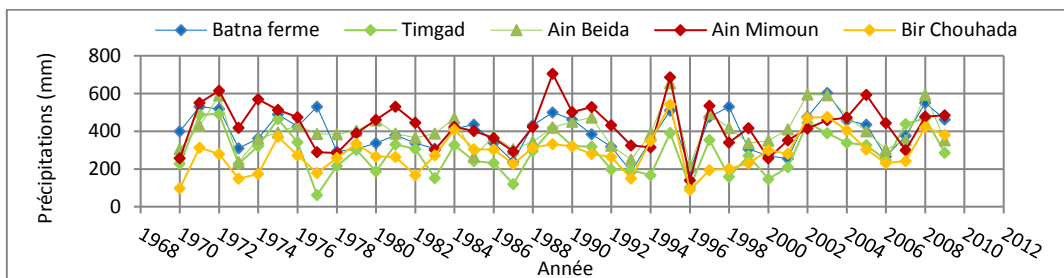


Figure (IV.2) : Précipitations annuelles (mm) pour les trois stations : Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada -Hauts plateaux constantinois-

Selon le tableau (III. 3) et la figure (IV. 2), les précipitations annuelles enregistrées varient entre 285,14 à la station de Bir Chouhada jusqu'au 429,40 dans la station d'Ain Mimoun, la valeur maximale de la pluie annuelle a été enregistrée à cette station ne dépasse pas les 704,40 mm. Une forte dispersion a été observée dans les cinq stations hydrométriques du bassin et avec des écart-types allant de 100,16 à la station de Bir Chouhada jusqu'à 121,22 à la station d'Ain Mimoun. Les coefficients d'aplatissement « Kurtosis » sont positifs variant de 0,07 à 0,33, pour les trois stations : Ain Beida, Ain Mimoun et Bir Chouhada ce qui indique une distribution relativement aplatie. Un coefficient d'aplatissement positif indique une distribution avec un pic moins plat et des extrémités plus épaisses par rapport à la distribution normale (distribution leptokurtique). Par contre les deux stations restantes : Batna ferme, Timgad montrent des valeurs négatives de l'ordre de : -0,79, et -0,69 respectivement, qui sont des valeurs élevées indiquant une a distribution est plutôt pointue (distribution platikurtique).

IV.1.3. Bassin Kébir Rhumel

Les variations des précipitations annuelles au droit du bassin Kébir Rhumel sont présentées sur la figure (IV. 3), pour une période d'observation s'étale sur 40 ans de 1970 jusqu'au 2010, pour huit stations pluviométriques : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, Chelghoum, et El Milia.

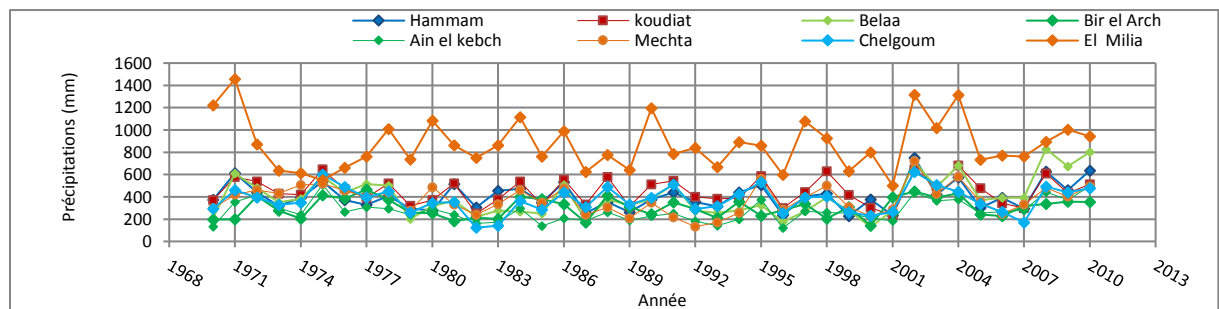


Figure (IV.3) : Précipitations annuelles (mm) stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel –

D'après le tableau (III. 4) et la figure (IV. 3), la pluviométrie annuelle varie entre, 274,14 mm, à la station d'Ain El Kebch, 450,63 mm à la station d'El Koudiat, jusqu'aux 870,22 mm à la station d'El Milia. La valeur minimale des précipitations a été enregistrée au droit de la station d'Ain El Kebch, tant que celle maximale de l'ordre de 1456,1 mm a été enregistrée à la station d'El Milia.

Les grandes valeurs des écarts-types calculées pour les huit stations hydrométriques contrôlant le bassin Kébir Rhumel allant de : 87,63 à la station de Bir El Arch, 125,06 à la station de Mechta, jusqu'à 226, 76 à la station d'El Milia, témoignent d'importantes fluctuations des précipitations annuelles dans le bassin. Pour les coefficients d'aplatissement, la moitié des stations hydrométriques sont corrélées négativement : Koudiat, Bir El Arch, Ain El Kebch, et la station de Chelghoum, ce que signifie que les observations sont moins regroupées au centre et présentent des extrémités plus épaisses atteignant les valeurs extrêmes de la distribution. Les quatre stations : Hammam, Belaa, Mechta et El Milia sont corrélées positivement.

IV.1.4. Bassin Seybouse

Les variations des précipitations annuelles au droit du bassin Seybouse sont présentées sur la figure (IV. 4), pour une période d'observation de 35 ans qui s'étale de 1977 jusqu'au 2011, pour trois stations pluviométriques : Guelma, Bouchegouf, et Pont Bouchet.

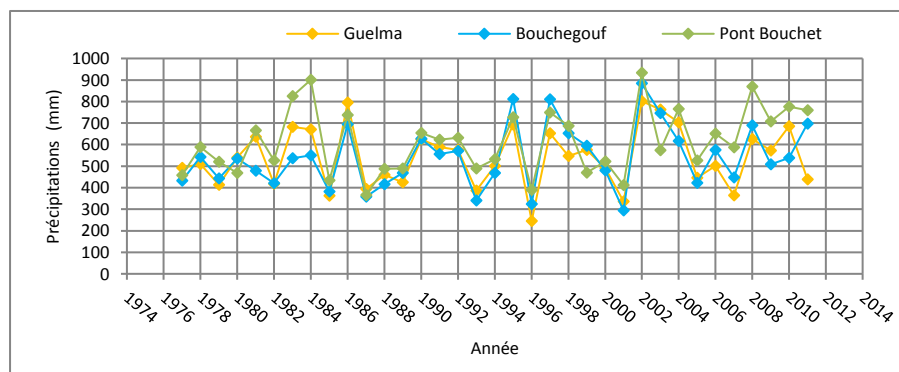


Figure (IV.4) : Précipitations annuelles (mm) stations : Guelma, Bouchegouf, et Pont Bouchet.

D'après le tableau (III. 5) et la figure (IV. 4) on remarque des variations presque subordonnées des précipitations annuelles dans les trois stations : Guelma, Bouchegouf et Pont Bouchet, cette dernière est la plus arrosée avec une moyenne de 614,40 mm, suivie par les deux stations restantes et qui enregistrent la même moyenne annuelle des précipitations de 540 mm.

La figure (IV. 4) montre des grandes fluctuations dans les valeurs des pluies annuelles, cela est confirmé par les valeurs des écart-types calculés qui varient entre : 138,06 à la station de Guelma, et 150,67 à la station de Pont Bouchet.

IV.1.5. Bassin Soummam

Les variations des précipitations moyennes annuelles au droit du bassin Soummam sont présentées sur la figure (IV. 5), pour une période d'observation s'étale sur 26 ans de 1987 jusqu'au 2012, pour trois stations pluviométriques : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mosly.

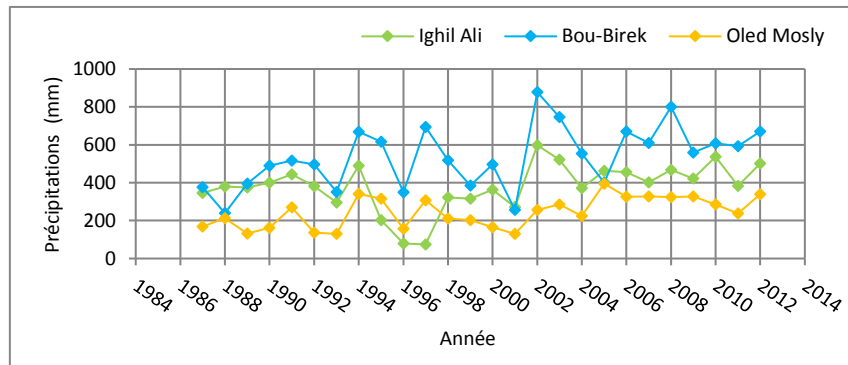


Figure (IV.5) : Précipitations moyenne annuelles (mm) stations : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mossli.

D'après le tableau (III. 6) et la figure (IV. 5) : Les précipitations annuelles enregistrés au bassin Soummam présentes des grandeurs moyennes, elles ne dépassent pas les 540 mm pour les trois stations étudiées : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mosly, la valeur minimale a été enregistrée à la station de Ighil Ali de l'ordre de 74,60 mm, alors que celle maximale : 877,90 mm a été observée à la station de Bou Birek. Les deux stations Bou Birek et Ouled Mosly sont corrélés négativement, la station Ighil Ali est corrélée positivement.

IV.2. Variations des précipitations maximales journalières

Les valeurs extrêmes des variables hydro-climatiques, présentent un intérêt tout particulier lorsqu'on parle en termes de risque. Le terme "précipitations extrêmes" caractérise des événements pluviométriques de forte intensité se produisant sur un pas de temps court, et de faible occurrence à la fois dans le temps et dans l'espace (Berolo et Laborde. 2003).

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire, présente un intérêt particulier pour les études de protection contre les crues et le déclenchement de transports solides. Les précipitations et leur intensité exercent un rôle essentiel et décisif autant pour la phase de décapage que dans celle du transport des matériaux (Galevski 1955).

La connaissance des quantiles des précipitations de fréquences rares est nécessaire pour la conception des ouvrages hydrauliques tels que les ouvrages de protection contre les inondations, les réseaux d'assainissement pluviaux et dans de nombreuses applications

d'ingénierie. L'estimation de ces fréquences est difficile, car les événements extrêmes par définition sont rares et les données disponibles, localement, proviennent souvent des observations de courte durée, insuffisantes pour pouvoir estimer les quantiles extrêmes fiables (Tamara et Amarchi. 2013).

IV.2.1. Précipitations max journalières bassin Côtiers Constantinois

Les variations des précipitations maximales journalières au droit du bassin des Côtiers Constantinois sont présentées sur la figure (IV. 6), pour une période d'observation qui s'étale sur de 43 ans allant de 1968 jusqu'au 2010 et pour trois stations pluviométriques : Jijel secteur, Djamel Berais et Amouchas.

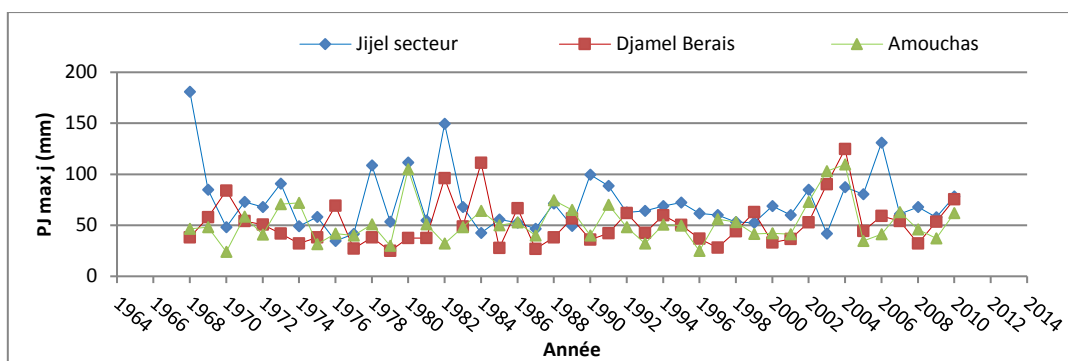


Figure (IV.6) : Précipitations journalière maximale (mm) pour les trois stations : Amouchas, Djamel Berais , Jijel secteur.

D'après le tableau (III. 13) et la figure (IV. 6), les valeurs des précipitations journalières maximales au bassin des Côtiers Constantinois montrent de fortes irrégularités dans les hauteurs d'eau précipitées. Les fréquences les plus élevées sont enregistrés à la station de Jijel secteur par une précipitation maximale journalière de l'ordre de 72,00 mm, celle-ci ne dépasse pas les 53 mm pour les deux autres stations : Amouchas et Djamel Berais.

IV.2.2. Précipitations max journalières bassin des Hauts Plateaux

Les variations des précipitations maximales journalières au droit du bassin des Hauts Plateaux sont présentées sur la figure (IV. 7), pour une période d'observation s'étale sur 39 ans allant de 1970 à 2009, pour cinq stations pluviométriques : Batna ferme, Timgad, Ain Beida, Ain Mimoun et Bir Chouhada.

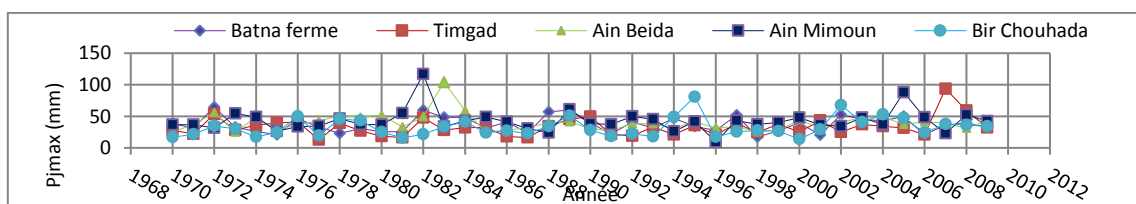


Figure (IV.7) : Précipitations journalières maximales (mm) pour les trois stations : Batna ferme, Timgad, Ain Mimoun, Bir Chouhada.

D'après le tableau (III. 14) et la figure (IV.7), les valeurs moyennes des pluies maximales journalières enregistrés au bassin des hauts plateaux passe de : 32,47 mm à Bir Chouhada, 33,01 à Timgad, 37,09 à Batna ferme, 39,79 à Ain Beida, jusqu'aux 42,59 mm à Ain Mimoun. La valeur maximale a été enregistrée à la station d'Ain Mimoun 116,90 mm. Des fortes fluctuations des précipitations maximales observées sur la figure (IV.7), cela est confirmé par les valeurs des coefficients de variation. Toutes les stations sont corrélées positivement sauf celle de Batna ferme.

IV.2.3. Précipitations max journalières bassin Kébir Rhumel

Les variations des précipitations maximales journalières au droit du bassin Kébir Rhumel sont présentées sur la figure (IV. 8), pour une période d'observation qui s'étale sur 39 ans allant de 1970 jusqu'au 2009, pour neuf stations pluviométriques : Hammam, Tadjanet, Mechta Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Chelghoum et El Milia.

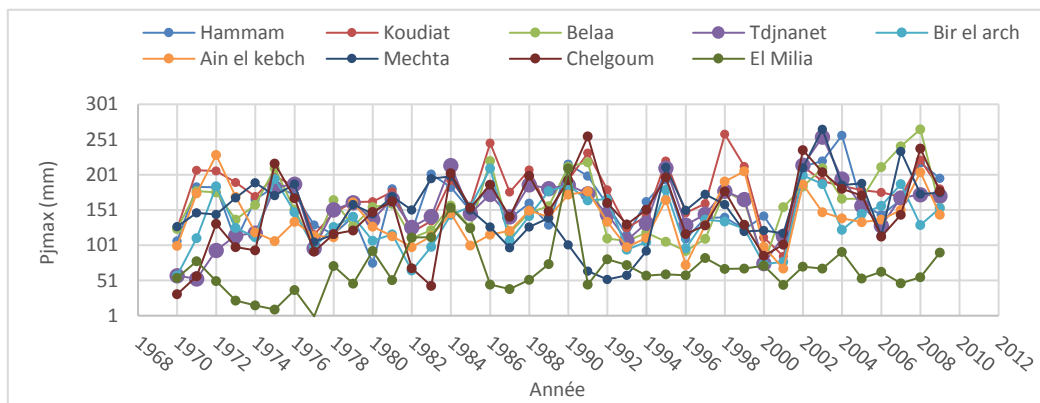


Figure (IV.8) : Précipitation journalières maximales (mm) stations : Hammam, Koudiat, Belaa, Bir el Arch, Ain El Kebch, Mechta, et Chelghoum-Bassin Kébir Rhumel -.

D'après le tableau (III. 15) et la figure (IV. 8), les stations : Belaa, Mechta, et d'El Koudiat ont enregistré des précipitations journalières très importantes de l'ordre de : 265 mm.

Les plus faibles valeurs sont celles enregistrées à la station d'El Milia : 9,80 mm, suivie par la station de Chelghoum : 31,39 mm. Les valeurs des écarts types pour les neuves stations hydrométriques allant de : 36,43 mm à la station d'Ain El Kebch jusqu'à 53,13 mm à la station de Chelghoum témoignent les grandes variations dans des précipitations maximales dans le bassin versant nommé.

IV.2.4. Précipitations max journalières bassin Seybouse

La figure (IV. 9) présente les variations des précipitations maximales journalières au droit du bassin Seybouse pour une période d'observation s'étale sur 35 ans allant de 1977 jusqu'au 2011, pour trois stations pluviométriques : Guelma, Bouchegouf et Pont Bouchet.

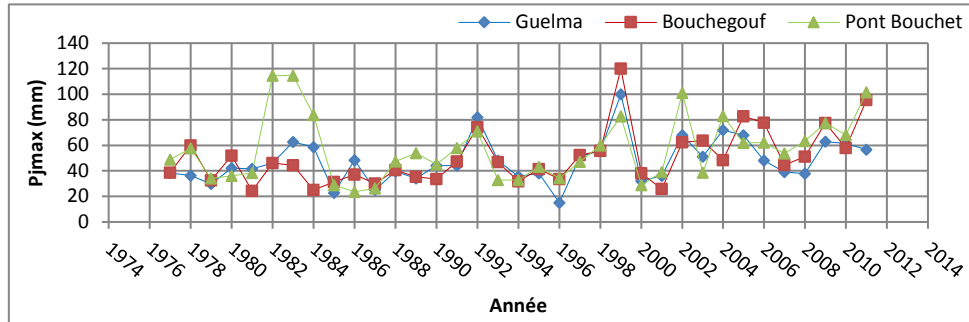


Figure (IV.9) : Précipitations journalières maximales (mm) stations : Guelma, Bouchegouf, et Pont Bouchet.

Les variations des précipitations journalières maximales sont presque subordonnées dans les trois stations : Guelma, Bouchegouf et Pont Bouchet avec des valeurs maximales qui ne dépassent pas 120 mm enregistrées pour la station de Bouchegouf, la valeur la plus faible : 15 mm a été enregistrée à la station de Guelma.

IV.2.5. Précipitations max journalières bassin Soummam

La figure (IV. 10), présente les précipitations maximales journalières au droit du bassin Soummam pour une période d'observation qui s'étale sur 26 ans allant de 1987 jusqu'au 2011, pour trois stations pluviométriques : Ighil Ali, Bou Birek et Ouled Mosly.

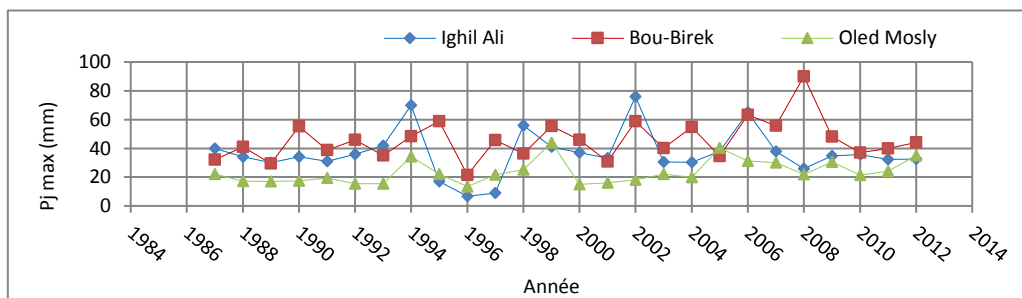


Figure (IV.10) : Précipitation journalières maximales (mm) stations : Ighil Ali, Bou Birek, et Ouled Mossly.

Les valeurs de précipitations maximales enregistrées au bassin Soummam, sont jugées moyennes à relativement faible, la valeur maximale qui ne dépasse pas 90 mm a été enregistrée à la station de Bou Birek.

IV.3. Étude des écoulements dans les cinq bassins versants

L'analyse des écoulements dans la zone d'étude comporte deux volets : L'analyse des événements extrêmes « crues » pour les deux saisons froide et chaude et l'étude de l'influence des paramètres : apport liquide, variations du débit annuel moyen spécifique M_0 , lame écoulée L_r , L'irrégularité inter annuelle K_i , et le coefficient d'écoulement R_i , sur les débits d'écoulement dans la zone d'étude. Les stations hydrométriques: El Mkaceb, khemakhem, Ain Charchar, Reboa, Chemora, Foum El Gueiss, Tassadane, Ain Smara, Bouchdira, El Kheneg, El Ancer, Moulin Rechfort, Mdjez Ammar, Borj Sabat, Farmatou et Magroua, fournissent les débits liquides Q_l (m^3/s). (Tableau. IV.1).

Tableau (IV.1) : Code des stations hydrométriques dans la zone d'étude (A.N.R.H d'Alger).

Code	Station	Superficie Contrôlée (km^2)	Coordonnées		
			X(Km)	Y(Km)	Z(Km)
030310	El Mkaceb	21,6	773,52	393,11	167
030901	Khemakhem	322	878,95	370,3	628
031101	Ain Charchar	/	909,6	393,15	278
070403	Reboa	296	848,20	250,2	1010
070501	Chemora	759	855,1	264,5	890
070702	Foum El Gueiss	144	885,2	247,3	1305
100109	Tassaadane	960	785,7	359,4	955
100403	Ain Smara	2200	839,556	336,04	711
10602	Bouchdira	295	842,08	364,53	/
10620	El Khneg	1172	838,26	357,14	/
10701	El Ancer	8740	807,41	395,47	/
140202	M.Rechfort	1732	922,35	319,8	710
140301	Medjez Amar	1105	912,3	358,75	785
140302	Borj Sabat	304	889,05	355,1	540
150601	Farmatou	105	742,02	329,4	1205
150702	Magroua	2350	713,65	333	1000

IV.3.1. Crues et concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes

La réaction du bassin versant à une averse ou séquence pluvieuse donnée, est fonction des caractères propres des précipitations (hauteur, intensité et durée) (Mebarki. 1988). Les crues torrentielles dans les cours d'eau algériens sont très chargées, pouvant même se transformer parfois en laves torrentielles évacuant des coulées de boue à 650 g/l (Mekerta et Tisot, 1993).

L'étude des crues permet de mettre en lumière la réaction des 5 bassins versants étudiés pendant un pas de temps réduit, aux averses enregistrées pendant la période d'étude.

Les débits de crues sont toujours supérieurs aux débits moyens. Les crues dans les cinq bassins seront étudiées à travers les débits journaliers liquides Q_l (m^3/s) et solides Q_s (kg/s) et des concentrations des sédiments en suspension CSS (g/l) instantanées maximales des 14 stations hydrométriques pour la saison froide (Novembre-Avril) et de la saison chaude (Mai-Octobre). Pour l'analyse des crues enregistrées, on a basé sur quelques variables-clefs : la durée totale de crue (temps de base), le temps de montée, le temps de décrue (la descente), le débit liquide max instantané $Q_{lmax\ inst}$, le débit solide max instantané $Q_{smaxinst}$, la concentration des sédiments en suspension maximale instantanée $CSS\ max\ inst$.

IV. 3 .1.1. Crues du bassin des Côtiers Constantinois

Les crues les plus importantes de la saison froide et chaude sont présentées par les figures (IV.11,.....,IV.14) pour le bassin des Côtiers Constantinois. Le reste des figures est présentés dans l'annexe II .

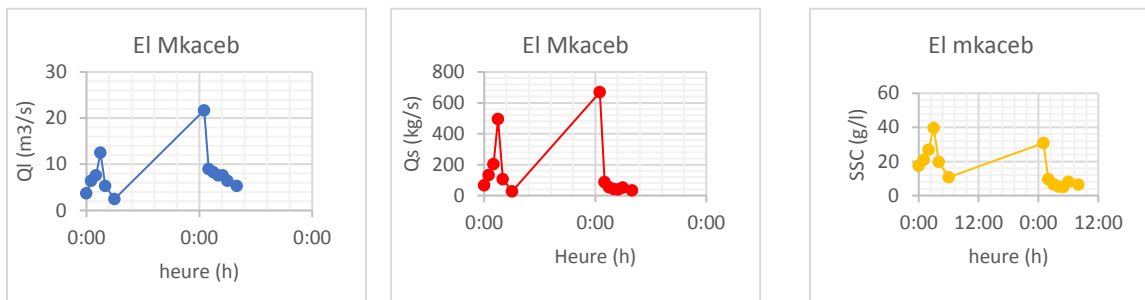


Figure (IV.11) : Crue saison froide 26-27-28 novembre 1998 station el Mkaceb.

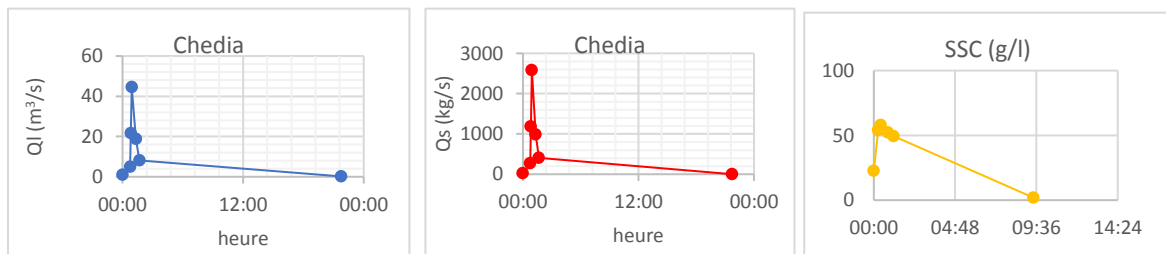


Figure (IV.12) : Crue saison Chaude 17-18 Octobre 1983 Chedia.

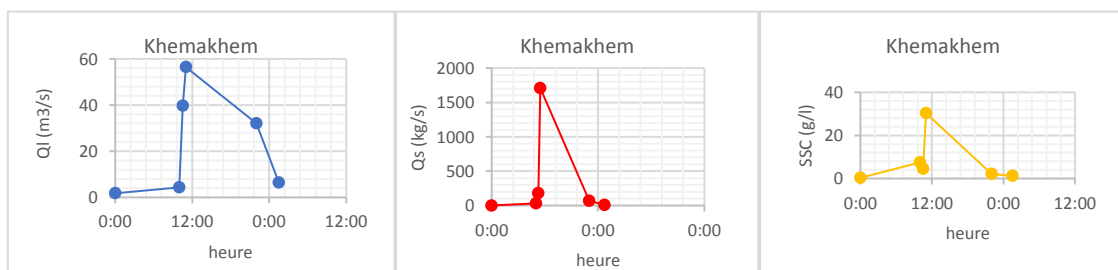


Figure (IV.13) : Crue saison Chaude de 6-7 Mai 1972 station Khemakhem.

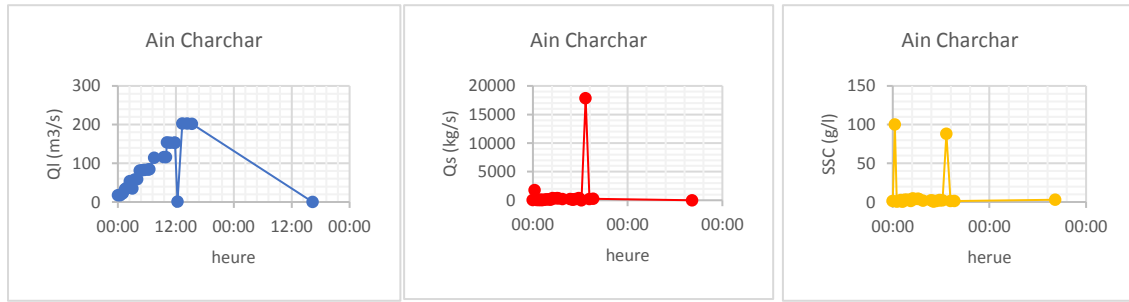


Figure (IV.14) : Crue de saison Chaude 15 avril 1979- station Ain Charchar-.

Tableau (IV.2) : Crues de Saison Froide (Novembre-Avril) Q_{lmax} ins, Q_s max inst et CSS max inst Bassin Côtiers Constantinois.

Station	Crue	Q_{lmax} (m^3/s)	Q_{smax} (kg/s)	CSS (g/l)
El Mkaceb	27-28 novembre 1978	37,08	285,51	21,5
	16-17 Février 1979	27,1	177,94	7
	27 décembre 1979	25,98	199,514	8,94
	26-28 novembre 1998	21,7	668,58	39,69
	16 décembre 1999	21,7	409,045	18,85
Chedia	15-17 Février 1979	73,385	990,698	13,5
	18-20 décembre 1980	32,95	277,254	12,66
	31 mars 1981	32,95	305,776	9,28
	17 -18 Février 1982	102,00	179,564	2,62
	26-27 Décembre 1982	46,35	742,064	22,65
	1-4 Février 1984	91,00	798,07	8,93
	9 mars 1984	68,72	1385,49	20,34
	21-23 Décembre 1984	41,47	594,752	14,34
	29-31 Décembre 1984	58,62	739,70	10,47
	7-8 mars 1985	156,8	1298,304	14,22
Khemakhem	19 -22 janvier 1972	99,50	247,612	6,01
	25-29 janvier 1972	91,00	821,73	9,03
Ain Charchar	23-28 janvier 1973	227,3	1358,98	6,48
	26-31 Mars 1973	226,52	2329,2	18
	17-19 Février 1975	119,95	368,07	4,3
	06 Novembre 1976	84,35	180,728	2,17
	17-21 Novembre 1976	202,82	230,48	2
	3-5 Février 1978	152,88	259,42	1,7

Crue	Qlmax (m ³ /s)	Qsmax (kg/s)	CSS (g/l)
15-16-avril-1979	202,82	17848,16	100
17-19 avril 1979	201,2	597,968	3,04
11-13janvier -1996	85,78	471,79	5,91
6-10 Février 1996	158,4	1241,376	8,04
14-16 Mars 1996	117,6	166,99	1,42

Tableau (IV.3) : Crues de Saison Chaude (Mai-octobre) Qlmax ins, Qs max inst et CSS max inst Bassin Côtiers Constantinois.

Station	Crue	Qlmax (m ³ /s)	Qsmax (kg/s)	CSS (g/l)
Chedia	17-18 Octobre 1983	44,5	2580,55	57,99
Ain Charchar	21-23 octobre 1976	202,82	581,66	3,78

L'exportation des sédiments vers l'exutoire se fait principalement durant les périodes de crue (Sibari et al. 2001). Le bassin des Côtiers Constantinois compte 32 crues réparties sur les quatre stations hydrométriques : El Mkaceb, Chedia, khemakhem et Ain chachar, dont trois d'elles appartiennent à la saison chaude et 29 crues appartiennent à la saison froide. Les crues de la saison froide sont plus fréquentes en mois février avec 7 crues (2 crues en 1979-1982-1984-1975-1978-1996), décembre avec 6 crues (1979-1999-1980-1982- 2 crues en 1984) et mars avec 5 crues (1981- 1984-1985-1973-1996) 4 crues pour le mois de Janvier, 4 crues pour le mois de novembre. Pour la saison chaude le mois d'octobre enregistre 2 crues et une seule crue a été enregistrée en mai. On remarque que les crues ne coïncident pas nécessairement avec les mois les plus pluvieux de l'année.

La station d'Ain Charchar compte d'importantes crues généralisées (12 crues) sur plusieurs jours, avec des débits liquides max instantanés variant entre 84,35 m³/s (crue de 6 novembre 1976) jusqu'aux 227,3 m³/s (crue de 23-28 janvier 1973), ce pic est le plus élevé sur tout le bassin-versant. A bien noté que le débit liquide max ne coïncide pas nécessairement avec le débit solide max ($Q_{smaxinst}=17848,16$ kg/s) qui a été enregistré pendant la crue de 15-16-avril-1979 à la station nommée. Une forte variabilité spatio-temporelle des concentrations des sédiments en suspension CSS sur la totalité du bassin. En dépit des faibles liquides enregistrés pendant la saison chaude qui ne dépassent pas des valeurs non négligeables des CSS ont été observées.

Selon la classification de Pardé 1959 pour la simplicité ou la complexité de la courbe chronologique des débits journaliers, on peut distinguer deux types de régime hydrique dans le bassin étudié : les régimes simples caractérisés par un seul maximum et un seul minimum, traduisant la prédominance d'un seul mode d'alimentation (pluvial ou nival par exemple), qui est le cas pour les crues de : saison Chaude 17-18 Octobre 1983 Chedia (Figure IV.12), et la Crue saison Chaude de 6-7 Mai 1972 station Khemakhem (Figure IV.13). Les crues à pointe unique, correspondant à des crues d'automne, sont provoquées par des averses de début de saison, de type orageux, de courte durée et de fortes intensités. Ces averses sont généralement localisées dans l'espace et se produisent sur les sols secs, impliquant un temps de réponse long et dépassant huit heures. Le temps de montée de l'hydrogramme est très court, tandis que le temps de décrue est plus prolongé (Megueni et Remini. 2008). Un deuxième type qui est le régime mixte présentant généralement deux maxima et deux minima sous l'influence de plusieurs modes d'alimentation, qui est le cas pour la crue Automnale du 26-27-28 novembre 1998 à la station el Mkaceb (Figure IV.11), et la crue Printanière du 15 avril 1979- station Ain Charchar (Figure IV.14).

IV. 3 .1.2. Crues du Bassin des Hauts Plateaux

Durant la période d'observation de la station de Foum el Gueiss contrôlant le bassin des Hauts Plateaux s'étalant entre 15 septembre 1971 au 29 mars 1996, on compte 10 crues dont 9 crues appartiennent à la saison chaude et une seule crue enregistrée pour la saison froide du 24-25 Mars 1972 avec un débit liquide maximal instantané de l'ordre de $54,08 \text{ m}^3/\text{s}$ équivalent un débit solide max instantané de $6310,6 \text{ kg/s}$ et une valeur des CSS max = $116,69 \text{ g/l}$. Le reste des figures est présentés dans l'annexe (page 14).

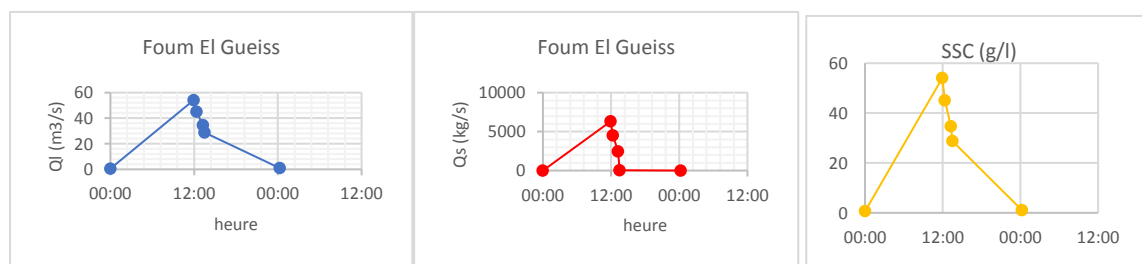


Figure (IV.15): Crue de la saison chaude 24-25 Mai 1972 station Foug El Gueiss.

Tableau (IV.4) : Crues de Saison Chaude (Mai-octobre) Q_{\max} ins, Q_s max inst et CSS max inst Bassin Hauts Plateaux.

Bassin	Station	Crue	Q_{\max} (m ³ /s)	Q_s max (kg/s)	CSS max (g/l)
Hauts Plateaux	Foum El Guiness	24-25septembre1971	17,80	1743,83	97,99
		6-8 octobre 1972	66,14	3024,10	47,07
		22-26 Aout 1978	72,80	3836,22	81,40
		24-25 Mai 1972	54,08	6310,60	116,69
		3-4 septembre 1981	45,74	1000,70	24,54
		19 Mai 1988	33,43	4333,12	129,61
		20 Juin 1986	56,16	5906,91	105,18
		29-30 Mai 1991	41,91	1396,38	33,55
		30 Juillet au 1 Aout 1994	46,78	6270,39	141,57

Les crues de saison chaudes les plus fréquentes se produisent en début et en fin de saison. Ce sont les crues de Septembre (mois des premières pluies) qui revêtent un caractère de gravité élevé en raison de la forte intensité des averses et l'absence de couvert végétal ; ces paramètres peuvent l'emporter sur l'effet de l'évaporation et du pouvoir absorbant du sol, très élevé en cette période (Demmak. 1982). Les cours d'eau du bassin des Hauts Plateaux, ont mobilisé d'importantes charges solides qui peuvent atteindre 6310,60 (kg/s) comme débit liquide max observé pendant la crue du 24-25 mai 1972 (Fig. IV.15).

La crue printanière du 24-25 mai 1972, provenant sur un sol étant plus ou moins saturé et bien couvert, résiste mieux à la pluie, a provoqué une montée très rapide et brutale des eaux vers le pic Q_{\max} instantané =54,08 m³/s équivalant à un Q_s max instantané de l'ordre de 6310,60 kg/s, et une CSS maximale de 116,69 g/l. Ces valeurs de Q_s et CSS sont les plus élevées durant toute la période d'observation de la station, le temps de base de l'hydrogramme pour cette crue appartenant à la saison chaude ne dépasse pas de 24 h, contrairement à celui des crues de la saison froide qui se prolonge sur plusieurs jours (des averses durables affectant parfois tout ou une grande partie bassin). La phase de décrue est également plus rapide en raison de l'arrêt de l'averse après la pointe de crue et du faible soutien de l'écoulement fluvial par les eaux des nappes aux réserves faibles (Demmak. 1982).

IV. 3 .I.3. Crues du bassin Kébir Rhumel

Les figures (IV.16,.....,19) présentes les plus importantes crues de la saison chaude et froide pour le bassin KéBir Rhumel. Le reste des crues est présenté dans l'annexe II.

Tableau (IV.5) : Crues de Saison Froide (Novembre-Avril) Q_{\max} ins, Q_s max inst et CSS max inst Bassin Kébir Rhumel.

Station	Crue	Q_{\max} inst(m ³ /s)	$Q_{s\max}$ inst(kg/s)	CSS max inst (g/l)
Tassadane	2-5 Décembre 1993	18,58	2611,22	44,99
Grarem	1-12 Février 1978	200,00	160,00	12,00
	16 Février au 9 Mars 1979	232,00	88,09	2,86
	13 au 20 Avril 1979	976,00	2832,57	10,13
	27 décembre au 7 janvier 1984	936,00	13859,84	32,00
	5 au 14 Mars 1985	1240,00	41219,36	59,60
El Ancer	15 au 18 Avril 1979	1832,08	24922,04	14,30
	18 au 21 Décembre 1980	662,04	11387,09	21,67
	21 au 25 Février 1981	489,62	5973,36	12,33
	22 janvier au 1 Février 1982	469,00	13249,94	30,58
	21 -26 Février 1982	340,00	1771,40	5,21
	4-10 Mars 1982	200,20	2836,83	25,48
	18-24 Avril 1982	73,80	15203,54	206,01
	23-29 Décembre 1982	501,40	6055,87	16,51
	17-19 Mars 1983	525,00	6499,50	12,38
	10-17 Janvier 1984	490,60	11553,63	23,55
	1-7 Février 1984	1748,80	56853,49	32,51
	22-25 Décembre 1984	347,60	5589,41	16,08
	27 Décembre 5 janvier 1985	3530,60	96455,99	27,32
	6-10 Mars 1985	937,20	25714,88	27,71
	6-9 Mars 1986	345,00	4861,05	16,13
	24-31 Décembre 1986	272,00	3360,64	18,88
	12-15 Février 1987	609,50	11306,22	19,16
	20-29 Décembre 1988	408,00	10605,76	28,82
	15-18 Novembre 1990	487,00	24269,20	79,10
	12-14 Décembre 1990	487,00	1190,64	2,64
23-28 Décembre 1990	902,80	2691,20	5,01	
El Milia	15-17 avril 1979	258,50	1680,25	8,6
	17-19 Mars 1983	182,00	848,12	4,84
	29 Décembre au 2 janvier 1984	462,00	2880,95	10,31
	2-4 janvier.-1985	187,48	1453,07	9,85

	Crue	Qlmax inst (m ³ /s)	Qsmax inst (kg/s)	CSS max inst (g/l)
	7-11 Mars 1985	490,00	3790,78	8,65
	8-13février.-1986	118,71	611,43	5,71
	6-7-Mars-1986	149,24	1092,44	7,32
	4-8 Février.-1987	118,71	477,55	4,88
	12-15 Février.-1987	392,72	3069,18	10,03
	20-23 décembre1988	140,00	1094,80	9,32
	11-16 décembre-1990	200,20	1645,64	8,22
	23-26 décembre .-1990	676,00	5899,21	7,81
	9-12avril 1992	446,80	3462,42	8,97

Tableau (IV.6) : Crues de Saison Chaude (Mai-octobre) Qlmax ins, Qs max inst et CSS max inst Bassin Kébir Rhumel.

Station	Crue	Ql max inst (m ³ /s)	Qs max inst(kg/s)	CSS max inst (g/l)
Grarem	30 septembre au 5 octobre 1986	342,86	3855,87	70,88
El Ancer	25-30 Juin 1981	36,36	10354,24	284,77
	11-15 octobre 1984	491,44	5740,60	18,27
	11-14 Mai 1990	221,00	35027,27	182,91
	24-28 Mai 1992	270,00	10114,20	37,46
El Milia	10-15 octobre 1984	185,44	2195,61	11,84

Tableau (IV.7) : Débit d'étiages à la station de Tassadane.

Station	Crue	Ql max inst (m ³ /s)	Qs max inst (kg/s)	CSS max inst (g/l)
Tassadane	27-29 septembre 1994	10,06	30590,08	355,12
	24-26 Mai 1992	0,58	7847,45	129,07
	24-27 Aout 1997	2,32	6519,52	374,26

Le bassin de Kébir Rhumel compte 46 crues, dont 40 d'elles appartient à la saison froide, et 6 crues appartiennent à la saison chaude. Les crues les plus puissantes présentées par les figures (IV.16, IV.17 et IV.18) appartenant à la saison froide (2 crues hivernales et une crue automnale) sont favorisées par averses abondantes et efficaces, et les pluies préparatoires d'automne engendrent des montées d'eaux très importantes pour les trois stations Grarem, El Ancer et El Milia. D'importantes charges solides transportées par les cours d'eau du bassin Kebir, dont les débits solides max instantanées peuvent atteindre une valeur maximale de débits solides $Q_s \max = 96456 \text{ kg/s}$ pour la saison froide (Tableau IV.5).

Les hydrogrammes de crues pour la saison froide (Figures IV.16, IV.17, IV.18 et IV.19) sont caractérisés par des montées d’eaux brutales et très rapides atteignant le pic de crue dans quelques heures, contrairement à la montée, la décrue relativement plus lente. Les averses génératrices des crues hivernales ont un caractère à la fois durable et extensif affectent parfois tout ou une grande partie de la zone d’étude. Elles sont susceptibles d’engendrer non seulement une unique montée des eaux mais également plusieurs crues successives (Demmak. 1982).

Les crues éclaires et dévastatrices d’automne sont très chargées en particules fines, dont les pluies atterrissent sur une surface asséchée par une absence de pluies de 3 à 4 mois et également fragilisée par la quasi-inexistence du couvert végétal. C’est le cas de la crue du 25-30 Juin 1981 à la station d’El Ancer, dont les concentrations des sédiments ont dépassé 1000 g/l pour un débit liquide max très modeste de l’ordre de 36,36 m³/s. Durant la saison chaude les faibles débits d’été mobilisent une charge sédimentaire en suspension assez forte, c’est le cas de la station de Tassadane, qui enregistre un débit solide max inst =7847,45 kg/s pour un débit liquide max très faible qui ne dépasse pas 0,58 m³/s.

IV.3.2.4. Crues du bassin Seybouse

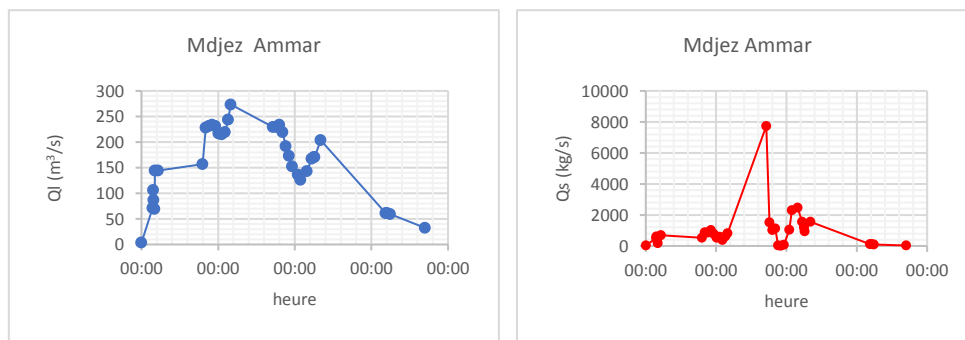


Figure (IV.20): Crue de la saison froide 23-27 janvier 1973 -station Mdjez Ammar-

Tableau (IV.8) : Crues de Saison Froide (Novembre-avril) Qlmax ins, Qs max inst et CSS max inst Bassin Seybouse.

Station	Crue	Ql instantané max (m ³ /s)	Qsmax instantané (kg/s)	SSC instantané max (g/l)
Mdjez Ammar	24-25décembre -1969	278,00	7082,4	31,20
	21-26 avril 1970	224,40	1166,88	5,20
	10-13 Février-71	107,00	656,424	12,05
	23-27 janvier 1973	273,50	7737,79	33,76
	26-30 mars-1973	281,00	2573,96	9,16
	18-20 novembre -76	435,00	3072,48	10,38

Crue	Ql instantané max (m ³ /s)	Qsmax instantané (kg/s)	SSC instantané max (g/l)
15-17 avril -1979	296,00	871,72	3,10
29-décembre-1 janvier -84	485,90	3551,93	7,45
07-11mars- 1985	192,00	1248	6,50
25-28 décembre 1986	192,00	1334,56	8,78
05-7 février 1987	228,50	2035,93	8,91

Les crues complexes parviennent généralement en hivers et au printemps. Elles sont générées par des averses longues, régulières et continues, caractérisées par des intensités faibles ou moyennes. Elles sont en outre généralisées dans l'espace et se produisent sur des sols saturés et imperméables. (Megueni et Remini. 2008). L'hydrogramme relatif à la crue 23-27 janvier 1973 station Mdjez Ammar (Figure IV.20): est intéressant dans la mesure où il laisse apparaître plusieurs (05) montées des niveaux d'eau dues à plusieurs averses successives. Cela est dû au caractère durable des averses hivernales, la première montée (Ql=144,4 m³/s) est due à une averse préparatoire, suivie par une deuxième montée (234,00 m³/s) plus haute que la précédente, puis par le pic de la crue (Qlmax inst=273,50 m³/s équivalant à un Qsmax=809,56 kg/s) enregistré après 4 heures. Contrairement à la montée des eaux brutale pour cette crue, la phase de décrue est plus lente. Le débit solide max pour cette crue qui est de l'ordre de 7 737,79 kg/s, ne coïncide pas avec celui liquide max, il est atteint pour un Ql=229,20 m³/s (Tableau. IV.8). La station Moulin Rechfort enregistre des débits liquides très faibles qui ne dépassent pas 17,4 m³/s comme valeur maximale, donc elle a été éliminée de la modélisation par RNA et ANFIS.

IV.3.2.5. Crues du bassin Soummam

Les figures (IV.21-22) présentes les plus importantes crues de la saison chaude et froide pour le bassin Soummam. Le reste des crues est présenté dans l'annexe II.

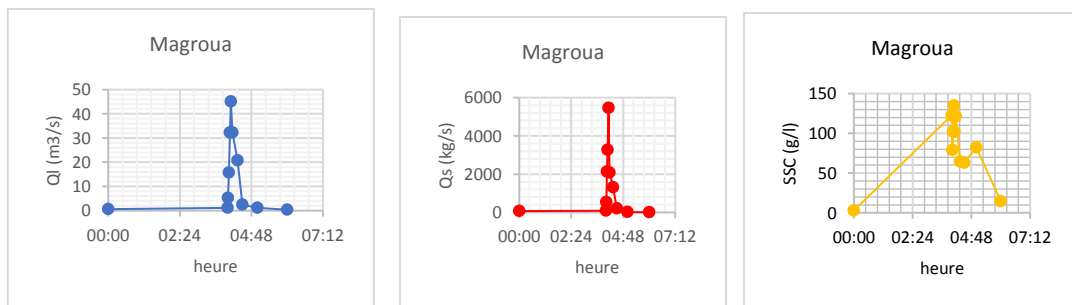


Figure (IV.21): Crue saison Chaude 10-août-2003 -st Magroua-.

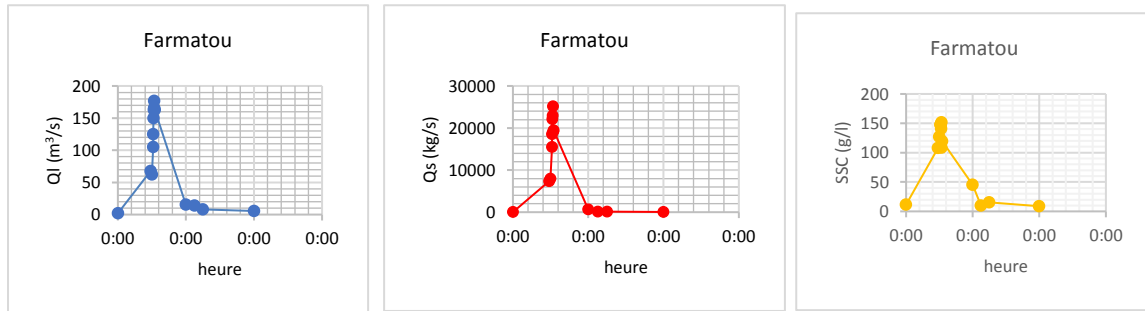


Figure (IV.22) : Crue saison Chaude 2-4-juin-1982-Farmatou-

Tableau (IV.9) : Crues de Saison Froide (Novembre-avril) Q_{lmax} ins, Q_s max inst et CSS max inst Bassin Soummam.

Station	Crue	Q_l instantané max (m ³ /s)	Q_{smax} instantané (kg/s)	CSS instantané max (g/l)
Magroua	5-7-février 1987	41,75	425,85	12,9
	13-15 février 1987	45	373,5	9
	25-27 février 1987	49,44	283,59	9,2
Farmatou	30-mars- 2 avril 1974	109,7	2501,16	23,6

Tableau (IV.10) : Crues de Saison Chaude (Mai-Octobre) Q_{lmax} ins, Q_s max inst et CSS max inst Bassin Soummam.

Station	Crue	Q_l max inst (m ³ /s)	Q_s max inst (kg/s)	CSS max inst (g/l)
Magroua	10-août-2003	45	5463,9	135,19
	13-octobre 2008	45	2700	67,29
Farmatou	05-06 mai-1973	47,55	7539,05	163,44
	03-4 septembre -1979	78,15	11683,42	155,4
	10- 14 septembre 1979	186,8	14135,8	80,5
	02-4juin-1982	177	19204,5	108,5

Le bassin Soummam compte 10 crues, dont la moitié d'elles appartient à la saison chaude, et la moitié appartient à la saison froide. Les Hydrogrammes de crues les plus contributives au transport solide présentés par les figures (IV.21 et IV.22) montrent un régime simple avec un seul pic Q_{lmax} inst= 45m³/s équivalant un débit solide Q_s max=5463,9 kg/s pour la crue de 10-août-2003 -station Magroua, ce pic est atteint, pour 4 heures seulement (temps de montée), et un débit liquide Q_{lmax} =177 m³/s pour un débit solide Q_s = 19204,5 kg/s pour un temps de montée de 12 heures. Les crues de saisons chaudes sont liées généralement à des averses orageuses brèves et localisées, se caractérisent par une durée et une extension spatiale plus faibles que celles des crues de saison froide. Elles sont caractérisées par la brutalité de la montée.

La phase de décrue est également rapide (Fig. IV.21 et IV.22). Ce type de crues transportent des charges sédimentaires très importantes, les concentrations des sédiments en suspension max CSS max inst varient de 67,29 g/l à 163,44 g/l (Tableau IV.10).

IV.4. Influences des paramètres : apport liquides, variations du débit annuel moyen spécifique M_0 , lame écoulée L_r , L'irrégularité inter annuelle K_i , et le coefficient d'écoulement R_i , sur les débits d'écoulement dans la zone d'étude

L'étude des modules présente un intérêt indéniable dans le cadre des projets d'aménagements hydrauliques et permet de compléter la connaissance du phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel. Les caractéristiques des écoulements : le débit minimum, moyen, et maximum, l'apport liquide, module spécifique M_0 , l'hydraulicité K_i , la lame d'eau ruisselée, le coefficient d'écoulement R_i sont calculées pour toutes les stations hydrométriques de la zone d'étude.

IV.4.1. Influences des paramètres : Apport liquide, M_0 , L_r , K_i , et R_i sur les débits d'écoulement -bassin Côtiers Constantinois-

Les tableaux (IV.11), (IV.12), illustrent : les débits maximaux "Q max", minimaux "Qmin", les débits moyens annuels "Qmoy", et la précipitation annuelle PP de la station pluviométrique la plus proche géographiquement à la station hydrométrique concernée. Ainsi que l'apport liquide "App", les débits spécifiques " M_0 ", la lame ruisselée " L_r ", le coefficient de l'hydraulicité " K_i " et enfin le coefficient de modération " R_i " pour les stations Mkaceb et Khmakhem respectivement. Les stations pluviométriques : Jijel Secteur, Ramdane Djamel Berais nous fournit les précipitations annuelles.

*** Station El Mkaceb 030310**

Tableau (IV.11) : Débit min, Débit moyen, Débit max, et Apport liquide au droit de la station El Mkaceb - Côtiers Constantinois-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Jijel secteur
1977	0,001	0,07	12,14	2,33	3,43	108,04	0,24	2,60	41,60
1978	0,001	0,07	4,80	2,14	3,15	99,28	0,22	0,91	108,60
1979	0,001	0,03	0,28	1,04	1,53	48,18	0,11	0,90	53,40
1980	0,001	0,02	19,70	0,63	0,93	29,20	0,06	0,26	111,40
1981	0,001	0,03	0,34	0,95	1,39	43,80	0,10	0,80	54,60
1982	0,001	0,07	7,60	2,27	3,33	105,12	0,23	0,70	149,40
1983	0,001	0,06	8,76	1,89	2,78	87,60	0,19	1,29	68,00

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Jijel secteur
1984	0,001	0,02	33,20	0,66	0,97	30,66	0,07	0,72	42,50
1985	0,001	0,16	16,70	5,05	7,41	233,60	0,52	4,20	55,60
1986	0,001	0,22	34,48	6,94	10,19	321,20	0,71	6,12	52,50
1987	0,001	0,03	3,75	0,98	1,44	45,26	0,10	0,97	46,50
1988	0,000	0,08	31,28	2,59	3,80	119,72	0,26	1,68	71,30
1989	0,001	0,06	18,70	1,89	2,78	87,60	0,19	1,77	49,40
1990	0,001	0,32	99,60	10,09	14,81	467,20	1,03	4,70	99,50
1991	0,000	0,37	30,00	11,67	17,13	540,20	1,19	6,09	88,70
1992	0,000	0,38	36,40	11,98	17,59	554,80	1,23	8,85	62,70
1993	0,001	0,25	16,70	7,88	11,57	365,00	0,81	5,69	64,20
1994	0,000	0,33	24,30	10,41	15,28	481,80	1,06	7,01	68,70
1995	0,000	0,29	10,70	9,15	13,43	423,40	0,94	5,86	72,30
1996	0,000	0,19	19,20	5,99	8,80	277,40	0,61	4,51	61,50
1997	0,000	0,33	9,00	10,41	15,28	481,80	1,06	8,03	60,00
1998	0,000	0,41	21,70	12,93	18,98	598,60	1,32	11,25	53,20
1999	0,000	0,27	21,70	8,51	12,50	394,20	0,87	7,52	52,40
2000	0,000	0,28	32,56	8,83	12,96	408,80	0,90	5,92	69,00
2001	0,000	0,19	35,00	5,99	8,80	277,40	0,61	4,62	60,10
2002	0,000	0,50	40,00	15,77	23,15	730,00	1,61	8,59	85,00
2003	0,000	1,24	50,50	39,10	57,41	1810,40	4,00	43,10	42,00
2004	0,170	2,34	82,62	73,79	108,33	3416,40	7,55	39,04	87,50
Moyenne	0,01	0,31	25,78	9,71	14,25	449,52	0,99	6,92	68,99
Ecart type	0,03	0,47	22,60	14,69	21,56	679,92	1,50	10,12	24,75
coeff d'assy	5,29	3,56	1,83	3,56	3,56	3,56	3,56	3,01	1,59
Max	0,17	2,34	99,60	73,79	108,33	3416,40	7,55	43,10	149,40
Min	0,00	0,02	0,28	0,63	0,93	29,20	0,06	0,26	41,60
Coeff d'appl	27,98	14,21	4,13	14,21	14,21	14,21	14,21	8,94	2,93
Médiane	0,00	0,21	20,70	6,46	9,49	299,30	0,66	4,66	62,10
Coef variat	4,87	1,51	0,88	1,51	1,51	1,51	1,51	1,46	0,36

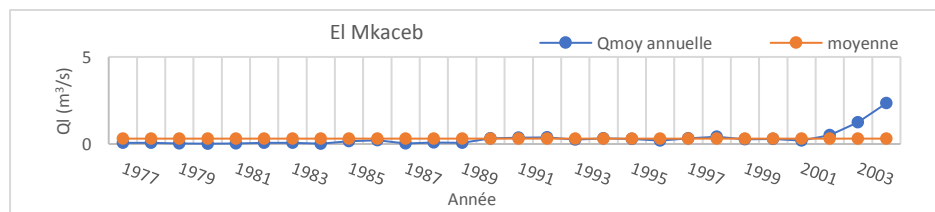


Figure (IV.23): Années humides et sèches -station El Mkaceb-

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station El Mkaceb permettent de distinguer : 6 années humides (1991, 1992, 1998, 2002, 2003 et 2004), 3 années moyennes, et 19 années sèches.

• *Station khemakem 030901*

Tableau (IV.12) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Khmakhem - Côtiers Constantinois-(A.N.R.H d' Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm)Ramdane Djamel Berais
1973	0,01	0,19	5,66	5,99	0,59	18,61	0,19	0,05	392,50
1974	0,00	0,27	78,02	8,51	0,84	26,44	0,27	0,07	378,80
1975	0,00	0,78	52,88	24,60	2,42	76,39	0,77	0,13	569,30
1976	0,00	0,53	54,38	16,71	1,65	51,91	0,52	0,08	637,20
1977	0,00	0,42	9,72	13,25	1,30	41,13	0,42	0,09	458,00
1978	0,00	1,86	68,35	58,66	5,78	182,16	1,84	0,30	615,20
1979	0,00	0,28	27,50	8,83	0,87	27,42	0,28	0,06	475,00
1980	0,00	0,32	17,50	10,09	0,99	31,34	0,32	0,07	455,70
1981	0,00	0,68	23,98	21,44	2,11	66,60	0,67	0,10	646,10
1982	0,00	0,91	82,77	28,70	2,83	89,12	0,90	0,18	484,60
1983	0,00	1,70	745,08	53,61	5,28	166,49	1,68	0,26	638,50
1984	0,02	4,10	558,60	129,30	12,73	401,55	4,06	0,39	1028,00
1985	0,01	0,25	12,17	7,88	0,78	24,48	0,25	0,05	464,80
1986	0,00	2,08	123,55	65,59	6,46	203,71	2,06	0,25	825,90
1987	0,00	0,19	10,30	5,99	0,59	18,61	0,19	0,05	388,60
1988	0,00	0,57	127,00	17,98	1,77	55,82	0,56	0,12	456,80
1989	0,00	0,19	38,25	5,99	0,59	18,61	0,19	0,04	491,20
1990	0,00	1,64	120,10	51,72	5,09	160,62	1,62	0,27	593,60
1991	0,00	0,87	78,30	27,44	2,70	85,21	0,86	0,13	680,40
1992	0,00	1,85	155,00	58,34	5,75	181,19	1,83	0,33	545,50
1993	0,00	0,84	82,80	26,49	2,61	82,27	0,83	0,19	438,10
1994	0,00	1,36	210,10	42,89	4,22	133,20	1,35	0,21	625,40
1995	0,00	1,49	188,60	46,99	4,63	145,93	1,48	0,23	630,10
1996	0,00	0,04	5,48	1,26	0,12	3,92	0,04	0,01	396,60
1997	0,00	0,93	127,00	29,33	2,89	91,08	0,92	0,18	520,40
1998	0,00	2,04	118,30	64,33	6,34	199,79	2,02	0,39	514,50
1999	0,00	0,47	186,60	14,82	1,46	46,03	0,47	0,11	431,50
2000	0,00	0,68	209,70	21,44	2,11	66,60	0,67	0,17	400,70

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm)Ramdane Djamel Berais
2001	0,00	0,14	43,75	4,42	0,43	13,71	0,14	0,03	440,70
2002	0,00	0,95	122,81	29,96	2,95	93,04	0,94	0,11	868,80
2003	0,00	0,88	161,47	27,75	2,73	86,19	0,87	0,12	695,30
2004	1,81	2,85	3,26	89,88	8,85	279,12	2,82	0,33	835,40
Moyenne	0,06	1,01	120,28	31,88	3,14	99,01	1,00	0,16	563,23
Ecart type	0,32	0,90	155,09	28,36	2,79	88,06	0,89	0,11	158,30
coeff d'assy	5,66	1,63	2,92	1,63	1,63	1,63	1,63	0,70	1,17
Max	1,81	4,10	745,08	129,30	12,73	401,55	4,06	0,39	1028,00
Min	0,00	0,04	3,26	1,26	0,12	3,92	0,04	0,01	378,80
Coeff d'appl	31,99	3,32	9,60	3,32	3,32	3,32	3,32	-0,52	1,18
Médiane	0,00	0,81	80,54	25,54	2,52	79,33	0,80	0,12	517,45
Coeff de var	5,53	0,89	1,29	0,89	0,89	0,89	0,89	0,68	0,28

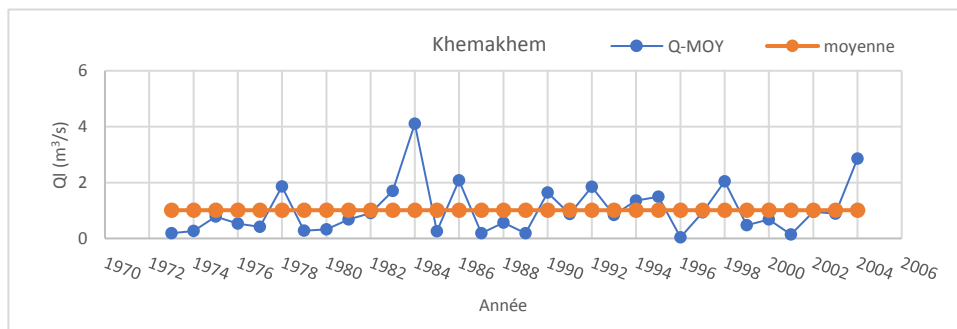


Figure (IV.24): Années humides et sèches -station Khemakhem-

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Khemakhem permettent de distinguer : 10 années humides seulement comparées aux 22 années sèches. Le bassin versant des côtiers Constantinois a débité une moyenne de 0,32 m³/s à la station de Mkaceb et de l'ordre de 1,01 m³/s à la station de Khemakhem. Ces débits ont été utiles pour calculer les débits moyens spécifiques, dont les valeurs sont relativement importantes, elles varient entre 3,14 l/s/km² à la station de Khemakhem et 14,25 l/s/km² à la station d'El Mkaceb. Les débits maximums les plus élevés sont observés en 1983, 1984, 1994 et 2000 avec des valeurs de l'ordre de : 745,08 m³/s, 558,60 m³/s, 210,10 m³/s et 209,70 m³/s respectivement, pour la station de Khemakhem, alors qu'elles ne dépassent pas les 99,60 m³/s pour la station d'El Mkaceb.

IV.4.2. Influences des paramètres : Apport liquide, Mo, Lr, Ki, et Ri sur les débits d'écoulement - bassin des Hauts plateaux Constantinois-

Les tableaux : (IV.13), (IV.14), et (IV.15), illustrent les données hydrométriques pour les stations : Reboa, Foug El Gueiss et Chemora respectivement, concernant. Les lames ruisselées des cours d'eau étudiés ont été calculées à partir des apports liquides moyens annuels, on tenant compte des stations pluviométriques de : Bir Chouhada, Ain Mimoun et Timgad

- **Station Reboa 070403**

Tableau (IV.13) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Reboa - Hauts plateaux Constantinois-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	APPORT	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Bir Chouhada
1979	0,00	0,36	13,80	11,35	1,22	38,35	0,92	0,14	265,40
1980	0,00	0,30	72,24	9,46	1,01	31,96	0,77	0,12	262,90
1981	0,00	0,64	255,00	20,18	2,16	68,19	1,64	0,41	167,30
1982	0,00	0,16	3,15	5,05	0,54	17,05	0,41	0,06	272,00
1983	0,00	0,69	56,16	21,76	2,33	73,51	1,77	0,18	407,90
1984	0,00	0,27	18,17	8,44	0,90	28,50	0,69	0,09	304,10
1985	0,00	0,29	103,60	9,18	0,98	31,00	0,74	0,10	303,20
1986	0,00	0,06	23,30	1,96	0,21	6,64	0,15	0,03	226,80
1987	0,00	0,35	224,00	10,99	1,18	37,12	0,90	0,12	312,60
1988	0,00	1,26	297,50	39,67	4,25	134,03	3,23	0,40	331,70
1989	0,00	0,45	10,46	14,24	1,53	48,11	1,15	0,15	319,70
1990	0,00	0,50	25,94	15,66	1,68	52,92	1,28	0,19	278,70
1991	0,00	0,36	19,88	11,35	1,22	38,35	0,92	0,15	264,30
1992	0,00	0,08	10,22	2,52	0,27	8,52	0,21	0,06	149,50
1993	0,00	0,15	53,92	4,73	0,51	15,98	0,38	0,05	348,70
1994	0,00	0,90	57,88	28,38	3,04	95,89	2,31	0,18	542,00
1995	0,00	0,08	66,10	2,52	0,27	8,52	0,21	0,10	88,60
1996	0,00	0,26	59,89	8,20	0,88	27,70	0,67	0,14	194,00
1997	0,00	0,11	19,60	3,47	0,37	11,72	0,28	0,06	201,10
1998	0,00	0,39	30,00	12,30	1,32	41,55	1,00	0,18	229,40
1999	0,00	0,75	281,00	23,65	2,53	79,91	1,92	0,27	300,00
2000	0,00	0,14	96,80	4,42	0,47	14,92	0,36	0,05	280,00
2001	0,00	0,39	81,76	12,25	1,31	41,38	1,00	0,15	275,00

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	APPORT	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Bir Chouhada
Ecart type	0,00	0,30	90,94	9,30	1,00	31,43	0,78	0,10	91,00
Coef.d'assy	/	1,46	1,55	1,46	1,46	1,46	1,37	1,62	0,53
Max	0,00	1,26	297,50	39,67	4,25	134,03	3,23	0,41	542,00
Min	0,00	0,06	3,15	1,96	0,21	6,64	0,15	0,03	88,60
Coef.d'appl	/	1,97	0,94	1,97	1,97	1,97	1,98	2,28	2,51
Médiane	0,00	0,32	55,04	10,22	1,10	34,54	0,83	0,13	275,35
Variance	0,00	0,36	13,80	11,35	1,22	38,35	0,60	0,14	265,40

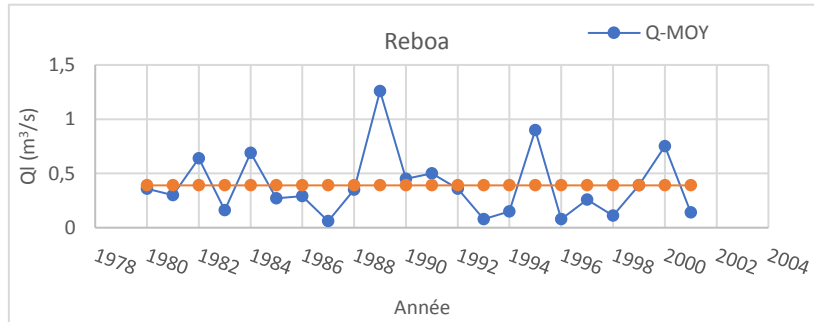


Figure (IV. 25) : Année humide et années sèches - station Reboa-

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Reboa permettent de distinguer : 7 années humides(1982, 1984, 1989,1990, 1991,1995, 2000) 3 années moyennes et 11 sèches .

• **Station Foum El Gueiss 070702**

Tableau (IV.14) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Foum EL Gueiss - Hauts plateaux Constantinois-(A.N.R.H d'Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Ain Mimoun
1980	0,00	0,11	25,70	3,47	0,76	24,09	0,61	0,05	460,50
1981	0,00	0,26	78,46	8,20	1,81	56,94	1,44	0,11	530,60
1982	0,00	0,16	44,34	5,05	1,11	35,04	0,89	0,08	445,40
1983	0,00	0,16	1,45	5,05	1,11	35,04	0,89	0,12	301,40
1984	0,00	0,37	9,04	11,67	2,57	81,03	2,06	0,19	423,20
1985	0,00	0,16	28,30	5,05	1,11	35,04	0,89	0,09	400,80
1986	0,00	0,15	28,90	4,73	1,04	32,85	0,83	0,09	363,40
1987	0,00	0,02	29,70	0,63	0,14	4,38	0,11	0,01	292,40
1988	0,00	0,08	26,10	2,52	0,56	17,52	0,44	0,04	422,90
1989	0,00	0,32	21,36	10,09	2,22	70,08	1,78	0,10	704,40
1990	0,00	0,42	85,55	13,25	2,92	91,98	2,33	0,18	501,00
1991	0,00	0,40	15,85	12,61	2,78	87,60	2,22	0,17	528,00
1992	0,00	0,18	1,48	5,68	1,25	39,42	1,00	0,09	432,30

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Ain Mimoun
1993	0,00	0,04	46,78	1,26	0,28	8,76	0,22	0,03	325,00
1994	0,00	0,05	7,11	1,58	0,35	10,95	0,28	0,03	315,40
1995	0,00	0,32	8,56	10,09	2,22	70,08	1,78	0,10	686,00
1996	0,00	0,01	11,02	0,32	0,07	2,19	0,06	0,02	139,90
1997	0,00	0,20	33,20	6,31	1,39	43,80	1,11	0,08	534,90
1998	0,00	0,11	13,76	3,47	0,76	24,09	0,61	0,07	339,30
1999	0,00	0,15	33,20	4,73	1,04	32,85	0,83	0,08	417,20
2000	0,00	0,07	24,73	2,21	0,49	15,33	0,39	0,06	257,70
Moyenne	0,00	0,18	27,36	5,62	1,24	39,00	0,99	0,09	420,08
Ecart type	0,00	0,13	22,15	3,95	0,87	27,44	0,70	0,05	134,71
Coef.d'assy	/	0,62	1,42	0,62	0,62	0,62	0,62	0,71	0,31
Max	0,00	0,42	85,55	13,25	2,92	91,98	2,33	0,19	704,40
Coef.d'appl	/	-0,66	2,09	-0,66	-0,66	-0,66	-0,66	0,24	0,51
Médiane	0,00	0,16	25,70	5,05	1,11	35,04	0,89	0,08	422,90
Variance	0,00	0,02	490,58	15,61	0,76	752,80	0,48	0,00	18147,88

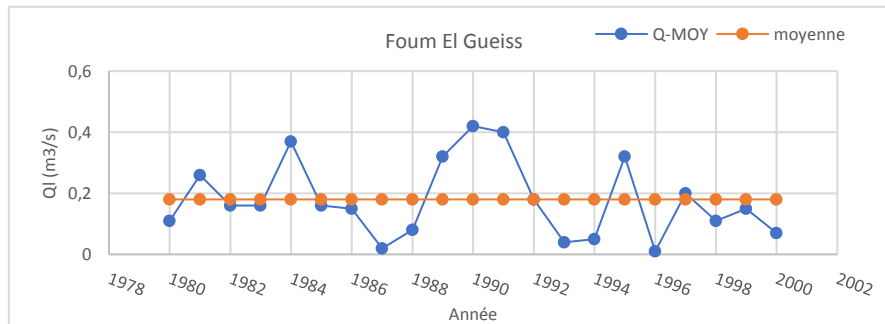


Figure (IV. 26) : Années humides et années sèches -station Foum El Gueiss.

Les valeurs des coefficients d’hydraulicité au niveau de la station Foum El Gueiss permettent de distinguer : 7 années humides (1981,1984,1989,1990,1991,1995, 1997), une année moyenne et 13 années sèches .

- **Station Chemora 07 05 01**

Tableau (IV.15) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Chemora - Hauts plateaux Constantinois-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Timgad
1977	0,00	0,17	57,00	5,36	0,22	7,06	0,28	0,11	61,50
1978	0,00	0,20	81,50	6,31	0,26	8,31	0,33	0,04	215,40
1979	0,00	0,32	138,80	10,09	0,42	13,30	0,52	0,04	300,70

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm3)	Mo (l/s/km2)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) Timgad
1980	0,00	0,43	127,60	13,56	0,57	17,87	0,70	0,10	187,70
1981	0,00	0,58	221,00	18,29	0,76	24,10	0,95	0,07	329,70
1982	0,00	0,95	216,20	29,96	1,25	39,47	1,56	0,13	306,90
1983	0,00	0,38	51,25	11,98	0,50	15,79	0,62	0,10	151,70
1984	0,00	0,15	5,38	4,73	0,20	6,23	0,25	0,02	326,00
1985	0,00	0,45	122,00	14,19	0,59	18,70	0,74	0,08	242,10
1986	0,00	0,40	153,20	12,61	0,53	16,62	0,66	0,07	232,00
1987	0,00	0,08	33,80	2,52	0,11	3,32	0,13	0,03	120,00
1988	0,00	0,30	190,70	9,46	0,40	12,46	0,49	0,04	296,40
1989	0,00	1,26	170,40	39,74	1,66	52,35	2,07	0,13	415,80
1990	0,00	0,91	183,40	28,70	1,20	37,81	1,49	0,12	321,40
1991	0,00	1,11	102,45	35,00	1,46	46,12	1,82	0,14	318,70
1992	0,00	0,37	51,00	11,67	0,49	15,37	0,61	0,08	198,10
1993	0,00	0,11	67,80	3,47	0,14	4,57	0,18	0,02	194,90
1994	0,00	0,42	138,80	13,25	0,55	17,45	0,69	0,10	167,50
1995	0,00	2,30	197,00	72,53	3,03	95,56	3,77	0,24	391,50
1996	0,00	0,09	90,20	2,84	0,12	3,74	0,15	0,04	102,10
1997	0,00	0,74	231,00	23,34	0,97	30,75	1,21	0,09	353,60
1998	0,00	0,29	104,75	9,15	0,38	12,05	0,48	0,08	158,80
1999	0,00	0,69	147,20	21,76	0,91	28,67	1,13	0,11	269,70
2000	0,00	0,38	136,00	11,98	0,50	15,79	0,62	0,11	146,60
2001	0,00	0,45	122,00	14,19	0,59	18,70	0,74	0,09	210,20
2002	0,00	0,45	112,80	14,19	0,59	18,70	0,74	0,04	444,60
2003	0,00	0,24	129,00	7,57	0,32	9,97	0,39	0,03	390,00
2004	0,00	2,91	134,60	91,77	3,83	120,91	4,77	0,36	337,50
Moyenne	0,00	0,61	125,60	19,29	0,81	25,42	1,00	0,09	256,83
Ecart type	0,00	0,64	58,14	20,31	0,85	26,75	1,06	0,07	100,91
Coef.d'assy	/	2,47	-0,05	2,47	2,47	2,47	2,47	2,31	-0,02
Max	0,00	2,91	231,00	91,77	3,83	120,91	4,77	0,36	444,60
Min	0,00	0,08	5,38	2,52	0,11	3,32	0,13	0,02	61,50
Coef.d'appl	/	6,50	-0,47	6,50	6,50	6,50	6,50	7,12	-0,86
Médiane	0,00	0,41	128,30	12,93	0,54	17,04	0,67	0,08	255,90
Variance	0,00	0,41	3380,09	412,36	0,72	715,81	1,11	0,00	10182,38
Coef de variation	/	1,05	0,46	1,05	1,05	1,05	1,06	0,78	0,39

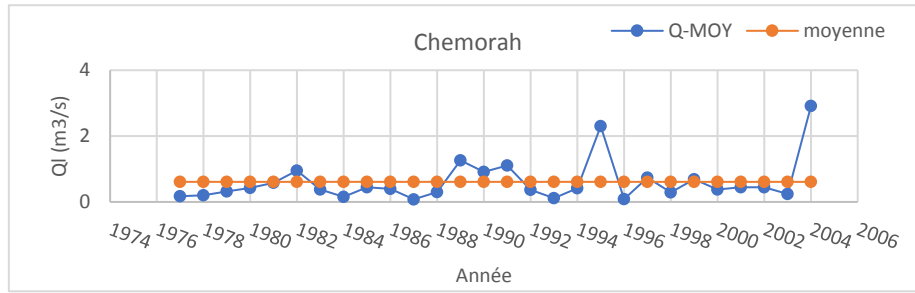


Figure (IV. 27) : Années humides et années sèches station Chemora.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité calculés pour la station Chemora permettent de distinguer : 8 années humides (1982,1989,1990,1991,1995,1997,1999 et 2004) , une année moyenne et 19 années sèches . Le débit moyen annuel enregistré à la station Reboa est de l'ordre de 0,39 m³/s. L'Oued El Gueiss offre un module de 0,18 m³/s. Pour la station de Chemora, le débit moyen enregistré est de l'ordre de 0,61 m³/s. La zone d'étude se caractérise par une variation spatiale de débits spécifiques, passant de 0,81 l/s/Km² à la station de Chemora, à 1,24 l/s/km² à la station de Foum EL Gueiss, et jusqu'au 1,31 l/s/ km² à la station de Reboa. Le bassin Seybouse enregistre des débits maximums variant entre 85,55 m³/s à Foum El Gueiss, et 297, 50 m³/s à Reboa.

IV.4.3. Influences des paramètres : Apport liquide, Mo, Lr, Ki, et Ri sur les débits d'écoulement - Bassin Kébir Rhumel-

Les tableaux : (IV.16), (IV.17), (IV.18), (IV.19), et (IV.20) illustrent respectivement les données hydrométriques pour les stations : Bouchdira, El Kheneg, Ain Smara, El Ancer, et Tassadane. Les lames ruisselées des cours d'eau étudiés ont été calculées à partir des apports liquides moyens annuels, en tenant compte des précipitations annuelles pour les stations pluviométriques d'El Milia, Chelghoum et El Koudiat fournient.

• **Station Bouchdira 10 06 02**

Tableau (IV.16) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Bouchdira - Kébir Rhumel-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) El Milia
1980	0,02	1,82	79,80	57,40	6,17	194,56	1,10	0,18	1082,10
1981	0,00	1,27	40,20	40,05	4,31	135,77	0,77	0,16	860,70
1982	0,00	1,79	110,20	56,45	6,07	191,35	1,08	0,25	751,10
1983	0,00	1,48	150,00	46,67	5,02	158,21	0,89	0,18	861,00
1984	0,00	2,90	317,27	91,45	9,83	310,01	1,75	0,28	1114,20
1985	0,01	0,58	7,88	18,29	1,97	62,00	0,35	0,08	762,20

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ri	PP (mm) El Milia
1986	0,00	2,86	134,32	90,19	9,69	305,74	1,72	0,31	989,10
1987	0,01	0,37	17,80	11,67	1,25	39,55	0,22	0,06	624,60
1988	0,00	0,91	72,60	28,70	3,08	97,28	0,55	0,13	774,70
1989	0,00	0,37	9,03	11,67	1,25	39,55	0,22	0,06	641,90
1990	0,00	2,66	126,04	83,89	9,02	284,36	1,60	0,24	1196,60
1991	0,01	1,17	49,20	36,90	3,97	125,07	0,70	0,16	783,70
1992	0,00	2,35	225,90	74,11	7,97	251,22	1,42	0,30	840,00
1993	0,00	1,34	113,40	42,26	4,54	143,25	0,81	0,22	665,40
1994	0,00	2,28	113,40	71,90	7,73	243,74	1,37	0,27	891,50
1995	0,00	1,89	291,00	59,60	6,41	202,04	1,14	0,24	858,20
1996	0,00	0,14	14,16	4,42	0,47	14,97	0,08	0,03	597,30
1997	0,00	0,98	73,00	30,91	3,32	104,76	0,59	0,10	1076,90
1998	0,00	3,08	114,20	97,13	10,44	329,26	1,86	0,36	924,40
1999	0,00	0,53	103,00	16,71	1,80	56,66	0,32	0,09	628,70
2000	0,00	1,33	119,60	41,94	4,51	142,18	0,80	0,18	798,80
2001	0,00	0,08	7,21	2,52	0,27	8,55	0,05	0,02	500,80
2002	0,00	6,04	312,88	190,48	20,47	645,69	3,64	0,49	1314,70
2003	0,00	2,96	211,00	93,35	10,03	316,43	1,78	0,31	1015,90
Moyenne	0,00	1,66	116,42	52,48	5,64	177,88	1,00	0,19	851,61
Ecart type	0,01	1,32	92,06	41,52	4,46	140,74	0,79	0,12	201,23
Coef.d'assy	2,61	1,52	0,95	1,52	1,52	1,52	1,52	0,55	0,49
Max	0,02	6,04	317,27	190,48	20,47	645,69	3,64	0,49	1314,70
Min	0,00	0,08	7,21	2,52	0,27	8,55	0,05	0,02	500,80
Coef.d'appl	6,66	3,76	0,28	3,76	3,76	3,76	3,76	0,20	-0,17
Médiane	0,00	1,34	110,20	42,26	4,54	143,25	0,81	0,18	840,00
Variance	0,00	1,73	8474,96	1723,86	19,92	19808,77	0,63	0,01	40494,95
Coef de varia	/	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,63	0,24

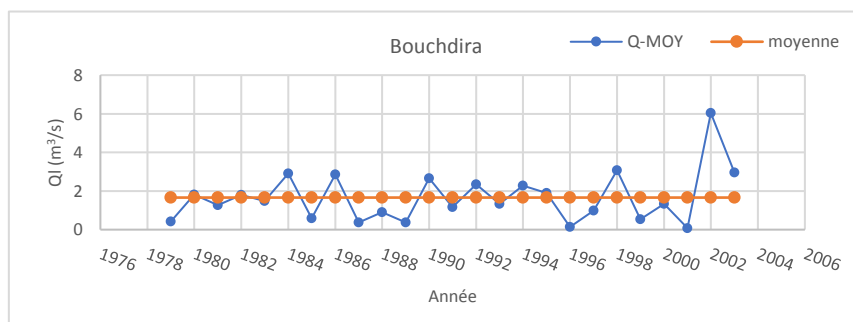


Figure (IV. 28) : Années humides et années sèches - station Bouchdira-

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Bouchedira permettent de distinguer : 8 années humides (1984,1986, 1990,1992, 1994, 1998, 2002, et 2003), 3 années moyennes et 14 années sèches .

• *Station El Kheneg 100620*

Tableau (IV.17) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station El Kheneg - Kébir Rhumel-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Précipitation El Milia(mm)
1985	1,50	3,86	37,66	121,73	3,29	103,86	0,93	762,20
1986	1,61	7,61	129,00	239,99	6,49	204,77	1,84	989,10
1987	0,63	2,83	16,20	89,25	2,41	76,15	0,68	624,60
1988	0,63	3,27	125,00	103,12	2,79	87,99	0,79	774,70
1989	0,63	2,07	53,00	65,28	1,77	55,70	0,50	641,90
1990	0,23	3,53	86,50	111,32	3,01	94,98	0,85	1196,60
1991	0,23	3,90	73,20	122,99	3,33	104,94	0,94	783,70
1992	0,82	6,81	179,00	214,76	5,81	183,24	1,64	840,00
1993	1,03	3,86	110,00	121,73	3,29	103,86	0,93	665,40
1994	1,00	5,38	175,00	169,66	4,59	144,76	1,30	891,50
1995	0,85	4,60	99,02	145,07	3,92	123,78	1,11	858,20
1996	0,36	1,96	10,65	61,81	1,67	52,74	0,47	597,30
Moyenne	0,79	4,14	91,19	130,56	3,53	111,40	1,00	802,10
Ecart type	0,44	1,73	56,01	54,64	1,48	46,62	0,42	171,53
Coef.d'assy	0,58	0,85	0,13	0,85	0,85	0,85	0,85	1,04
Max	1,61	7,61	179,00	239,99	6,49	204,77	1,84	1196,60
Min	0,23	1,96	10,65	61,81	1,67	52,74	0,47	597,30
Coef.d'appl	-0,24	0,21	-0,89	0,21	0,21	0,21	0,21	1,30
Médiane	0,73	3,86	92,76	121,73	3,29	103,86	0,93	779,20
Variance	0,20	3,00	3136,57	2984,99	2,19	2173,14	0,18	29423,34
Coef de var	0,56	0,42	0,61	0,42	0,42	0,42	0,42	0,21

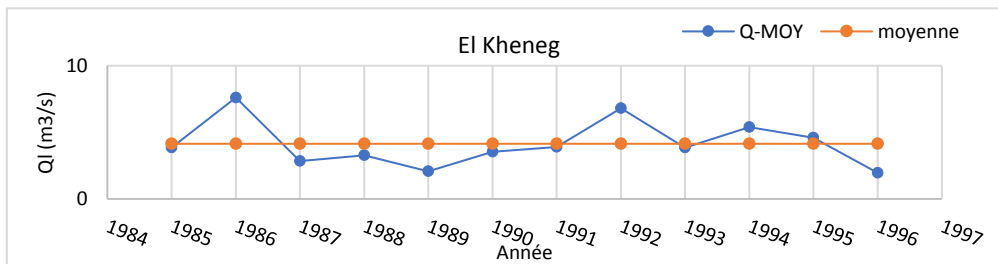


Figure (IV. 29) : Années humides et années sèches station El Kheneg.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station El Kheneg permettent de distinguer : 4 années humides (1986,1992,1994,1995), 2 années moyennes et 6 années sèches.

• **Station Ain Smara 100403**

Tableau (IV.18) : Débit min, Débit moyen, Débit maxx et Apport liquide au droit de la station Ain Smara - Kébir Rhumel-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	APPORT	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ce	PP (mm) Chelghoum
1985	0,14	0,62	4,21	19,55	0,28	8,89	0,60	0,03	285,90
1986	0,14	1,74	21,83	54,87	0,79	24,94	1,69	0,06	439,70
1987	0,14	0,30	6,18	9,46	0,14	4,30	0,29	0,01	306,90
1988	0,00	0,93	65,18	29,33	0,42	13,33	0,90	0,03	487,70
1989	0,15	0,85	48,66	26,81	0,39	12,18	0,83	0,04	329,40
1990	0,00	2,60	200,00	81,99	1,18	37,27	2,52	0,10	390,60
1991	0,01	0,55	20,24	17,34	0,25	7,88	0,53	0,02	513,10
1992	0,00	1,12	12,89	35,32	0,51	16,05	1,09	0,06	291,60
1993	0,01	0,47	4,21	14,82	0,21	6,74	0,46	0,02	315,40
1994	0,00	1,03	48,34	32,48	0,47	14,76	1,00	0,03	423,50
1995	0,00	1,07	64,20	33,74	0,49	15,34	1,04	0,03	532,20
1996	0,05	1,03	45,09	32,48	0,47	14,76	1,00	0,06	252,90
Moyenne	0,05	1,03	45,09	32,35	0,47	14,70	1,00	0,04	380,74
Ecart type	0,07	0,62	53,80	19,64	0,28	8,93	0,60	0,02	96,74
Coef.d'assy	0,69	1,59	2,43	1,59	1,59	1,59	1,59	1,29	0,34
Max	0,15	2,60	200,00	81,99	1,18	37,27	2,52	0,10	532,20
Min	0,00	0,30	4,21	9,46	0,14	4,30	0,29	0,01	252,90
Coef.d'appl	-1,70	3,15	6,98	3,15	3,15	3,15	3,15	1,84	-1,43
Médiane	0,01	0,98	33,46	30,91	0,45	14,05	0,95	0,03	360,00
Variance	0,00	0,39	2894,63	385,68	0,08	79,69	0,37	0,00	9358,43
CV	1,40	0,60	1,19	0,61	0,60	0,61	0,60	0,50	0,25

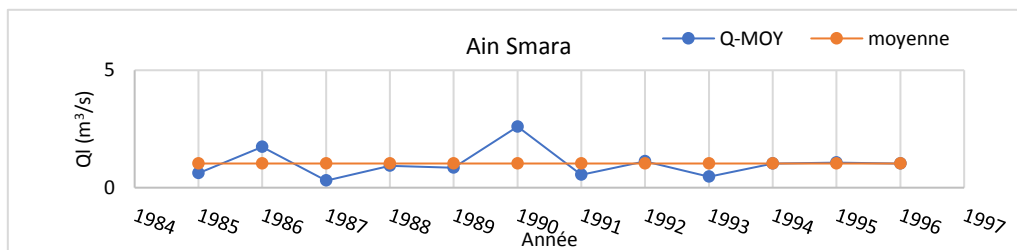


Figure (IV. 30) : Années Humides années sèches-station Ain Smara-.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Ain Smara permettent de distinguer : 2 années humides(1986,1990) , 2 moyennes et 6 années sèches.

• **Station El Ancer 100701**

Tableau (IV.19) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station El Ancer - Kébir Rhumel-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Ki	Lr (mm)	Ce	PP (mm) El Milia
1972	0,00	2,00	1111,00	63,07	0,23	0,51	7,22	0,01	870,04
1973	0,00	1,98	739,60	62,44	0,23	0,50	7,14	0,01	636,40
1974	0,00	0,92	441,20	29,01	0,11	0,23	3,32	0,01	613,20
1975	0,00	0,85	489,10	26,81	0,10	0,22	3,07	0,01	550,30
1976	0,00	2,42	316,20	76,32	0,28	0,62	8,73	0,01	620,50
1977	0,00	1,87	381,70	58,97	0,21	0,48	6,75	0,01	761,60
1978	0,00	1,34	1774,00	42,26	0,15	0,34	4,84	0,00	1008,80
1979	0,00	0,19	316,80	5,99	0,02	0,05	0,69	0,00	735,80
1980	0,00	2,80	769,50	88,30	0,32	0,71	10,10	0,01	1082,10
1981	0,00	1,45	2529,00	45,73	0,17	0,37	5,23	0,01	860,70
1982	0,00	0,94	517,70	29,64	0,11	0,24	3,39	0,00	751,10
1983	0,50	35,17	1791,00	1109,12	4,02	8,95	126,90	0,15	861,00
1984	1,28	24,88	778,83	784,62	2,85	6,33	89,77	0,08	1114,20
1985	0,00	1,80	236,90	56,76	0,21	0,46	6,49	0,01	762,20
1986	0,00	1,80	537,80	56,76	0,21	0,46	6,49	0,01	989,10
1987	0,00	0,58	189,20	18,29	0,07	0,15	2,09	0,00	624,60
1988	0,00	0,58	424,40	18,29	0,07	0,15	2,09	0,00	774,70
1989	0,00	0,71	187,40	22,39	0,08	0,18	2,56	0,00	641,90
1990	0,00	2,01	1234,00	63,39	0,23	0,51	7,25	0,01	1196,60
1991	0,00	0,87	729,90	27,44	0,10	0,22	3,14	0,00	783,70
1992	0,00	0,69	962,00	21,76	0,08	0,18	2,49	0,00	840,00
1993	0,00	0,67	677,00	21,13	0,08	0,17	2,42	0,00	665,40
Moyenne	0,08	3,93	778,83	124,02	0,45	1,00	14,19	0,02	806,54
Ecart type	0,29	8,62	596,40	271,86	0,99	2,19	31,10	0,03	178,40
Coef d'assy	3,91	3,21	1,62	3,21	3,21	3,21	3,21	3,51	0,69
Max	1,28	35,17	2529,00	1109,12	4,02	8,95	126,90	0,15	1196,60
Min	0,00	0,19	187,40	5,99	0,02	0,05	0,69	0,00	550,30
Coef.d'appl	15,81	9,68	2,51	9,68	9,68	9,68	9,68	12,43	-0,31
Médiane	0,00	1,40	607,40	43,99	0,16	0,35	5,03	0,01	768,45

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Ki	Lr (mm)	Ce	PP (mm)	El Milia
Variance	0,08	74,31	355695,14	73905,24	0,97	4,81	967,50	0,00	31826,13	
Cv	3,63	2,19	0,77	2,19	2,20	2,19	2,19	1,50	0,22	

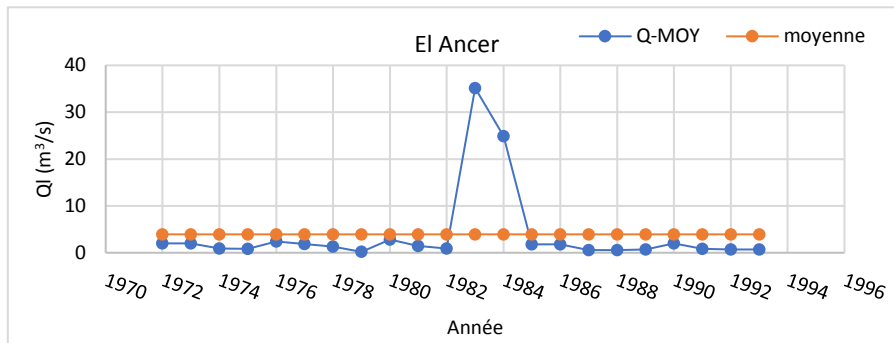


Figure (IV.31) :Années humides et années sèches-station El Ancer-

Les valeurs des coefficients d’hydraulicité au niveau de la station El Ancer permettent de distinguer : 2 années humides (1983,1984) , 20 années sèches. Un pic très élevé a été observé durant l’année 1984 Ql moyen =24,88m³/s , pour une quantité de précipitations annuelles de l’ordre de : 1114,20 mm enregistrées à la station pluviométrique d’El Milia.

• Station Tassadane 100109

Tableau (IV.20) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Tassadane - Kébir Rhumel-(A.N.R.H d’Alger).

Année	Qmax(m ³ /s)	Qmin (m ³ /s)	Qmoy (m ³ /s)	App (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	PP (koudiat)
1973/1974	196,80	0,20	3,69	115,1	1,09	33,86	1,18	427,51
1974/1975	121,60	0,21	1,71	53,02	0,50	15,60	0,55	420,67
1975/1976	136,00	0,21	4,38	136,91	1,29	40,28	1,40	645,46
1976/1977	100,00	0,10	2,63	82,84	0,77	24,37	0,84	467,92
1977/1978	151,60	0,04	3,14	97,44	0,92	28,67	1,00	391,31
1978/1979	224,00	0,00	2,53	79,44	0,74	23,37	0,81	521,4
1979/1980	115,40	0,18	1,73	54,69	0,51	16,09	0,55	319,7
1980/1981	516,00	0,12	2,50	78,58	0,74	23,12	0,80	370,4
1981/1982	141,20	0,20	5,25	163,69	1,54	48,16	1,68	519,4
1982/1983	147,70	0,01	2,56	80,77	0,75	23,76	0,82	250,6
1983/1984	366,20	0,13	5,29	163,8	1,56	48,19	1,69	375,8
1984/1985	254,40	0,27	9,66	304,82	2,84	89,68	3,09	538,8
1985/1986	58,68	0,02	1,96	61,57	0,58	18,11	0,63	328,3
1986/1987	90,22	0,02	6,09	189,75	1,79	55,83	1,95	554,6
1987/1988	44,50	0,00	1,10	34,95	0,32	10,28	0,35	331,9
1988/1989	141,20	0,06	2,91	91,35	0,86	26,88	0,93	578,5

Année	Qmax(m ³ /s)	Qmin (m ³ /s)	Qmoy (m ³ /s)	App (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	PP (koudiat)
1989/1990	127,60	0,09	0,72	22,79	0,21	6,70	0,23	312,5
1990/1991	184,40	0,09	4,42	138,33	1,30	40,70	1,41	511,5
1991/1992	127,00	0,08	2,58	81,21	0,76	23,89	0,82	541,9
1992/1993	97,50	0,06	3,18	100,75	0,94	29,64	1,02	399
1993/1994	235,40	0,06	2,77	83,4	0,81	24,54	0,88	381,6
1994/1995	291,20	0,04	4,38	139,48	1,29	41,04	1,40	387,5
1995/1996	260,80	0,04	2,37	73,73	0,70	21,69	0,76	585,8
1996/1997	23,56	0,00	0,42	13,29	0,12	3,91	0,13	299,2
1997/1998	167,60	0,01	2,08	65,4	0,61	19,24	0,66	441,3
1998/1999	97,20	0,03	2,68	82,85	0,79	24,37	0,86	628,7
1999/2000	38,00	0,02	0,69	21,87	0,20	6,43	0,22	416,8
2000/2001	86,00	0,01	1,33	41,08	0,39	12,09	0,42	302,6
2001/2002	136,00	0,00	0,46	14,54	0,14	4,28	0,15	232,2
2002/2003	509,20	0,00	8,80	276,13	2,59	81,24	2,81	647,1
Max	516,00	0,27	9,66	304,82	2,84	89,68	3,09	647,1
Min	23,56	0,00	0,42	13,29	0,12	3,91	0,13	232,2
Moyenne	172,90	0,08	3,13	98,12	0,92	28,87	1,00	437,66
Ecart type	120,47	0,08	2,20	69,09	0,65	20,33	0,70	118,32
Médiane	138,60	0,05	2,61	82,03	0,77	24,13	0,83	418,73
Coefd'asy	1,61	1,02	1,45	1,48	1,45	1,48	1,45	0,20
Coef d'aplat	2,68	-0,12	2,42	2,53	2,41	2,53	2,42	-0,95
C.variation	0,70	1,02	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,27

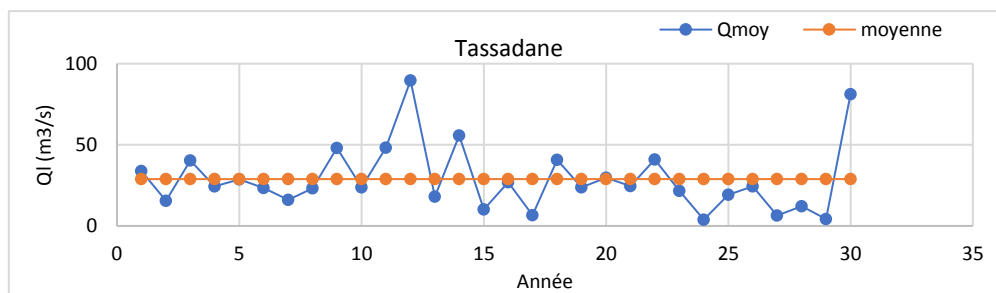


Figure (IV. 32) : Années humides et années sèches - station Tassadane-

Le bassin Kébir Rhumel débite d'un module moyen allant de 1,03 m³/s à Ain Smara, 1,66 m³/s à Bouchdira, 3,13m³/s à Tassadane, 3,93 m³/s à El Ancer, et 4,14 m³/s à la station El Kheneg. L'écoulement qui s'effectue au niveau de ce bassin est le plus irrégulier, il est très variable d'une station à une autre et d'une année à une autre , les débits maximum exceptionnel enregistrés à la station d'El Ancer peuvent atteindre : 2529 m³/s en 1981,

1791,00 m³/s en 1983 et 1774,00 m³/s en 1978. Alors que ces valeurs ne dépassent pas : 317,27 m³/s à Bouchdira, 179 m³/s à la station el Kheneg, 200 m³/s à Ain Smara , et 115,44 m³/s à la station Tassadane. Le bassin kébir Rhumel se caractérise d'une abondance spécifique importante, allant de 0,92 l/s/km² à Tassadane, 0,47 l/s/km² à la station de Ain Smara et El Ancer.

IV.4.4. Influences des paramètres : Apport liquide, Mo, Lr, Ki, et Ri sur les débits d'écoulement - Bassin Seybousse -

Les tableaux : (IV.21), (IV.22), (IV.23) illustrent les données hydrométriques pour les stations : Mdjez Ammar, Borj Sabat, et Moulin Rechfort respectivement. Les lames ruisselées des cours d'eau étudiés ont été calculées à partir des apports liquides moyens annuels, en tenant compte de la station pluviométrique de Guelma.

• **Mdjez Ammar 140301**

Tableau (IV.21) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Mdjez Ammar - Seybousse-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ce	PP(mm) Guelma
1980	0,08	3,13	165,10	98,71	2,83	89,33	1,11	0,17	539,40
1981	0,04	2,02	136,00	63,70	1,83	57,65	0,71	0,09	636,20
1982	0,05	1,92	60,40	60,55	1,74	54,80	0,68	0,13	418,10
1983	0,04	5,97	1235,66	188,27	5,40	170,38	2,11	0,25	681,90
1984	0,03	8,44	785,10	266,16	7,64	240,87	2,98	0,36	670,00
1985	0,05	0,70	16,25	22,08	0,63	19,98	0,25	0,06	362,20
1986	0,07	6,16	267,50	194,26	5,57	175,80	2,18	0,22	795,30
1987	0,07	0,13	12,14	4,10	0,12	3,71	0,05	0,01	394,40
1988	0,07	0,16	14,10	5,05	0,14	4,57	0,06	0,01	459,60
1989	0,07	0,22	4,50	6,94	0,20	6,28	0,08	0,01	425,40
1990	0,09	0,33	18,50	10,41	0,30	9,42	0,12	0,02	624,50
1991	0,11	0,24	13,42	7,57	0,22	6,85	0,08	0,01	589,50
1992	0,00	4,84	475,00	152,63	4,38	138,13	1,71	0,24	575,30
1993	0,00	1,81	18,50	57,08	1,64	51,66	0,64	0,13	386,20
1994	0,00	4,83	76,80	152,32	4,37	137,85	1,71	0,27	501,70
1995	0,06	3,96	42,80	124,88	3,58	113,02	1,40	0,16	693,50
1996	0,04	1,38	2,62	43,52	1,25	39,38	0,49	0,16	245,30
1997	0,05	1,07	11,55	33,74	0,97	30,54	0,38	0,05	652,50
1998	0,12	2,79	12,40	87,99	2,52	79,62	0,99	0,15	546,50

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	ki	Ce	PP(mm) Guelma
1999	0,14	3,99	12,40	125,83	3,61	113,87	1,41	0,20	576,00
2000	0,08	3,93	7,90	123,94	3,56	112,16	1,39	0,23	490,00
2001	0,14	4,30	9,80	135,60	3,89	122,72	1,52	0,37	336,00
Moyenne	0,06	2,83	154,47	89,33	2,56	80,84	1,00	0,15	527,25
Ecart type	0,04	2,32	306,65	73,15	2,10	66,20	0,82	0,11	137,95
coeff d'assy	0,27	0,66	2,74	0,66	0,66	0,66	0,66	0,34	-0,13
Max	0,14	8,44	1235,66	266,16	7,64	240,87	2,98	0,37	795,30
Min	0,00	0,13	2,62	4,10	0,12	3,71	0,05	0,01	245,30
Coeff d'appl	-0,20	-0,15	7,57	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,69	-0,54
Médiane	0,07	2,41	17,38	75,84	2,18	68,64	0,85	0,15	542,95
Variance	0,00	5,38	94032,38	5351,28	4,41	4382,62	0,67	0,01	19030,48
Coeff de var	0,67	0,82	1,99	0,82	0,82	0,82	0,82	0,73	0,26

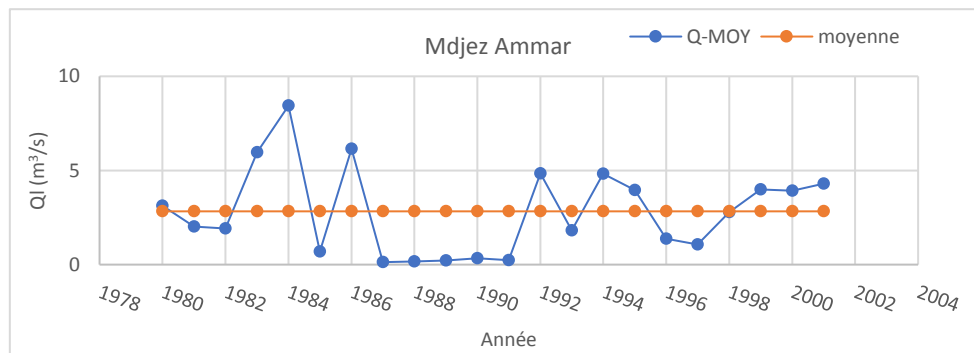


Figure (IV. 33): Années humides et années sèches station Mdjez Ammar.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Mdjez Ammar permettent de distinguer : 9 années humides (1983, 1984, 1986, 1992, 1994, 1995, 1999, 2000 et 2001), 1 année moyenne, et 11 années sèches.

- **Borj Sabat 140302**

Tableau (IV.22) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Borj Sabat - Seybouse-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	Ce	PP(mm) Guelma
1981	0,00	0,62	19,80	19,55	2,04	64,32	0,85	0,10	636,20
1982	0,00	0,71	32,65	22,39	2,34	73,65	0,97	0,18	418,10
1983	1,75	2,13	255,10	67,17	7,01	220,96	2,92	0,32	681,90
1984	0,00	2,60	418,78	81,99	8,55	269,72	3,56	0,40	670,00
1985	0,00	0,20	9,60	6,31	0,66	20,75	0,27	0,06	362,20
1986	0,00	1,54	228,30	48,57	5,07	159,75	2,11	0,20	795,30
1987	0,00	0,08	4,13	2,52	0,26	8,30	0,11	0,02	394,40

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	Ce	PP (mm) Guelma
1988	0,00	0,34	98,59	10,72	1,12	35,27	0,47	0,08	459,60
1989	0,00	0,02	3,35	0,63	0,07	2,07	0,03	0,00	425,40
1990	0,00	0,81	241,00	25,54	2,66	84,03	1,11	0,13	624,50
1991	0,00	0,50	103,21	15,77	1,64	51,87	0,68	0,09	589,50
1992	0,00	1,63	214,20	51,40	5,36	169,09	2,23	0,29	575,30
1993	0,00	0,45	109,30	14,19	1,48	46,68	0,62	0,12	386,20
1994	0,00	0,79	105,70	24,91	2,60	81,95	1,08	0,16	501,70
1995	0,00	0,72	97,08	22,71	2,37	74,69	0,99	0,11	693,50
1996	0,00	0,02	0,73	0,63	0,07	2,07	0,03	0,01	245,30
1997	0,00	0,34	24,76	10,72	1,12	35,27	0,47	0,05	652,50
1998	0,00	0,57	17,22	17,98	1,88	59,13	0,78	0,11	546,50
1999	0,00	0,09	11,97	2,84	0,30	9,34	0,12	0,02	576,00
2000	0,00	0,29	52,38	9,15	0,95	30,08	0,40	0,06	490,00
Moyenne	0,08	0,73	98,46	22,95	2,39	75,48	1,00	0,13	536,36
Ecart type	0,37	0,68	109,47	21,47	2,24	70,62	0,96	0,10	131,17
coeff d'assy	4,58	1,46	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46	1,21	-0,22
Max	1,75	2,60	418,78	81,99	8,55	269,72	3,56	0,40	795,30
Min	0,00	0,02	0,73	0,63	0,07	2,07	0,03	0,00	245,30
Coeff d'appl	21,00	1,70	1,85	1,70	1,70	1,70	1,70	1,17	-0,27
Médiane	0,00	0,57	52,38	17,98	1,88	59,13	0,78	0,11	546,50
Variance	0,15	0,49	12581,99	483,90	5,26	5236,13	0,91	0,01	18066,09
Coef de var	4,63	0,93	1,11	0,94	0,94	0,94	0,96	0,77	0,24

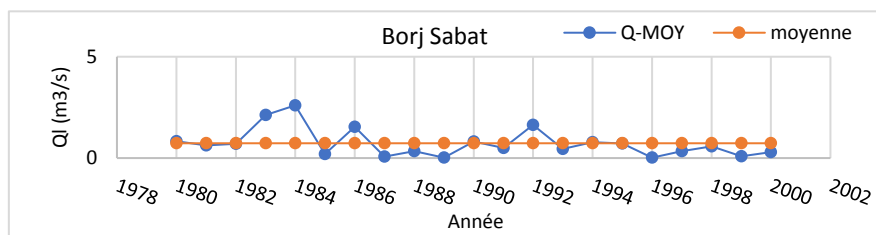


Figure (IV. 34) : Années humides et années sèches station Borj Sabat.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Borj Sabat permettent de distinguer : 4 années humides (1983, 1984, 1986, 1992) , 5 années moyennes, et 12 années sèches.

- **Moulin Rechfort 140202**

Tableau (IV.23) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Moulin Rechfort - Seybousse-(A.N.R.H de Alger).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	Ri	PP (mm) Guelma
1977	0,01	0,46	13,30	14,51	0,27	8,38	0,72	0,02	491,80
1978	0,00	0,42	40,44	13,25	0,24	7,65	0,66	0,02	509,40
1979	0,00	0,39	28,80	12,30	0,23	7,10	0,61	0,02	413,90
1980	0,00	0,77	59,44	24,28	0,44	14,02	1,20	0,03	539,40
1981	0,02	0,80	23,37	25,23	0,46	14,57	1,25	0,02	636,20
1982	0,00	0,59	33,02	18,61	0,34	10,74	0,92	0,03	418,10
1983	0,01	1,45	74,15	45,73	0,84	26,40	2,27	0,04	681,90
1984	0,01	1,11	23,75	35,00	0,64	20,21	1,73	0,03	670,00
1985	0,00	0,34	8,50	10,72	0,20	6,19	0,53	0,02	362,20
1986	0,00	0,52	45,00	16,40	0,30	9,47	0,81	0,01	795,30
1987	0,00	0,20	12,40	6,31	0,12	3,64	0,31	0,01	394,40
1988	0,00	0,49	21,95	15,45	0,28	8,92	0,77	0,02	459,60
1989	0,00	0,73	56,75	23,02	0,42	13,29	1,14	0,03	425,40
1990	0,01	0,67	14,08	21,13	0,39	12,20	1,05	0,02	624,50
Moyenne	0,00	0,64	32,50	20,14	0,37	11,63	1,00	0,02	530,15
Ecart type	0,01	0,33	20,08	10,33	0,19	5,96	0,49	0,01	131,17
Coef.d'assy	1,30	1,27	0,78	1,27	1,27	1,27	1,27	0,60	0,60
Max	0,02	1,45	74,15	45,73	0,84	26,40	2,27	0,04	795,30
Min	0,00	0,20	8,50	6,31	0,12	3,64	0,31	0,01	362,20
Coef.d'appl	0,95	1,86	-0,32	1,86	1,86	1,86	1,86	0,02	-0,66
Médiane	0,00	0,56	26,28	17,50	0,32	10,11	0,87	0,02	500,60
Variance	0,00	0,11	403,15	106,70	0,04	35,57	0,26	0,00	17206,18
Coef de var	/	0,52	0,62	0,51	0,51	0,51	0,49	0,50	0,25

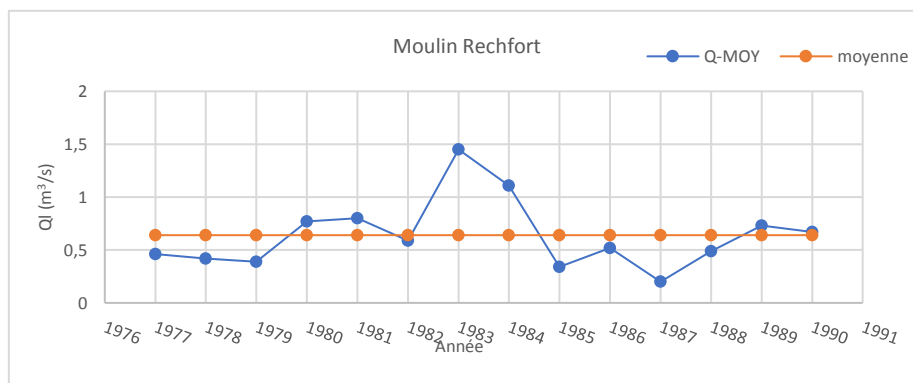


Figure (IV. 35) : Années humides et années sèches station Moulin Rechfort.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité au niveau de la station Moulin Rechfort permettent de distinguer : 5 années humides (1980, 1981, 1983, 1984, et 1989) , 2 année moyennes, et 7 années sèches. Le bassin Seybouse débite d'un module moyen de 2,83 m³/s à la station de Mdjez Ammar , 0,73 m³/s à la station de Borj Sabat, et de 0,64 m³/s à la station Moulin Rechfort. Les débits maximums aux droits des stations hydrométriques Mdjez ammar, Borj Sabat et Moulin Rechfort est de l'ordre de : 1235,66 m³/s, 418,78 m³/s et 74,15 m³/s respectivement. L'abondance spécifique dans le bassin varie entre 0,37 l/s/km² à 2,56 l/s/km² à Mdjez Ammar.

IV.4.5. Influences des paramètres : Apport liquide, Mo, Lr, Ki, et Ri sur les débits d'écoulement - Bassin Soummam-

Le tableau (IV.24) illustre les données hydrométriques pour la station de Farmatou. Les lames ruisselées des cours d'eau étudiés ont été calculées à partir des apports liquides moyens annuels, en tenant compte de la station pluviométrique de Bou Birek.

• **Farmatou 150601**

Tableau (IV.24) : Débit min, Débit moyen, Débit max et Apport liquide au droit de la station Farmatou - Seybouse-(A.N.R.H de Alger) (n=31).

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	Ri	PP(mm) Bou Birek
1974	0,03	0,15	14,80	4,73	1,43	45,05	0,31	0,12	377,50
1975	0,00	0,38	86,48	11,98	3,62	114,13	0,78	0,17	665,10
1976	0,03	0,26	20,70	8,20	2,48	78,09	0,53	0,15	537,60
1977	0,02	0,12	13,90	3,78	1,14	36,04	0,24	0,09	395,40
1978	0,02	0,16	33,46	5,05	1,52	48,05	0,33	0,09	508,00
1979	0,02	0,10	50,92	3,15	0,95	30,03	0,20	0,06	465,80
1980	0,00	2,88	4,85	90,82	27,43	864,99	5,88	1,39	621,90
1981	0,01	0,63	68,28	19,87	6,00	189,22	1,29	0,35	543,20
1982	0,03	0,27	35,98	8,51	2,57	81,09	0,55	0,15	523,50
1983	0,02	0,80	63,96	25,23	7,62	240,27	1,63	0,40	600,00
1984	0,05	1,19	71,52	37,53	11,33	357,41	2,43	0,70	510,30
1985	0,04	0,15	19,70	4,73	1,43	45,05	0,31	0,11	411,90
1986	0,04	0,99	66,12	31,22	9,43	297,34	2,02	0,79	377,50
1987	0,02	0,06	0,95	1,89	0,57	18,02	0,12	0,05	376,60
1988	0,03	0,61	56,16	19,24	5,81	183,21	1,24	0,76	239,70
1989	0,03	0,06	2,76	1,89	0,57	18,02	0,12	0,05	394,60

Année	Q-MIN	Q-MOY	Q-MAX	Apport (hm ³)	Mo (l/s/km ²)	Lr (mm)	Ki	Ri	PP(mm) Bou Birek
1990	0,03	0,46	236,20	14,51	4,38	138,16	0,94	0,28	490,20
1991	0,05	0,31	29,80	9,78	2,95	93,11	0,63	0,18	516,20
1992	0,06	0,46	5,30	14,51	4,38	138,16	0,94	0,28	497,10
1993	0,05	0,11	3,25	3,47	1,05	33,04	0,22	0,09	351,00
1994	0,05	0,40	15,70	12,61	3,81	120,14	0,82	0,18	668,00
1995	0,02	0,36	66,12	11,35	3,43	108,12	0,73	0,18	617,00
1996	0,02	0,06	6,12	1,89	0,57	18,02	0,12	0,05	349,50
1997	0,02	0,19	37,87	5,99	1,81	57,07	0,39	0,08	694,60
1998	0,03	0,49	68,28	15,45	4,67	147,17	1,00	0,28	517,60
1999	0,00	0,07	5,51	2,21	0,67	21,02	0,14	0,05	384,10
2000	0,01	0,10	4,67	3,15	0,95	30,03	0,20	0,06	496,30
2001	0,01	0,04	37,87	1,26	0,38	12,01	0,08	0,05	256,40
2002	0,01	1,43	120,00	45,10	13,62	429,49	2,92	0,49	877,90
2003	0,11	0,81	35,98	25,54	7,71	243,28	1,65	0,33	746,10
2004	0,11	0,95	52,40	29,96	9,05	285,33	1,94	0,52	553,80
Moyenne	0,03	0,49	43,08	15,31	4,62	145,81	0,99	0,28	502,08
Ecart type	0,03	0,57	46,54	18,12	5,47	172,54	1,17	0,30	141,93
Coef.d'assy	1,76	2,72	2,57	2,72	2,72	2,72	2,72	2,19	0,47
Max	0,11	2,88	236,20	90,82	27,43	864,99	5,88	1,39	877,90
Min	0,00	0,04	0,95	1,26	0,38	12,01	0,08	0,05	239,70
Coef.d'appl	3,77	9,52	9,28	9,52	9,52	9,52	9,52	5,68	0,44
Médiane	0,03	0,31	35,98	9,78	2,95	93,11	0,63	0,17	508,00
Variance	0,00	0,33	2166,43	328,22	29,93	29770,83	1,37	0,09	20144,32
Cv	1,00	1,16	1,08	1,18	1,18	1,18	1,18	1,07	0,28

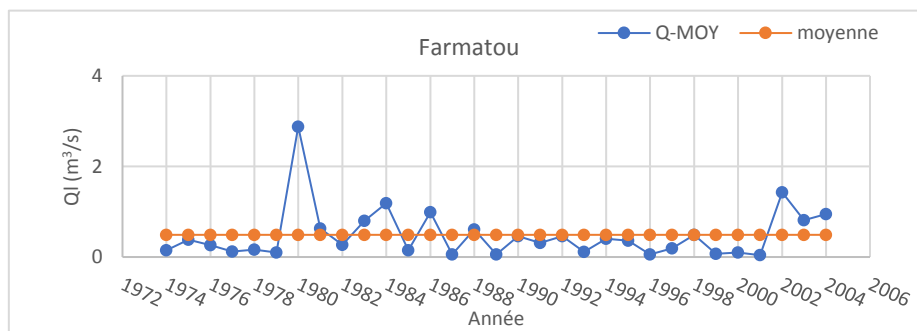


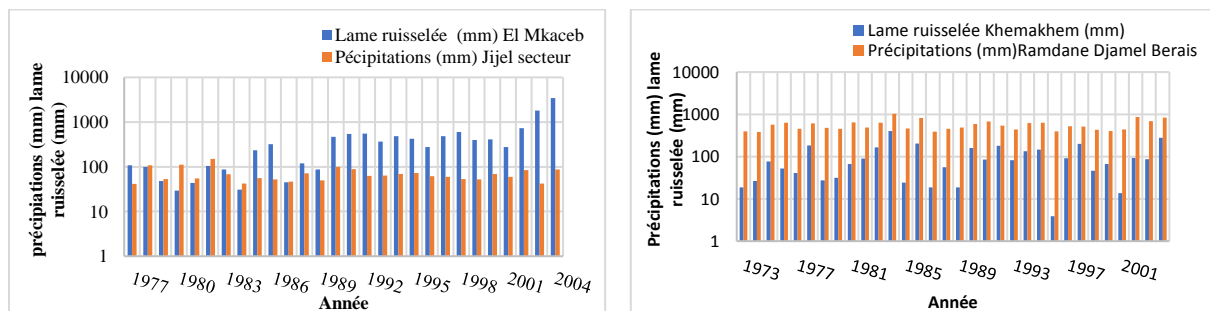
Figure (IV. 36) : Années humides et années sèches station Farmatou.

Les valeurs des coefficients d'hydraulicité calculés pour la station Farnatou permettent de distinguer : 9 années humides (1980, 1981, 1983, 1984, 1986, 1988, 2002, 2003, et 2004), 3 années moyennes, et 18 années sèches.

Le bassin Soummam débite d'un module moyen de $0,49 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de Farnatou. La station nommée a enregistré des débits importants durant les deux années : 1990 ($Q_{\text{max}} = 236,20 \text{ m}^3/\text{s}$) et en 2002 ($Q_{\text{max}} = 120,00 \text{ m}^3/\text{s}$). Les fortes fluctuations interannuelles de débits liquides ont été confirmées par les valeurs du module d'hydraulicité K_i qui varient de 0,08 à 5,88, et d'un coefficient de variation C_v de l'ordre de 1,16, ce qui peut être expliqué par la provenance des averses puissantes au cours des années caractérisées par des fortes hydraulicités. L'abondance spécifique est de l'ordre de $4,62 \text{ l/s/km}^2$.

IV.5. Variation précipitations-écoulement dans les cinq bassins versants

La tendance entre les précipitations et les écoulements peut être présentée par des histogrammes entre précipitations tombées et la lame ruisselée en (mm) pour chaque bassin versant des cinq bassins étudiés.



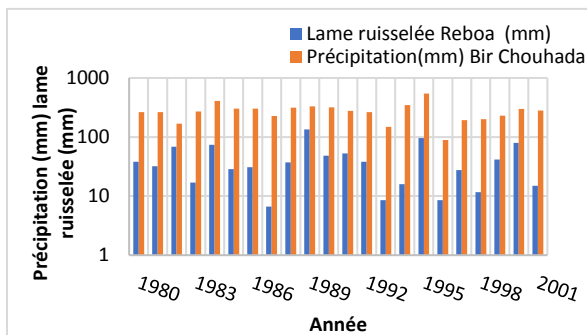
(a): Histogramme débit liquide st El Mkaceb et précipiation st Jijel secteur.

(b): Histogramme débit liquide st Khemakhem et PP st Ramdane Djamel Berais.

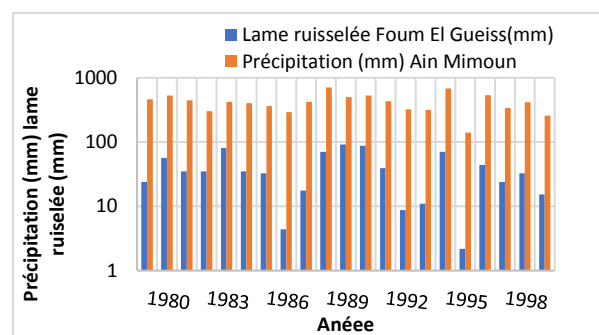
Figure (IV.37): Variation des débits liquides et précipitations bassin des côtiers constantinois (a)-(b).

L'histogramme de la station hydrométrique d'El Mkaceb et celle pluviométrique de Jijel secteur contrôlant le bassin des côtiers Constantinois montre des précipitations annuelles faibles par rapport aux écoulements, ce qui implique un taux de ruissèlement élevé pour des terrains imperméables dans la zone étudiée. La prédominance du relief montagneux au sud du bassin versant explique le taux élevé du ruissellement (Mebarki. 2005). La lame ruisselée annuelle L_r à la station d'El Mkaceb varie de 29,20 mm (1980) jusqu'aux 3416,40 mm enregistrés en 2004 équivalente à un apport liquide de $73,79 \text{ hm}^3$. les années les plus contributives aux ruissèlements à la station d'El Mkaceb sont ceux de (2004 $L_r = 3416,00 \text{ mm}$, 2003 $L_r = 1810,40 \text{ mm}$, 2002 $L_r = 730,00 \text{ mm}$), 1998 ($L_r = 598,60 \text{ mm}$) et 1992 ($554,80 \text{ mm}$).

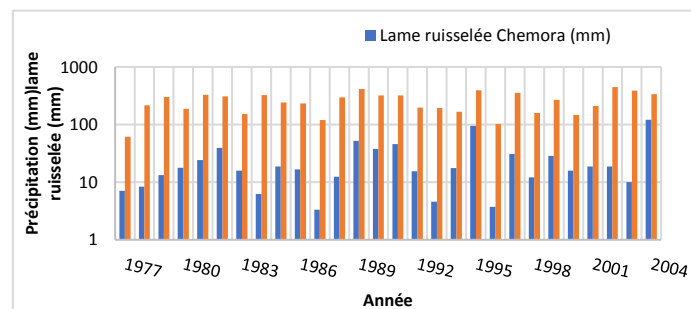
Ces années ne coïncident pas nécessairement avec ceux fournissant les plus importants apports pluviométriques annuels à la station de Jijel secteur qui sont : (1982 PP=149,40mm, 1978 PP=108,60mm, 1980 PP=111,40mm et 1990 PP=99,50 mm). Par contre, la station pluviométrique de Djamel Berais enregistre des précipitations annuelles très élevées variant de 378,80 mm à 1028,00 mm. Les écoulements à la station de Khemakhem qui ne dépassent pas une lame ruisselée maximale de 401,55 mm sont relativement faibles par rapport aux précipitations durant la période d'observation (1973-2002), ce qui implique que l'effet de l'évapotranspiration et la nature perméable des terrains permettant une infiltration non limitée.



(c) : Histogramme Ql st Reboa et PP st Bir Chouhada.



(d) : Histogramme Ql st Foug El Gueiss et PP st Ain Mimoun.



(e) : Histogramme Ql st Chemora et PP st Timgad.

Figure (IV.38): Variation des débits liquides et précipitations bassin Hauts Plateaux Constantinois (c)-(d) et (e).

Une mâle corrélation a été constatée entre les précipitations et la lame ruisselée au droit du bassin des Hauts Plateaux. Les quantités des précipitations annuelles mesurées par les trois stations pluviométriques : Bir Chouhada, Ain Mimoun et Timgad sont plus élevés par rapport aux lames ruisselées données par les stations hydrométriques : Reboa, Foug El Gueiss et Chemora respectivement, Ce qui peut être expliquée par une forte évapotranspiration et des infiltrations dans les terrains perméables du bassin étudié.

Les précipitations annuelles varient de 88,60 mm à 542,00 mm, dont les années les plus pluvieuses sont ceux de (1995 PP= 542 mm, 1984 PP=407,90 mm, 1985 PP= 304 mm,

et 1986 303 mm), elles ne coïncident pas avec les années contributives aux taux maximums des lames ruisselées à la station de Reboa. L'écoulement dans ce bassin est faible par rapport aux autres bassins, en raison de l'augmentation des températures et par conséquent de l'évaporation (Mebarki. 2002). Et la nature géologique du bassin.

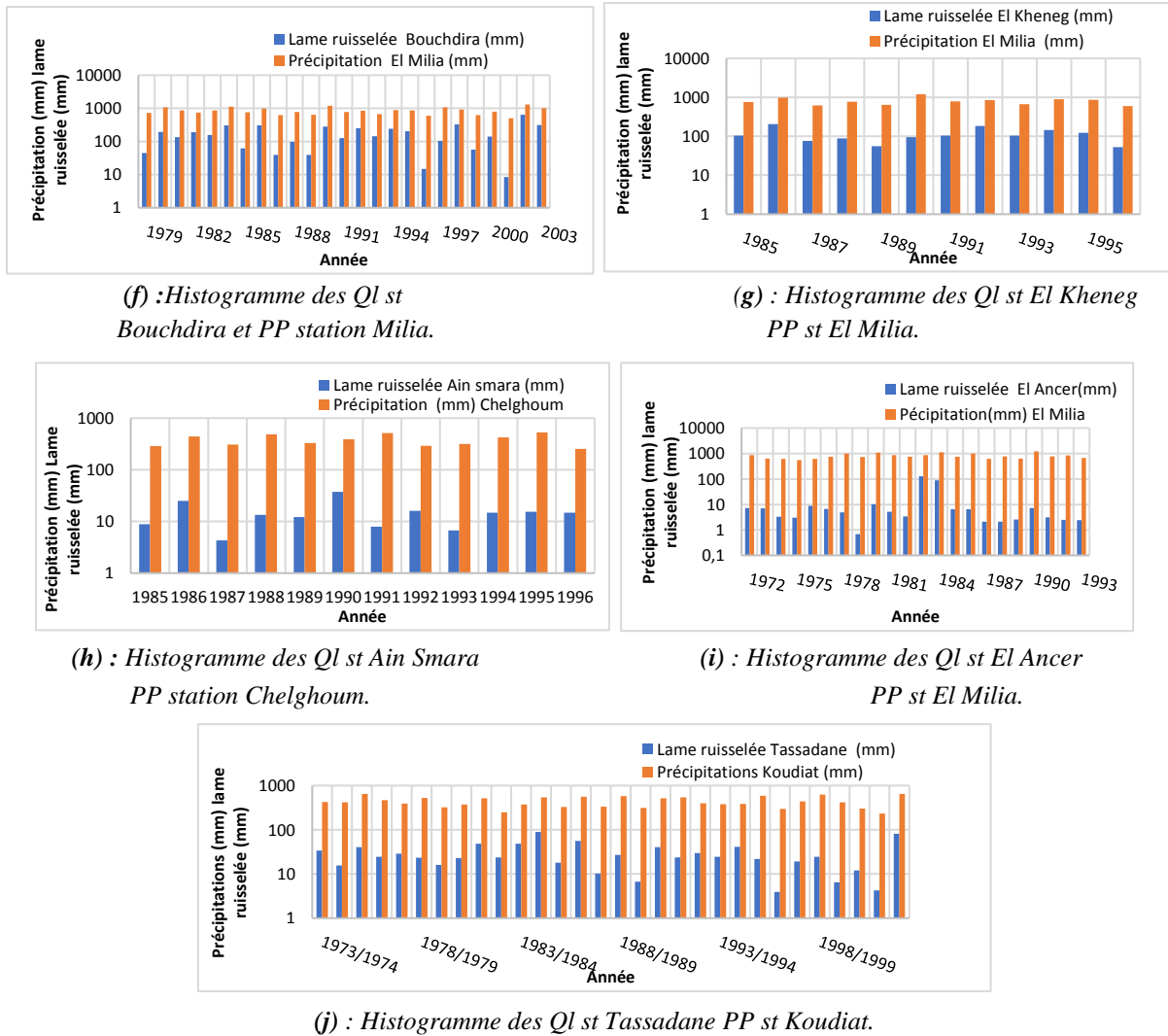
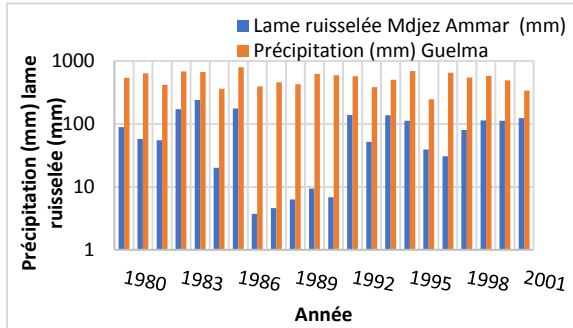


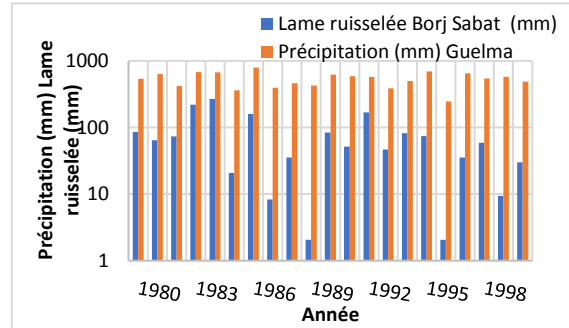
Figure (IV.39): Variation des débits liquides et précipitations bassin Kébir Rhumel (f)-(g)-(h)-(i) et (j).

Parmi les stations pluviométriques contrôlant le bassin de Kébir Rhumel, la station d'El Milia enregistre la plus importante quantité des précipitations annuelles, elles peuvent atteindre une valeur extrême de l'ordre de 1314,70 mm enregistrés durant l'année 2002, équivalents une la lame ruisselée max $L_r = 645,69$ mm enregistrée par la station hydrométrique de Bouchdira. Pour les cinq stations hydrométriques : Bouchdira, El Kheneg, Ain Smara, El Ancer et la station de Tassadane, les lames ruisselées sont plus faibles par rapport aux précipitations annuelles.

La station hydrométrique de Bouchdira enregistre les taux d'écoulements maximum, dont les années les plus marquées sont ceux de : 2002 ($l_r=645,69$ mm, 2003 $l_r=316,43$ mm, 1998 $l_r=329,26$ mm, 1984 $l_r=310,01$ mm), et l'année 1986 $l_r=305,74$ mm .



(k): Histogramme des Ql st Mdjez Ammar PP st Guelma.



(l): Histogramme des Ql station Borj Sabat PP st Guelma.

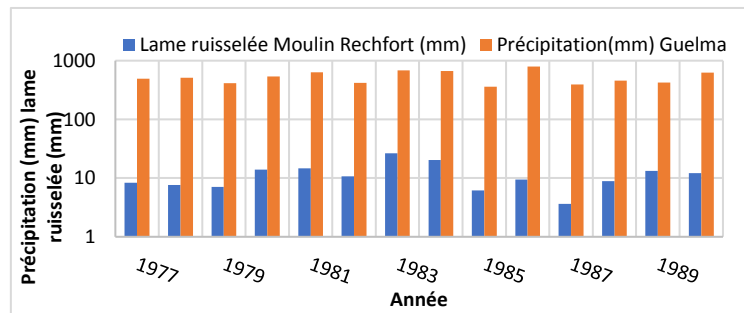
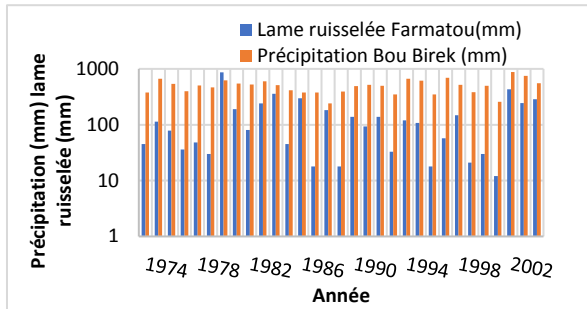


Figure (m) : Histogramme des Ql st Moulin Rechfort PP st Guelma.

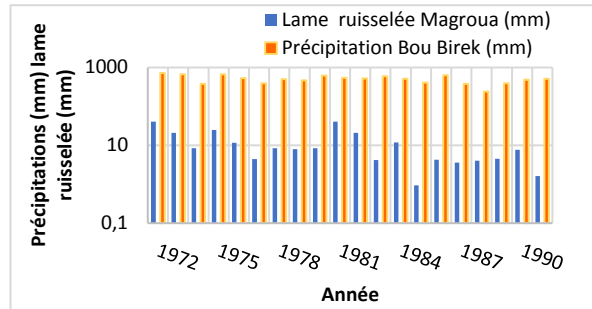
Figure (IV.40): Variation des débits liquides et précipitations bassin Seybouse (k)-(l)-(m)-(i).

La station pluviométrique de Guelma montre des apports des précipitations annuelles très élevées par rapport aux lames ruisselées enregistrées par les stations hydrométriques : Mdjez Ammar, Borj Sabbat, et Moulin Rechfort, dont la moyenne annuelle est de l'ordre de : 527,25 mm. Ce qui se traduit inévitablement par une réinfiltration importante des volumes ruisselés avant l'arrivée aux stations hydrométriques.

Les deux stations : Mdjez Ammar et Borj Sabat enregistre des apports élevés de ruissellements qui peuvent atteindre : 269,72 mm par rapport à la station de Moulin Rechfort où la lame ruisselée maximale ne dépasse pas : 26,40 mm. La station de Moulin Rechfort enregistre les lames les plus modestes sur le bassin versant de Seybouse, dont la valeur extrême d'écoulement ne dépasse pas 26,40 mm.



(o) : Histogramme des Ql st Faramtou PP st Bou Birek.



(p) : Histogramme des Ql st Magroua PP st Bou Birek.

Figure (IV.41): Variation des débits liquides et précipitations bassin Soummam (k)-(l)-(m)-(i).

La moyenne annuelle précipitée sur le bassin Soummam enregistrée par la station de Bou birek est de l'ordre de 500 mm. Les années (2002, 2003, 1997, 1994) ont été particulièrement pluvieuses, avec respectivement des précipitations annuelles de l'ordre de (877,90 mm, 746,10 mm, 694,60 mm, 668,00 mm). Les lames ruisselées à la station hydrométrique de Faramtou sont bien corrélées avec les précipitations, Ainsi il apparaît que les années les plus contributives aux écoulements sont : 1980, 2002, 1986 et l'année 2004.

Conclusion

On se basant sur la banque des données des précipitations pour un réseau pluviométrique de vingt-deux stations pluviométriques contrôlant la zone d'étude constituée des cinq bassins versants: Côtiers Constantinois , Hauts Plateaux, Kébir Rhumel , Seybouse et Soummam, ainsi que celles des débits liquides pour un réseau hydrométrique constitué d'une quinzaine de stations hydrométriques, et en dépit des données incomplètes pour la plupart des stations, nous avons essayé de bien cerner le régime hydro-pluviométrique dans la zone d'étude.

L'étude des variations interannuelles des précipitations a révélé que le bassin des Côtiers Constantinois est le plus arrosé, avec des valeurs qui peuvent atteindre 883,92 mm. Au droit du bassin Kébir Rhumel on remarque que la station d'El Milia est la plus arrosée parmi les huit stations pluviométriques étudiées avec une moyenne de 870,22 mm. Dans des secteurs moins arrosés tels que le bassin des hauts plateaux les précipitations annuelles ne dépassent pas les 429,40 mm. Les variations presque subordonnées (simultanées) de précipitations enregistrées au niveau des trois stations pluviométriques contrôlant le bassin Seybouse ne dépassent pas les 615,00 mm.

Pour le bassin Soummam les variations interannuelles ne dépassent pas les 540 mm. Au terme des précipitations journalières maximales, le bassin Kébir Rhumel enregistre les fréquences les plus élevées, en dépassant les 100 mm. Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues qui favorisent les transports solides des oueds, notamment dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante de la zone d'étude.

La variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique favorise les écoulements superficiels dans la zone d'étude, et par conséquent fait accentuer les phénomènes d'érosion et transports solides dans les cours d'eau à travers les cinq bassins étudiés. Les taux de ruissellement sont très importants sur le bassin des Côtiers Constantinois avec des valeurs moyennes de l'ordre de 449,52 mm. Le Bassin des hauts plateaux enregistre les valeurs les plus faibles dans la zone d'étude, qui ne dépassent pas une moyenne de 39 mm.

L'analyse des événements exceptionnels "crues" pour les deux saisons humide et sèche, à travers la zone d'étude, nous a permis de souligner leur rôle majeur dans l'exportation des volumes très importants des charges solides et l'enregistrement des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes.

Chapitre V: modélisation et Régionalisation

Introduction

L'érosion hydrique est désastreux en Algérie, il a affecté ~ 45% dans le Nord du pays et se manifeste particulièrement sur les sols dégradés et inclinés des zones montagneuses (Arar et Chenchouni. 2014). Cependant, la quantification des apports solides dans les oueds reste peu aisée, suite à la variabilité temporelle et spatiale du régime hydrologique conjuguée à une insuffisance de données disponibles y afférant (Salhi et al .2013). La prédiction imprécise de la charge des sédiments en suspension SSL peut réduire la quantité d'eau stockée par les réservoirs des barrages, ce qui peut avoir un impact négatif énorme sur l'approvisionnement en eau domestique et agricole, ainsi que sur les structures des barrages (Marouf et Remini. 2019, Zhang et al. 2020). La charge des sédiments en suspension SSL peut être mesuré comme la concentration des sédiments en suspension CSS, qui est la proportion de la masse de sédiments par rapport au volume du mélange eau-sédiments (Mustafa et al. 2012). L'application de différents modèles de simulation de l'érosion hydrique dans les bassins versants permet aux chercheurs d'estimer les taux de la sédimentation et de prédire les points vulnérables dans le bassin versant (De Vente et Poesen. 2005). Les modèles basés sur l'intelligence artificielle sont un autre moyen de modélisation des systèmes non linéaires ; ils constituent donc une alternative appropriée aux modèles statistiques (Moeeni et Bonakdari. 2018). Certaines études ont prédit la charge des sédiments en suspension SSL à l'échelle journalière en utilisant des méthodes fondées sur les données telles que les algorithmes d'apprentissage automatique et les modèles d'informatique souple (Nourani et Andalib. 2015, Choubin et al. 2018, Hafied et al 2019). D'autres études ont utilisé des techniques d'apprentissage automatique telles que les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence (ANFIS) cherchant à améliorer la précision de l'estimation du SSL (Kisi et al. 2012, Azamathulla et al. 2012, Choubin et al. 2018).

L'objectif de cette recherche est la modélisation des débits solides Q_s et des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes journalières mesurées lors des crues, par régression et par deux modèles d'intelligences artificielles, les réseaux de neurones artificiels RNA entraînés avec un l'algorithme Levenberg-Marquardt (LM) et les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence ANFIS entraînés avec un algorithme d'apprentissage hybride, dans cinq grands bassins du Nord-Est Algérien : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux Constantinois, le Kebir-Rhumel, le Seybouse, et le Soummam. Chaque bassin était considéré comme une zone homogène ou une unité similaire d'un point de vue géographique et hydrologique dont le découpage repose sur le principe de la proximité géographique en cinq régions homogènes, permettant d'améliorer l'efficacité des relations empiriques et des modèles RNA et ANFIS retenus.

V.1. Méthode de mesure

La détermination des transports solides en suspension est faite selon la méthode classique qui consiste à filtrer sur papier-filtre les échantillons d'eau prélevés et à mesurer le poids de la boue par unité de volume (1 litre) après séchage à l'étuve et élimination des matières organiques par calcination à une température de 110⁰ C. Les échantillons sont prélevés sur les bordures des oueds principaux à une profondeur variant entre 0,5 m, lors des périodes d'écoulement normal, et 1,0 à 1,5 m durant les périodes de crues (Bourouba. 1997).

-En période de crue : la fréquence des prélèvements est fixée pour chaque oued selon la vitesse de montée et de décroissance des crues, avec un prélèvement supplémentaire obligatoire au moment du maximum de la crue (Bourouba. 1997).

(1) Les TSS sont calculés selon la formule : $TSS = AS / S$ où S est la surface du bassin versant en km² et AS l'apport solide en 10³ tonnes avec : $AS = Q \cdot C \cdot t$ où Q (m³/s) est le débit liquide en m³/s, C(g/l) turbidité en g/l et t le temps en secondes.

➤ **Variation des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes dans les cinq bassins étudiés**

Les variations des CSS extrêmes observées sont présentées graphiquement pour chaque bassin des cinq bassins étudiés pour des périodes d'observations qui se diffèrent d'un bassin à un autre :

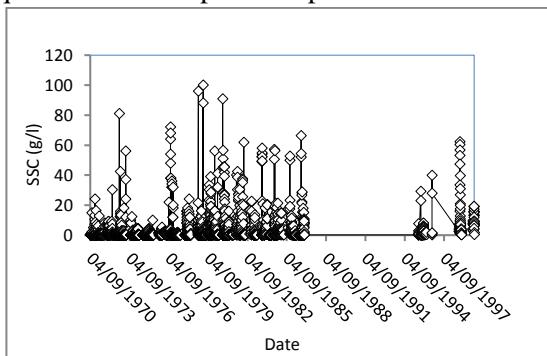


Figure (V.1) : Variation des CSS bassin des Côtiers Constantinois.

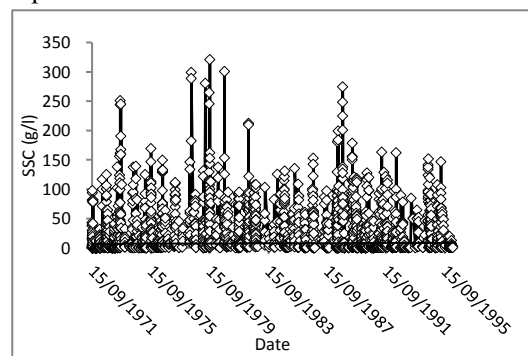


Figure (V. 2) : Variations des CSS bassin des Hauts Plateaux.

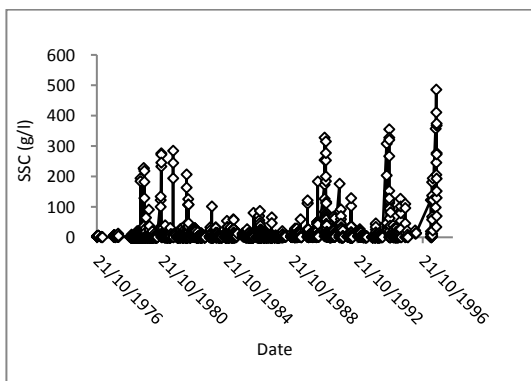


Figure (V.3) : Variation des CSS bassin Kébir Rhumel.

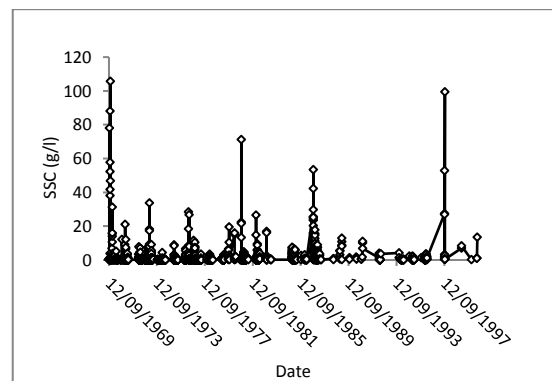


Figure (V.4) : Variation des CSS bassin Seybousse.

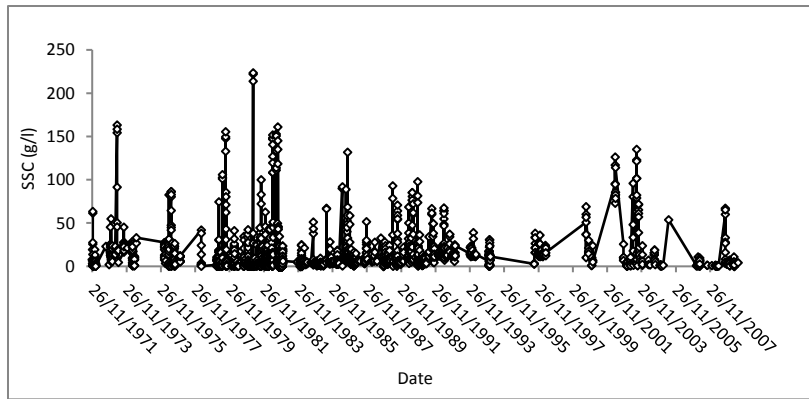


Figure (V.5) : Variation des CSS bassin Soummam.

Les concentrations de sédiments en suspension journalières CSS extrêmes mesurées lors des crues, provenant des cinq bassins étudiés (figures 1, 2, 3, 4 et 5) révèlent de fortes fluctuations de la quantité de la charge sédimentaire d'un bassin à l'autre, qui peuvent atteindre une valeur d'environ 500 g/l pour le bassin Kébir Rhumel. Les CSS extrêmes observées sont utilisés pour la modélisation RNA et ANFIS. Le graphique des séries chronologiques des CSS est un outil utile pratique pour décrire les fluctuations des CSS extrêmes dans l'ensemble de la région d'étude.

V.2. Modélisation par régression

L'étude est basée sur l'ensemble des données de: débit liquide Q_l (m^3/s), débit solide Q_s (kg/s) et concentration en matières en suspension CSS (g/l) extrêmes, fournies par L'agence nationale des ressources hydriques ANRH d'Alger, pour les stations hydrométriques : El Mkaceb, Chedia, Khemakhem, Ain Charchar, Chemora ,Foum El Gueiss, Tassadane, Athmania, Grarem, El Ancer, El Milia, Moulin Rechefort, Mdjez Ammar, Farnatou et Magroua réparties sur les cinq bassins versants: les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux constantinois, le Kébir Rhumel, le Seybouse, et le Soummam.

La première méthode consiste à la recherche du meilleur modèle régressif entre le couple Q_l - Q_s , Q_l comme variable explicative et Q_s comme variable expliquée , ainsi que pour le couple des données Q_l -CSS , pour la totalité des données observées ainsi que pour les deux saisons : humide et sèche. La saison humide s'étend sur les mois de : novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, tant que le reste d'année s'appartient à la saison chaude.

V.2. 1. Modélisation par régression pour le 1^{er} vecteur Ql-Qs

Les résultats de la corrélation pour le premier vecteur : Ql-Qs sont présentés graphiquement pour la totalité des données ainsi que pour la saison humide et sèche, pour les quinze stations hydrométriques étudiées. La station de Moulin Rechfort a été éliminée pour le deuxième modèle régressif Ql- CSS vu l'insuffisance des données.

V.2. 1.1. Modélisation Ql-Qs Bassin Côtiers Constantinois le bassin est contrôlé par quatre stations hydrométriques : El Mkaceb, Chedia, Khemakhem et Ain Charchar.

• **Station El Mkaceb**

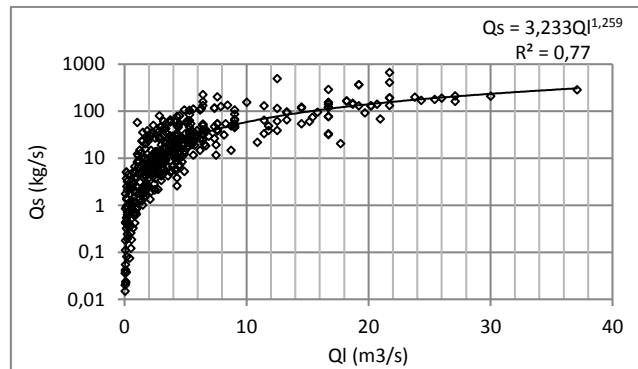


Figure (V.6) : Répartition de la totalité des données :Ql-Qs -st El Mkaceb-.

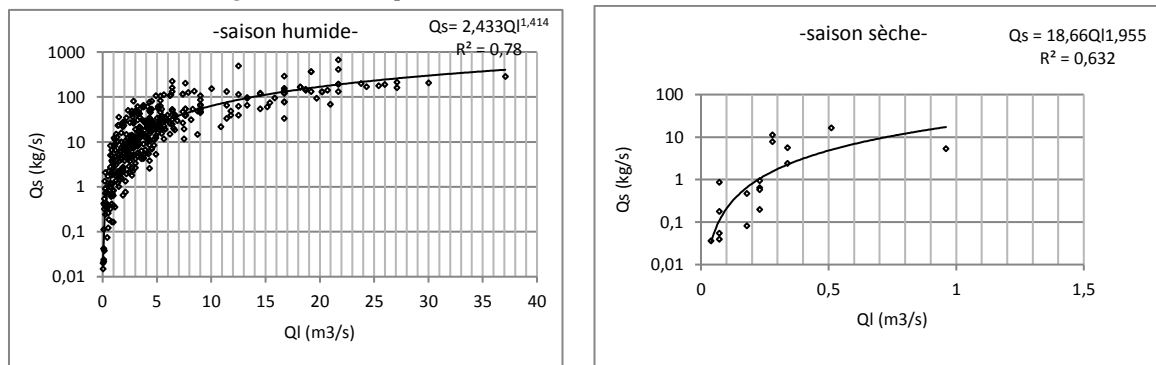


Figure (V.7) : Répartition Ql-Qs pour la saison humide et sèche -St El Mkaceb-.

• **Station Chedia**

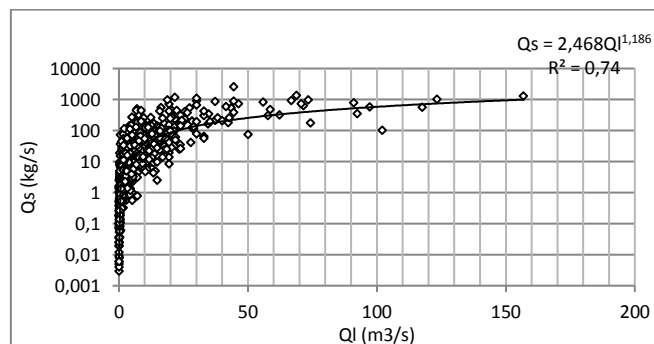


Figure (V.8) : Répartition de la totalité des données Ql-Qs -St Chedia-.

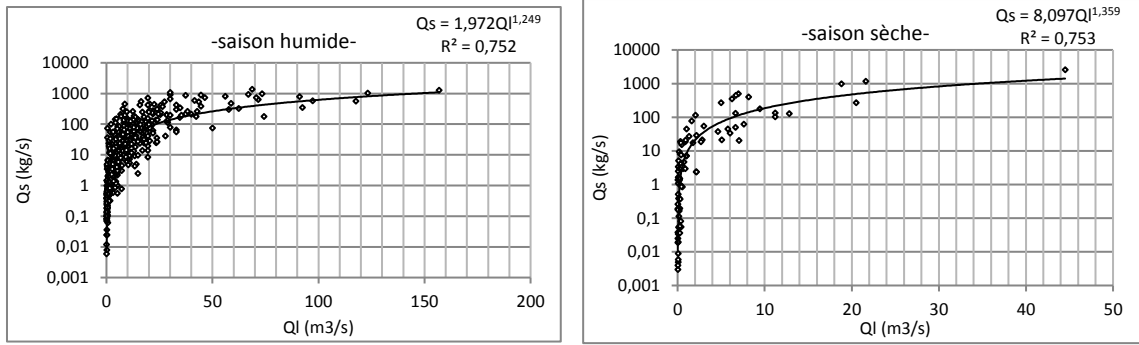


Figure (V.9) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St Chedia-.

- Station Khmakhem

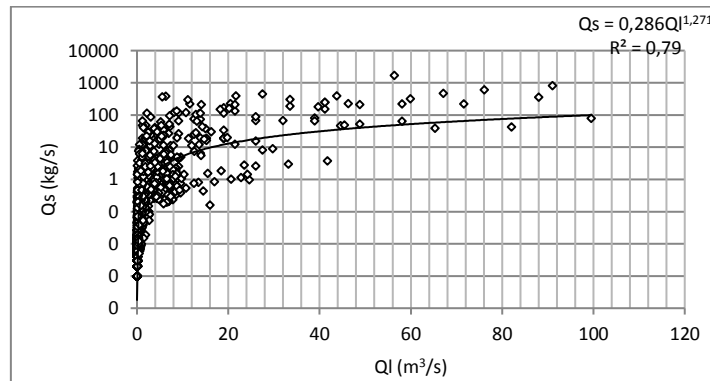


Figure (V.10) : Répartition de la totalité des données Ql - Qs -St Khmakhem-.

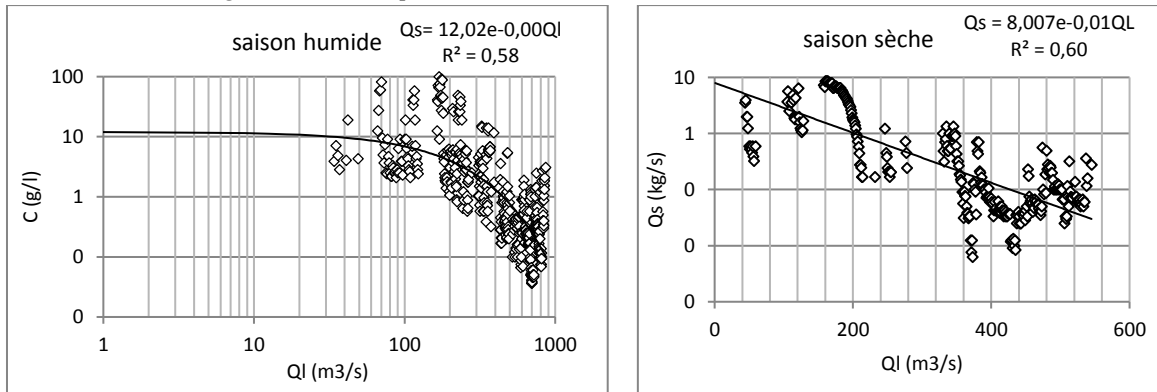


Figure (V.11) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St Khemakhem-.

- Station Ain Charchar

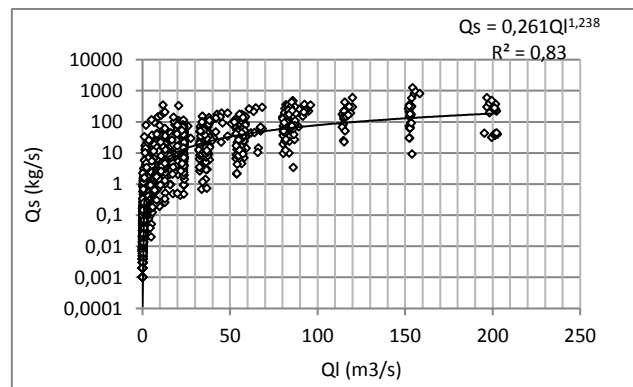


Figure (V.12) : Répartition de la totalité des données Ql - Qs -St Ain Charchar-.

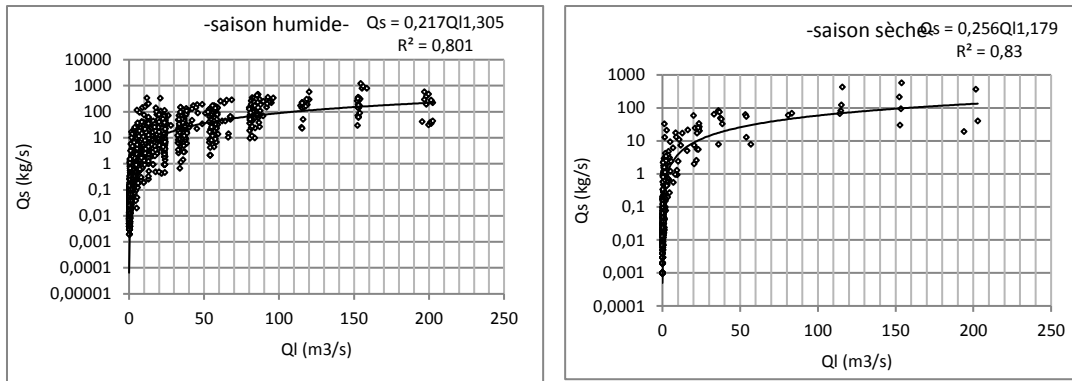


Figure (V.13) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St Ain Charchar-.

V.2.1.2. Modélisation Ql - Qs Bassin Hauts Plateaux Constantinois : Ce bassin est contrôlé par deux stations hydrométriques : Chemora et Foug El Gueiss.

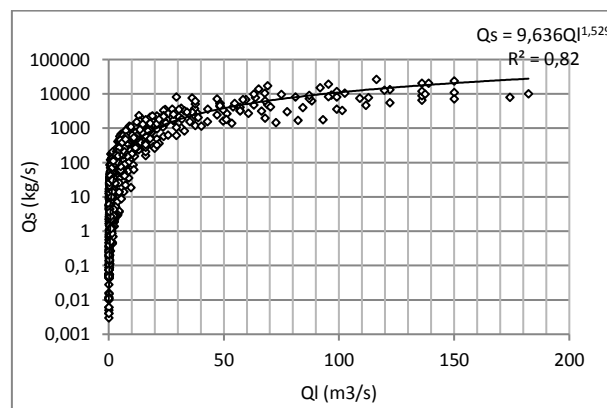


Figure (V.14) : Répartition de la totalité des données Ql - Qs -St Chemora-.

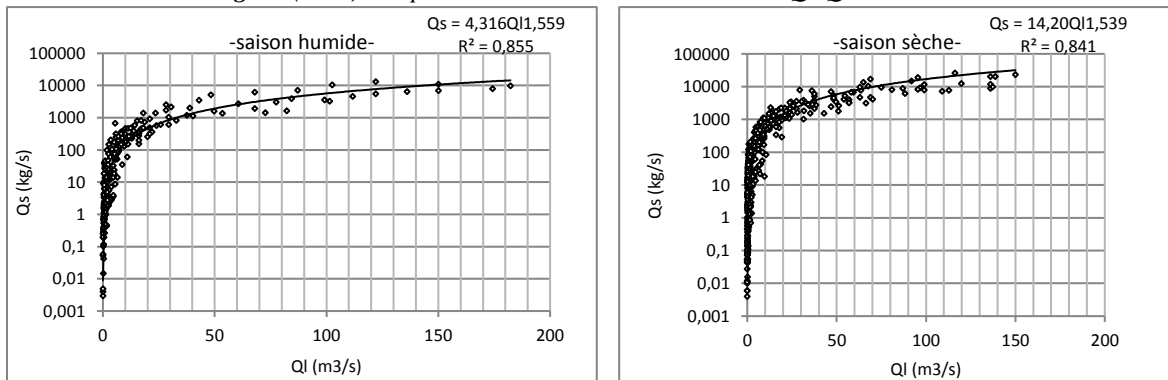


Figure (V.15) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St Chemora-.

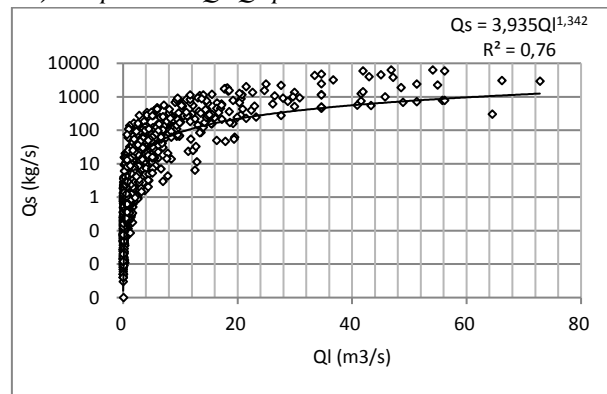


Figure (V.16) : Répartition de la totalité des données Ql - Qs -St Foug El Gueiss-.

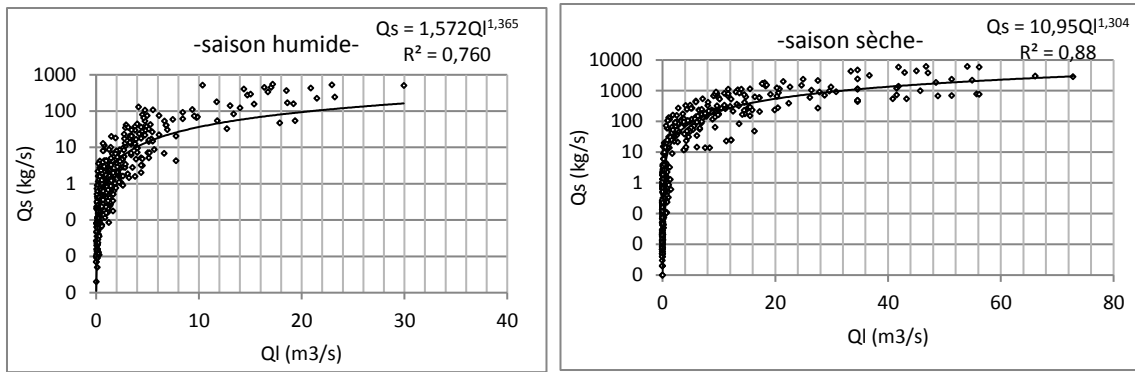


Figure (V.17) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St Foum El Gueiss-.

V.2.1.3. Modélisation Ql - Qs Bassin Kébir Rhumel

Le bassin kébir Rhumel est contrôlé par 5 stations hydrométriques : Tassadane, Oued Athmania, Grarem, El Ancer, El Milia

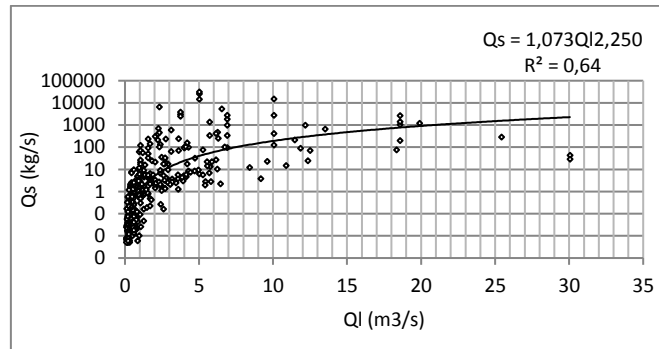


Figure (V.18) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs -St Tassadane -.

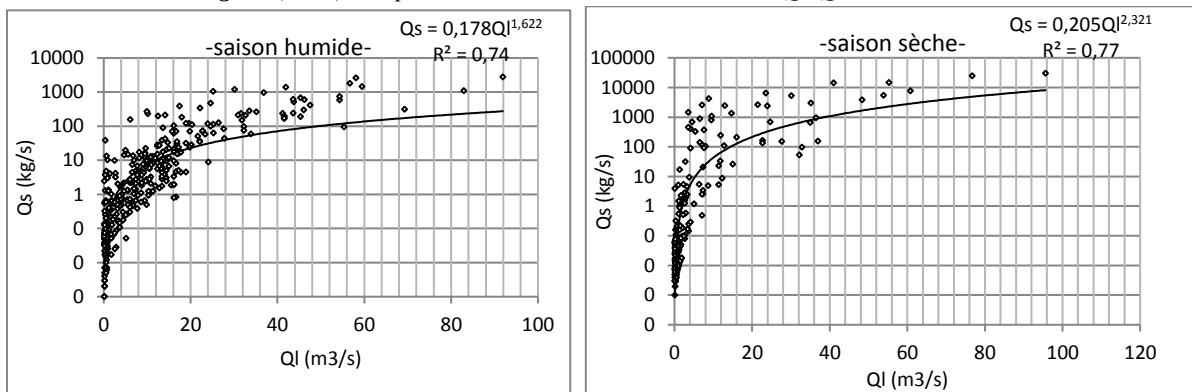


Figure (V.19) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche - St Tassadane-.

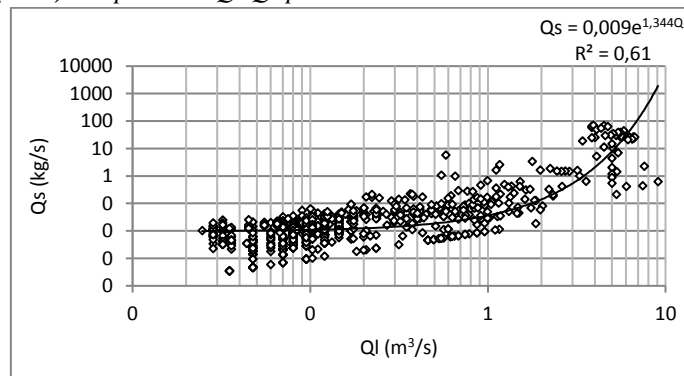


Figure (V.20) : Répartition de la totalité des données Ql - Qs -St Oued El Athmania-.

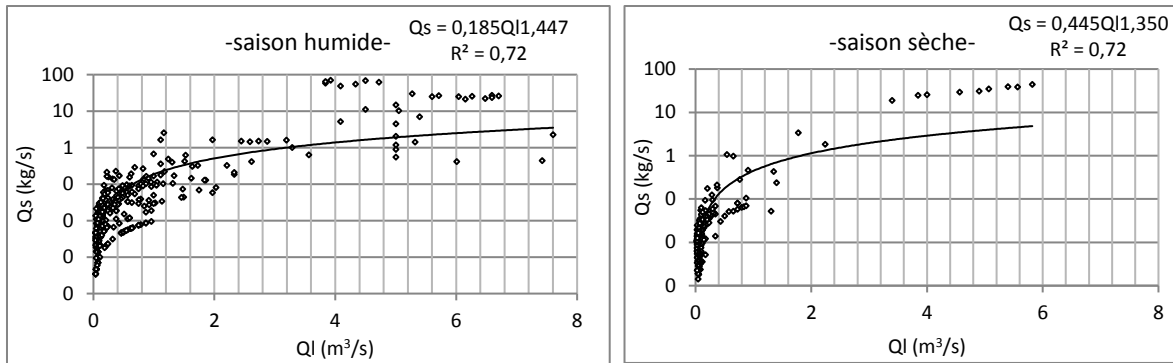


Figure (V.21) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche-St Athmania-

- Station Grarem

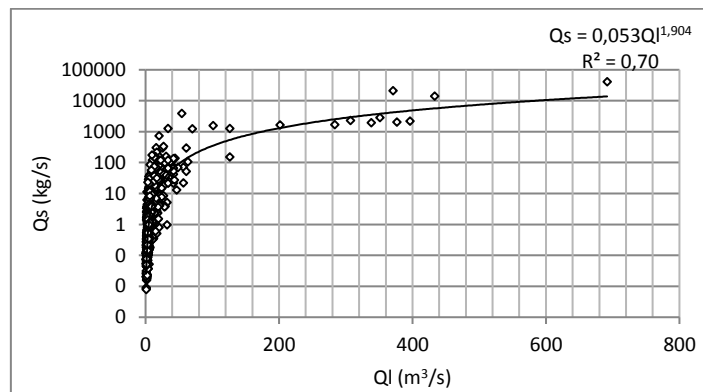


Figure (V.22) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs -St Grarem-.

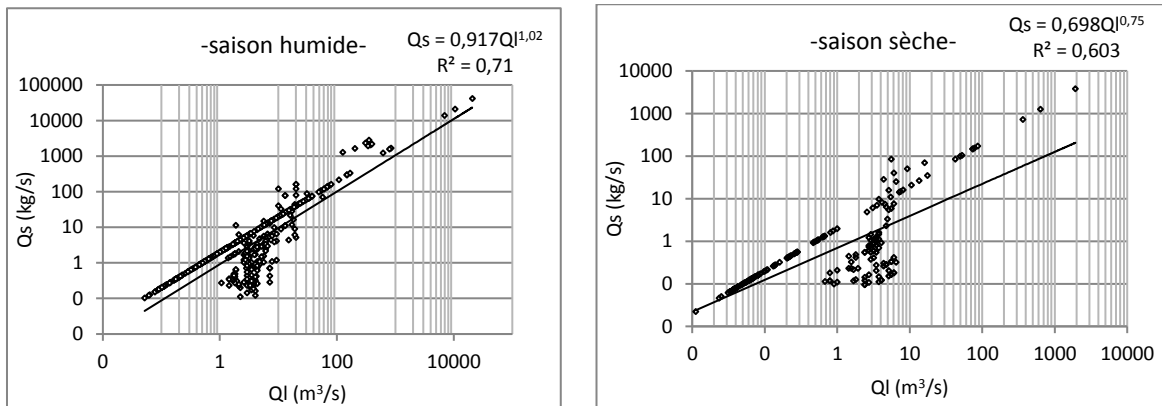


Figure (V.23) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St Grarem-.

- Station El Ancer

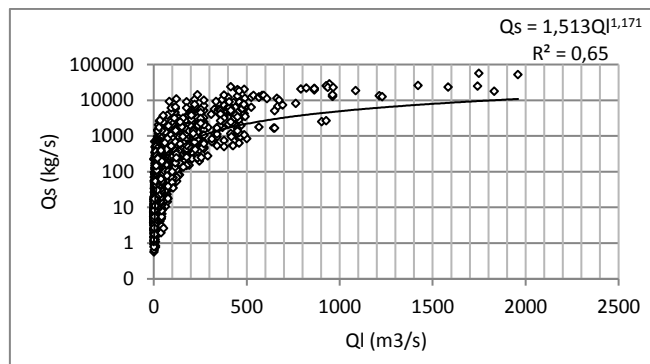


Figure (V.24) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs -St El Ancer-.

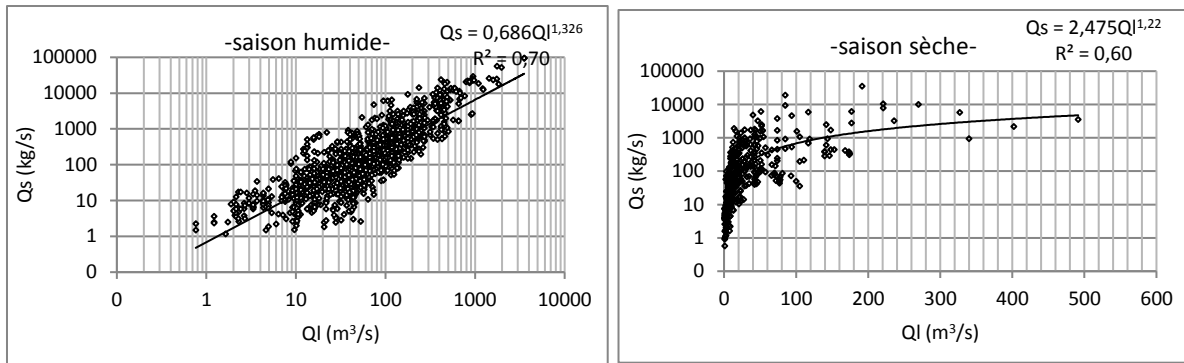


Figure (V.25) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St El Ancer-.

- Station El Milia

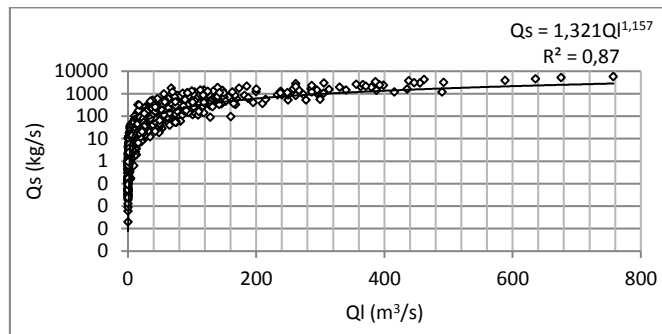


Figure (V.26) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs -St El Milia .

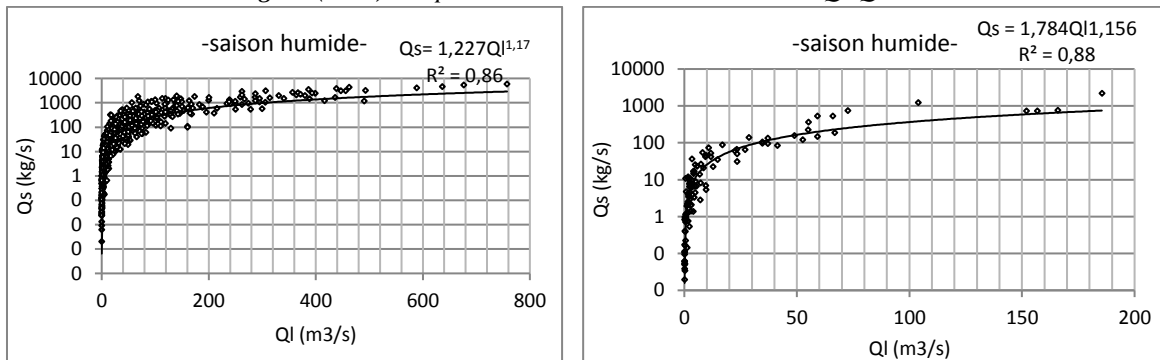


Figure (V.27) : Répartition Ql - Qs pour la saison humide et sèche -St El Milia-.

V.2.1.4. Modélisation Ql - Qs Bassin Seybouse : ce bassin est contrôlé par deux stations : Moulin Rechfort, et Mdjez Ammar.

- Station Moulin Rechfort

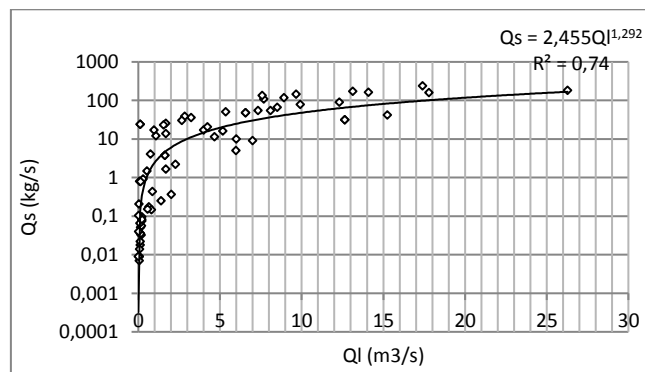


Figure (V.28) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs - St M.Rechfort-.

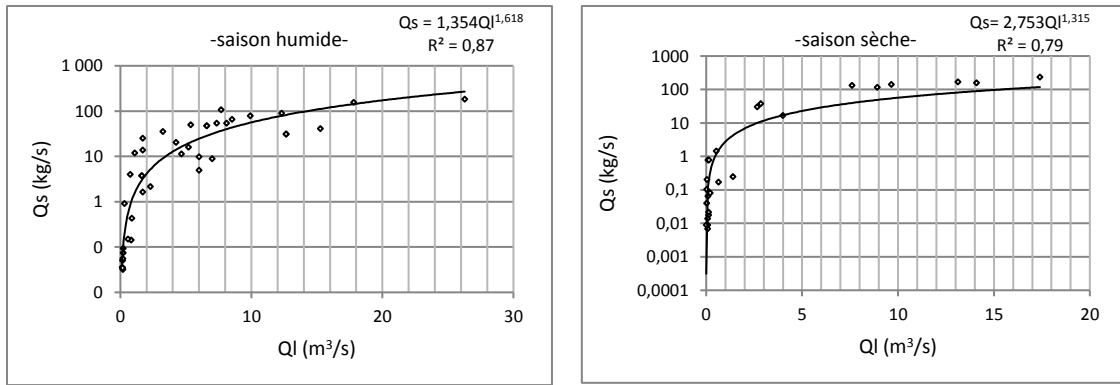


Figure (V.29) : Répartition : Ql - Qs pour la saison humide et sèche - St Moulin Rechfort-.

- Station Mdjez Ammar

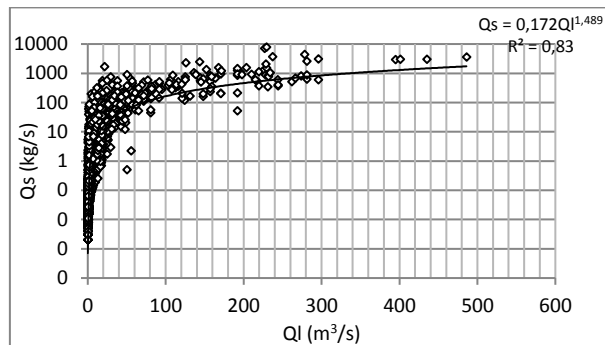


Figure (V.30) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs -St Mdjez Ammar-.

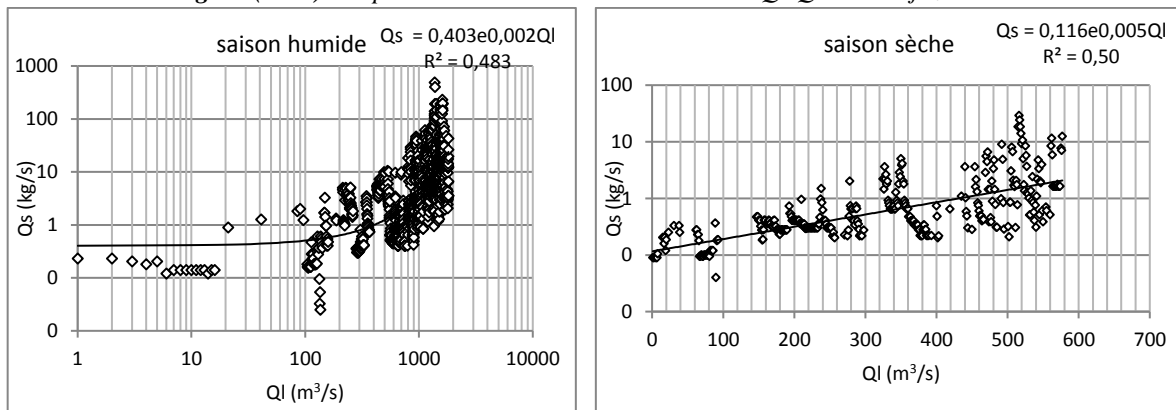


Figure (V.31) : Répartition : Ql - Qs pour la saison humide et sèche - St M.Ammar-.

V.2.1.5. Modélisation Ql - Qs Bassin Soummam : le bassin est contrôlé par deux stations : Farmatou et Magroua.

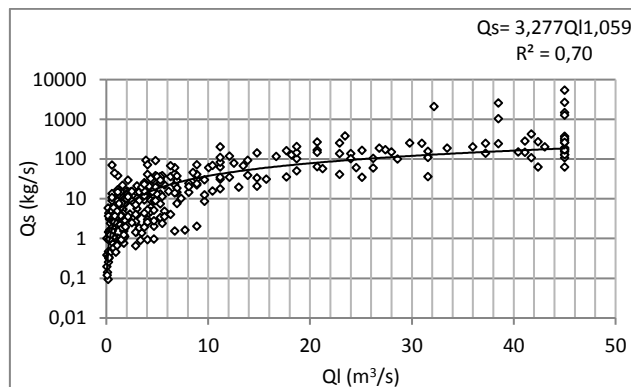


Figure (V.32) : Répartition de la totalité des données : Ql - Qs -St Farmatou-.

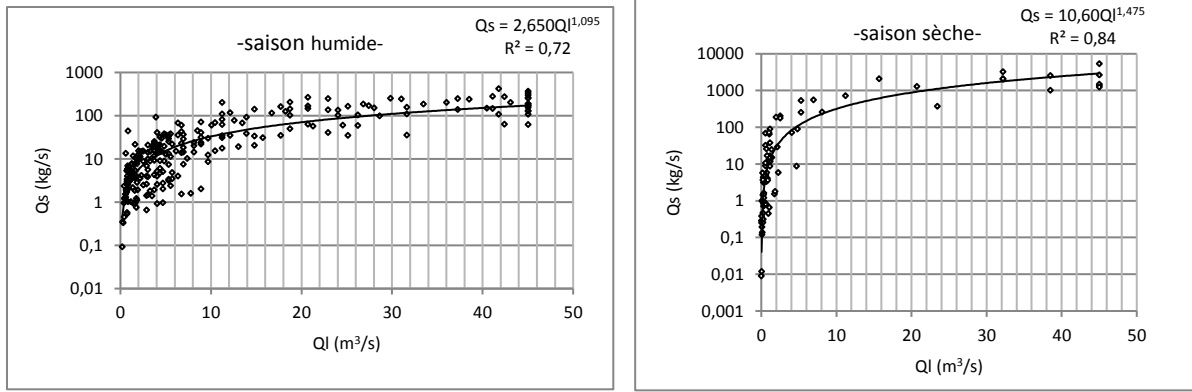


Figure (V.33) : Répartition : $Ql-Qs$ pour la saison humide et sèche -St Farmatou-.

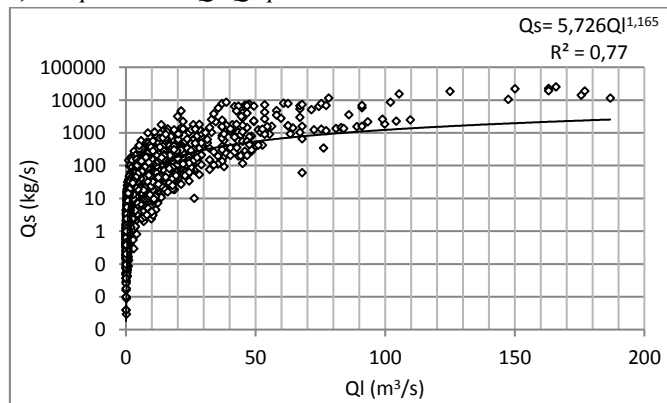


Figure (V.34) : Répartition de la totalité des données : $Ql-Qs$ -St Magroua-.

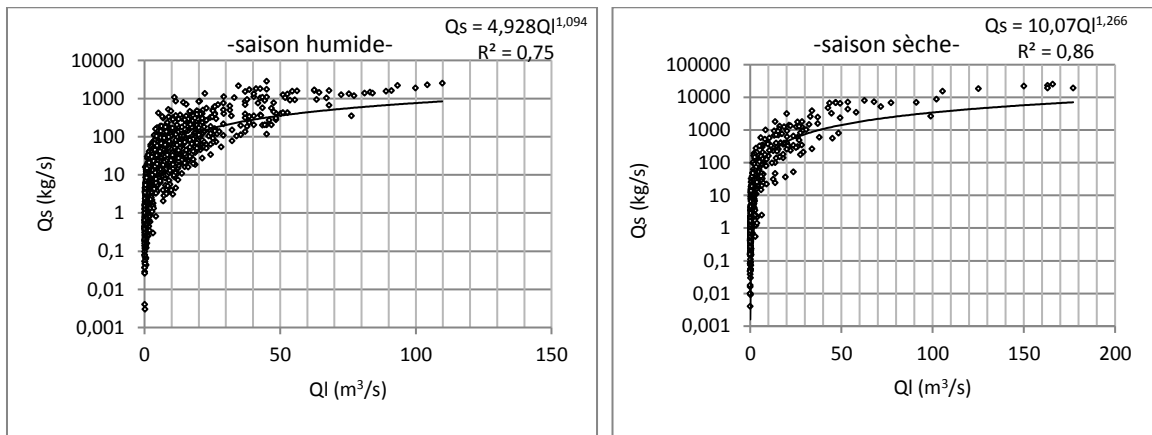


Figure (V.35) : Répartition : $Ql-Qs$ pour la saison humide et sèche -St Magroua-.

Tableau (V.1) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations – Totalité des données- $Ql-Qs$.

Station	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination (R^2)
El Mkaceb	Puissance	$Qs=3,233*Ql^{1,259}$	0,77
Chedia	Puissance	$Qs=2,468*Ql^{1,186}$	0,74
Khemakhem	Puissance	$Qs=0,286*Ql^{1,271}$	0,79
Ain Charchar	Puissance	$Qs=0,179*Ql^{1,255}$	0,85
Chemora	Puissance	$Qs=9,636*Ql^{1,529}$	0,82
Foum El Gueiss	Puissance	$Qs=3,935*Ql^{1,342}$	0,76
Tassaadane	Puissance	$Qs=1,60*Ql^{2,202}$	0,61
Athmenia	Exponentielle	$Qs=0,009*e^{1,344Ql}$	0,61

Station	Type de modèle	Modèle retenus	Coefficient de détermination (R ²)
Grarem	Puissance	$Q_s=0,053*Q_l^{1,904}$	0,70
El Ancer	Puissance	$Q_s=1,513*Q_l^{1,171}$	0,65
El Milia	Puissance	$Q_s=1,323*Q_l^{1,156}$	0,87
M.Rechfort	Puissance	$Q_s=2,455*Q_l^{1,292}$	0,74
Medjez Ammar	Puissance	$Q_s=0,172*Q_l^{1,489}$	0,83
Farmatou	Puissance	$Q_s=3,277*Q_l^{1,059}$	0,70
Magroua	Puissance	$Q_s=5,726*Q_l^{1,165}$	0,77

Les résultats de la régression entre le débit solide et le débit liquide pour la totalité des données observées dans chacune des quinze stations étudiées montrent une très bonne corrélation avec des coefficients de détermination R² qui varient entre : 0,65 à la station d'El Ancer jusqu'au 0,87 à la station d'El Milia, le modèle puissance est le plus convaincant pour cette corrélation (Tableau V.1).

Tableau (V.2) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations – Saison Humide- Ql-Qs.

Station	Type du modèle	Modèle retenu	Coefficient de détermination(R ²)
Mkaceb	Puissance	$Q_s=2,433*Q_l^{1,1144}$	0,78
Chedia	Puissance	$Q_s=1,972*Q_l^{1,249}$	0,75
Khmakhem	/	/	/
Ain Charchar	Puissance	$Q_s=0,217*Q_l^{1,305}$	0,80
Chemora	Puissance	$Q_s=4,316*Q_l^{1,559}$	0,85
Foum El Gueiss	Puissance	$Q_s=1,572*Q_l^{1,365}$	0,76
Tassadane	Puissance	$Q_s=0,178*Q_l^{1,622}$	0,73
Athmania	Puissance	$Q_s=0,185*Q_l^{1,447}$	0,73
Grarem	Puissance	$Q_s=0,917*Q_l^{1,02}$	0,71
El Ancer	Puissance	$Q_s=0,686*Q_l^{1,326}$	0,70
El Milia	Puissance	$Q_s=1,227*Q_l^{1,171}$	0,86
M.Rechfort	Puissance	$Q_s=1,354*Q_l^{1,618}$	0,87
Mdjez Ammar	/	/	/
Farmatou	Puissance	$Q_s=2,650*Q_l^{1,095}$	0,72
Magroua	Puissance	$Q_s=4,928*Q_l^{1,094}$	0,75

Tableau (V.3) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations – Saison sèche-Ql-Qs.

Station	Type du modèle	Modèle retenu	Coefficient de détermination(R ²)
Mkaceb	Puissance	$Q_s=18,66*Q_l^{1,955}$	0,63
Chedia	Puissance	$Q_s=8,09*Q_l^{1,359}$	0,75
Khmakhem	/	/	/
Ain Charchar	Puissance	$Q_s=0,256*Q_l^{1,179}$	0,83
Chemora	Puissance	$Q_s=14,20*Q_l^{1,539}$	0,84
Foum El Gueiss	Puissance	$Q_s=10,95*Q_l^{1,304}$	0,88
Tassadane	Puissance	$Q_s=0,205*Q_l^{2,321}$	0,77
Athmania	Puissance	$Q_s=0,445*Q_l^{1,35}$	0,73
Grarem	Puissance	$Q_s=2,475*Q_l^{0,751}$	0,60
El Ancer	Puissance	$Q_s=2,475*Q_l^{1,22}$	0,60

Station	Type du modèle	Modèle retenu	Coefficient de détermination (R ²)
El Milia	Puissance	$Q_s=1,784*Q_l^{1,156}$	0,89
M.Rechfort	Puissance	$Q_s=2,407*Q_l^{1,287}$	0,77
Mdjez Ammar	/	/	/
Farmatou	Puissance	$Q_s=10,60*Q_l^{1,475}$	0,84
Magroua	Puissance	$Q_s=10,07*Q_l^{1,266}$	0,80

Une excellente corrélation a été montrée pour la saison humide avec des coefficients de détermination allant de 0,70 à la station d’El Ancer jusqu’au 0,87 à la station de M.Rechfort. Une bonne corrélation a été montrée pour la saison sèche avec des coefficients de détermination R² allant de 0,60 aux stations de Grarem et El Ancer également, jusqu’au 0,89 à la station d’El Milia. Le modèle puissance est le plus adéquat pour les deux échelles : saison humide et saison sèche.

V.2. 2. Modélisation par régression pour le 2ème vecteur Ql-CSS

Les résultats de la corrélation pour le 2ème vecteur : Ql-CSS extrêmes sont présentés graphiquement pour la totalité des données ainsi que pour la saison humide et sèche, pour toutes les stations hydrométriques étudiées.

Ql : débits liquides, CSS : Concentration des sédiments en suspension extrêmes, St :station hydrométrique.

V.2. 2.1. Modélisation Ql-CSS Bassin Côtiers Constantinois

- **Station El Mkaceb**

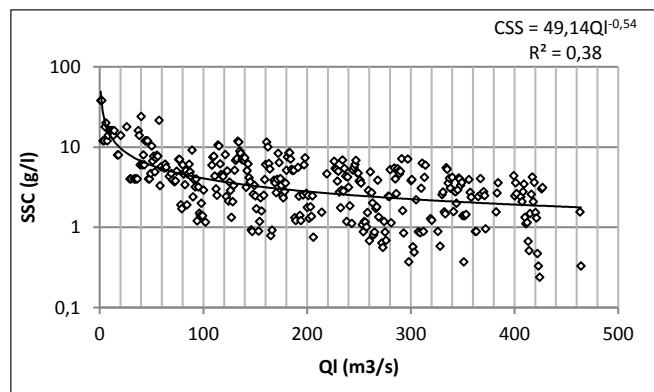


Figure (V.36) : Répartition de la totalité des données Ql-CSS -St El Mkaceb-

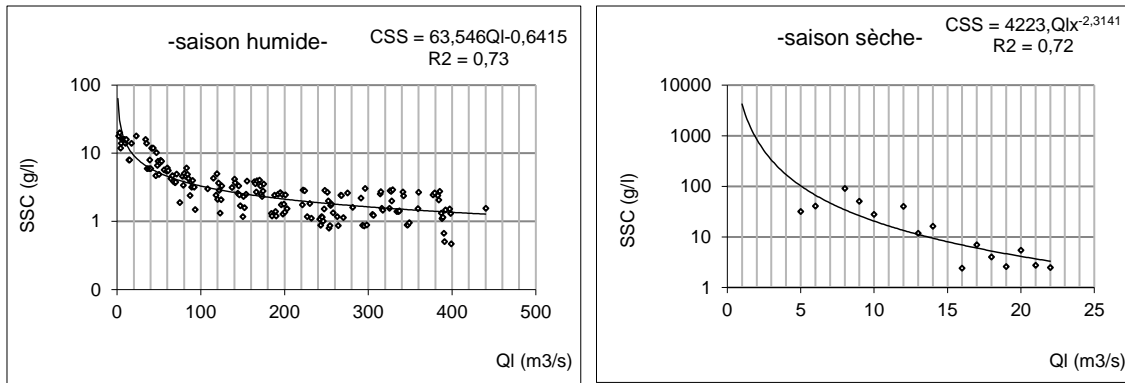


Figure (V.37) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St El Mkaceb-.

• Station Chedia

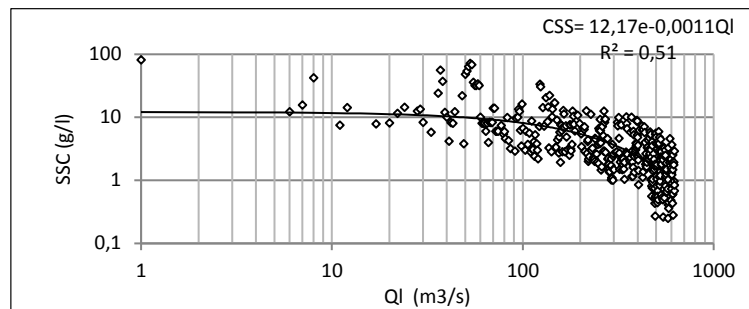


Figure (V.38) : Répartition de la totalité des données QI-CSS -St Chedia-.

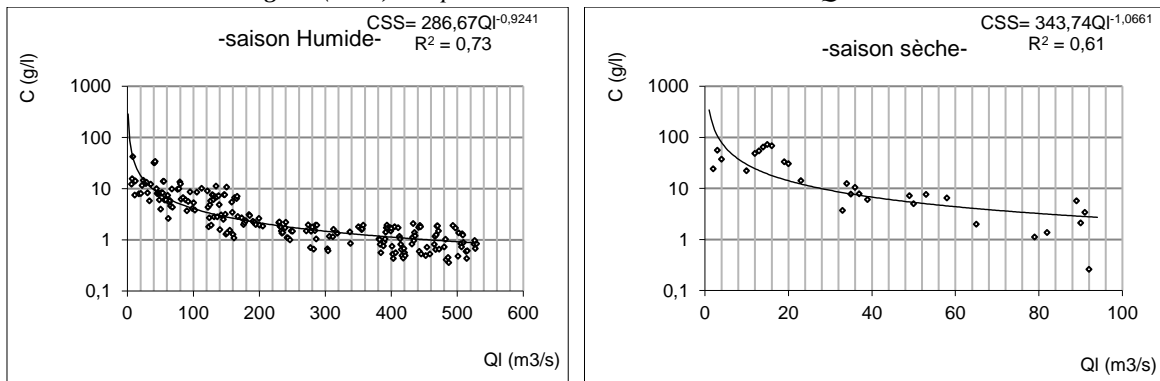


Figure (V.39) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Chedia -.

• Station Khmakhem

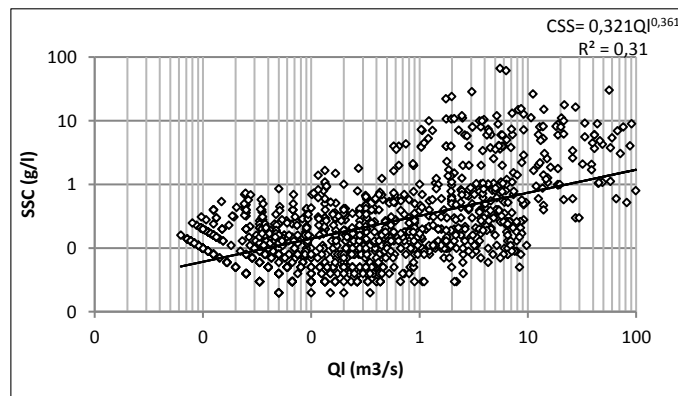


Figure (V.40) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Khemakhem-.

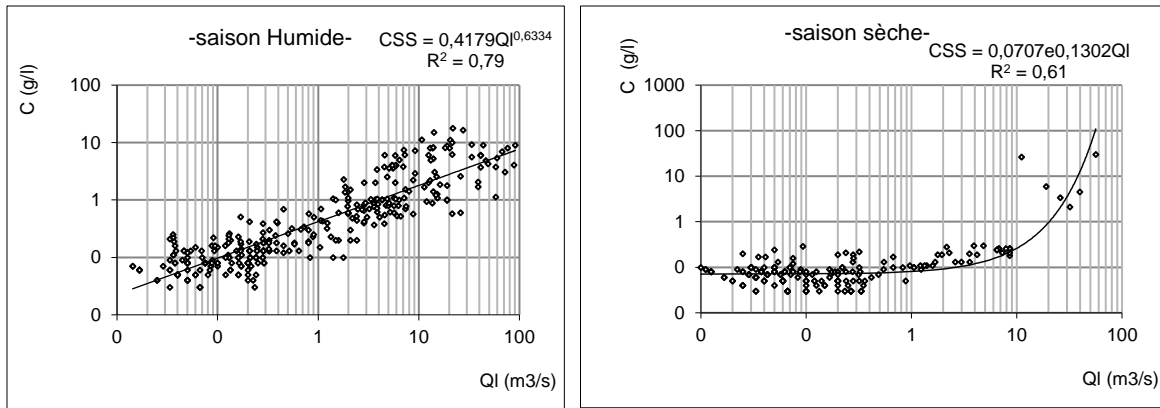


Figure (V.41) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Khemakhem -.

- Station Ain Charchar

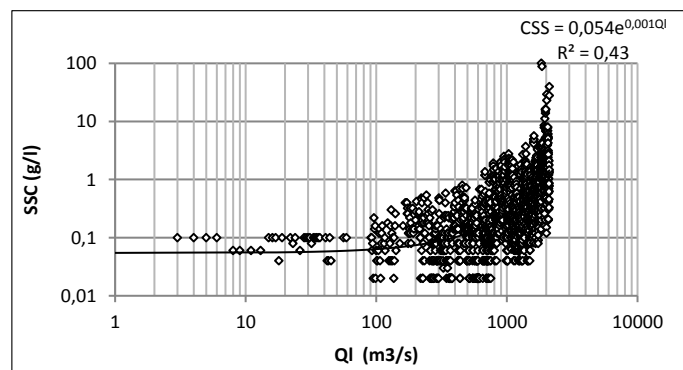


Figure (V.42) : Répartition de la totalité QI-CSS -St Charchar-.

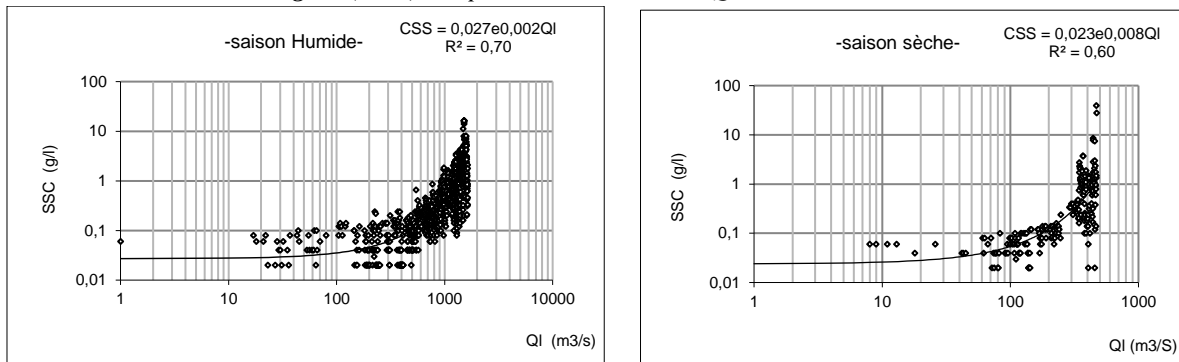


Figure (V.43) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Ain Charchar-.

V.2. 2.2. Modélisation CSS-QI Bassin des Hauts Plateaux Constantinois

- Station Chemora

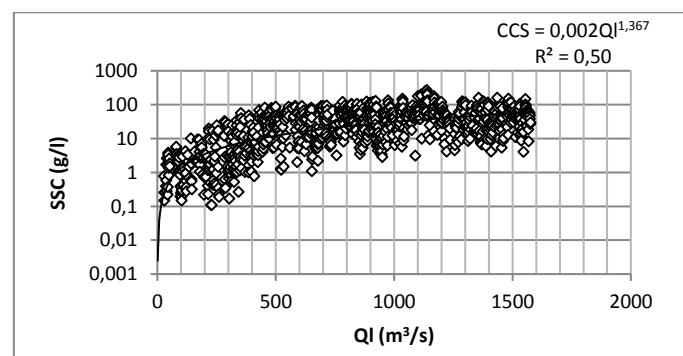


Figure (V.44) : Répartition de la totalité QI-CSS -St Chemora-.

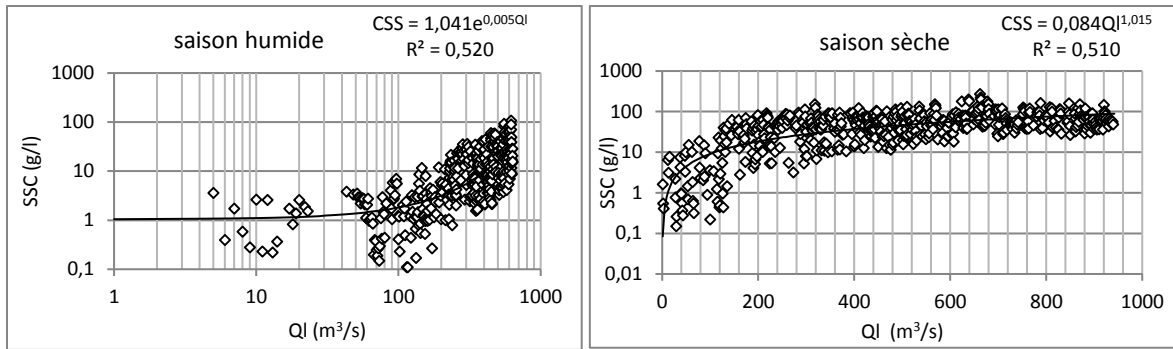


Figure (V.45) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Ain Chemora-.

- Station Foum el Gueiss

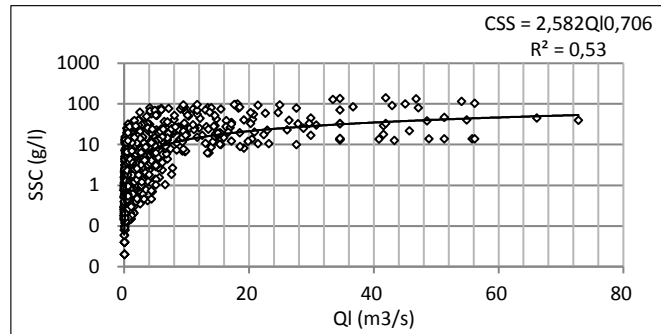


Figure (V.46) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Foum El Gueiss-.

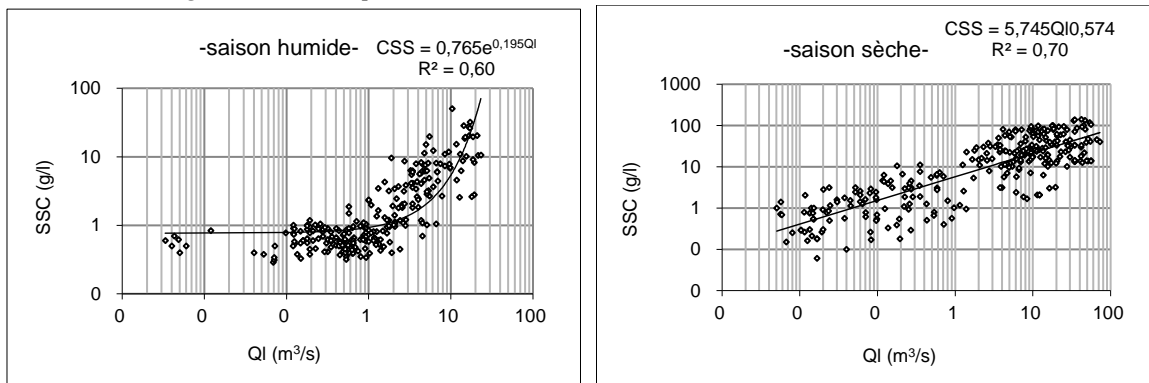


Figure (V.47) : Répartition des données : QI-CSS pour la saison humide et sèche -St Foum El Gueiss-.

V.2. 2.3. Modélisation QI-CSS Bassin Kébir Rhumel

- Station Tassadane

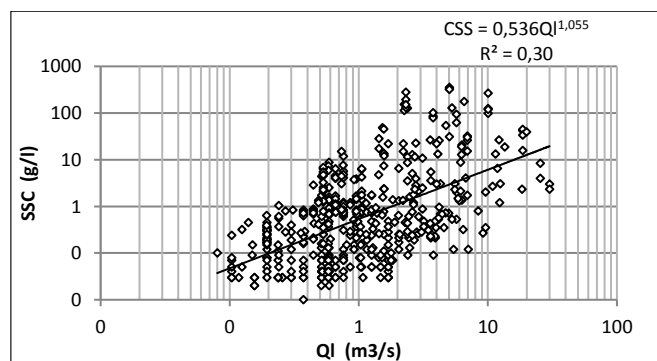


Figure (V.48) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Tassadane.

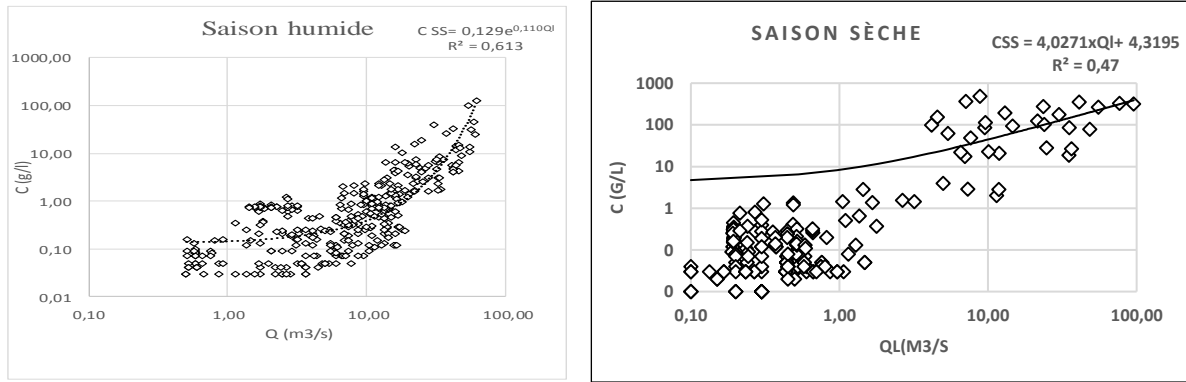


Figure (V.49) : Répartition des données : Ql - CSS pour les saisons humide et sèche -station Tassadane-.

- Station Oued Athmania

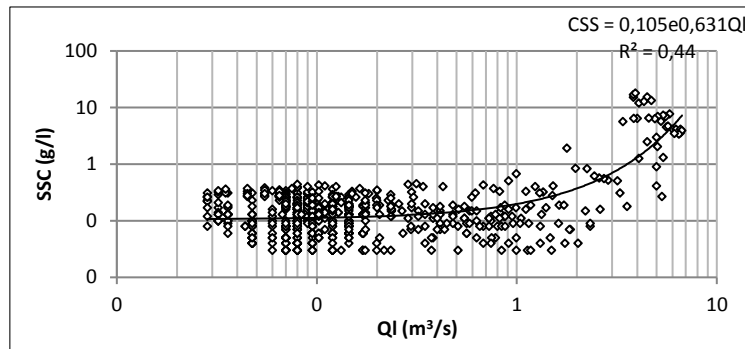


Figure (V.50) : Répartition de la totalité des données : Ql - CSS -St Oued Athmania.

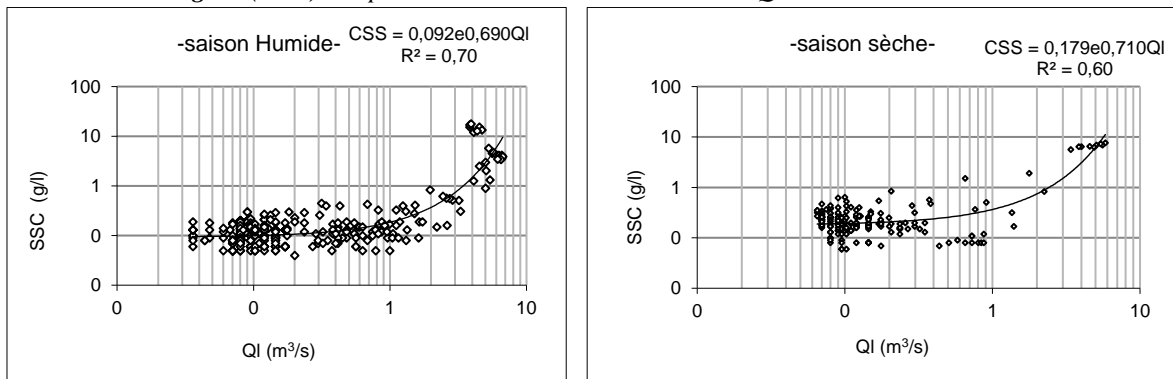


Figure (V.51) : Répartition des données : Ql - CSS pour les saisons humide et sèche -St Oued Athmania-.

- Station Grarem

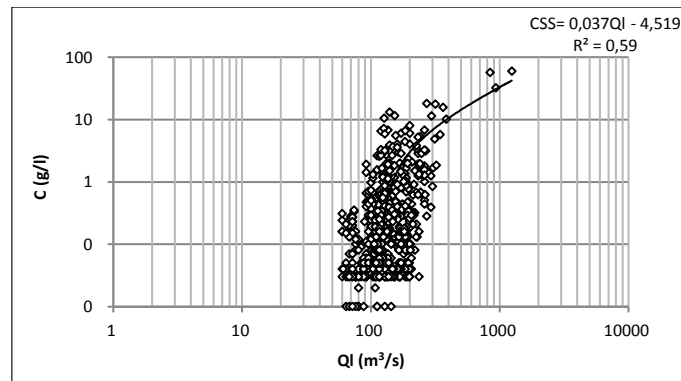


Figure (V.52) : Répartition de la totalité : Ql - CSS -station Grarem-.

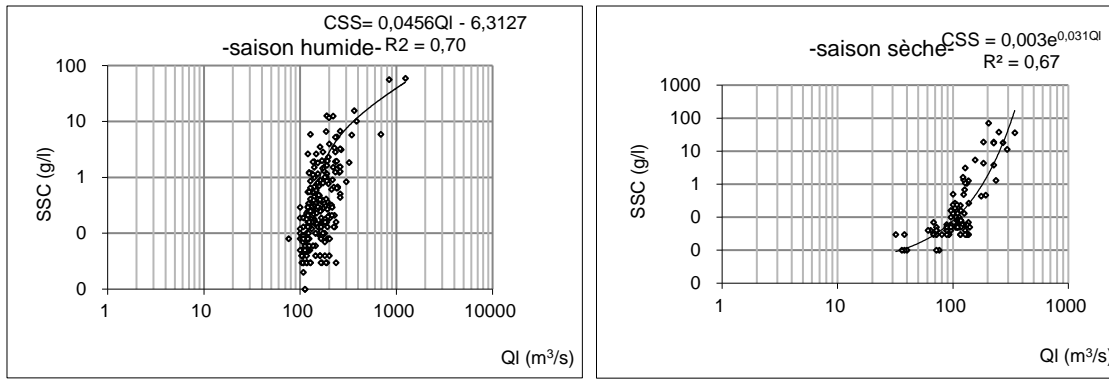


Figure (V.53) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Grarem-.

• Station El Ancer

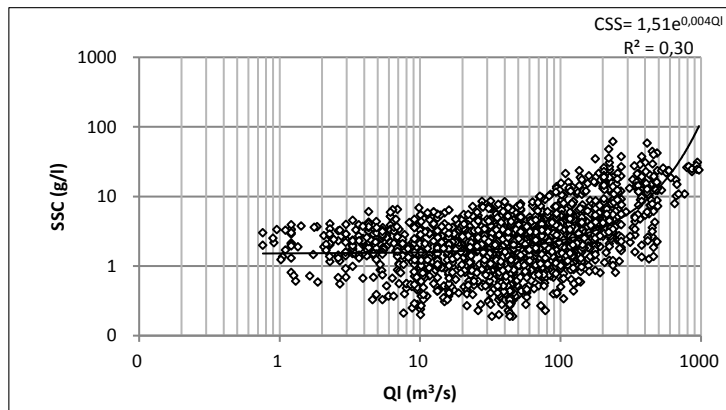


Figure (V.54) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS -St El Ancer-

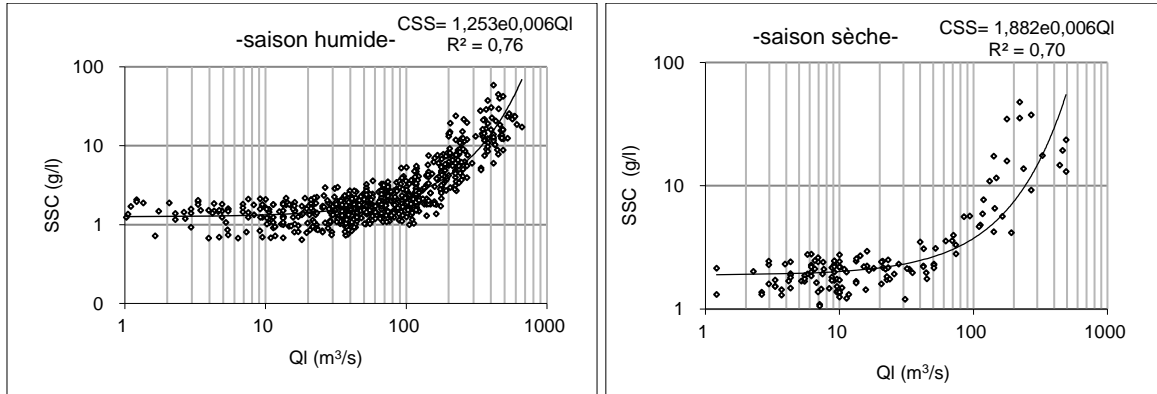


Figure (V.55) : Répartition des données :QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St El Ancer-.

• Station El Milia

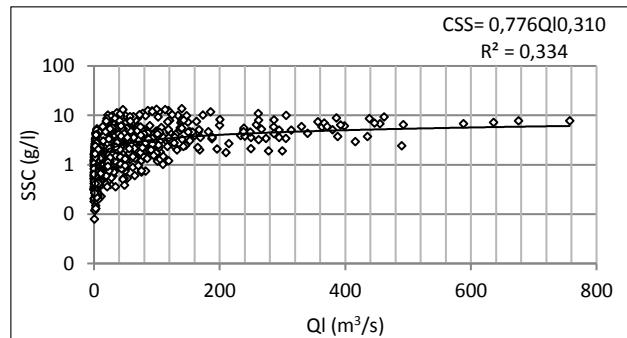


Figure (V.56) : Répartition de la totalité des données :QI-CSS- St El Milia-

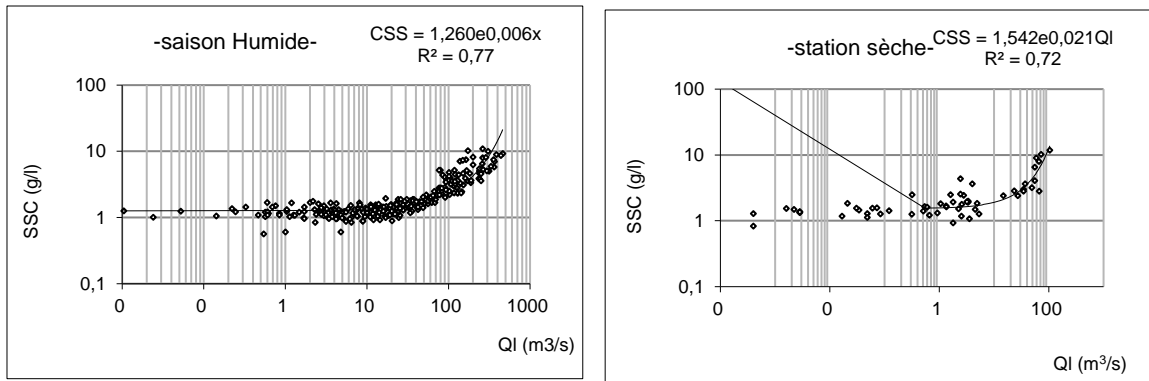


Figure (V.57) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche –St El Milia-.

V.2. 2.4. Modélisation QI-CSS Bassin Seybouse

- Station Mdjez Ammar

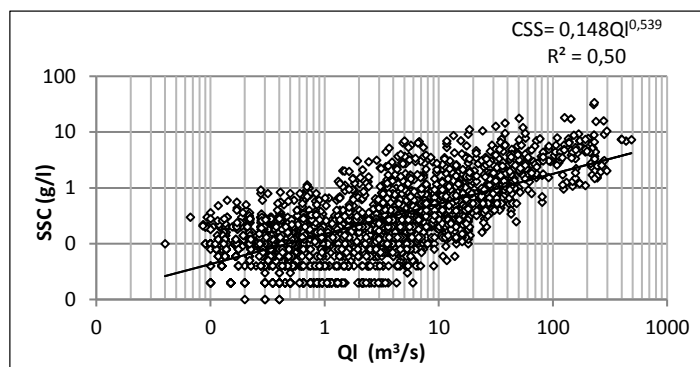


Figure (V.58) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Mdjez Ammar-

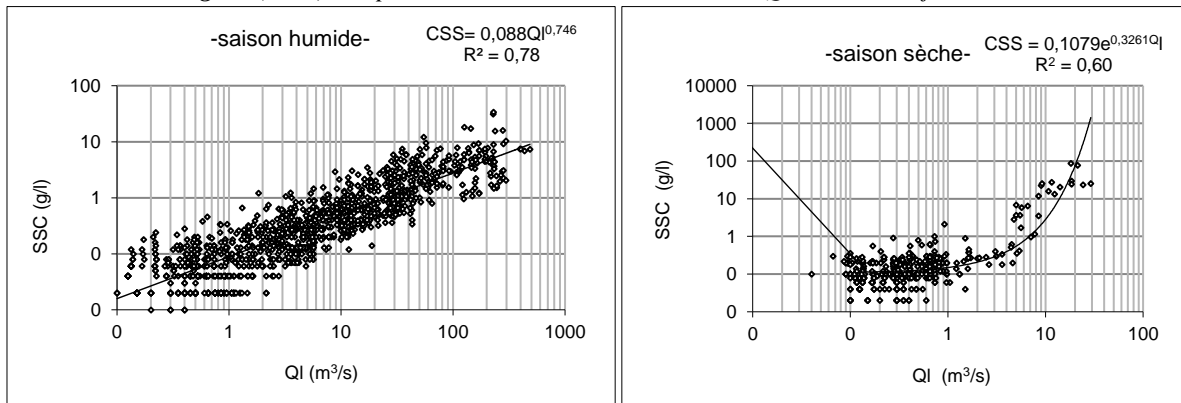


Figure (V.59) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche –St Mdjez Ammar-.

V.2. 2.5. Modélisation QI-CSS Bassin Soummam

• Station Farnatou

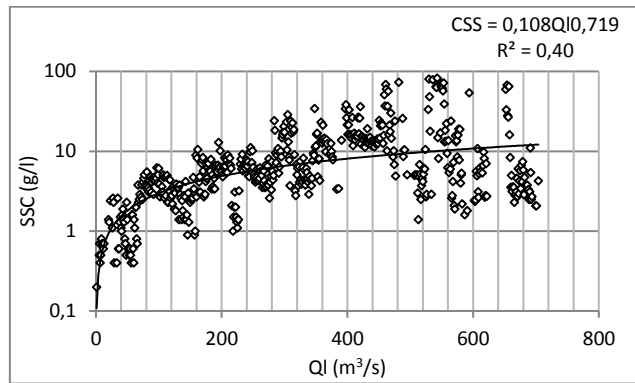


Figure (V.60) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Farnatou-

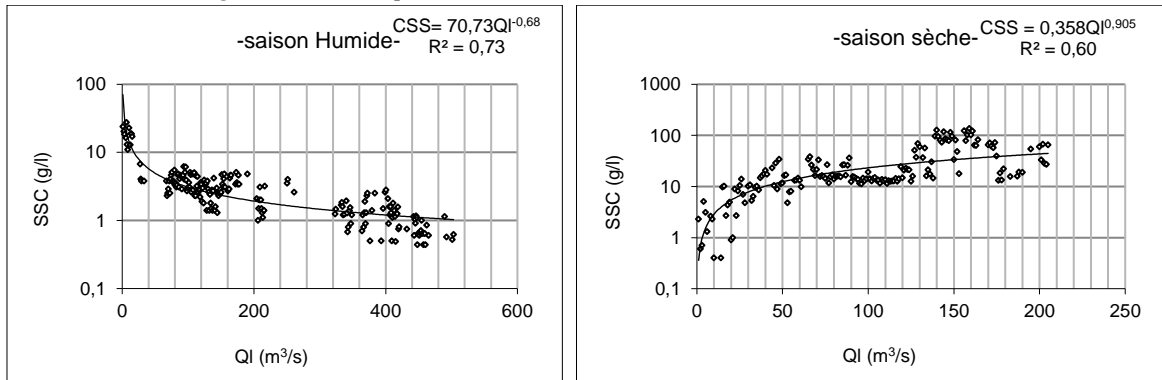


Figure (V.61) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Farnatou-

• Station Magraoua

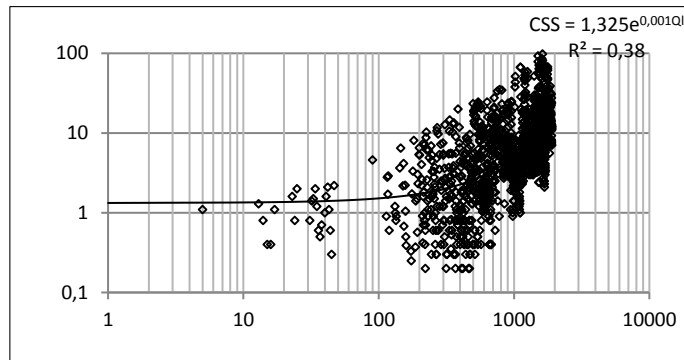


Figure (V.62) : Répartition de la totalité des données : QI-CSS -St Magraoua-

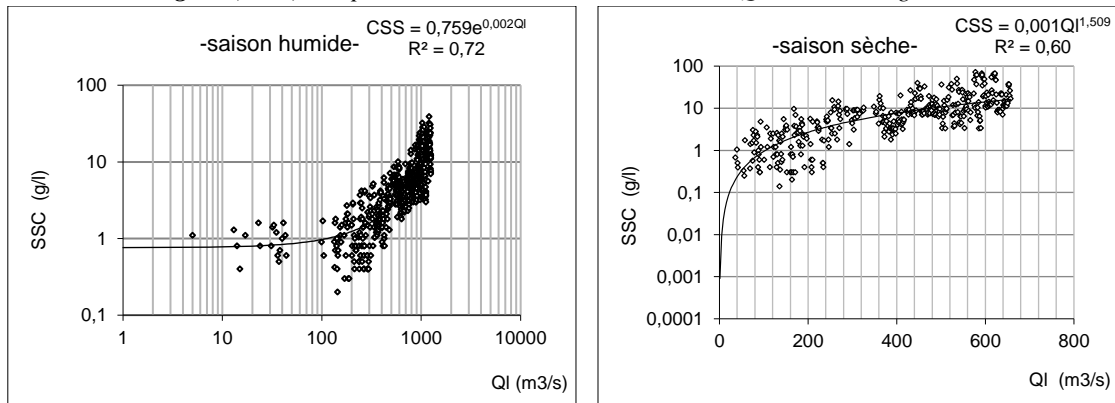


Figure (V.63) : Répartition des données : QI-CSS pour les saisons humide et sèche -St Magraoua-

Tableau (V.4) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations- Totalité des données : QI-CSS -.

Station	Type du modèle	Modèle retenu	Coefficient de détermination(R ²)
Mkaceb	Puissance	SSC=49,14*QI ^{-0,54}	0,38
Chedia	Exponentielle	SSC=12,17e ^{-0,001*QI}	0,51
Khmakhem	Puissance	SSC=0,321*QI ^{0,361}	0,31
Ain Charchar	Exponentielle	SSC=0,054*e ^{0,001QI}	0,43
Chemora	/	/	/
Foum El Gueiss	Puissance	SSC=2,582*QI ^{0,7061}	0,53
Tassadane	Exponentielle	SSC=0,536* QI ^{1,055}	0,30
Athmania	Exponentielle	SSC=0,105 e ^{0,631QI}	0,44
Grarem	Linéaire	SSC=0,037*QI -4,519	0,59
El Ancer	Exponentielle	SSC=1,51 e ^{0,004QI}	0,30
El Milia	Puissance	SSC=0,776*QI ^{0,31}	0,33
Mdjej Ammar	Puissance	SSC=0,148*QI ^{0,539}	0,50
Farmatou	Puissance	SSC=0,108*QI ^{0,719}	0,40
Magroua	Exponentielle	SSC=1,325 e ^{0,001QI}	0,38

Les résultats de régression pour la totalité des données : concentration des sédiments en suspension CSS extrêmes et débits liquides QI (tableau V.4) montrent une faible à moyenne corrélation, avec dominance du modèle : puissance et exponentielle, à des coefficients de corrélation allant de 0,30 à la station de El Ancer jusqu'à 0,59 à la station de Grarem.

Tableau (V.5) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations- Saison Humide-QI-CSS.

Station	Type du modèle	Modèle retenu	Coefficient de détermination(R ²)
Mkaceb	puissance	SSC=63,546*QI ^{-0,6415}	0,73
Chedia	Puissance	SSC=286,67*QI ^{-0,9241}	0,73
Khmakhem	Puissance	SSC=0,4179*QI ^{0,6334}	0,79
Ain Charchar	Exponentielle	SSC=0,027 e ^{0,0027QI}	0,70
Chemora	/	/	/
Foum El Gueiss	Exponentielle	SSC=0,7659 e ^{0,195QI}	0,60
Tassadane	Exponentielle	SSC=0,129 e ^{0,1109QI}	0,61
Athmania	Exponentielle	SSC=0,0928 e ^{0,6905QI}	0,70
Grarem	Linéaire	SSC=0,0456QI-6,3127	0,70
El Ancer	Exponentielle	SSC=1,2536 e ^{0,0061QI}	0,76
El Milia	Exponentielle	SSC=1,2609 e ^{0,0061QI}	0,77
Mdjej Ammar	Puissance	SSC=0,0884*QI ^{0,7469}	0,78
Farmatou	Exponentielle	SSC=70,731*QI ^{-0,6799}	0,73
Magroua	Exponentielle	SSC=0,759 e ^{0,0024QI}	0,72

Les résultats de régression pour la saison humide, montre une très bonne corrélation entre les deux paramètres : concentration des sédiments en suspension CSS extrêmes et débit liquide QI (tableau V.5), avec des coefficients de corrélation allant de 0,60 à la station de Foum El Gueiss jusqu'à 0,79 à la station de Khmakhem.

Tableau (V.6) : Modèles retenus et leurs coefficients de détermination calculés pour les 15 stations - Saison sèche-QI-CSS.

Station	Type du modèle	Modèle retenu	Coefficient de détermination(R ²)
Mkaceb	Puissance	SSC=4223*QI ^{-2,3141}	0,72
Chedia	Puissance	SSC=343,74*QI ^{-1,0661}	0,61
Khmakhem	Exponentielle	SSC=0,0707*e ^{0,1302QI}	0,61
Ain Charchar	Exponentielle	SSC=0,0239*e ^{0,0082QI}	0,60
Chemora	/	/	/
Foum El Gueiss	Puissance	SSC=5,7455*QI ^{0,574}	0,70
Tassadane	puissance	SSC=0,4288*QI ^{1,4993}	0,70
Athmania	Exponentielle	SSC=0,1792*e ^{0,7103QI}	0,60
Grarem	Exponentielle	SSC=0,0033*e ^{0,0316QI}	0,67
El Ancer	Exponentielle	SSC=1,8829*e ^{0,0069QI}	0,70
El Milia	Exponentielle	SSC=1,5425*e ^{0,0021QI}	0,72
Mdjez Ammar	Exponentielle	SSC=0,1079*e ^{0,3261QI}	0,60
Farmatou	puissance	SSC=0,3583*QI ^{0,9058}	0,60
Magroua	Exponentielle	SSC=0,001*QI ^{1,509}	0,60

Les résultats de régression pour la saison sèche, montrent une moyenne corrélation entre les deux paramètres : concentration des sédiments en suspension CSS extrêmes et débit liquide QI (Tableau V.6), avec des coefficients de corrélation allant de 0,60 aux stations de : Ain Charchar, Mdjez Ammar, Farmatou et Magroua également jusqu'à 0,72 à la station de Mkaceb. Le modèle exponentiel est le plus adéquat pour les deux saisons : humide et sèche.

V. 3. Normalisation des données

Dans la plupart des cas, les séries présentant des fluctuations extrêmes de débit et de sédiments journaliers par exemple, ne suivent pas une distribution normale (Moeeni et Bonakdari. 2018). Les séries de données originales (brutes) sont constituées de différentes variables ayant des significations physiques et des unités différentes, et, par conséquent, leurs rangs sont très variables. Pour s'assurer que chaque variable est traitée de manière égale dans un modèle et pour éliminer leurs dimensions, toutes les variables sont prétraitées en les mettant à l'échelle entre 0 et 1. La cartographie linéaire simple des variables est le plus souvent utilisée à cette fin (Kaveh et al. 2017). La normalisation des données a le plus grand effet sur la performance des modèles RNA et ANFIS. Elle permet de minimiser les valeurs d'erreur pendant les phases d'apprentissage et de validation. La formulation de ce paramètre statistique a été donnée dans la littérature par plusieurs auteurs (Olyaie et al. 2015, Kaveh et al. 2017, Aoulmi, et al 2021). Les séries temporelles des entrées : QI et Qs, et des sorties, CSS, ont été normalisées entre 0 et 1, en utilisant l'équation suivante

$$x = \frac{x_{obs} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

x : donnée normalisée, x_{obs} : donnée observée, xmax : valeur maximale des données observées, et x_{min} est la valeur minimale des données observées.

V.4. Modélisation par Réseaux neurone artificiel RNA

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont des modèles mathématiques non linéaires de type « black-box » (boîte noire). Leur principe repose sur l'apprentissage à la manière des réseaux de neurones biologiques dont ils tirent leur nom. L'apprentissage donne la capacité d'approcher un phénomène à partir des couples entrées-sorties enregistrés sur un système. Le perceptron multicouche (PMC) est le type de RNA le plus répandu en prévision hydrologique.

V. 4. 1. Structure des RNA

Le perceptron multi-couches MLP est un modèle d'une ou de plusieurs couches cachées qui peuvent utiliser divers ensembles d'entrées par un ensemble de sorties appropriées (Choubin et al. 2018). Ce type de réseau est dans la famille générale des réseaux à « propagation vers l'avant », c'est-à-dire qu'en mode normal d'utilisation, l'information se propage dans un sens unique, des entrées vers les sorties sans aucune rétroaction. Dans ce cas uniquement, le signal d'erreur est «rétropropagé» vers les entrées pour mettre à jour les poids des neurones (Parizeau. 2004). Les algorithmes d'apprentissage sont introduits pour rechercher la valeur optimale des connexions de poids. Il est considérable que les réseaux neuronaux au flux vers l'avant (Feed Forward FFN) aient trouvé une application dans divers modèles d'apprentissage. La raison réside dans le fait que ce type de réseaux a la capacité d'utiliser directement les données d'entrée pour fournir une approximation des mappings non-linéaires complexes. Le RNA utilisé est à apprentissage supervisé, dont les entrées et les sorties du modèle sont définies au préalable.

La figure V.64 présente une architecture typique de réseau de type Feed Forward (FFN), avec deux couches cachées.

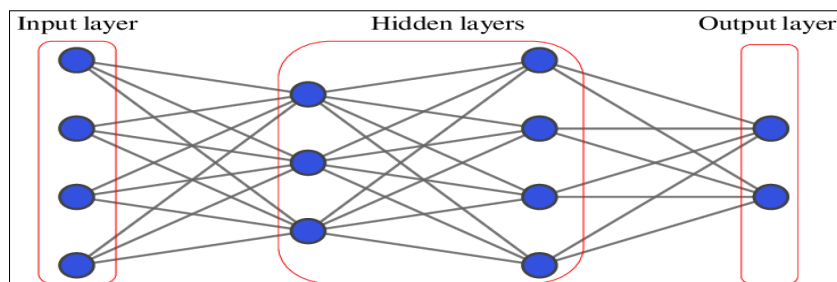


Figure (V.64): Architecture du réseau de neurone utilisé dans l'étude : « Feedforward network ».

-Afin de prédire les débits solides Q_s et les concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes, nous avons utilisé un PMC à trois couches : une couche d'entrée qui recevra les données source : débit liquide Q_l pour le premier vecteur d'entrée, débit liquide Q_l et débit solide Q_s pour le deuxième vecteur d'entrée.

Deux ou trois couches cachées : constituées par l'ensemble de neurones des sorties de la couche d'entrée. Pour ces derniers, on a utilisé la fonction de transfert : « Tansig » : Tangente hyperbolique pour la première couche, et la fonction de transfert linéaire « pure line » pour la deuxième couche. Une couche de sortie qui donne le résultat obtenu après compilation par le réseau des données entrant dans la première couche. La couche de sortie comprend le débit solide Q_s pour le premier vecteur, et les concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes dans le deuxième vecteur.

-Les deux tiers de la base de données disponible (Q_1 , Q_s et CSS) sont réservés à la création du modèle RNA (Phase de Calage). Le 1/3 restant est réservé à la vérification du modèle créé. Pour éviter le sur-apprentissage, ces 2/3 des données sont divisées en trois sous-ensembles (logiciel Matlab 2017) : le premier sous-ensemble, qui comprend 70 % des données, est destiné à la phase d'apprentissage (formation du modèle), 15 % à la phase de validation, et les 15% restants sont réservés pour tester le modèle créé.

-La phase d'apprentissage est une phase itérative (bootstrap), utilisant l'algorithme "Levenberg-Marquardt", qui calcule et optimise le poids informatif de la relation non linéaire entre les entrées les sorties. Ce mécanisme est basé sur la minimisation de la différence entre les valeurs simulées et celles observées (Q_s , CSS) en utilisant la fonction d'activation.

La première couche reçoit des entrées par les neurones, qui sont transférés aux couches cachées par la première fonction d'activation "Tansig." Ce sont des neurones de traitement qui reçoivent des sommes pondérées de la couche d'entrée et les transforment en couche de sortie en utilisant la deuxième fonction d'activation : " pure line." Dans un modèle RNA, la fonction d'activation est utilisée pour introduire la non-linéarité hydrologique. Elle est présentée mathématiquement comme suit :

$$f(S) = \frac{1}{(1+\exp(-S))} \quad (2)$$

-Une fois l'erreur est calculée sur la couche de sortie, les poids des neurones qui lui sont reliées sur la couche qui la précède immédiatement sont corrigés pour diminuer l'erreur, et ainsi de suite jusqu'à la couche d'entrée du réseau. La correction des poids par retro propagation du gradient est effectuée un certain nombre de fois (le nombre d'itérations est appelé nombre d'époques), ou jusqu'à ce que la performance de classification pour la base de données de validation commence à se détériorer (Levasseur .2008).

-Les phases « validation » et « test » consiste à une estimation la performance du modèle, après la création du modèle, le 1/3 restant des données est fourni au logiciel pour vérifier la performance du modèle RNA créé. Dans cette étape, seuls les vecteurs d'entrée (Q_1 , Q_s) sont

transmis au modèle créé. De nombreux modèles RNA ont été construits et examinés ; le modèle le plus performant est celui qui fournit les meilleurs résultats pour les courbes de performance (apprentissage, validation et test), ainsi que les meilleures valeurs des critères de validation.

- **Le sur-apprentissage**

Les réseaux de neurones artificiels ont la tendance au sur-apprentissage (Overfitting) pendant la phase de calage (formation du modèle), lorsque le RNA devient trop spécialisée pour données d'entraînement extrêmement bien, mais au détriment de raisonnablement ajustement des données de validation. Le sur-apprentissage est reflété par une constante augmentation de l'erreur de validation accompagnée d'un effet concomitant de l'erreur d'apprentissage. Ce problème peut être surmonté en utilisant la méthode de validation croisée, la diminution du nombre de neurones ou la diminution du nombre des couches cachées, où en ajoutant un terme de pénalité pour les grands poids.

V.4.2. Recherche des modèles RNA

Nous avons proposé deux vecteurs d'entrée des données pour le développement des modèles RNA : Le premier vecteur contient : les débits liquides "Ql" observés comme entrée ou "input", et les débits solides observés "Qs" comme sortie ou "output". Le deuxième vecteur contient : les débits liquides "Ql" et solides observés "Qs" ensemble comme entrée ou "input", et les concentrations des sédiments en suspension "CSS" comme sortie ou "output" pour les cinq bassins versants étudiés.

Le tableau (V.7), illustre les paramètres choisis pour la modélisation par RNA, pour les cinq bassins étudiés.

Tableau (V.7) : Paramètres du modèles RNA choisis.

Paramètres	Choix
Type network	Feed Forward (backpropagation)
Structure du réseau choisi	Perceptron multicouche
Données d'entrés	1er vecteur : débit liquide ; 2 ème vecteur : débit liquide, débit solide
Données de sortie	1er vecteur : débit solide ; 2ème vecteur : CSS
Algorithme d'apprentissage	Levenberg-Marquardt (trainlm)
Fonction d'adaptation	Learngdm
Fonction de performance	MSE
Nombre de couches	2 couches ou 3 couches
Fonction d'activation de la 1 ire couche	Tangente hyperbolique
Fonction d'activation de la 2ème couche	Linéaire (pure line)

V.5. Modélisation par système adaptatif neuro-flou d'inférence ANFIS

L'ANFIS combine les avantages des réseaux neuronaux RNA (les capacités d'apprentissage, les capacités d'optimisation et les structures connexionnistes) et des systèmes d'inférence flous FIS (le raisonnement par règle "SI-ALORS" semblable à celles d'un être humain). L'ANFIS repose sur le principe de la cartographie en une structure de réseau neuronal de sorte que les fonctions d'appartenance et les paramètres des parties conséquentes sont optimisés à l'aide d'un algorithme d'apprentissage hybride (Najafzadeh et al. 2016).

ANFIS construit une série de règles floues si-alors avec des fonctions d'appartenance appropriées pour stipuler les paires d'entrées-sorties. Une structure ANFIS se compose de nombreux nœuds connectés entre eux par des liens directionnels. Pour un FIS Takagi-Sugeno-Kang (TSK) de premier ordre avec deux entrées (x et y) et une sortie (f), deux règles typiques peuvent être exprimées comme suit :

Règle 1: SI x est A1 et y est B1, Alors $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ (3)

Règle 2: SI x est A2 et y est B2, Alors $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ (4)

Où A_i et B_i sont des fonctions d'appartenance (MFs) pour l'entrée x et y, respectivement. P_i , q_i , et r_i sont les paramètres de conception (conséquence) estimés au cours du processus de formation (Training). Le modèle Takagi Sugeno fuzzy (aussi connu sous le nom de modèles flous de TSK) du mécanisme de raisonnement dérive une sortie (f) des entrées (x et y) (Genç. 2014). L'architecture ANFIS pour le modèle du premier ordre Takagi Sugeno pour les systèmes à plusieurs entrées et une sortie unique (MISO) est présentée à la figure (V.65).

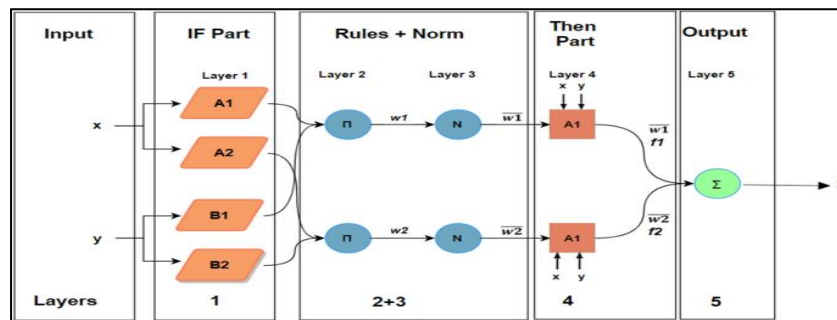


Figure (V.65): Structure ANFIS (Springerlink).

Tableau (V.8) : Les couches d'ANFIS (Genç . 2014).

Les Couches	Node	Fonction	Paramètres entrée/sortie
Couche 1	Adaptive	Adaptation des paramètres des antécédents	Premise parameters
Couche 2	Fixé	Force de déclenchement de règles	Produit de tous les signaux entrants
Couche 3	Fixé	Normalisation des forces de déclenchements	Force de tir normalisée
Couche 4	Adaptive	Adaptation des paramètres des conséquents	Paramètres conséquents
Couche 5	Fixé	Sortie Finale : Sommation des signaux entrants	Overall output (f1.f2)

L'outil "anfisedit" de la boîte à outils logique floue (logiciel Matlab 2017) a été utilisé pour la modélisation des débits solides Q_s et des CSS extrêmes. Le modèle Takagi–Sugeno–Kang (TSK) FIS a été appliqué avec un algorithme hybride de type Feed-Forward (flux vers l'avant) et une méthode d'apprentissage hybride. Dans cette analyse, le partitionnement de grille peut facilement être utilisé pour résoudre des problèmes avec moins de six variables d'entrée (Genç, 2014). Dans le partitionnement de la grille ANFIS, les algorithmes de clustering flou et d'apprentissage hybride sont appliqués pour déterminer les structures des données d'entrée (Kisi et al. 2012). Le clustering flou divise les données disponibles dans des groupes où des relations linéaires existent entre les entrées et la sortie (Steyer. 1998).

L'approche hybride permet dans un premier temps d'utiliser l'estimateur des moindres carrés entre valeurs simulées et observées pour ajuster les paramètres de sortie en fonction des paramètres d'entrée. La technique de descente du gradient est une méthode basée sur la minimisation d'erreur pour adapter adéquatement les poids de la connexion (Sirabahenda. 2019). La base de règles a été développée en utilisant l'opération logique OR en changeant le nombre de règles, chaque règle ayant plusieurs fonctions d'appartenance (Membership function) MFs. On a utilisé une seule sortie qui le débit solide Q_s pour le premier vecteur, et les concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes pour le deuxième vecteur, avec une fonction MF de type constant. (Deux MF d'entrée, une MF de sortie et six règles). Le partitionnement de grille, qui comprend huit types de fonction d'appartenance tels que : le trimf, trapmf, gbellmf, gaussmf, gauss2mf, pimf, dsigmf, et psigmf pour notre modélisation ANFIS, elle génère un nombre mn de règles floues ($n = 2$ nombres de variables d'entrée Q_1 , Q_s et m : le nombre de MF par entrée). Les modèles ANFIS ont été créés en utilisant une approche simple avec une tolérance d'erreur de 0,005 (RMSE) et un nombre d'itérations max de l'ordre de 100.

La base des données utilisée a été divisée en trois sous-ensembles : le premier sous-ensemble présente 60 % de la totalité des données est réservée pour le calage du modèle (phase d'apprentissage ou bien Training). Le deuxième sous-ensemble est réservé pour la validation (20%). Le troisième sous-ensemble (20 %) est réservé pour le test (Testing). Les paramètres d'ajustement du modèle ANFIS comprennent le nombre des paramètres entrées et sorties, la fonction d'appartenance (membership function) dans la partition de la grille (Grid partition) , le nombre d'itérations et la valeur RMSE souhaitée. Le meilleur modèle ANFIS a été obtenu par essai, en considérant l'erreur RMSE la plus faible. Les différentes étapes de l'étude sont résumées dans l'organigramme (Fig. 66).

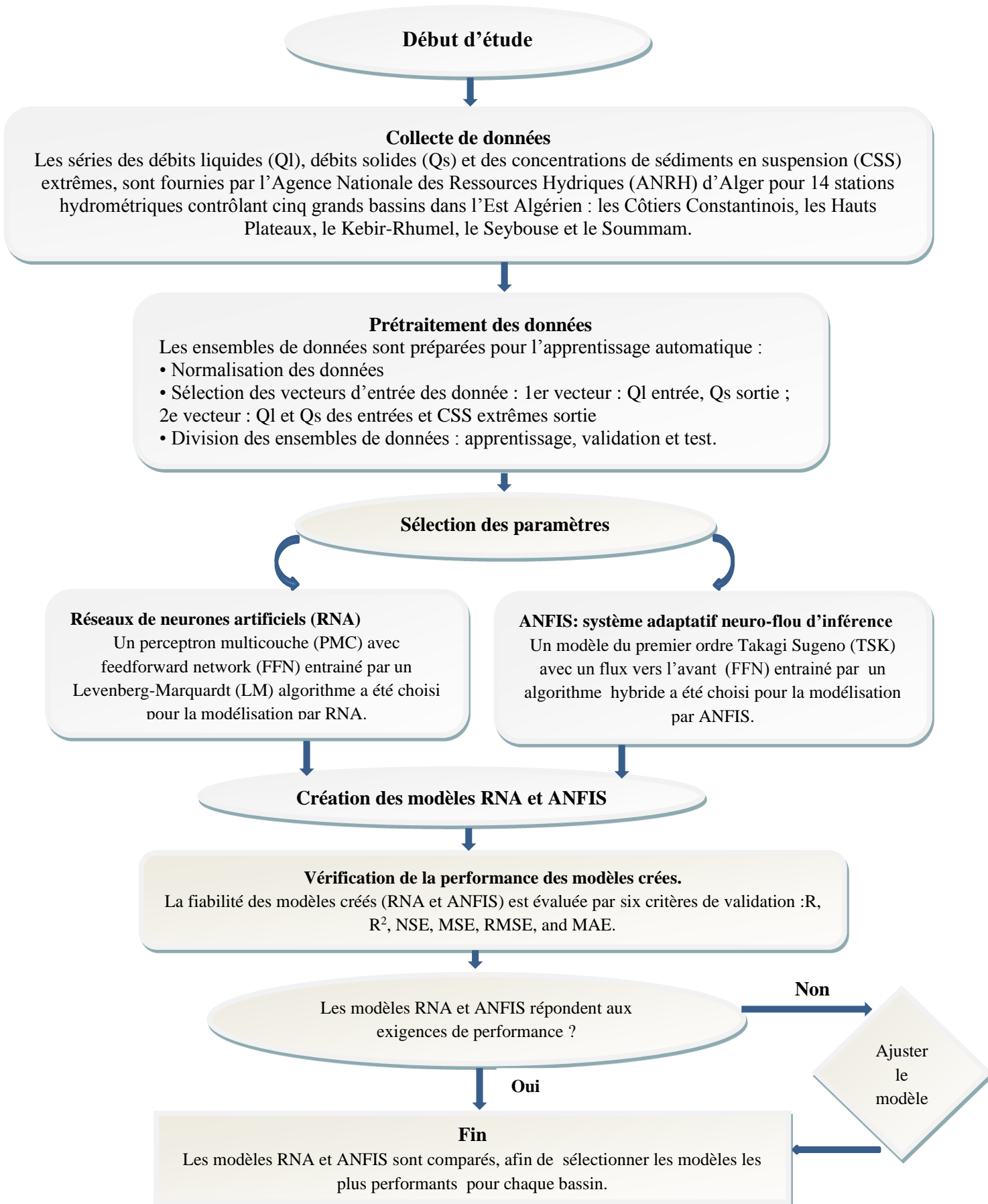


Figure (V. 66) : Organigramme des différentes étapes de l'étude.

V.6. Résultats et discussion

V.6.1. Choix des critères de validation

Les résultats de la modélisation par RNA et ANFIS ont été présentés dans cette section. La performance des modèles RNA et ANFIS a été évaluée à partir des courbes : apprentissages, validation ainsi par la comparaison des Qs et CSS observées (mesurées) avec ceux simulées par les deux modèles RNA et ANFIS, en utilisant six critères de validation différents : le coefficient de détermination R^2 , le coefficient de corrélation R, L'efficacité de Nash–Sutcliffe NSE, erreur quadratique moyenne (mean squared error MSE), La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur moyenne absolue (MAE). Les formulations de ces paramètres statistiques ont été publiées dans la littérature (Olyaie et al. 2015, Kaveh et al. 2017, Darabi et al. 2021...).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N ((CSS_{sim} - \overline{CSS}_{sim}) * (CSS_{obs} - \overline{CSS}_{obs}))^2}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N (CSS_{sim} - \overline{CSS}_{sim})^2 * (\sum_{i=1}^N (CSS_{obs} - \overline{CSS}_{obs})^2)}} \tag{5}$$

$$R = \sqrt{R^2} \tag{6}$$

$$MSE = \sum_{i=1}^n \frac{(CSS_{obs} - CSS_{sim})}{N} \tag{7}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \tag{8}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (CSS_{obs} - CSS_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (CSS_{obs} - \overline{CSS}_{obs})} \tag{9}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |CSS_{obs} - CSS_{sim}|}{N} \tag{10}$$

CSS_{obs} et CSS_{sim} : représentent les CSS extrêmes observées et les CSS extrêmes simulées par RNA et ANFIS respectivement, \overline{CSS}_{obs} \overline{CSS}_{sim} : représentent la moyenne CSS extrêmes observées et mesurées respectivement ; N : le nombre des données.

V.6.2. Résultats de modélisation : Premier vecteur à une entrée Ql et une sortie Qs

Le premier vecteur contient : les débits liquides "Ql" observés comme entrée ou "input", et les débits solides observés "Qs" comme sortie ou "output", pour chaque bassin versant. Le graphique de régression, dans lequel les cercles sont les points de données (Qs) et la ligne représente la meilleure performance entre les valeurs observées et celles simulées par les modèles d'intelligences artificielles RNA et ANFIS. Lorsque les valeurs de coefficient de détermination R^2 , sont très proches de 1, on peut conclure que la structure des modèles RNA et ANFIS choisie est satisfaisante pour la présentation de la relation entre les entrées « inputs » et les sorties « outputs ».

V.6.2.1. Premier vecteur : bassin Côtiers Constantinois

Un total de 3309 d’observation a été collecté à partir de quatre stations hydrométriques dans le bassin des Côtier de Constantinois : El Mkaceb, Chedia, Khemakhem, et Ain Charchar, pour la création des modèles RNA et ANFIS.

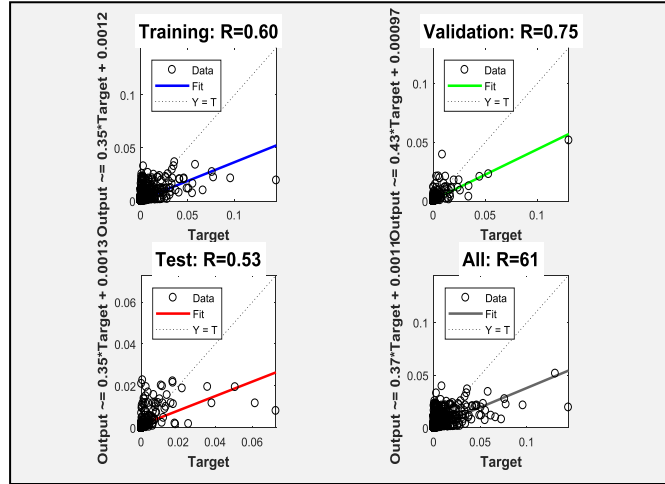


Figure (V.67): Courbe de performance Bassin des Côtiers Constantinois (RNA).

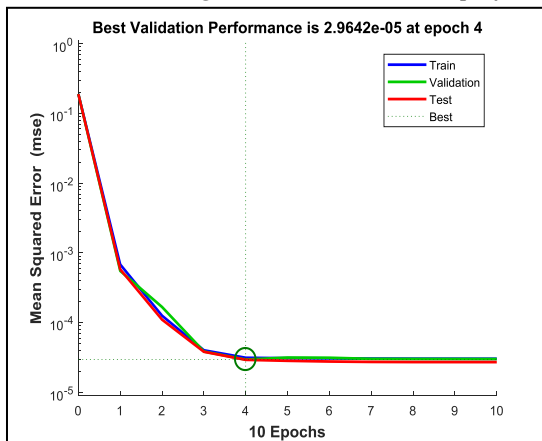


Figure (V.68): Q_s simulé en fonction Q_s observé Bassin Côtiers Constantinois (RNA).

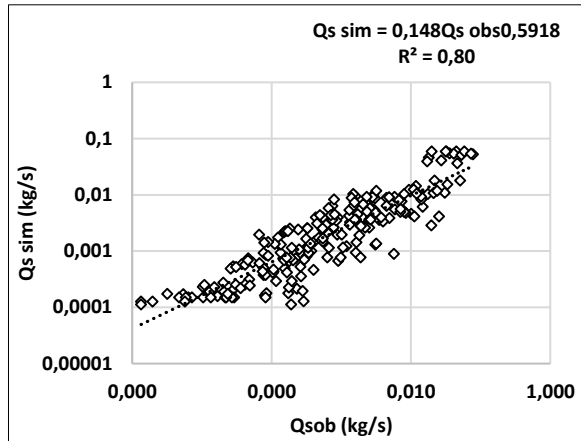


Figure (V.69): Q_s simulé en fonction de Q_s observé Bassin Côtiers Constantinois (ANFIS).

Tableau (V.9) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Côtiers Constantinois (1^{er} vecteur)

Model	Type	Architecture	Algorithme	Iteration	R	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	linéaire	Feed-Forward Network FFN 1-6-1 Tansig -Purelin	Levenberg-Marquardt LM	1000	0,61	0,65	0,0052	2,96* e ⁻⁰⁵	0,003
ANFIS	puissance	MFs type Input : gaussmf Output:constant MFs Number 3	Hybride	100	0,89	0,67	0,0034	1,849 2e ⁻⁰⁴	0,003

Une bonne corrélation entre les débits solides simulés et ceux observés a été démontrée pour le modèle RNA avec une architecture (1-6-1) de type Flux vers l’avant FFN (Feed-Forward Network), avec une fonction d’entrée : tangente hyperbolique « Tansig » et fonction

de sortie linéaire « Purelin », et un algorithme d'apprentissage Levenberg-Marquardt LM, dont l'erreur RMSE a diminué jusqu'à $2,94e^{-05}$ à l'époque 4 (Fig. 68) durant la phase de validation pour les trois courbes : apprentissage, validation et test (Tamrabet. Z et al. 2022).

La figure (V.69) montre une excellente modélisation par ANFIS (MFS : 3) de type puissance, avec un algorithme d'apprentissage hybride, avec une fonction d'appartenance MF (membership functions) gaussienne (gaussmf): un nombre MF = 3 pour les entrées, et une fonction constante pour la sortie, fournissant un coefficient de Corrélation $R=0,89$.

Les coefficients de Nash sont légèrement différents entre les deux modèles (NSE RNA=0,65, NSE ANFIS=0,67). Les valeurs des erreurs calculées pour les deux modèles confirment la robustesse du modèle ANFIS par rapport à celui RNA : $RMSE\ RNA=RMSE\ ANFIS=0,003\text{ kg/s}$, $MAE\ ANFIS=0,0034\text{ kg/s} < MAE\ RNA=0,0052\text{ kg/s}$ (Tamrabet. Z et al. 2022).. Lefkir et Bengherifa. 2018, ont trouvé que le modèle ANFIS (à apprentissage neuronal) optimisé avec un nombre de règles variant de 5 à 13 règles est plus robuste que le modèle empirique utilisant deux paramètres, pour la modélisation du transport solide des sédiments au droit du bassin versant de l'Isser situé au nord de l'Algérie.

V.6.2.2. Premier vecteur : bassin des Hauts Plateaux

Pour le bassin des Hauts Plateaux, un total de 2093 d'observations a été collecté à partir de deux stations hydrométriques : la station de Chemora et celle de Foug El Gueiss.

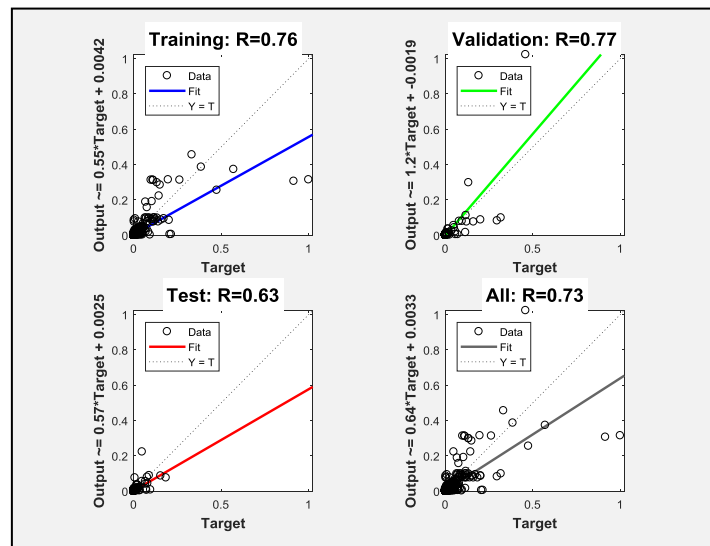


Figure (V. 70): Q_s simulé en fonction Q_s observé Bassin des Hauts Plateaux.

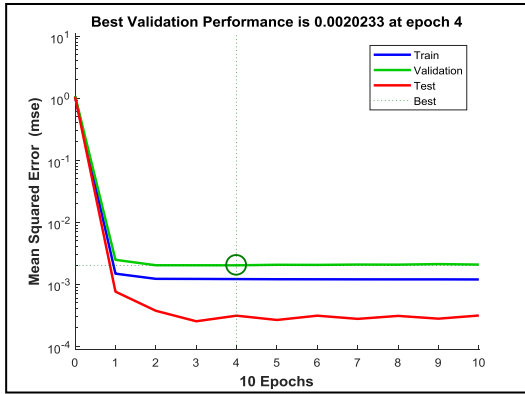


Figure (V.71) : Courbe de performance Bassin des Hauts Plateaux (RNA).

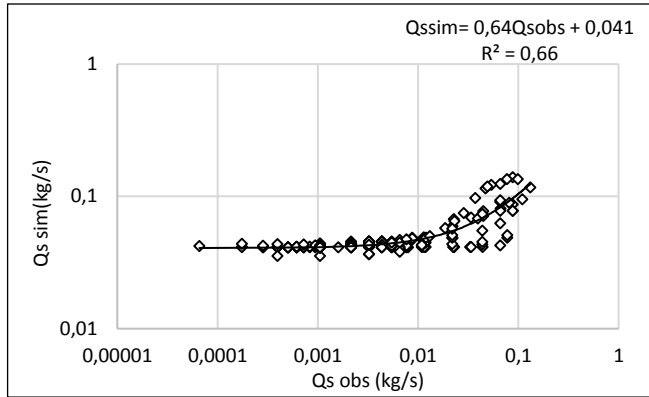


Figure (V.72): Q_s simulé en fonction Q_s observé Bassin des Hauts Plateaux (ANFIS).

Tableau (V.10) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin des Hauts Plateaux (1^{ier} vecteur).

Model	Type	Architecture	Algorithme	Iteration	R	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	linéaire	Feed-Forward Network FFN 1-17-1 Tansig -Purelin	Levenberg-Marquardt LM	1000	0,73	0,63	0,0055	0,002	0,003
ANFIS	linéaire	MFs type Input : gaussmf Output:constant MFs Number 21	Hybride	100	0,81	0,88	0,039	0,001	0,10

Les diagrammes de dispersion générés pendant la phase d'apprentissage montrent une très bonne à excellente corrélation pour les modèles RNA (1-17-1) et ANFIS (MFS :21) respectivement (Fig. 70), (Fig.71). Il est évidemment clair, à partir du tableau (V.10) que le modèle ANFIS est très puissant par rapport à celui RNA, où les deux critères de validation, Nash Efficiency et le coefficient de corrélation dépassent 80% : $R=0,81$ et $NSE=0,88$, ce dernier se détériore et diminue à 0,63 pour le modèle des réseaux de neurones (Tamrabet. Z et al. 2022). Les valeurs des erreurs sont relativement faibles pour les deux modèles elles ne dépassent pas une valeur max de 0,1 kg/s comme valeur maximale. Shu et Ouarda. 2008, ont proposé un modèle ANFIS pour obtenir des estimations régionales des quantiles de crues. L'approche proposée a été comparée à l'approche des RNA, à la régression non linéaire (RNL) et à la régression non linéaire avec régionalisation (RNL-R). Les résultats ont indiqué que le modèle ANFIS possède une bien meilleure capacité de généralisation que l'ensemble des autres approches.

Pramanik et Panda. 2009, ont comparé les performances des modèles RNA et de ANFIS pour l'estimation du flux journalier issu du barrage Hirakud situé dans la région aval du bassin de la Rivière Mahanadi en Inde. Le flux sortant du barrage est mieux estimé avec la technique ANFIS qu'avec les RNA.

V.6.2.3. Premier vecteur : bassin Kébir Rhumel

Les cinq stations hydrométriques contrôlant le bassin versant Kébir Rhumel : Tassadane, Athmania, Grarem, El Ancer, et El Milia, fournissent un total de 5 539 observations ont été utilisées pour la modélisation par RNA et ANFIS.

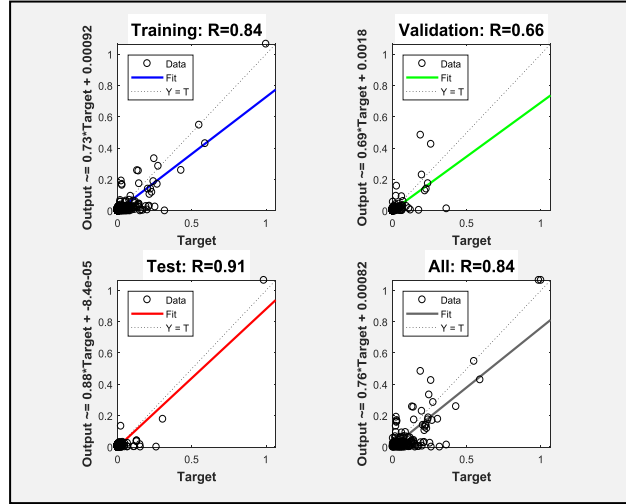


Figure (V. 73): Q_s simulé en fonction Q_s observé Bassin Kébir Rhumel .

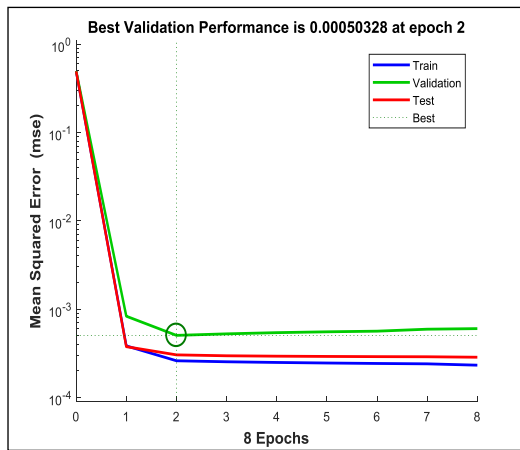


Figure (V. 74) : Courbe de performance Bassin Kébir Rhumel (RNA).

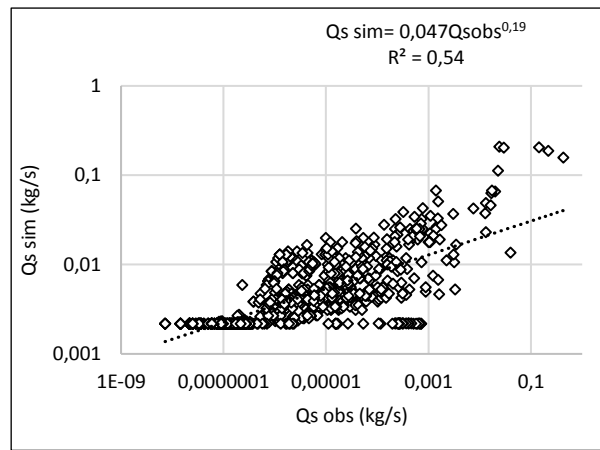


Figure (V. 75) : Q_s simulé en fonction Q_s observé Bassin Kébir Rhumel (ANFIS).

Tableau (V.11) : comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Kébir Rhumel (1^{ier} vecteur).

Model	Type	Architecture	Algorithm	Iteration	R	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	linéaire	Feed-Forward Network FFN 1-5-1 Tansig -Purelin	Levenberg-Marquardt LM	1000	0,84	0,57	0,001	0,0005	5,15*e-04
ANFIS	puissance	MFs type Input : gauss2mf Output:constant MFs Number 9	Hybride	100	0,73	0,77	0,007	0,00025	0,016

À partir du graphique (V.73), la performance du modèle crée RNA avec une architecture (1-5-1) est assez impressionnante, les valeurs observées des débits solides Q_s et celles prédites sont étroitement liées. Les trois courbes d'apprentissage, de validation et de test du modèle RNA convergent vers une erreur minimale MSE de l'ordre 0.0005 kg/s à la 2^{ème} époque seulement (Fig. 74). En dépit de la valeur élevée du coefficient de corrélation R donné par le modèle RNA ($R=0,84$) par rapport à celui fourni par le modèle ANFIS ($R=0,73$) (Fig.75), la valeur du coefficient de Nash reste un point décisif pour le choix du modèle le plus performant, ce dernier est plus strict que le coefficient de corrélation, ainsi , on peut conclure que le modèle ANFIS (MFS :9) de type puissance avec un coef de Nash $NSE=0,77$ est plus puissant que le RNA pour la prévision des débits solides au bassin Kébir Rhumel (Tamrabet. Z et al. 2022).

Dechemi et al. 2003, ont utilisé plusieurs modèles : le modèle Thornthwaite et Arnell et le modèle GR2M, les réseaux de neurones à apprentissage supervisé et le modèle neuro floue, pour la modélisation pluie-débit au pas de temps mensuel. Ils ont conclu que la logique floue semble être la meilleure méthode de modélisation et d'approximation de systèmes non-linéaires, avec un critère de Nash de l'ordre de 95,8 %. Lohani et al. 2007, ont utilisé la modélisation de la relation hauteur-débit-concentration en sédiments, à deux stations de jaugeage du bassin de Narmada en Inde, par la logique floue et RNA. Les deux modèles RNA et Neuro floue ont montré une performance très élevée. La comparaison des résultats a montré que le modèle Neuro floue surpasse légèrement celui RNA.

V.6.2.4. Premier vecteur : bassin Seybouse

La seule station de Medjez-Ammar contrôlant le bassin de la Seybouse compte un total de 5540 observations.

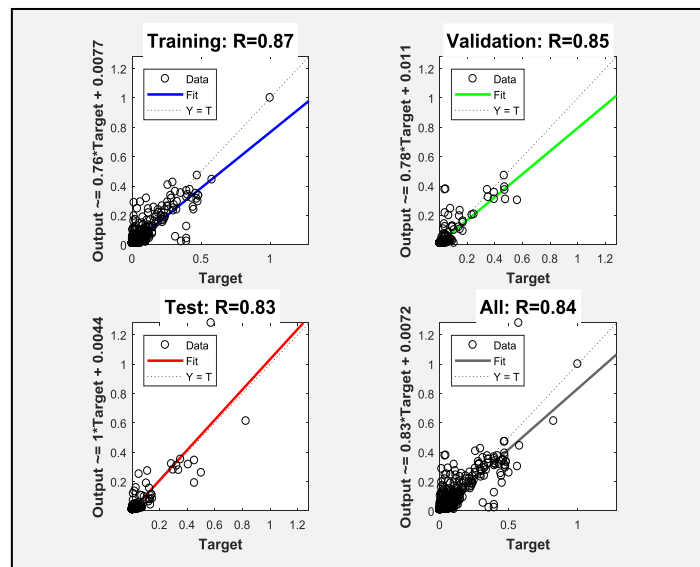


Figure (V. 76) : Q_s simulé en fonction Q_s observé Bassin Seybouse (RNA).

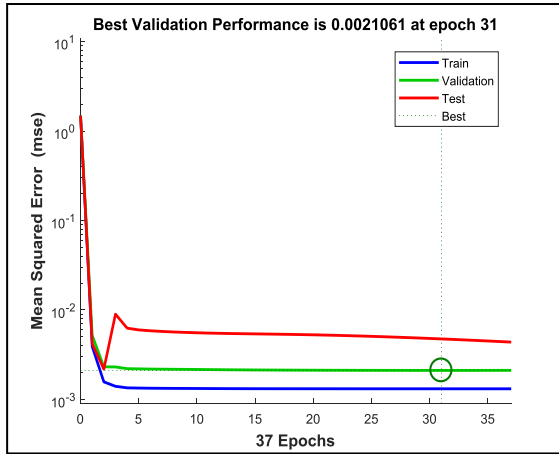


Figure (V. 77): Courbe de performance Bassin Seybouse.

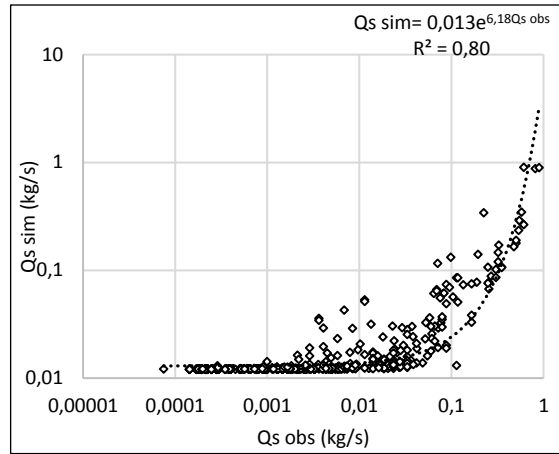


Figure (V. 78) : Qs simulé en fonction Qs observé Bassin Seybouse (ANFIS).

Tableau (V.12) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Seybouse (1^{ier} vecteur).

Model	Type	Architecture	Algorithme	Iteration	R	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	linéaire	Feed-Forward Network FFN 1-5-1 Tansig -Purelin	Levenberg-Marquardt LM	1000	0,84	0,73	0,019	0,0021	0,046
Anfis	Exponentiel	MFs type Input : gaussmf Output:constant MFs Number 3	Hybride	100	0,80	0,66	0,023	0,002	0,045

Il y avait une très forte concordance entre les débits solides observés et ceux simulés pour les modèles RNA (1-5-1) et ceux ANFIS (MFS :3) fournissant des coefficients de corrélation de l'ordre de 0,84 et 0,80 respectivement (Figure V. 76, V.78). Les meilleurs résultats pour le modèle RNA ont été obtenus après 31 itérations (Bootstrap), pour une erreur MSE de l'ordre de 0.0021 (Figure : V.77). Le coefficient de Nash-Sutcliffe est plus significatif pour le modèle RNA (NSE=0,73) que pour celui ANFIS (NSE=0,66). La robustesse du modèle RNA par rapport à celui ANFIS de type exponentiel est plus confirmée par les valeurs des erreurs : MAE RNA =0,019 kg/s <MAE ANFIS=0,023 kg/s (Tableau V.12).

Lahmiri. 2014, a montré que le modèle RNA performe mieux que celui SVM lors de la modélisation et la prédiction des séries temporelles boursières (des séries temporelles bruitées ou incomplètes). Dawson et al. 2006 ont montré que les résultats obtenus avec les RNA sont comparables en précision à ceux obtenus par le « Flood Estimation Handbook » (FEH) (Reed et Robson. 1999).

V.6.2.5. Premier vecteur : bassin Soummam

Les stations Farnatou et Magroua, contrôlant le bassin de Soummam, ont fourni 1582 couples d'observations, qui ont été utilisées pour la modélisation par RNA et ANFIS.

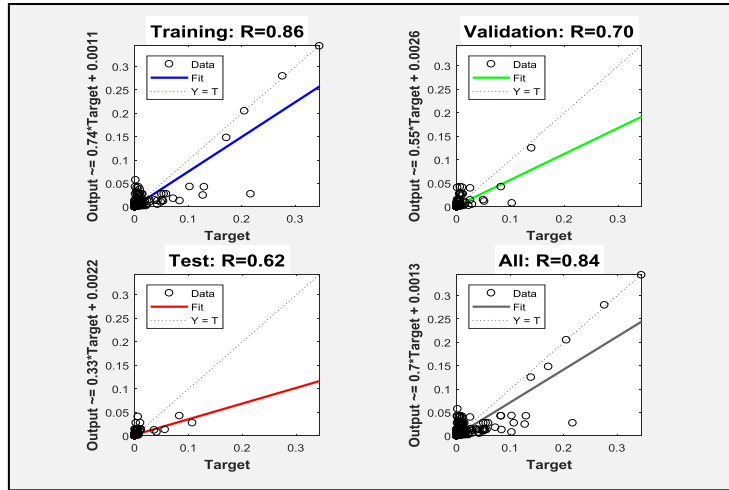


Figure (V. 79): Q_s simulé en fonction Q_s observé bassin Soummam (RNA).

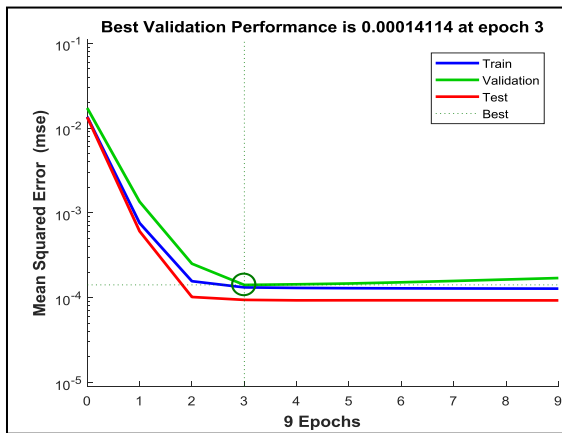


Figure (V. 80) : Courbe de performance Bassin Soummam (RNA).

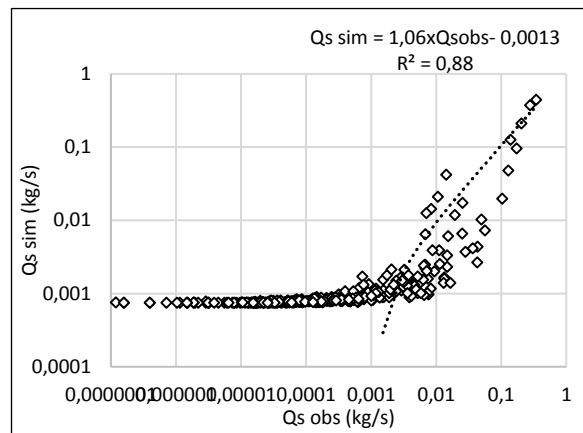


Figure (V. 81): Q_s simulé en fonction Q_s observé. Bassin Soummam (ANFIS).

Tableau (V.13) : Comparaison des résultats RNA et ANFIS bassin Soummam (1^{ier} vecteur).

	Model	Type	Architecture	Algorithme	Iteration	R	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	$Q_s = 0,70 * Target + 0,0013$	linéaire	Feed-Forward Network FFN 1-15-1 Tansig -Purelin	Levenberg-Marquardt LM	1000	0,84	0,66	0,0152	0,0014	0,0051
ANFIS	$Q_s \text{ sim} = 1,06 * Q_{s\text{obs}} - 0,001$	linéaire	MFs type Input: gauss2mf Output: constant MFs Number 3	Hybride	100	0,88	0,84	0,0018	0,0008	0,026

Une simple comparaison des diagrammes de dispersions pour les deux modèles créés RNA (1-15-1) de type Flux vers l'avant FFN (Feed-Forward Network), avec une fonction d'entrée : tangente hyperbolique « Tansig » et fonction de sortie linéaire « Purelin », et un algorithme d'apprentissage Levenberg-Marquardt LM, et du modèle ANFIS (MFS 3), (Fig. 79 et Fig.81), nous a permis de constater une excellente performance pour les deux modèles fournissant des coefficients de corrélation de l'ordre de: 0,84 et 0,88 respectivement. Les coefficients de Nash démontré par le tableau (V.13) viennent préciser le modèle le plus

puissant pour la modélisation des débits solides au droit du bassin Soummam : $NSE_{ANFIS}=0,84 > NSE_{RNA}=0,66$. Des excellentes erreurs ont été montrées pour des valeurs qui ne dépassent pas 0.026 kg/s comme valeur maximale. Mirbagheri et al. 2010 ont utilisé quatre modèles : les réseaux de neurones artificiels (RNA), le modèle neuro-flou (NF), une combinaison d'analyse par ondelettes et de modèle neuro-flou (ONF), et la méthode conventionnelle de l'abaque sédimentaire (AS), pour la prévision des concentrations en matières en suspension CSS. Les résultats montrent que le modèle NF a une meilleure performance que les modèles RNA et AS.

Une très bonne capacité de prédiction des modèles RNA de type FFN et d'un algorithme d'apprentissage Levenberg-Marquardt LM, pour un nombre de neurones qui ne dépasse pas 17 neurones. La performance des modèles créés a été confirmée par les valeurs du coefficient de corrélation R qui peuvent atteindre 0,84 pour les trois bassins versants : Soummam, Kébir Rhumel et Seybouse. Le coefficient NSE varie de 0,57 à 0,73 au bassin Seybouse. Les algorithmes LM convergent rapidement vers des valeurs de MSE minimales pour un nombre très réduit d'itérations. Le modèle RNA du bassin Seybouse est le plus performant parmi tous les modèles sélectionnés avec un $R=0,84$ et un coefficient de Nash NSE de l'ordre de 0,73 (Tamrabet. Z et al. 2022).

Les meilleurs modèles ANFIS sont de type puissance pour le bassin des Côtiers Constantinois et celui de Kébir Rhumel, linéaire pour le bassin de Soummam et des Hauts plateaux et exponentiel pour le bassin de Seybouse, dont le nombre des fonctions d'appartenance MF varie de 3 à 21 fonctions, la fonction des entrées est gaussienne (gaussmf ou gauss2mf), et celle des sorties est constante pour les cinq modèles sélectionnés. Les coefficients de corrélation variant de 0,73 au bassin Kébir Rhumel à 0,89 au bassin de Seybouse. De très bonnes valeurs de coefficient de Nash ont été fournies par les cinq modèles ANFIS avec des valeurs allant de 0,66 au bassin Seybouse à 0,84 au Soummam.

Les valeurs des erreurs représentant l'écart entre les débits solides observés et ceux simulés sont jugées très acceptables, les erreurs moyennes absolues MAE varie de 0,001 g/l à 0,019 g/l pour les modèles RNA et de 0,0018g/l à 0,039g/l pour les modèles ANFIS. Tandis que la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne RMSE est variée de $5,15 \cdot 10^{-4}$ g/l à 0,046 g/l pour les modèles RNA et de 0,003 g/l à 0,10 g/l pour les modèles ANFIS. Le modèle ANFIS a prouvé sa robustesse pour la prédiction des débits solides pour quatre bassins : Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux, le Kébir Rhumel et le Soummam, par rapport au modèle RNA qui a été le plus performant pour un seul bassin qui est celui de Seybouse.

V.6.3 . Résultats de modélisation : Deuxième vecteur à deux entrées Ql et Qs et une sortie CSS extrêmes

Le deuxième vecteur contient : les débits liquides "Ql" et ceux solides "Qs" ensemble comme entrée "input", et les concentrations des sédiments en suspension "CSS" extrêmes comme sortie "output", pour chaque bassin.

V.6.3.1. Deuxième vecteur : bassin des Côtiers Constantinois

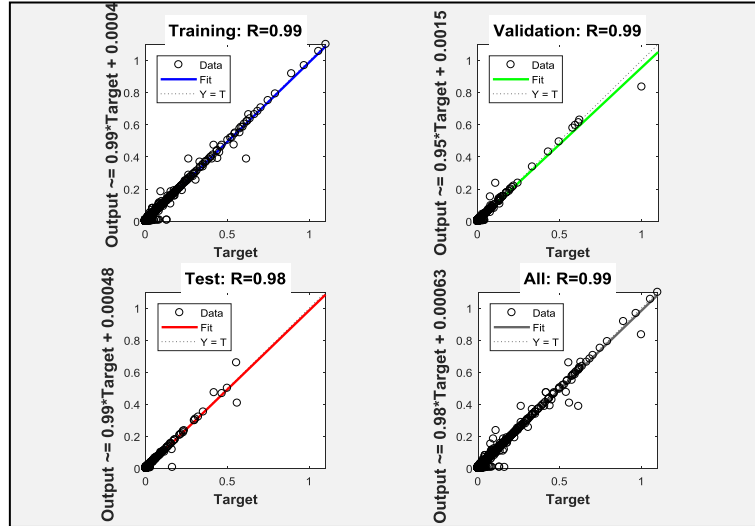


Figure (V. 82): CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin des Côtiers Constantinois (RNA) .

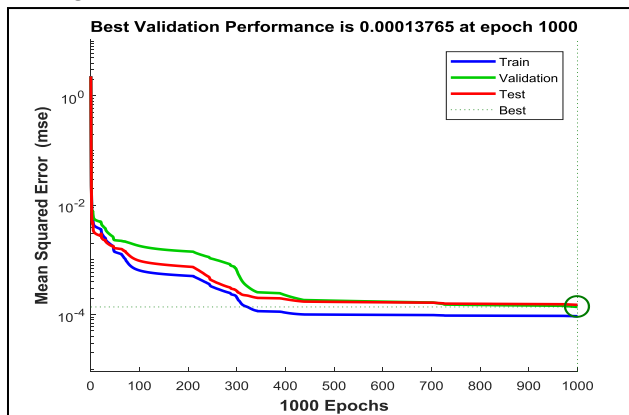


Figure (V. 83) : Courbe de performance Bassin des Côtiers Constantinois.

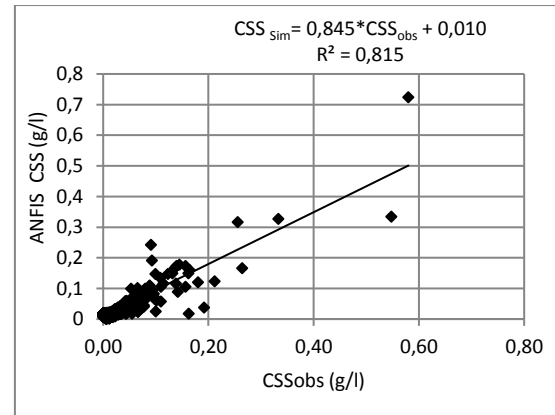


Figure (V. 84): CSS simulés en fonction des CSS observés Bassin des Côtiers Constantinois (ANFIS).

Tableau (V.14) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin des Côtiers Constantinois (2ème vecteur) .

	Model	Architecture	Algorithme	Iteration	R ²	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	SSCsim=0,98*SSCobs+0,00063	Feed-Forward Network FFN 2-23-1 Tansig -Purelin	Levenberg-Marquardt algorithm.	1000	0,98	0,97	0,004	5.57e ⁻⁰⁵	0,007
ANFIS	SSCsim=0,84*SSCobs+0,01	MFs type Input: gaussmf Output:constant MFs Number 2-3	Hybrid Learning	100	0,81	0,80	0,0149	5.36e ⁻⁰⁴	0,049

Les courbes d'apprentissage, de validation et de test pour le modèle RNA montrent une bonne performance, avec une erreur mse de l'ordre de 0,00013 à l'époque 1000 (Fig. 83).

Le tableau (V.14) illustre l'évaluation de la performance des deux modèles créés RNA et ANFIS par cinq critères de validation : R^2 , NSE, MAE, MSE, et RMSE, avec différentes architectures (nombre de neurones pour RNA et nombre de MF pour ANFIS) pendant la phase d'apprentissage. Une forte concordance entre les concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes observées et celles simulées montrées par les diagrammes de dispersion (Fig.82, 84), permettant une bonne comparaison visuelle entre les valeurs observées et celles prédites. Dont la performance des modèles ne peut être obtenue que d'une manière qualitative. En outre, ces diagrammes peuvent être simplement modifiés (Tamrabet. Z et al. 2022).

À partir du tableau (V.14), le modèle RNA (2-23-1) entraîné par un algorithme Levenberg-Marquardt LM, présente les meilleures valeurs pour les critères de validation, un excellent coefficient de détermination $R^2=0,98$ et un très bon coefficient de Nash-Sutcliffe $NSE=0,97$, par rapport au modèle ANFIS ANFIS (2-3) entraîné par un algorithme hybride fournissant de très bonnes valeurs : $R^2=0,81$ et $NSE=0,80$. Les erreurs qui représentent la différence (la variance) entre les CSS extrêmes observées et celles prédites par les deux modèles RNA et ANFIS viennent confirmer la robustesse du modèle RNA : $MAE_{RNA} = 0,004$ g/l < $MAE_{ANFIS} = 0,0149$ g/l, $MSE_{RNA} = 5,57e^{-05}$ g/l < $MSE_{ANIFS} = 5,36e^{-04}$ g/l, et $RMSE_{RNA} = 0,007$ g/l < $RMSE_{ANFIS} = 0,049$ g/l (tableau V.14). L'évaluation générale de la performance des deux modèles montre que celui de RNA semble plus performant que le modèle comparable ANFIS pour la prédiction des CSS dans le bassin des Côtiers de Constantinois. Idrees et al. 2021, ont appliqué plusieurs modèles artificiels pour la prédiction de la charge des sédiments en suspension SSL journalière au déversoir (Weir) de Sangju, en Corée du Sud. Le modèle RNA est plus performant que celui ANFIS, avec $R^2 = 0,82$, $MAE = 4,244$ tonnes/jour, $NSE = 0,99$, $RMSE = 11,692$ tonnes/jour (Tamrabet. Z et al. 2022).

V.6.3.2. Deuxième vecteur : bassin des Hauts plateaux

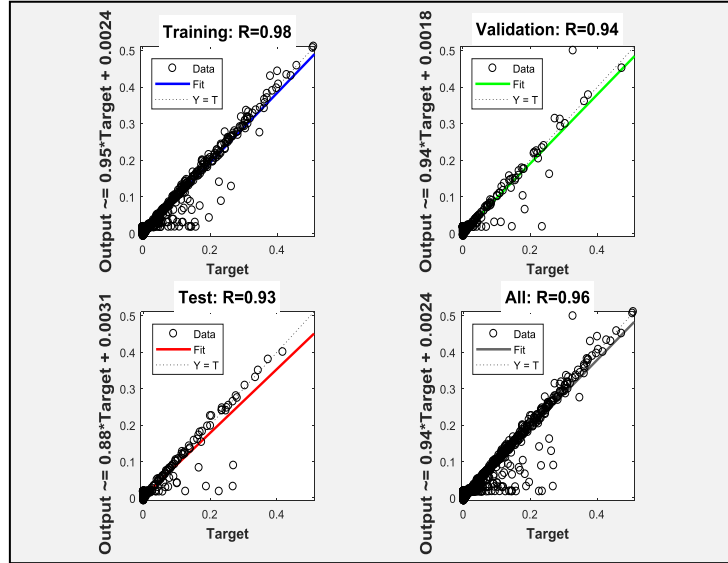


Figure (V. 85) : CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin des Hauts plateaux (RNA).

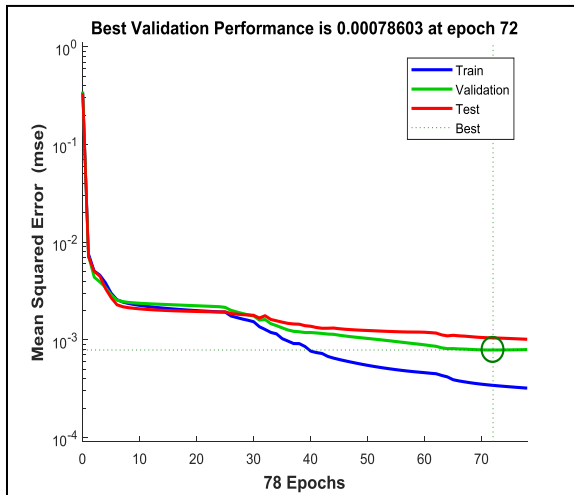


Figure (V. 86) : Courbes de performance Bassin des Hauts plateaux (RNA) .

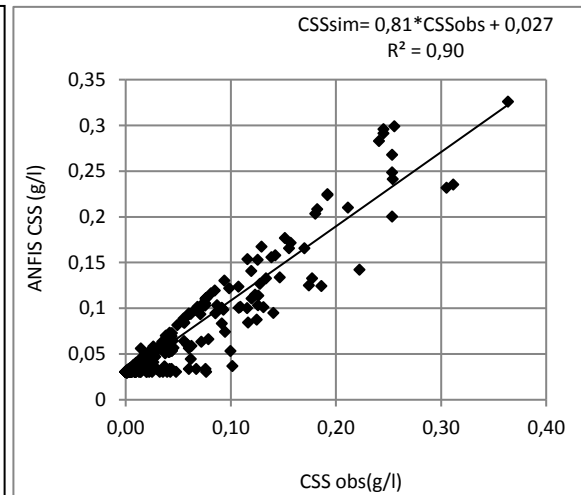


Figure (V. 87): CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin des Hauts plateaux (ANFIS).

Tableau (V.15) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin des Hauts Plateaux (2ème vecteur) .

	Model	Architecture	Algorithme	Iteration	R ²	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	SSCsim=0,94*SSCobs+0,0024	Feed-Forward network FFN 2-17-1 Tansig – Purelin	Levenberg- Marquardt algorithm.	72	0,92	0,88	0,0185	0,0024	0,048
ANFIS	SSCsim=0,81*SSCobs+0,0027	MFs type Input : gaussmf Output:constant MFs Number 3 2	Hybrid Learning	100	0,90	0,75	0,0283	0,0011	0,059

Une excellente corrélation a été montrée entre les CSS extrêmes observées entre celles prédites sur la courbe de performance avec une valeur $MSE = 0,00078$ pour 72 itérations durant la phase d'apprentissage pour le modèle RNA (Fig. 86).

À partir des diagrammes de dispersion des CSS extrêmes journalières (Fig.85 et Fig.87), et du tableau (V.15) qui fournit les critères de performances mesurées pour la phase d'apprentissage pour le bassin des Hauts plateaux, on peut constater que le modèle RNA (2-17-1) à Levenberg-Marquardt algorithm a surpassé le modèle ANFIS (MFS : 3-2) à hybride algorithm, par une très bonne valeur de coef de Nash $Nse_{ANFIS} = 0,88$, celle-ci se diminue à 0,75 pour le modèle ANFIS. Des excellentes valeurs pour les deux coefficients détermination qui sont légèrement différents entre les deux modèles : $R^2_{RNA} = 0,92$, $R^2_{ANFIS} = 0,90$.

Pour le modèle RNA les valeurs des erreurs sont de l'ordre : $MAE = 0,0185$, $MSE = 0,0024$, $RMSE = 0,048$. Cependant, le modèle ANFIS a révélé les erreurs suivantes : $MAE = 0,028$, $MSE = 0,0011$, $RMSE = 0,059$, qui sont jugées très acceptables (Tableau V.15). On remarque que l'erreur $RMSE_{ANFIS} < RMSE_{RNA}$, et $MAE_{RNA} < MAE_{ANFIS}$, la valeur de l'erreur MAE est décisive pour la sélection du meilleur modèle (Tamrabet. Z et al. 2022).. L'erreur RMSE a tendance à donner plus de poids aux valeurs élevées qu'aux valeurs faibles, car les erreurs dans les valeurs élevées sont généralement plus importantes en valeur absolue que les erreurs dans les valeurs faibles (Gan et al. 2009). L'erreur moyenne absolue MAE est plus robuste aux données comportant des valeurs aberrantes.

Lafdani et al. 2013, ont utilisé les modèles nu-SVR et RNA afin de prédire la charge sédimentaire SSL. La fiabilité des modèles a été évaluée par des critères de performance tels que l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur moyenne absolue (MAE) et le coefficient de corrélation (R^2). Les résultats obtenus montrent que les modèles RNA ont de meilleures performances que ceux SVR.

V.6.3.3. Deuxième vecteur : bassin Kebir-Rhumel

Les courbes d'apprentissage, de validation et de test pour le modèle RNA montrent toutes une bonne performance, avec une erreur mse d'environ 0,00049 à l'époque 19 (Fig. 89). Les diagrammes de dispersion générés pendant la phase d'apprentissage montrent une excellente concordance des valeurs de CSS extrêmes observées et prédites pour les modèles RNA et ANFIS (Fig. 88, 90), comme il est confirmé par les coefficients de détermination et les coefficients de Nash-Sutcliffe significatifs tels que $R^2 = 0,88$, $NSE = 0,75$ pour le modèle ANFIS et $R^2 = 0,77$, $NSE = 0,67$ pour le modèle RNA.

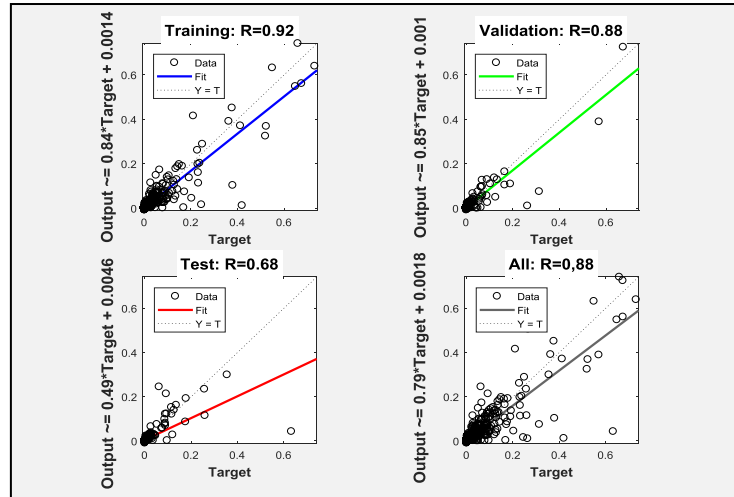


Figure (V.88): CSS simulées en fonction des CSS observées bassin Kebir-Rhumel (RNA).

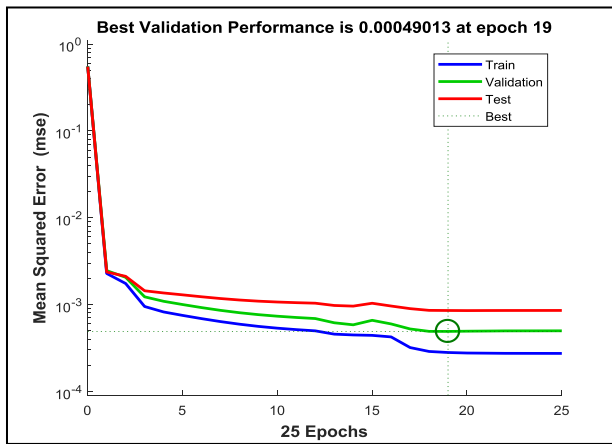


Figure (V.89): Courbes de performance bassin Kebir-Rhumel (RNA).

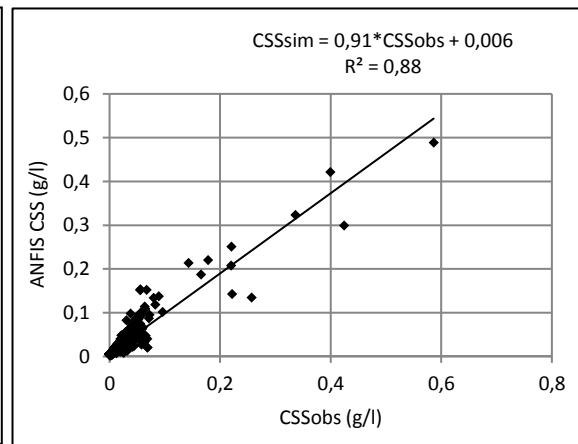


Figure (V.90): CSS simulées en fonction des CSS observés bassin Kebir-Rhumel (ANFIS).

Tableau (V.16) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS -bassin Kebir-Rhumel- (2ème vecteur).

model	Architecture	Algorithme	Iteration	R ²	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	SSCsim=0,79*SSCobs+0,0018 Feed-Forward network FFN Tansig – Purelin 2-3-1	Levenberg-Marquardt algorithm.	19	0.77	0.67	0.0043	5.78e ⁻⁰⁴	0,024
ANFIS	SSCsim=0,91*SSCobs+0,006 MFs type Input : gaussmf Output:constant MFs Number 2-3	Hybrid Learning	100	0.88	0.75	0.0085	4.26e ⁻⁰⁴	0,020

Suite à la comparaison des critères de validation pour les deux modèles étudiés, On opte pour le modèle ANFIS entraîné par l’algorithme hybride pour la combinaison (2-3), représentant la meilleure performance pour la prédiction des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes journalières dans le bassin de Kébir-Rhumel.

Les résultats obtenus pour cette dernière prédiction ont montré une valeur d'erreur moyenne absolue de l'ordre de 0,0085 g/l, une erreur quadratique moyenne de 0,020 g/l, ces valeurs d'erreurs sont très excellentes (Tableau V.16), les CSS extrêmes observées étaient très

similaires à celles simulées par le modèle ANFIS (Fig. 90). En dépit du choix du modèle ANFIS comme le plus performant, on remarque que l'erreur MAE ANFIS=0,0085 g/l est plus grande que l'erreur MAE RNA=0,0043 g/l. La comparaison des deux critères de validation : le coefficient de détermination R^2 et les valeurs d'efficacité de Nash Sutcliffe NSE, a été décisive pour la sélection du meilleur modèle dans ce cas (Tamrabet. Z et al. 2022).

Nourani. 2021, a montré que le modèle ANFIS fournit une efficacité plus élevée que les autres modèles d'intelligence artificielle développés : machine à vecteur de support (SVM), système d'inférence neurofuzzy adaptatif (ANFIS), réseau neuronal feed-forward (FFNN), et un modèle conventionnel de régression multilinéaire (MLR), pour la modélisation de la charge des sédiments en suspension.

V.6.3.4. Deuxième vecteur : bassin Seybouse

Les meilleurs résultats ont été obtenus après 169 ème époque (Bootstrap), avec une erreur MSE de l'ordre de 0.00036 pour la modélisation par RNA (Fig. 92).

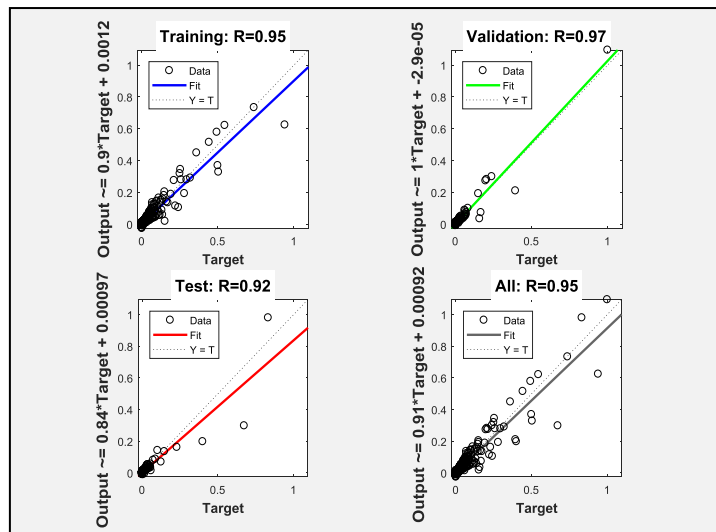


Figure (V.91): CSS simulées en fonction des CSS observées bassin Seybouse (RNA).

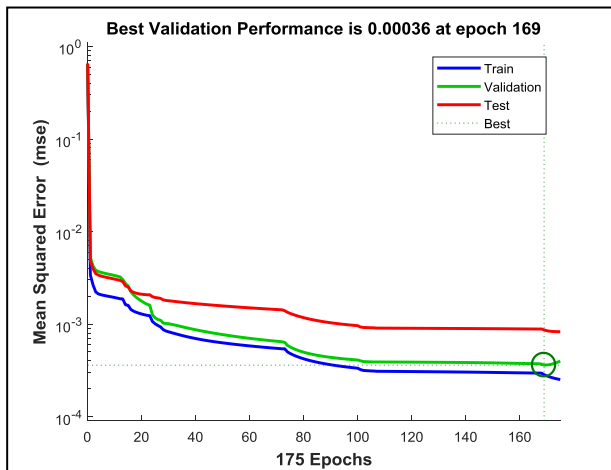


Figure (V.92): Courbes de performance Bassin Seybouse(RNA)

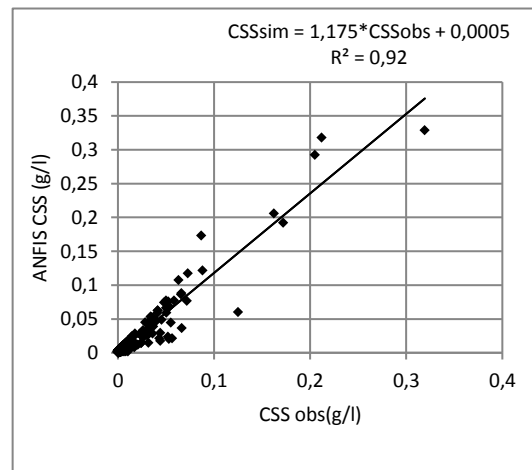


Figure (V.93): CSS simulées en fonction des CSS observées (ANFIS) bassin Seybouse.

Tableau (V.17) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin Seybouse (2ème vecteur).

	models	Architecture	Algorithme	Iteration	R ²	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	SSC _{sim} =0,91*SSC _{Obs} +0,0009	Feed-Forward network FFN Tansig – Purelin 2-3-1	Levenberg-Marquardt LM.	169	0.90	0.83	0.0050	8.70e ⁻⁰⁵	0.0093
ANFIS	SSC _{sim} =1,175*SSC _{Obs} +0,0005	MFs type Input : gaussmf Output:constant MFs Number 2-3	Hybride	100	0.92	0.73	0.0058	5.32e ⁻⁰⁴	0.0169

En comparant les critères de validation des deux modèles créés (tableau. V.17), on peut constater que le modèle RNA avec une architecture de (2-3-1) entraîné par l’algorithme LM avait la valeur la plus élevée du coefficient NSE =0,83 et l’erreur MAE la plus faible. Les valeurs du coefficient de détermination R² obtenues pour les deux modèles, RNA et ANFIS sont légèrement différents R² RNA=0.90 et R² ANFIS=0.92 (Fig.91, Fig 93). La distinction était aussi claire pour la valeur NSE, ce qui implique que le modèle RNA est plus performant que celui ANFIS pour la prédiction des CSS extrêmes au droit du bassin Seybouse (Tamrabet. Z et al. 2022). Le coefficient de Nash-Sutcliffe est sensible aux valeurs extrêmes. Pour notre cas d’étude, la prévision des CSS extrêmes est surestimée pendant les inondations et sous-estimée pendant les conditions de faible débit (les étiages). Les deux modèles sélectionnés convergent bien vers des erreurs minimales, qui mesurent les écarts entre les CSS extrêmes observées et celles simulées, montrant les valeurs les plus faibles obtenues au cours de la phase d’apprentissage. MAE RNA < MAE ANFIS, RMSE RNA < RMSE ANFIS (Tableau V. 17). Afan et al. 2017, ont. Les modèles RNA, ont montré une grande performance y compris l’exactitude et la simplicité, avec des critères de validation de l’ordre de : R = 0,91, MAE = 20,17 (tonnes/an), RMSE = 33,09 (tonnes/an) pour la prédiction de la charge de sédiments en suspension journalières.

V.6.3.5. Deuxième vecteur : bassin Soummam

Les résultats de modélisation par RNA et ANFIS ont montré une performance très élevée dans les diagrammes de dispersion (Fig. 94 et 96). L’algorithme "Levenberg-Marquardt" converge vers une mse inférieure = 0,0014 g/l pour la meilleure performance de validation, avec un nombre minimum d’itérations (43/Bootstrap) (Fig. 95).

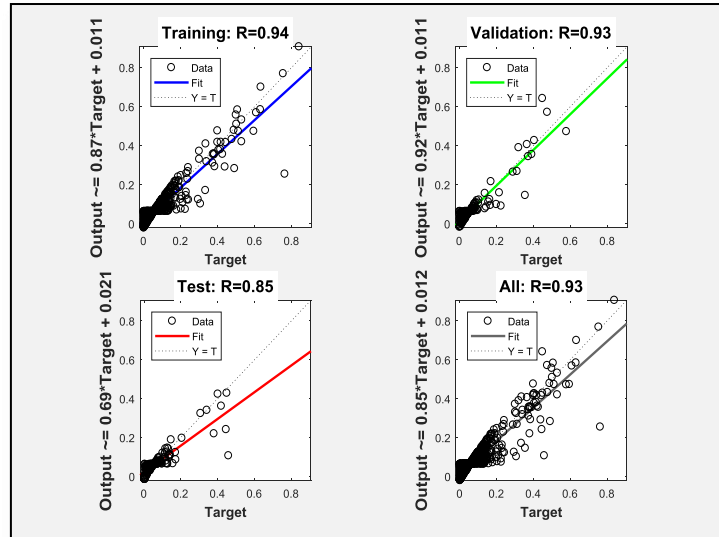


Figure (V. 94) : CSS simulées en fonction des CSS observées Bassin Soummam (RNA).

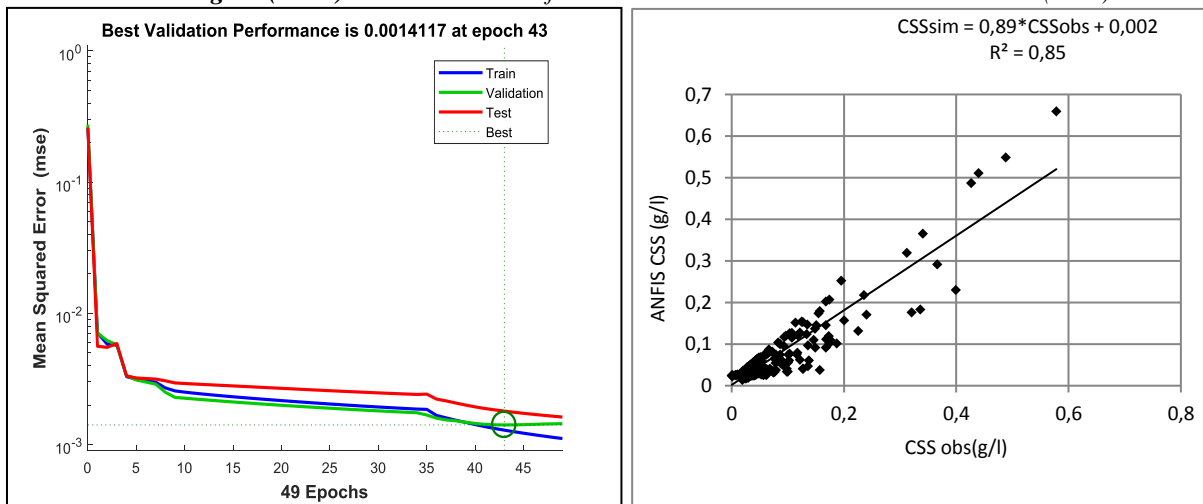


Figure (V. 95) : Courbes de performance bassin Soummam(RNA)

Figure (V.96): CSS simulées en fonction des CSS Observées bassin Soummam (ANFIS).

À partir des statistiques numériques mesurant la performance des deux modèles étudiés (tableau V.18), il est très évident que la modélisation proposée par Neuro flou (3-3) et du modèle réseau neuronal (2-13-1) permet d'estimer avec succès le CSS extrêmes journalières en utilisant les valeurs antérieures : Q1, Qs et CSS extrêmes pour le bassin de Soummam.

D'après le tableau (V.18) et des figures (94, 96), on constate qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux modèles créés RNA et ANFIS concernant les valeurs des coefficients R^2 et NSE : R^2 RNA = 0,87, R^2 ANFIS = 0,85, NSE ANN = 0,82, NSE ANFIS = 0,84, alors que le coefficient de Nash NSE est plus strict que le R^2 , le modèle ANFIS semblait un peu plus adéquat pour la prédiction des CSS journalières au droit de bassin de Soummam. Ce choix a été confirmé par les valeurs des erreurs les plus faibles : MAE = 0,021 g/l, MSE = 0,0011 g/l, RMSE = 0,031 g/l. Rezaei et Vadiati. 2020, ont comparé diverses méthodes : Logique Floue (LF), deux Systèmes d'Inférence Adaptative Neuro Floue (ANFIS-GP et

ANFIS-FCM), un réseau de neuronne artificiel (RNA) et une machine de support vectoriel des moindres carrés (LSSVM), afin de prédire la charge sédimentaire SSL à la station de jaugeage de Seyra sur la rivière Karaj en Iran. Les résultats ont montré que les modèles ANFIS ont surpassé l’RNA. Dans l’ensemble, les performances des modèles d’intelligence artificielle utilisés étaient satisfaisantes pour prédire le comportement non linéaire de la charge sédimentaire en suspension SSL.

Tableau (V.18) : Comparaison des modèles RNA et ANFIS pour le bassin Soummam (2ème vecteur).

	Models	Architecture	Algorithme	Iteration	R ²	NSE	MAE	MSE	RMSE
RNA	$SSC_{sim}=0,85*SSC_{obs}+0,012$	Feed-forward network FFN Tansig – Purelin 2-13-1	Levenberg-Marquardt LM	43	0,87	0,82	0,026	0,0047	0,068
ANFIS	$SSC_{sim}=0,89*SSC_{obs}+0,002$	MFs type Input : gauss2mf Output:constant MFs Number 3-3	Hybride	100	0,85	0,84	0,021	0,0011	0,031

La prédiction des CSS extrêmes journalières pour les cinq bassins étudiés montre d'excellents résultats avec une grande précision pour les modèles RNA et ANFIS. La performance des modèles sélectionnés a été évaluée pour chaque bassin en comparant la concordance des CSS extrêmes observées par rapport à celles simulées par les deux modèles artificiels, au moyen de diagrammes de dispersion et des courbes de performance (modèle RNA) pendant la phase d'apprentissage. Des corrélations positives témoignées par les coefficients de détermination R² allant de 0,77 à 0,98 pour le modèle RNA et de 0,81 à 0,92 pour le modèle ANFIS. Le coefficient d’efficacité de Nash–Sutcliffe NSE pour le modèle RNA allait de 0,67 à 0,97, et de 0,73 à 0,84 pour le modèle ANFIS (Tamrabet. Z et al. 2022).

Après avoir comparé les performances quantitatives des deux modèles sélectionnés RNA et ANFIS, il a été révélé que le niveau d’incertitude pour ces deux prédictions présentées par les valeurs d’erreurs est variable pour l’MAE de 0,004 g/l à 0,026 g/l pour le modèle RNA, et de 0,0058 g/l à 0,0283 g/l pour le modèle ANFIS. L’erreur RMSE varie de 5,57e⁻⁰⁵ g/l à 0,0047 g/l pour le modèle RNA et de 4,26e-04 g/l à 0,11 g/l pour le modèle ANFIS.

Le bassin Côtier de Constantinois (Architecture : 2-23-1) présente la meilleure performance par rapport aux autres modèles, atteignant ainsi les valeurs les plus élevées des critères de validation R² et NSE, 0,98 et 0,97, respectivement, pour la modélisation par les réseaux de neurones artificiels RNA. Le modèle le plus performant pour la modélisation par les

systèmes d'interférence Neuro Floue ANFIS, est celui du bassin de Seybouse avec une architecture (2-3), fournissant un coefficient de détermination R^2 de l'ordre de 0,92 et un coefficient de Nash-Sutcliffe de 0,73.

En comparant les performances de prédiction des CSS entre les deux modèles RNA-ANFIS, il a été révélé que les modèles RNA ont la meilleure précision pour trois bassins, soit le bassin des Côtiers Constantinois, le bassin des Hauts Plateaux et le bassin de Seybouse. Cependant, le modèle ANFIS a généré des résultats plus favorables que celui RNA pour deux bassins seulement qui sont le Kébir-Rhumel et le Soummam. Enfin, il est conclu que le modèle ANFIS est légèrement plus puissant que celui RNA pour la prédiction des CSS journalières dans la zone d'étude pour le 2^{-ème} vecteur d'entrée : Q1, Qs comme entrée et CSS comme sortie (Tamrabet. Z et al. 2022).

Conclusion

Ce travail a été effectué dans le but de régionaliser les débits solides Qs et les concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes journalières dans cinq grands bassins versants dans l'Est Algérien : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux Constantinois, le Kébir Rhumel, le Seybouse, et le Soummam, cette zone est considérée comme l'une des régions les plus sujettes à l'érosion en Algérie. Deux modes de modélisation ont été élaborés, la modélisation par régression et la modélisation par les deux paradigmes d'intelligence artificielle : les réseaux de neurones artificiels RNA et les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence ANFIS.

La modélisation par régression pour le premier vecteur d'entrée, a été très satisfaisante, pour les trois échelles temporelles : saison humide, saison sèche et totalité des données. De très bonnes valeurs des coefficients de détermination R^2 allant de 0,65 à 0,89. Le modèle puissance est le plus convaincant pour ces trois échelles temporelles. Une très bonne corrélation a été montrée pour le deuxième vecteur d'entrée avec des coefficients de détermination allant de 0,60 à 0,79. On constate la dominance de deux modèles, le modèle puissance et exponentiel.

Pour le deuxième mode, modélisation par RNA et ANFIS, le bon choix de l'architecture de réseau artificiel joue un rôle primordial pour l'obtention des modèles les plus performants, les meilleurs modèles RNA, sont des perceptrons multicouches PMC qui utilisent la méthode de rétropropagation de l'erreur de type FFN avec un l'algorithme de Levenberg-Marquardt "LM", qui assure une meilleure convergence vers un minimum d'erreur quadratique MSE pour un nombre minimum d'itérations. Le nombre de neurones est le paramètre le plus critique pour

le choix des RNA. L'augmentation de ce dernier au-delà de 30 peut générer un sur-apprentissage du réseau.

Les meilleurs modèles ANFIS ont été développés en appliquant un modèle du premier ordre Takagi Sugeno (TSK) avec un algorithme d'apprentissage hybride pour atteindre la tolérance à l'erreur RMSE d'une valeur de 0 à 0,005, pour des entrées multiples et une sortie unique (MISO). Le nombre et le type des fonctions d'appartenance MFS sont les paramètres les plus critiques pour le choix d'architecture des modèles ANFIS.

La conclusion la plus évidente qui peut être ressortie de cette étude, c'est que les deux modèles RNA et d'ANFIS ont été appliqué avec succès comme des outils puissants et souples permettant de pallier le manque des mesures des Qs et des CSS dans les sites non jaugés ou peu jaugés au droit des cinq bassins étudiés.

Conclusion générale et perspectives

Vu la gravité des phénomènes d'érosion hydrique et du transport solide et leur conséquence sur les terres fertiles ainsi que sur les ouvrages hydrauliques, dans les zones semi-arides notamment dans le Nord Algérien, une étude bien détaillée a été menée dans cinq grands bassins de l'Est Algérien : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux constantinois, le Kébir Rhumel, le Seybouse, et le Soummam, dans le but de régionaliser les débits solides Q_s et les concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes mesurées lors des crues, par deux modèles intelligences artificielles, les réseaux de neurones artificiels RNA et les systèmes adaptatif neuro flou d'inférence ANFIS.

La régionalisation est d'autant la méthode la plus utile pour l'estimation des extrêmes hydrologiques en cas de manque des données. Cette technique qui consiste à transférer l'information hydrologique d'un site jaugé vers un site non jaugé ou peu jaugé ayant un régime hydrologique similaire, nous a permis de bien pallier le manque des données des Q_s et des CSS dans la zone d'étude. Chaque bassin-versant est considéré comme une région hydrologiquement homogène en s'appuyant sur l'approche de la proximité géographique.

La zone d'étude est soumise à une forte érosion hydrique, aggravée par la dominance des surfaces incomplètement protégées ou nues, du labour illicite, du surpâturage et des longues périodes de sécheresse. Le lessivage (washout) est la forme d'érosion la plus dominante en Algérie, en particulier le long des Côtiers Constantinois. L'érosion par mouvements de masse se domine dans le bassin tellien du Kébir Rhumel, dont les taux d'abrasion peuvent atteindre $2480 \text{ t/km}^2/\text{an}$. Avec une perte moyenne de l'ordre de $11,18 \text{ t/ha/an}$, le sous-bassin de Bouhamdane est le plus érodable dans le bassin Seybouse, dont le cours d'eau transporte entre 70 et 86 % du tonnage sédimentaire annuel pendant la saison d'automne. Le Soummam subit ainsi une érosion hydrique intense à très intense par endroits notamment dans sa partie Nord-Est. Les techniques conventionnelles de la production de céréales sont mises en cause dans les phénomènes d'érosion hydrique et éolienne, dans le bassin des Hauts plateaux.

L'étude du régime pluviométrique dans la zone d'étude, nous a permis de constater une répartition inégale des régimes pluviométriques dans les cinq bassins étudiés. Cette inégalité a été témoignée par les quantités des précipitations enregistrées par un réseau pluviométrique constitué de vingt-deux stations. L'étude des variations inter-annuelles des précipitations a révélé que le bassin des Côtiers Constantinois est le plus arrosé avec des

pluviométries annuelles de l'ordre de 883,92 mm. La station d'El Milia est la plus arrosée dans le bassin Kébir Rhumel avec une moyenne de 870,22 mm. Les précipitations annuelles ne dépassent pas les 614,40 mm au bassin Seybouse et 540 mm au bassin Soummam. Les secteurs les moins arrosés dans la zone d'étude sont ceux des Hauts Plateaux.

Les bassins de l'Est Algérien sont alimentés par deux systèmes hydrologiques opposés : des oueds à écoulement exoréique, relativement abondant, dont l'écoulement est supporté par l'abondance des précipitations au Nord, dont le cours d'eau principal s'écoule à partir des zones semi-arides vers des zones subhumides et humides. Pour les oueds du système endoréique à manifestation modeste, les écoulements finissent par échouer dans les cuvettes lacustres. Les fortes fluctuations des écoulements constatées pour les stations hydrométriques reflètent l'irrégularité du régime pluviométrique dans la zone d'étude, où elles peuvent être expliquées par la survenance des averses intenses engendrant des crues violentes, caractérisant évidemment les bassins à influence climatique méditerranéenne et semi-aride. Cette variabilité spatio-temporelle du régime hydro-pluviométrique favorisant les écoulements superficiels dans la zone d'étude, et par conséquent fait accentuer les phénomènes d'érosion et de transports solides dans les cours d'eau à travers les cinq bassins étudiés.

L'analyse des chroniques des crues dans les cinq bassins-versants nous a permis de constater un total de 108 crues, dont 84 crues appartiennent à la saison humide, et 24 crues appartiennent à la saison sèche. Les crues de la saison humide sont très puissantes. Malgré les faibles apports liquides engendrés par des crues de la saison sèche, elles peuvent contribuer à l'exportation des quantités très importantes de charges solides. L'analyse des événements exceptionnels à travers la zone d'étude nous a permis de souligner leur rôle majeur dans l'exportation des volumes des charges solides.

L'insuffisance des données des débits solides Q_s et des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes, nous a amené à la régionalisation par modélisation. Deux méthodes ont été introduites : la régression simple et la modélisation par les systèmes d'intelligence artificielle : réseau de neurones artificiels RNA et système adaptatif neuro flou d'inférence ANFIS, pour 14 stations hydrométriques.

Trois échelles temporelles ont été étudiées pour la régression : saison humide, saison sèche, et totalité des données avec des coefficients de détermination R^2 variant entre : 0,60 et 0,89. Le modèle puissance est le plus convaincant pour le vecteur Q_l et Q_s . Pour le deuxième

vecteur d'entrée des données : QI-CSS, Une moyenne corrélation a été montrée avec des valeurs de R^2 allant de 0,59 à 0,79, comparée à une moyenne corrélation obtenue pour la saison sèche.

Les deux paradigmes d'intelligences artificielles : les réseaux de neurones artificiels RNA et les systèmes adaptatifs neuro-flou d'inférence ANFIS ont prouvé leur robustesse par rapport aux autres techniques tels que : la régression multiple, les courbes de tarage, les machines à vecteurs de support (SVM), la fonction de base radiale (RBF), la programmation génétique (GP), l'apprentissage profond (DL), la régression par Boots de gradient (GBT), la forêt aléatoire (RF), ... Pour la modélisation des événements hydrologiques, vu leur haut niveau de réflexion et de raisonnement, ainsi que l'importante capacité de capturer la non-linéarité de ces événements, notamment les variations des CSS extrêmes mesurées lors des crues.

Deux vecteurs d'entrée des données ont été proposés : QI débit liquide comme entrée, et Qs débit solide comme sortie. Pour le deuxième vecteur : 2 entrées QI et Qs et une seule sortie qui est les CSS extrêmes journalières. La performance des modèles sélectionnés a été évaluée par 6 critères de validation : le coefficient de détermination R^2 , le coefficient de corrélation R, le coefficient de Nash NSE, l'erreur quadratique moyenne MSE, l'erreur moyenne absolue MAE, et l'erreur MSE mesurant les différences entre les valeurs observées et celles simulées par les modèles RNA et ANFIS. Plusieurs modèles RNA et ANFIS ont été créés et comparés entre eux afin de choisir le modèle le plus adéquat pour chaque bassin-versant des cinq bassins étudiés. Le bon choix de l'architecture du modèle RNA et ANFIS joue un rôle décisif dans l'amélioration de la performance des modèles créés et pour atteindre les meilleures valeurs des critères de validation.

Les meilleurs modèles RNA, sont des perceptrons multicouches, organisés dans une structure de couches non-bouclées FFN: Flux vers l'avant (Feed-Forward), d'apprentissage supervisé, dont les entrées et les sorties sont définies au préalable. L'algorithme d'apprentissage choisi est Levenberg-Marquardt "LM" à rétropropagation de l'erreur, assurant la meilleure convergence vers un minimum d'erreur quadratique MSE. Le réseau est constitué de trois couches : une couche d'entrée, une couche de sortie, deux ou trois couches cachées dont on a choisi la fonction de transfert : « Tansig » : tangente hyperbolique pour la première couche, et la fonction de transfert linéaire « pure line » pour la deuxième couche.

L'ANFIS représente le principal type d'association entre réseaux de neurones et systèmes flous. La modélisation par ce système passe par trois étapes essentielles : la fuzzification des données qui la transformation des entrées numériques en parties floues, l'inférence floue comportant la base de règles et la base de données, et enfin la défuzzification des données qui est la conversion des parties floues relatives aux sorties du système en sorties numériques. Les modèles Takagi Sugeno TS permettent une décomposition automatique d'un système non linéaire dans un ensemble de régions linéaires (clusters) en plusieurs sous-problèmes plus simples (linéaires) par des techniques de clustering flou. Pour notre cas d'étude, nous avons choisi le modèle du premier ordre Takagi Sugeno (TS) avec un algorithme d'apprentissage hybride pour atteindre la tolérance à l'erreur RMSE d'une valeur de 0,005, pour des entrées multiples (Q1 pour le 1^{er} vecteur, Q1 et Qs pour le 2^{ème} vecteur) et une sortie unique (Qs pour le 1^{er} vecteur et CSS pour le 2^{ème} vecteur) (MISO). Le choix de type et de nombre des fonctions d'appartenance MFS (gaussienne pour les d'entrées et constante pour les sorties) constitue une étape très importante pour le modèle TS.

L'étude comparative faite entre les deux modèles RNA et ANFIS pour le premier vecteur d'entrée des données, a révélé que les deux modèles ont une très bonne capacité de prédiction des débits solides Qs pour les cinq bassins étudiés. Cependant, les modèles ANFIS ont été plus performants par rapport à ceux du RNA pour quatre bassins-versants. Les coefficients de corrélation R peuvent atteindre 0,84 pour les modèles RNA, pour un nombre de neurones qui ne dépasse pas 17 neurones. Le coefficient NSE varie de 0,57 à 0,73. Les algorithmes LM ont montré une rapidité dans la convergence vers des valeurs d'erreur minimales MSE pour un nombre très réduit d'itérations. Le nombre des fonctions d'appartenance MF varie de 3 à 21, pour les modèles ANFIS sélectionnés, les coefficients de corrélation varient de 0,73 à 0,89 et les NSE de 0,66 à 0,84.

Pour le deuxième vecteur d'entrée, dont les CSS sont les sorties, une grande précision a été montrée pour les deux modèles RNA et ANFIS pour l'ensemble des données. Les modèles RNA sont légèrement plus puissants que ceux de l'ANFIS. Les modèles RNA étaient beaucoup plus précis pour trois bassins. Alors que ceux de l'ANFIS étaient plus performants pour deux bassins. La haute performance a été témoignée par les coefficients de détermination R^2 allant de 0,77 à 0,98 pour le modèle RNA et de 0,81 à 0,92 pour le modèle ANFIS. Le coefficient d'efficacité de Nash–Sutcliffe NSE pour le modèle RNA allait de 0,67 à 0,97, et de 0,73 à 0,84 pour le modèle ANFIS. Le nombre de neurones pour le modèle RNA

varie de 3 à 23, alors que les MFS ne dépassent pas 3 fonctions tant que pour les entrées ou les sorties. Les valeurs des erreurs qui présentent l'écart entre les valeurs observées et ceux simulées par RNA et ANFIS de (Qs et CSS) montrent le niveau d'incertitude de la prédiction pour les deux modèles RNA et ANFIS. Les résultats sont jugés très acceptables à très bonnes pour les deux modèles.

Les modèles RNA et ANFIS constituent des outils très puissants et souples capables de capturer la non-linéarité des Qs et des CSS extrêmes. Les deux paradigmes ont été appliqués avec succès pour la prédiction des débits solides et des concentrations des sédiments en suspension CSS extrêmes au droit de cinq grands bassins versant de l'Est Algérien permettant ainsi la résolution du problème de manque des données dans les sites non jaugés ou peu jaugés et la régionalisation des Qs et CSS extrêmes sur toute la zone d'étude.

Selon les résultats obtenus dans cette étude, les recommandations suivantes sont à noter :

- Améliorer la performance des modèles RNA crée pour la prévision des débits solides et ceux des concentrations par des nouveau algorithmes métaheuristiques tels que : l'algorithmes génétiques GA, l'optimisation d'essaim de particules PSO, l'algorithme de luciole FFA,
- Appliquer d'autres méthodes de modélisations tels que la méthode SVM Support Vector Machine SVM , et comparer les résultats avec ceux obtenus par les modèles RNA et ANFIS, afin de déterminer les meilleurs modèles recommandés pour la prévision des concentrations des sédiments en suspension dans la zone d'étude ;
- Faire la modélisation pour d'autre bassin Algérien tels que : les bassins du centre , les bassins de l'Ouest , dans le but de régionaliser les concentrations des sédiments en suspension dans le Nord Algérien.

- Abda, Z., Chettih, M., & Zerouali, B. (2018). Efficiency of a neuro-fuzzy model based on the Hilbert-Huang transform for flood prediction. In *Conference of the Arabian Journal of Geosciences* (pp. 401-404). Springer, Cham.
- Abdeddaim, H. (2018). *Contribution à l'étude de l'influence de la structure du réseau hydrographique sur le risque hydrologique «Cas des bassins de l'Est de l'Algérie»* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- Achite, M., & Meddi, N. (2005). Contribution à l'étude des courbes IDF dans la région de Chlef. In *Proceeding de la conférence nationale sur l'eau et environnement (12–13 novembre)*. Biskra, Algérie.
- Achite, M., & Ouillon, S. (2007). Suspended sediment transport in a semiarid watershed, Wadi Abd, Algeria (1973–1995). *Journal of hydrology*, 343(3-4), 187-202.
- Admiraal, W., Van der Velde, G., Smit, H., & Cazemier, W. G. (1993). The rivers Rhine and Meuse in The Netherlands: present state and signs of ecological recovery. *Hydrobiologia*, 265(1), 97-128.
- Afan, H. A., Keshtegar, B., Mohtar, W. H. M. W., & El-Shafie, A. (2017). Harmonize input selection for sediment transport prediction. *Journal of Hydrology*, 552, 366-375.
- Aieb, A., Kadri, I., Lefsih, K., & Madani, K. (2022). Spatiotemporal trend analysis of runoff and actual evapotranspiration in Northern Algeria between 1901 and 2020. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(4), 5251-5267.
- Anctil, F., Perrin, C., & Andréassian, V. (2004). Impact of the length of observed records on the performance of ANN and of conceptual parsimonious rainfall-runoff forecasting models. *Environmental Modelling & Software*, 19(4), 357-368.
- Aoulmi, Y., Marouf, N., & Amireche, M. (2021). The assessment of artificial neural network rainfall-runoff models under different input meteorological parameters Case study: Seybouse basin, Northeast Algeria. *Journal of Water and Land Development*, (50).
- Aoulmi, Y., Marouf, N., Amireche, M., Kisi, O., Shubair, R. M., & Keshtegar, B. (2021). Highly accurate prediction model for daily runoff in semi-arid basin exploiting Metaheuristic learning algorithms. *IEEE Access*, 9, 92500-92515.
- Arar, A., & Chenchouni, H. (2014). A “simple” geomatics-based approach for assessing water erosion hazard at montane areas. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 1-12.
- Araujo, R., Arenas, F., Åberg, P., Sousa-Pinto, I., & Serrão, E. A. (2012). The role of disturbance in differential regulation of co-occurring brown algae species: Interactive effects of sediment deposition, abrasion and grazing on algae recruits. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 422, 1-8.
- Azamathulla, H. M., Ghani, A. A., & Fei, S. Y. (2012). ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer. *Applied Soft Computing*, 12(3), 1227-1230.
- Babuška, R. (1998). Fuzzy modeling. In *Fuzzy Modeling for Control* (pp. 9-48). Springer, Dordrecht.
- BALLA, F. (2019). *Modélisation des flux hydro-sédimentaires et cartographie des zones à risques d'érosion hydrique dans certains bassins versants des hauts plateaux constantinois* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- Belkhiri, L., & Mouni, L. (2014). Geochemical characterization of surface water and groundwater in Soummam Basin, Algeria. *Natural resources research*, 23(4), 393-407.
- Benhamiche, N. (1997). *Modélisation de la relation pluie-relief en vue de la cartographie par Krigeage: cas du bassin versant de la Soummam* (Doctoral dissertation, Thèse de magistère en Sciences agronomiques, hydrologie, 180 p. Institut national agronomique El-Harrach (Alger)).
- Benrabah, S., Kherici, H., & Bounab, S. (2006). Evaluation de l'indice d'altération organique des eaux souterraines de la Wilaya de Skikda [Evaluation of organic pollution rate in surface water in the wilaya of Skikda]. 1st International Geosciences Seminary. *Tebessa, Algeria*, 26-28.

- Benzécri, J. P. (1973). *L'analyse des données* (Vol. 2, p. 1). Paris: Dunod.
- Berolo, W., & Laborde, J. P. (2003). Statistiques des précipitations journalières extrêmes sur les Alpes-Maritimes. *Université Sophia Antipolis. Nice. Notice explicative de la carte au, 1(200), 000.*
- Bergaoui, M., Camus, H., & Nouvelot, J. F. (1998). Essai de modélisation du transport solide sur les microbassins versants de Tebaga (Tunisie centrale). *Science et changements planétaires/Sécheresse, 9(1), 51-57.*
- Bilby, R. E., & Bisson, P. A. (1992). Allochthonous versus autochthonous organic matter contributions to the trophic support of fish populations in clear-cut and old-growth forested streams. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 49(3), 540-551.*
- Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press.
- Boardman, J., & Poesen, J. (Eds.). (2007). *Soil erosion in Europe*. John Wiley & Sons.
- Bouanani, A., Terfous, A., Benslimane, M., & Cherif, Z. A. (1999, November). Resources and stocks of water of Algeria. In *The First International Conférence on the Geology of Africa. Nov* (pp. 23-25).
- Bourouba, M. (1997). Les variations de la turbidité et leurs relations avec les précipitations et les débits des oueds semi-arides de l'Algérie orientale. *Bull. ORSTOM, 17, 345-360.*
- Bourouba, M. (1998). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides de l'Oued Medjerda supérieur (Algérie orientale). *Bulletin du RESEAU EROSION, (18), 76-97.*
- Boutoutaou, D. (2011). note sur l'évaporation des plans d'eau (barrage, lac, cours d'eau, chott, sebkha, etc.) en Algérie.
- Bouzerzour, H. (1983). *Soil disturbance and residue management effects on soil temperature, soil water and winter wheat growth and yield* (No. CIMMYT.).
- Bukhari, A. H., Sulaiman, M., Islam, S., Shoaib, M., Kumam, P., & Raja, M. A. Z. (2020). Neuro-fuzzy modeling and prediction of summer precipitation with application to different meteorological stations. *Alexandria Engineering Journal, 59(1), 101-116.*
- Butt, T., & Russell, P. (2000). Hydrodynamics and cross-shore sediment transport in the swash-zone of natural beaches: a review. *Journal of coastal research, 255-268.*
- Chokmani, K., & Ouarda, T. B. (2004). Physiographical space-based kriging for regional flood frequency estimation at ungauged sites. *Water Resources Research, 40(12).*
- Choubin, B., Darabi, H., Rahmati, O., Sajedi-Hosseini, F., & Kløve, B. (2018). River suspended sediment modelling using the CART model: A comparative study of machine learning techniques. *Science of the Total Environment, 615, 272-281.*
- Cigizoglu, H. K., & Alp, M. (2004, June). Rainfall-runoff modelling using three neural network methods. In *International conference on artificial intelligence and soft computing* (pp. 166-171). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Coulibaly, P., Anctil, F., & Bobée, B. (1999). Prévision hydrologique par réseaux de neurones artificiels: état de l'art. *Canadian Journal of civil engineering, 26(3), 293-304.*
- Coulibaly, P., Anctil, F., & Bobée, B. (2000). Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. *Journal of Hydrology, 230(3-4), 244-257.*
- Dakiche, A., & Benaini, B. (2011). Etude statistique des apports liquides et optimisation d'un réseau pluviométrique par analyse multidimensionnelle: le cas du Bassin hydrographique de la Tafna. *Cahiers Géographiques de l'Ouest N.*
- Dalrymple, T. (1960). *Flood-frequency analyses, manual of hydrology: Part 3* (No. 1543-A). USGPO,
- Darabi, H., Mohamadi, S., Karimidasteneai, Z., Kisi, O., Ehteram, M., ELShafie, A., & Torabi Haghighi, A. (2021). Prediction of daily suspended sediment load (SSL) using new optimization algorithms and soft computing models. *Soft Computing, 25(11), 7609-7626.*

- Dawson, C. W., Abrahart, R. J., Shamseldin, A. Y., & Wilby, R. L. (2006). Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. *Journal of hydrology*, 319(1-4), 391-409.
- Dechemi, N., Benkaci, T., & Issolah, A. (2003). Modélisation des débits mensuels par les modèles conceptuels et les systèmes neuro-flous. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 16(4), 407-424.
- Demmak, Abdelmadjid. 1982. *Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale..* Thèse de doctorat.
- Derradji, F., Kherici, N., Romeo, M., & Caruba, R. (2004). Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(4), 353-360.
- De Vente, J. & Poesen, J. 2005 Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. *Earth-science Reviews* 71(1-2), 95–125.
- Djellouli, Y. al.(1990). interpolation des données climatiques et sa cartographie automatique en Algérie du Nord. *Publication de l'Association internationale de Climatologie*, 3, 391-400.
- Djeziri, L. (1998). Envasement des barrages, mobiliser le maximum des capacités. *Symbiose*.
- Dreyfus, G. (1998). Les réseaux de neurones, mécanique industrielle et matériaux, n 51.
- Duby, C., & Robin, S. (2006). Analyse en composantes principales. *Institut National Agronomique, Paris-Grignon*, 80, 53.
- El Mahi, A., Meddi, M., & Bravard, J. P. (2012). Analyse du transport solide en suspension dans le bassin versant de l'Oued El Hammam (Algérie du Nord). *Hydrological Sciences Journal*, 57(8), 1642-1661.
- Fenazi, B., & Derradji, E. F. (2013). La qualité chimique des eaux du bassin versant de l'Oued Djendjen (W. Jijel).
- Ferguson, R. I. (1987). Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth surface processes and landforms*, 12(1), 95-104.
- Fill, H. D., & Stedinger, J. R. (1998). Using regional regression within index flood procedures and an empirical Bayesian estimator. *Journal of Hydrology*, 210(1-4), 128-145.
- Fortin, V., Bobee, B., Duckstein, L., & Bargaoui, Z. (1995). Détermination floue des zones hydrologiques homogènes. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 231, 367-376.
- Fortin, V., Ouarda, T. B. M. J., Rasmussen, P., & Bobée, B. (1997). Revue bibliographique des méthodes de prévision des débits. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 10(4), 461-487.
- Galevski, W. (1955). La corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion, Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts. XIV. Nancy.
- Ghachi, A. (1986). Le bassin de la Seybouse hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie.
- Genç, O., Kişi, Ö., & Ardiçlioğlu, M. (2014). Determination of mean velocity and discharge in natural streams using neuro-fuzzy and neural network approaches. *Water resources management*, 28(9), 2387-2400.
- Ghenim, A. (2001). Contribution à l'étude des écoulements liquides et des dégradations du bassin versant de la Tafna: Cas de Oued Isser, Oued Mouilah et la Haute Tafna. *Mémoire de Magister, Univ. de Tlemcen, Algérie*.
- Ghenim, A., Seddini, A., & Terfous, A. (2008). Variation temporelle de la dégradation spécifique du bassin versant de l'Oued Mouilah (nord-ouest Algérie)/Temporal variation of the specific sediment yield of the Wadi Mouilah basin (northwest Algeria). *Hydrological sciences journal*, 53(2), 448-456.

- Gingras, D., & Adamowski, K. (1992). Coupling of nonparametric frequency and l-moment analyses for mixed distribution identification 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 28(2), 263-272.
- Grehy, G. D. R. E. S. (1996). Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *Journal of hydrology(Amsterdam)*, 186(1-4), 63-84.
- Grisales Palacio, V. H. (2007). Modélisation et commande floues de type Takagi-Sugeno appliquées à un bioprocédé de traitement des eaux usées.
- Guidoum, A. (2017). Caractérisation hydrologique et analyse du transport solide en suspension dans trois ensembles hydrographiques du nord-est algérien. Etude de cas dans la Seybouse, les hautes plaines constantinoises et Chott Melghir (Coupe Nord-sud) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Guillaume, S. (2001). Designing fuzzy inference systems from data: An interpretability-oriented review. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 9(3), 426-443.
- Guillaume, S., Charnomordic, B., & Loisel, P. (2013). Fuzzy partitions: a way to integrate expert knowledge into distance calculations. *Information sciences*, 245, 76-95.
- Hassoum, M. H. (1995). Fundamentals of artificial neural networks. Eds.
- Heddami, S., Bermad, A., & Dechemi, N. (2012). Modélisation de la dose de coagulant par les systèmes à base d'inférence floue (ANFIS) application à la station de traitement des eaux de Boudouaou (Algérie).
- Hafied, Y., Marouf, N., Bouziane, M. T., Remini, B., & LUBOMIR, S. (2019). Load sediments quantification in Algerian North-West basins by ANN (Artificial Neurons Network) method. *GeoScience Engineering*, 65(3), 1-17.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, 79(8), 2554-2558.
- Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (1993). Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water resources research*, 29(2), 271-281.
- Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (1986). Paleoflood hydrology and flood frequency analysis. *Water resources research*, 22(4), 543-550.
- Hu, T. S., Lam, K. C., & Ng, S. T. (2001). River flow time series prediction with a range-dependent neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 46(5), 729-745.
- Idrees, M. B., Jehanzaib, M., Kim, D., & Kim, T. W. (2021). Comprehensive evaluation of machine learning models for suspended sediment load inflow prediction in a reservoir. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35(9), 1805-1823.
- Iskounen, S., & Bougherara, A. (2019). Essai D'estimation De L'érosion Hydrique En Nappe, Par Ravinement Et Par Mouvements De Masse A L'aide Des Sig Et Du Modele Usle. L'exemple Du Bassin Versant De La Soummam (Nord-Est Algerien). *Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre*, 73-89.
- Jang, J. S. (1992). *Neuro-fuzzy modeling: architectures, analyses, and applications*. University of California, Berkeley.
- Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]. *IEEE Transactions on automatic control*, 42(10), 1482-1484.
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters*, 6(3), 255-259.
- Anderson, J. A., Rosenfeld, E., & Pellionisz, A. (Eds.). (1988). *Neurocomputing* (Vol. 2). MIT press.

- Kassoul, M., Abdelgader, A., & Belorgey, M. (1997). Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 10(3), 339-358.
- Kaveh, K., Bui, M. D., & Rutschmann, P. (2017). A comparative study of three different learning algorithms applied to ANFIS for predicting daily suspended sediment concentration. *international journal of sediment research*, 32(3), 340-350.
- Kaveh, K., Kaveh, H., Bui, M. D. & Rutschmann, P. (2021). Long short-term memory for predicting daily suspended sediment concentration. *Engineering with Computers* 37(3), 2013–2027.
- Keskin, M. E., Taylan, D., & Terzi, O. (2006). Adaptive neural-based fuzzy inference system (ANFIS) approach for modelling hydrological time series. *Hydrological sciences journal*, 51(4), 588-598.
- Khelifa, R., Youcefi, A., Kahleras, A., Alfarhan, A. H., Al-Rasheid, K. A., & Samraoui, B. (2011). L'odonatofaune (Insecta: Odonata) du bassin de la Seybouse en Algérie: intérêt pour la biodiversité du Maghreb. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 66(1), 55-66.
- Kisi, O. (2005). Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches/Estimation des matières en suspension par des approches neurofloues et à base de réseau de neurones. *Hydrological sciences journal*, 50(4).
- Kisi, O., Yuksel, I., & Dogan, E. (2008). Modelling daily suspended sediment of rivers in Turkey using several data-driven techniques/Modélisation de la charge journalière en matières en suspension dans des rivières turques à l'aide de plusieurs techniques empiriques. *Hydrological Sciences Journal*, 53(6), 1270-1285.
- Kisi, O. & Ay, M. (2012). Comparison of ANN and ANFIS techniques in modeling dissolved oxygen. *In Proceedings of the Sixteenth International Water Technology Conference (IWTC 16)*, Istanbul, Turkey, pp. 7–10.
- Kisi, O., & Zounemat-Kermani, M. (2014). Comparison of two different adaptive neuro-fuzzy inference systems in modelling daily reference evapotranspiration. *Water resources management*, 28, 2655-2675.
- Kondratieva, T., & Amarchi, H. (2015). Régionalisation des précipitations journalières extrêmes: cas de la région située au Nord-Est de l'Algérie. *Hydrological Sciences Journal*, 60(3), 498-507.
- Lafdani, E. K., Nia, A. M., & Ahmadi, A. (2013). Daily suspended sediment load prediction using artificial neural networks and support vector machines. *Journal of Hydrology*, 478, 50-62.
- Laffite, R. (1939). Structure et relief de l'Aurès algérien. *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, (119), 34-39.
- Lahmiri, S. (2014). Information, ondelettes, réseaux de neurones, méthodes numériques, et modélisation et prédiction des séries temporelles boursières: une étude comparative/thèse présentée comme exigence partielle du doctorat en informatique cognitive par Salim Lahmiri;[directeurs de recherche, Mounir Boukadoum et Sylvain Chartier].
- Lefkir, A., & Bengherifa, S. (2018). Clusterisation Mensuelle Pour la modélisation du transport des sédiments par hybridation des réseaux de neurones artificiels (RNA) avec le système d'inférence floue (SIF).
- Lefrançois, J., Grimaldi, C., Gascuel-Oudou, C., & Gilliet, N. (2007). Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main sediment source on small agricultural catchments. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(21), 2923-2933.
- Le Guen, M. (2002). La boîte à moustaches pour sensibiliser à la statistique. *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 73(1), 43-64.
- Lenzi, M. A., & Marchi, L. (2000). Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *Catena*, 39(4), 267-282.
- Levasseur, Y. (2008). Techniques de l'intelligence artificielle pour la classification d'objets biologiques dans des images bidimensionnelles (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).

- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association*, 62(318), 399-402.
- Lohani, A. K., Goel, N. K., & Bhatia, K. S. (2007). Deriving stage–discharge–sediment concentration relationships using fuzzy logic. *Hydrological Sciences Journal*, 52(4), 793-807.
- Mahabir, C., Hicks, F., & Fayek, A. R. (2006). Neuro-fuzzy river ice breakup forecasting system. *Cold regions science and technology*, 46(2), 100-112.
- Maier, H. R., Morgan, N., & Chow, C. W. (2004). Use of artificial neural networks for predicting optimal alum doses and treated water quality parameters. *Environmental Modelling & Software*, 19(5), 485-494.
- Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE transactions on computers*, 26(12), 1182-1191.
- Marouf, N., & Remini, B. (2011). Temporal variability in sediment concentration and hysteresis in the Wadi Kebir Rhumel Basin of Algeria. *HKIE Transactions*, 18(1), 13-21.
- Marouf, N. (2012). *Etude de la qualité des eaux et transport solide dans le barrage de beni-haroun (mila) son impact sur l'environnement de la région* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider–Biskra).
- Marouf, N., & Remini, B. (2016). Study of Beni Haroun dam pollution (Algeria). *Desalination and Water Treatment*, 57(6), 2766-2774.
- Marouf, N., & Remini, B. (2019). Impact study of Beni-Haroun dam on the environmental and socio-economic elements in Kébir-Rhumel basin, Algeria. *Journal of Water and Land Development*, (43).
- Massey Jr, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American statistical Association*, 46(253), 68-78.
- Mazour, M.; Morsli, B.; L'impact combiné de la couverture végétale et de l'érosion sur l'infiltration et l'érodabilité du sol en parcelles expérimentales dans les bassins versants du Nord-Ouest Algérien. *Bull. Rés. IRD. Montpellier*. (2002) 80.
- Mebarki, A., & Thomas, C. (1988). Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau. Application au bassin du Kébir-Rhumel dans le Constantinois (Algérie). *Revue Hydrologie continentale, ORSTOM, Paris*, 3(2), 89-103.
- Mebarki, A. (2002). Apports des cours d'eau et bilans hydrologiques des bassins de l'Est algérien. *Bulletin des Sciences Géographiques, Alger, INCT*, (10), 45-54.
- Mebarki, A. (2003). Cartographie automatique des précipitations: application à l'Est algérien. *Sciences & Technologie. B, Sciences de l'ingénieur*, 100-107.
- Mebarki A (2005). Hydrologie des bassins de l'Est algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement (Thèse de doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire).
- McCulloch W.S., Pitts W. (1943), A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115–133.
- Meddi, H., & TAHRI, F. (2014). Etude du transport solide dans le bassin versant Kébir Rhumel-est de Algeria. *Production scientifique-Communications*, 1.
- Meddi, M., & Toumi, S. (2015). Spatial variability and cartography of maximum annual daily rainfall under different return periods in Northern Algeria. *Journal of Mountain Science*, 12(6), 1403-1421.
- Megnounif, A., Terfous, A., Ghenaim, A., & Poulet, J. B. (2004). Rôle des crues dans la production de sédiments transportés en suspension dans un cours d'eau des bassins versants méditerranéens. VIIèmes Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil, Compiègne.

- Meguenni, K., & Remini, B. (2008). Evaluation du débit solide dans le bassin versant de Harreza (Algérie). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (7).
- Mekerta, B., & Tisot, J. P. (1993). Etude de la sédimentation dans les retenues des barrages, propriétés mécaniques des sols fins. communication. 1er congrès national des grands barrages. *Alger*, 24, 1-9.
- Meybeck, M., Laroche, L., Dürr, H. H., & Syvitski, J. P. M. (2003). Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. *Global and planetary change*, 39(1-2), 65-93.
- Mic, R., Galéa, G., & Javelle, P. (2002, September). Floods regionalization of the Cris catchments: application of the converging QdF modeling concept to the Pearson III law. In *Conférence des pays Danubiens* (pp. 2-6).
- Moeni, H. & Bonakdari, H. 2018. Impact of normalization and input on ARMAX-ANN model performance in suspended sediment load prediction. *Water Resources Management* 32(3), 845–863.
- Mokeddem, D. (2018). Contrôle flou des processus biotechnologiques à base d’algorithmes génétiques (Doctoral dissertation).
- Mordjaoui, M. (2008). Modélisation des effets électromagnétiques « Apport de la logique floue et neuro-floue » (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- Mustafa, M. R., Rezaur, R. B., Saiedi, S. & Isa, M. H. 2012. River suspended sediment prediction using various multilayer perceptron neural network training algorithms – a case study in Malaysia. *Water Resources Management* 26(7), 1879–1897.
- Muster, H., Badossy, A., et Duckstein, L. 1994. Adaptive Neuro fuzzy modeling of non-stationary hydrologic variable. Proceedings of the International Symposium on Water Resources Planning in a Changing World. Université de Karlsruhe, Karlsruhe, Allemagne.
- Najafzadeh, M., Etemad-Shahidi, A., & Lim, S. Y. (2016). Scour prediction in long contractions using ANFIS and SVM. *Ocean Engineering*, 111, 128-135.
- Nauck, D., & Kruse, R. (1997). What are neuro-fuzzy classifiers. In *Proc. Seventh International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA* (Vol. 97, No. 4, pp. 228-233).
- NERC .1975. Flood Studies Report, Volumes I-V, Natural Environment Research Council, London, UK.
- Nion, D., & De Lathauwer, L. (2007). Séparation et égalisation aveugles de signaux cdma par la décomposition en blocs d'un tenseur au moyen de l'algorithme de levenberg-marquardt. In 21°.
- NIST. 2005 Handbook of Statistical Methods.*
- Nourani, V., & Andalib, G. (2015). Daily and monthly suspended sediment load predictions using wavelet based artificial intelligence approaches. *Journal of Mountain Science*, 12(1), 85-100.
- Nourani, V., Gokcekus, H., & Gelete, G. (2021). Estimation of suspended sediment load using artificial intelligence-based ensemble model. *Complexity*, 2021.
- Olyaie, E., Banejad, H., Chau, K. W., & Melesse, A. M. (2015). A comparison of various artificial intelligence approaches performance for estimating suspended sediment load of river systems: a case study in United States. *Environmental monitoring and assessment*, 187(4), 1-22.
- Ouarda, T. B., Charron, C., & St-Hilaire, A. (2008). Statistical models and the estimation of low flows. *Canadian Water Resources Journal*, 33(2), 195-206.
- Oudin, L., Andréassian, V., Perrin, C., Michel, C., & Le Moine, N. (2008). Spatial proximity, physical similarity, regression and ungaged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments. *Water Resources Research*, 44(3).
- Pardé, M., & De Beauregard, J. (1959). Quelques remarques sur les crues cévenoles de septembre et octobre 1958. *La Houille Blanche*, 670-681.
- Parizeau, M. (2004). Réseaux de neurones. *GIF-21140 et GIF-64326*, 124.

- Pedrycz, W. (1984). An identification algorithm in fuzzy relational systems. *Fuzzy sets and systems*, 13(2), 153-167.
- Petelet-Giraud, E., & Negrel, P. (2007). Apport de matières en suspension à la Méditerranée: le rôle des crues dans le bilan des exportations du bassin-versant de l'Herault. *Techniques Sciences Méthodes*, 10, 55.
- Picouet, C., Hingray, B., & Olivry, J. C. (2009). Modelling the suspended sediment dynamics of a large tropical river: the Upper Niger River basin at Banankoro. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(22), 3193-3200.
- Pramanik, N., & Panda, R. K. (2009). Application of neural network and adaptive neuro-fuzzy inference systems for river flow prediction. *Hydrological sciences journal*, 54(2), 247-260.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. (1992). *Numerical recipes in Fortran 77* (Vol. 1, p. 650). Cambridge: Cambridge university press.
- Rahul, A. K., Shivhare, N., Kumar, S., Dwivedi, S. B., & Dikshit, P. K. S. (2022). Modelling suspended sediment concentration and discharge relationship using neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(6), 1-9.
- Reed, D. W., Jakob, D., Robson, A. J., Faulkner, D. S., & Stewart, E. J. (1999). Regional frequency analysis: a new vocabulary. *IAHS Publication (International Association of Hydrological Sciences)*, (255), 237-243.
- Reilly, C. F., & Kroll, C. N. (2003). Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. *Water Resources Research*, 39(9).
- Remini, B., Avenard, J. M., & Kettab, A. (1997). Evolution dans le temps de l'envasement dans une retenue de barrage dans lequel est pratiquée la technique du soutirage. *La Houille Blanche*, (6), 54-57.
- Remini, B. (2002). Évolution de la sédimentation dans les retenues de barrage et le soutirage des particules fines.
- Remini, B. (2008). La surélévation des barrages: une technique de lutte contre l'envasement-exemples algériens. *La Houille Blanche*, 94(5), 103-108.
- Rezaei, K., & Vadiati, M. (2020). A comparative study of artificial intelligence models for predicting monthly river suspended sediment load. *Journal of Water and Land Development*.
- Rovira, A., & Batalla, R. J. (2006). Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE SPAIN). *Geomorphology*, 79(1-2), 58-71.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *nature*, 323(6088), 533-536.
- Salhi, C., Touaibia, B., & Zeroual, A. (2013). Les réseaux de neurones et la régression multiple en prédiction de l'érosion spécifique: cas du bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam (Algérie). *Hydrological sciences journal*, 58(7), 1573-1580.
- Sauquet, E. (2000). Une cartographie des écoulements annuels et mensuels d'un grand bassin versant structurée par la topologie du réseau hydrographique (Doctoral dissertation, Doctorat Mécanique des milieux géophysiques et environnement, Institut national polytechnique de Grenoble).
- Serrat, P., Ludwig, W., Navarro, B., & Blazi, J. L. (2001). Variabilité spatio-temporelle des flux de matières en suspension d'un fleuve côtier méditerranéen : la Têt (France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 333(7), 389-397.
- Shapiro, S. S., Wilk, M. B. & C-N, H. J. (1968). A comparative study of various tests for normality. *J. Am. Statist. Ass.* 63,1343-72.
- Shu, C., & Burn, D. H. (2004). Homogeneous pooling group delineation for flood frequency analysis using a fuzzy expert system with genetic enhancement. *Journal of Hydrology*, 291(1-2), 132-149.

- Sibari, H., Haidi, S., & Fora, A. A. (2001). Typologie des crues et érosion mécanique dans un bassin versant de zone semi-aride : bassin versant de l'Inaouène, Maroc. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 12(3), 187-93.
- Singleton, H.J. 1985. Water quality criteria for particulate matter. Resource Quality Section. Water Management Branch. British Columbia Ministry of the Environment. Victoria (C.-B.), 20 p.
- Sirabahenda, Z. (2019). Caractérisation et estimation des concentrations de sédiments en suspension: cas des bassins versants agricoles de l'Île-du-Prince-Édouard (Canada) (Doctoral dissertation, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique).
- Sivakumar, B., Jayawardena, A. W., & Fernando, T. M. K. G. (2002). River flow forecasting: use of phase-space reconstruction and artificial neural networks approaches. *Journal of hydrology*, 265(1-4), 225-245.
- Sivapalan, M. (2003). Prediction in ungauged basins: a grand challenge for theoretical hydrology. *Hydrological processes*, 17(15), 3163-3170.
- Smith, R. M., & Johansen, T. A. (1997). Multiple model approaches to modelling and control. *British Library Cataloguing in Publication, Taylor & Francis*.
- Søballe, D. M., & Threlkeld, S. T. (1988). Algal-clay flocculation in turbid waters: Variations due to algal and mineral differences: With 4 figures in the text. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 23(2), 750-754.
- Steyer, J. P. (1998). Modélisation, commande et supervision des procédés biologiques de dépollution.
- Sugeno, M., & Yasukawa, T. (1993). A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, 1(1), 7-31.
- Taibi, Sabrina, Meddi, Mohamed, Souag, Doudja, et al. (2013). Évolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). Climate and land surface changes in hydrology, IAHS Publ, 359, 191-197.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (1), 116-132.
- Talei, A., Chua, L. H. C., & Quek, C. (2010). A novel application of a neuro-fuzzy computational technique in event-based rainfall–runoff modeling. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7456-7468.
- Tamara, B., & Hocine, A. (2013). Regional approach for the estimation of extreme daily precipitation on North-east area of Algeria. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 5(10), 573-583.
- Tamrabet, Z., Marouf, N., & Remini, B. (2019). Quantification of suspended solid transport in Endja watercourse (Dehamecha basin-Algeria). *GeoScience Engineering*, 65(4), 71-91.
- Tatar, H., & Regad, N. (2015). Variabilité climatique et ressources en eau en milieu semi-aride: cas des bassins versants des oueds Chemora, Reboa et Gueiss (Hauts Plateaux Constantinois, Algérie). *Analale Universitatii Bucuresti. Seria Geografie*.
- Tena, A., Batalla, R. J., Vericat, D., & López-Tarazón, J. A. (2011). Suspended sediment dynamics in a large regulated river over a 10-year period (the lower Ebro, NE Iberian Peninsula). *Geomorphology*, 125(1), 73-84.
- Touaibia, B., & Achite, M. (2003). Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. *Hydrological sciences journal*, 48(2), 235-242.
- Touaibia, B. (2010). Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse*, 21(4), 333-335.
- Touazi, M., Bhiry, N., Laborde, J. P., & Achour, F. (2011). Régionalisation des débits moyens mensuels en Algérie du nord. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 24(2), 177-191.

- Touzet, C. (1992). Les réseaux de neurones artificiels, introduction au connexionnisme. Ec2.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory data analysis* (Vol. 2, pp. 131-160).
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Radoane, M., Govers, G., Ocakoglu, F., & Arabkhedri, M. (2012). How long should we measure? An exploration of factors controlling the inter-annual variation of catchment sediment yield. *Journal of Soils and Sediments*, 12(4), 603-619.
- Vasile-Dragomir, O. E. (2008). *Contribution au pronostic de défaillances par réseau neuro-flou: maîtrise de l'erreur de prédiction* (Doctoral dissertation, Université de Franche-Comté).
- Vila, J. M. (1980). La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *These de Doctorat-es-sciences, Université Pierre et Marie curie*.
- Wahyuni, I., Mahmudy, W. F., & Iriany, A. (2017). Rainfall prediction using hybrid adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) and genetic algorithm. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 9(2-8), 51-56.
- Walling, D. E., & Webb, B. W. (1981). The reliability of suspended sediment load data [River Creedy, England].
- Wilby, R. L., Abrahart, R. J., & Dawson, C. W. (2003). Detection of conceptual model rainfall—runoff processes inside an artificial neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 48(2), 163-181.
- Wildi, W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, 24(3), 201-297.
- Wira, P. (2009). *Approches neuromimétiques pour l'identification et la commande* (Doctoral dissertation, Université de Haute Alsace-Mulhouse).
- Xoplaki, E., Luterbacher, J., Patrikas, J., & Maheras, P. (1988). Les précipitations hivernales en Grèce et leurs relations avec la circulation atmosphérique au niveau de 500 hpa. *Publications de l'Association internationale de climatologie*, 11, 374-382.
- Yager, R. R., & Filev, D. P. (1994). Essentials of fuzzy modeling and control. *New York*, 388, 22-23.
- Zabaleta, A., Martínez, M., Uriarte, J. A., & Antiguëdad, I. (2007). Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. *Catena*, 71(1), 179-190.
- Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1971). Quantitative fuzzy semantics. *Information sciences*, 3(2), 159-176.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, (1), 28-44.
- Zaghouane, O., Abdellaoui, Z., & Houassine, D. (2006). Quelles perspectives pour l'agriculture de conservation dans les zones céréalières en conditions Algériennes. *Options Méditerranéennes. Zaragoza (Espagne): CIHEAM-IAMZ*, 183-187.
- Zenati, N., & Messadi, D. (2014). Système d'évaluation de la qualité des eaux superficielles-application au bassin versant côtier constantinois est. *Revue LJEE*.
- Zeyneb, T., Nadir, M., & Boualem, R. (2022). Modeling of suspended sediment concentrations by artificial neural network and adaptive neuro fuzzy interference system method—study of five largest basins in Eastern Algeria. *Water Practice & Technology*, 17(5), 1058-1081.
- Zhang, Z., & Kroll, C. (2007). The baseflow correlation method with multiple gauged sites. *Journal of Hydrology*, 347(3-4), 371-380.
- Zhang, L., Li, S., Wu, Z., Fan, X., Li, H., Meng, Q., & Wang, J. (2020). Variation in runoff, suspended sediment load, and their inter-relationships in response to climate change and anthropogenic activities over the last 60 years: a case study of the upper Fenhe River basin, China. *Water*, 12(6), 1757.

Zouggaghe, F., Mouni, L., & Tafer, M. (2014). Qualité biologique du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam (Nord de l'Algérie). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (17).

Annexe I

Résultats graphiques pour l'ajustement des pluies annuelles à une loi de probabilité.

- **Station Amouchas**

Tableau (I.1) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Amouchas-

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
200	282	0	0,000	0,000	0,005
282	364	1	0,023	0,000	0,041
364	446	7	0,163	0,002	0,123
446	528	6	0,140	0,002	0,193
528	610	9	0,209	0,003	0,204
610	692	6	0,140	0,002	0,166
692	774	8	0,186	0,002	0,114
774	856	2	0,047	0,001	0,070
856	938	3	0,070	0,001	0,040
938	1020	1	0,023	0,000	0,021

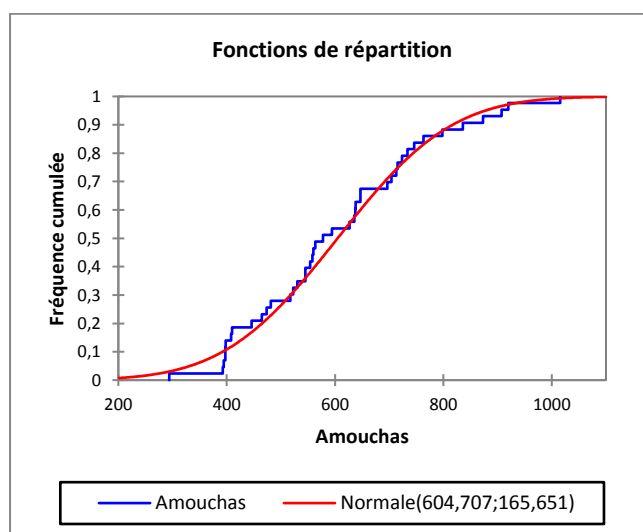


Figure (I.1) : Fonction de répartition St Amouchas.

- **Station Ain Beida**

Tableau (I.2) : Statistiques descriptives pour les intervalles -station Ain Beida-

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
200	246	2	0,050	0,001	0,029
246	292	2	0,050	0,001	0,090
292	338	5	0,125	0,003	0,159
338	384	8	0,200	0,004	0,191
384	430	11	0,275	0,006	0,177
430	476	5	0,125	0,003	0,136
476	522	2	0,050	0,001	0,092
522	568	0	0,000	0,000	0,056
568	614	4	0,100	0,002	0,032
614	660	1	0,025	0,001	0,017

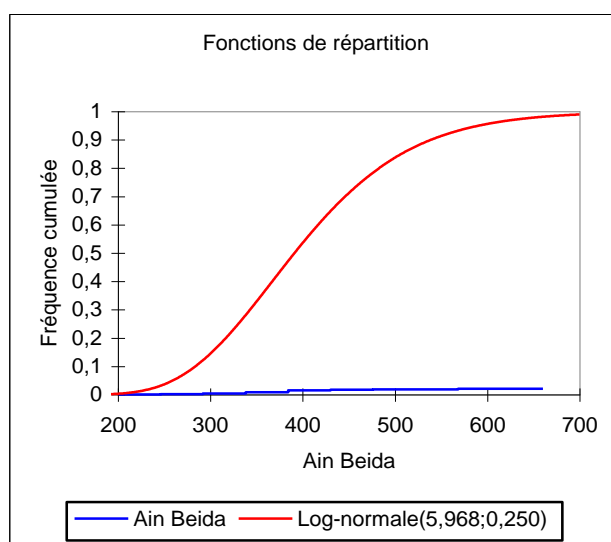


Figure (I.2) : Fonction de répartition St Ain Beida.

- **Station Koudiat**

Tableau (I.3) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Koudiat-.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
200	249	1	0,025	0,001	0,029
249	298	1	0,025	0,001	0,056
298	347	8	0,200	0,004	0,094
347	396	6	0,150	0,003	0,132
396	445	6	0,150	0,003	0,158
445	494	3	0,075	0,002	0,160
494	543	6	0,150	0,003	0,137
543	592	4	0,100	0,002	0,100
592	641	2	0,050	0,001	0,061
641	690	3	0,075	0,002	0,032

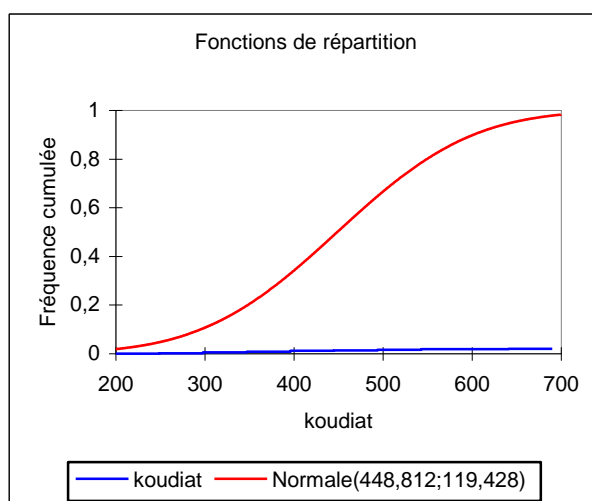


Figure (I.3) : Fonction de répartition St Koudiat.

- **Station Belaa**

Tableau (I.4) : Statistiques descriptives pour les intervalles-St Belaa-

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
100	173	1	0,024	0,000	0,041
173	246	5	0,122	0,002	0,141
246	319	10	0,244	0,003	0,199
319	392	10	0,244	0,003	0,189
392	465	2	0,049	0,001	0,146
465	538	6	0,146	0,002	0,102
538	611	2	0,049	0,001	0,067
611	684	2	0,049	0,001	0,043
684	757	1	0,024	0,000	0,027
757	830	2	0,049	0,001	0,016

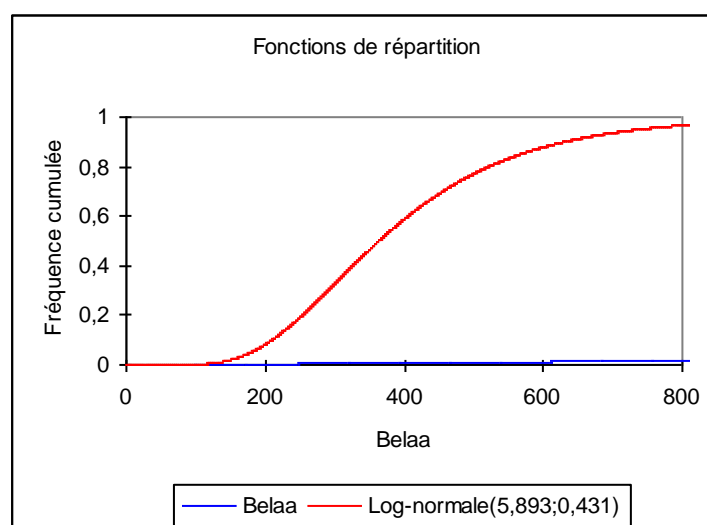


Figure (I.4) : Fonction de répartition St Belaa.

- **Station Guelma**

Tableau (I.5) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Guelma-

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
200	261	1	0,029	0,000	0,015
261	322	0	0,000	0,000	0,035
322	383	3	0,086	0,001	0,070
383	444	6	0,171	0,003	0,115
444	505	6	0,171	0,003	0,156
505	566	3	0,086	0,001	0,175
566	627	6	0,171	0,003	0,161
627	688	5	0,143	0,002	0,123
688	749	2	0,057	0,001	0,077
749	810	3	0,086	0,001	0,040

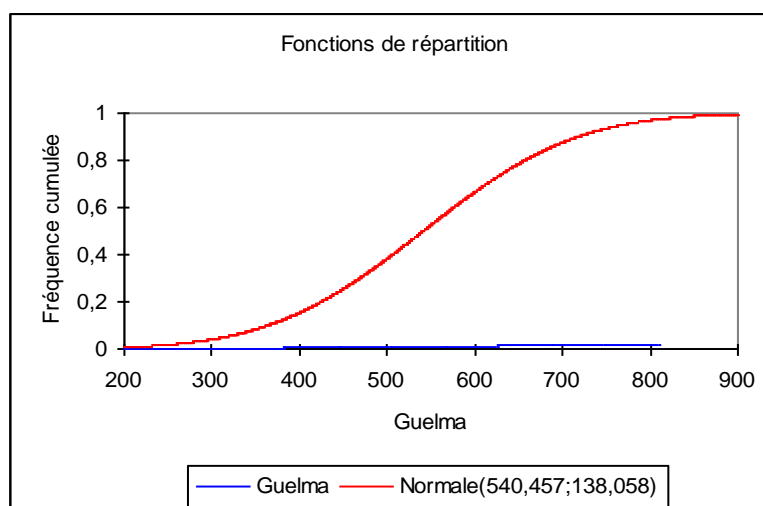


Figure (I.5) : Fonction de répartition St Guelma.

- **Station BouBirek**

Tableau (I.6) : Statistiques descriptives pour les intervalles-St Bou Birek -.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
200	268	2	0,077	0,001	0,030
268	336	0	0,000	0,000	0,060
336	404	6	0,231	0,003	0,099
404	472	0	0,000	0,000	0,139
472	540	5	0,192	0,003	0,163
540	608	3	0,115	0,002	0,161
608	676	6	0,231	0,003	0,134
676	744	1	0,038	0,001	0,094
744	812	2	0,077	0,001	0,055
812	880	1	0,038	0,001	0,028

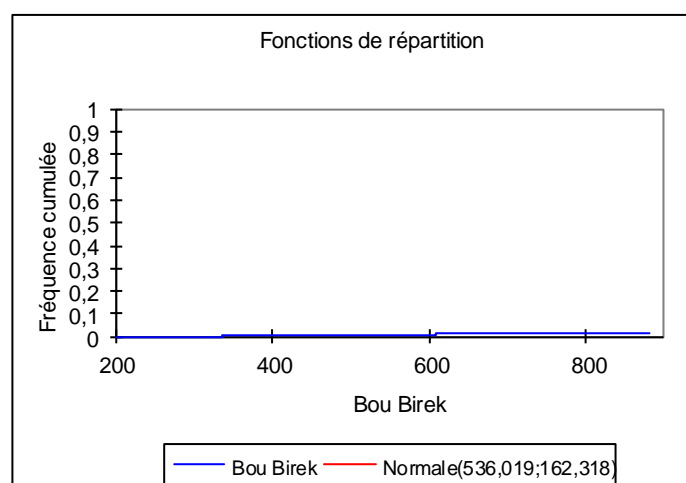


Figure (I.6) : Fonction de répartition St Bou Birek.

Résultats graphiques pour l'ajustement des pluies journalières maximales à une loi de probabilité

- **Station Amouchas**

Tableau (I.7) : Statistiques descriptives pour les intervalles-St Amouchas -.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
20	29	2	0,047	0,005	0,059
29	38	6	0,140	0,016	0,163
38	47	11	0,256	0,028	0,217
47	56	10	0,233	0,026	0,197
56	65	5	0,116	0,013	0,144
65	74	5	0,116	0,013	0,092
74	83	1	0,023	0,003	0,055
83	92	0	0,000	0,000	0,031
92	101	0	0,000	0,000	0,017
101	110	3	0,070	0,008	0,009

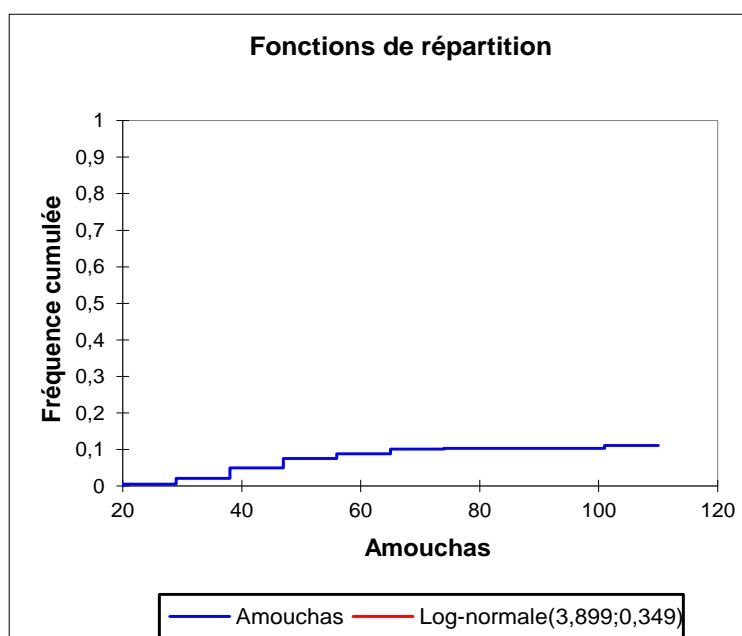


Figure (I.7) : Fonction de répartition St Amouchas.

- **Station Ain Beida**

Tableau (I.8) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Ain Beida -.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
20	28,5	8	0,200	0,024	0,146
28,5	37	9	0,225	0,026	0,303
37	45,5	13	0,325	0,038	0,271
45,5	54	7	0,175	0,021	0,155
54	62,5	2	0,050	0,006	0,070
62,5	71	0	0,000	0,000	0,027
71	79,5	0	0,000	0,000	0,010
79,5	88	0	0,000	0,000	0,004
88	96,5	0	0,000	0,000	0,001

96,5	105	1	0,025	0,003	0,000
------	-----	---	-------	-------	-------

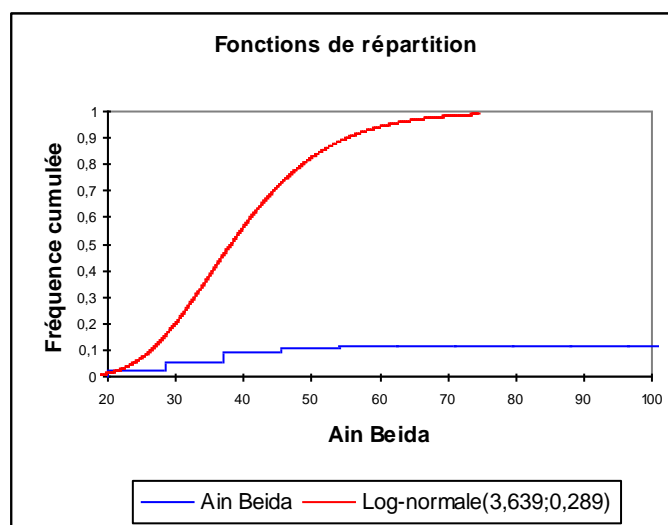
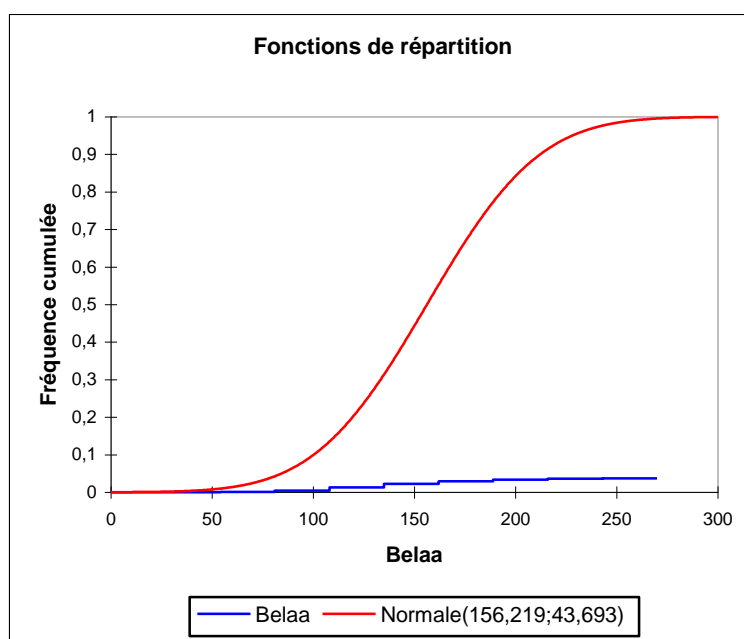


Figure (I.8) : Fonction de répartition St Ain Beida.

- Station Belaa

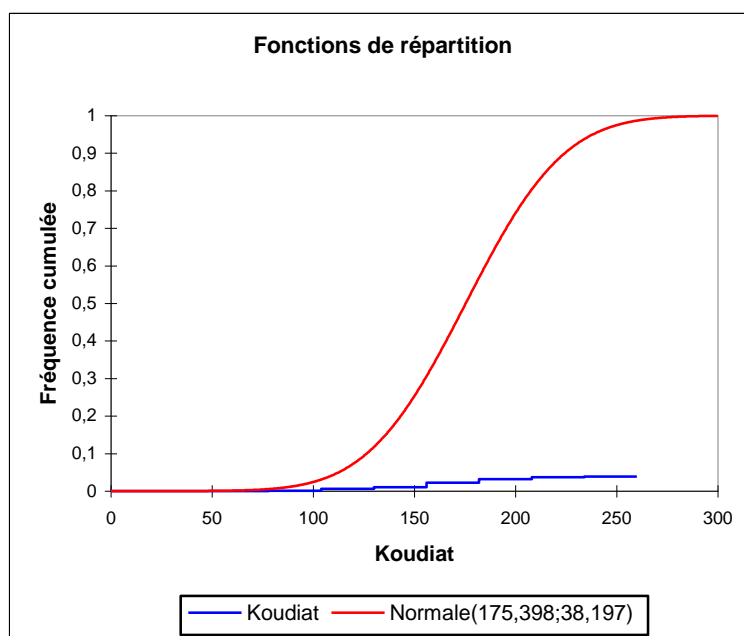
Tableau (I.9) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Belaa -.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
0	27	0	0,000	0,000	0,001
27	54	0	0,000	0,000	0,008
54	81	1	0,025	0,001	0,033
81	108	4	0,100	0,004	0,092
108	135	9	0,225	0,008	0,179
135	162	10	0,250	0,009	0,239
162	189	8	0,200	0,007	0,221
189	216	4	0,100	0,004	0,141
216	243	3	0,075	0,003	0,062
243	270	1	0,025	0,001	0,019



*Figure (I.9) : Fonction de répartition St Ain Belaa.**Tableau (I.10) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Koudiat -.*

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
0	26	0	0,000	0,000	0,000
26	52	0	0,000	0,000	0,001
52	78	0	0,000	0,000	0,005
78	104	1	0,025	0,001	0,025
104	130	5	0,125	0,005	0,087
130	156	5	0,125	0,005	0,188
156	182	12	0,300	0,012	0,263
182	208	10	0,250	0,010	0,235
208	234	5	0,125	0,005	0,134
234	260	2	0,050	0,002	0,049

*Figure (I.10) : Fonction de répartition St Koudiat.*

Bassin Seybouse

Tableau (I.11) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Guelma -.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
10	19,1	1	0,029	0,003	0,034
19,1	28,2	2	0,057	0,006	0,080
28,2	37,3	6	0,171	0,019	0,144
37,3	46,4	10	0,286	0,031	0,196
46,4	55,5	5	0,143	0,016	0,204
55,5	64,6	6	0,171	0,019	0,162
64,6	73,7	3	0,086	0,009	0,098
73,7	82,8	1	0,029	0,003	0,045
82,8	91,9	0	0,000	0,000	0,016
91,9	101	1	0,029	0,003	0,004

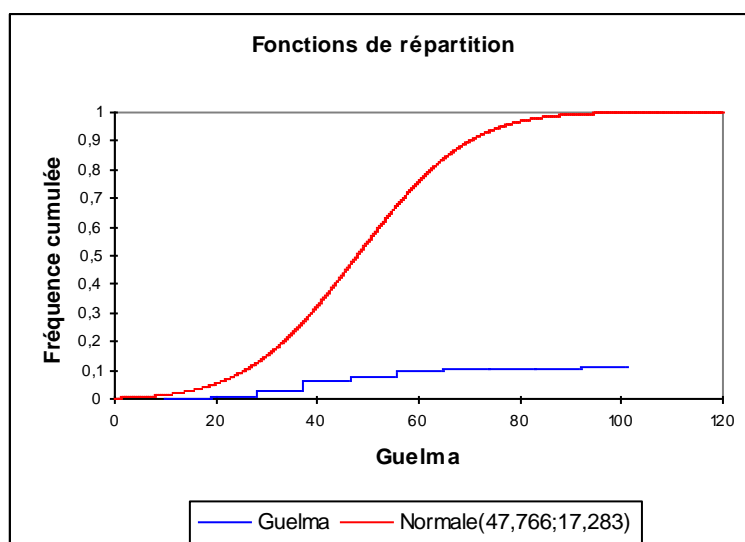


Figure (I.11) : Fonction de répartition St Guelma.

Bassin Soummam

Tableau (I.12) : Statistiques descriptives pour les intervalles-ST Bou Birek -.

Borne inférieure	Borne supérieure	Effectif	Fréquence	Densité (Données)	Densité (Distribution)
20	27,1	1	0,038	0,005	0,048
27,1	34,2	3	0,115	0,016	0,149
34,2	41,3	8	0,308	0,043	0,221
41,3	48,4	6	0,231	0,033	0,212
48,4	55,5	2	0,077	0,011	0,157
55,5	62,6	4	0,154	0,022	0,098
62,6	69,7	1	0,038	0,005	0,055
69,7	76,8	0	0,000	0,000	0,029
76,8	83,9	0	0,000	0,000	0,014
83,9	91	1	0,038	0,005	0,007

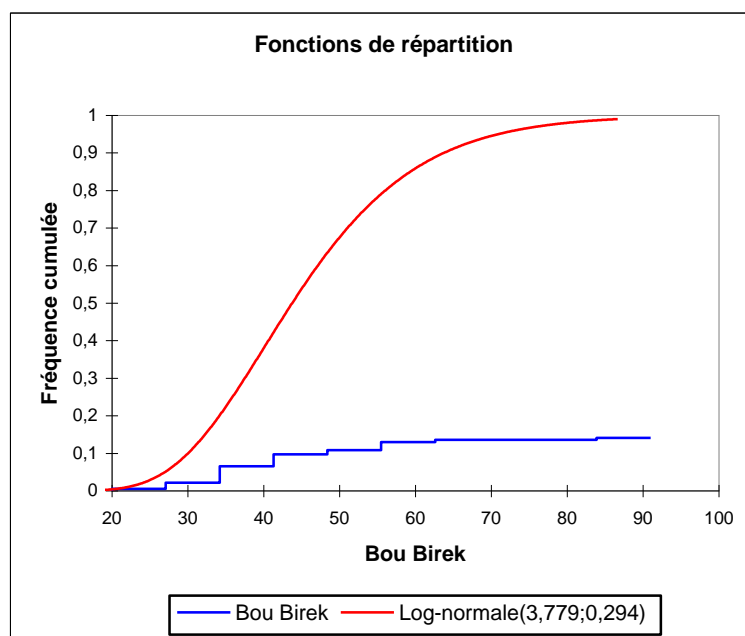


Figure (I.12) : Fonction de répartition St Guelma.

Résultats graphiques pour la vérification de la normalité des séries de concentration des sédiments en suspension.

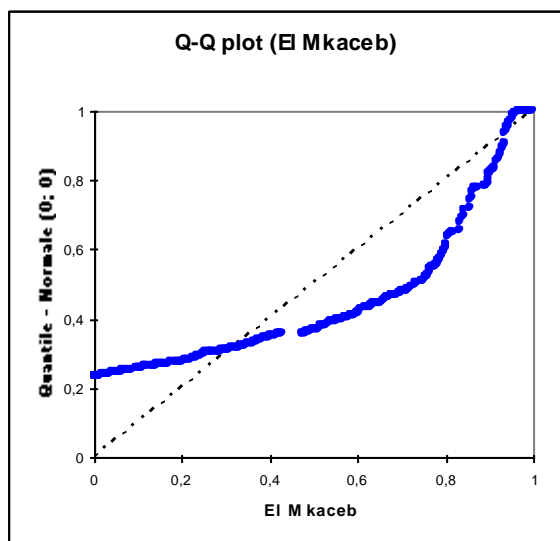


Figure (I.13) : Graphiques Q-Q (loi normale).

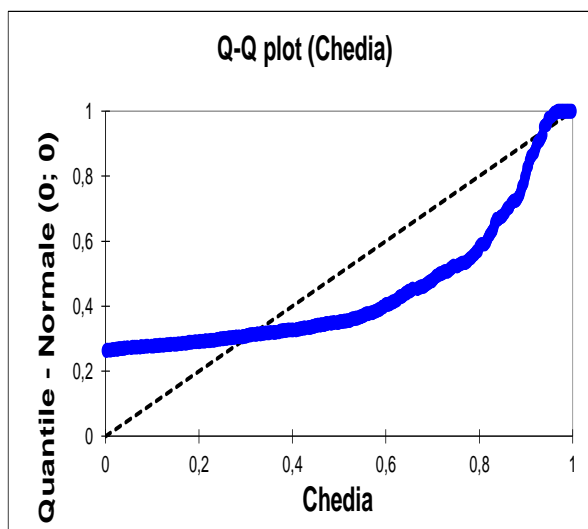


Figure (I.14) : Graphiques Q-Q (loi normale).

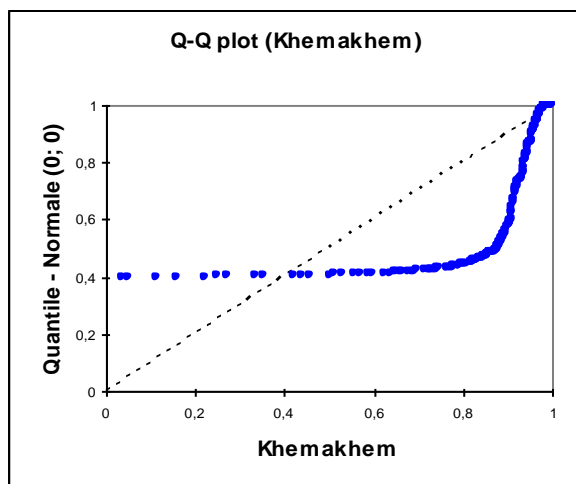


Figure (I.15) : Graphiques Q-Q (loi normale).

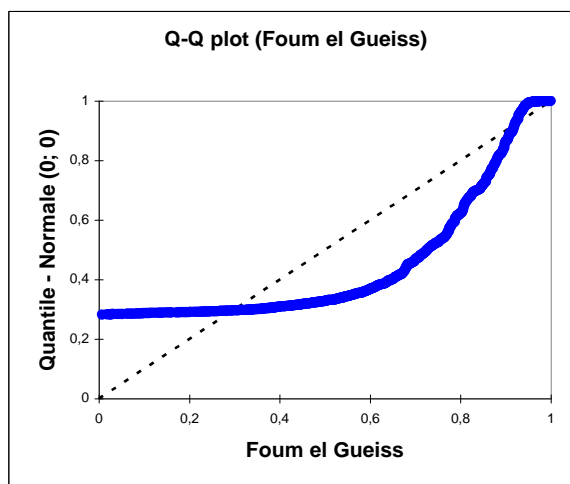


Figure (I.16) : Graphiques Q-Q (loi normale).

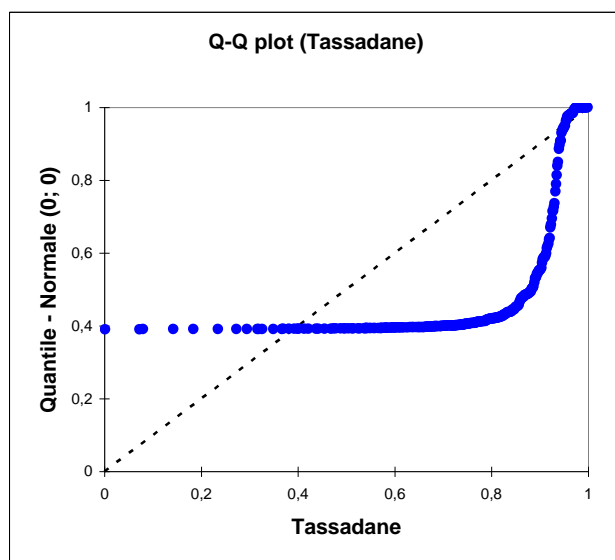


Figure (I.17) : Graphiques Q-Q (loi normale).

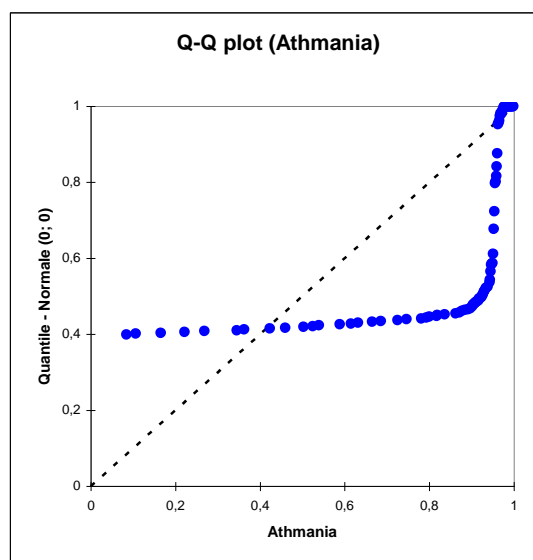


Figure (I.18) : Graphiques Q-Q (loi normale).

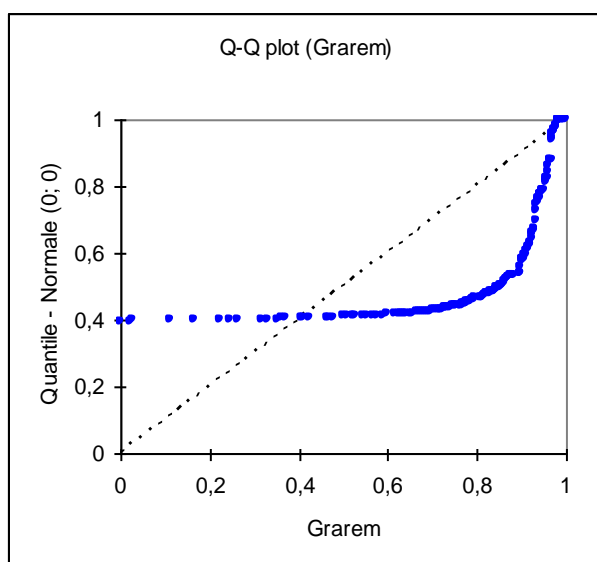


Figure (I.19) : Graphiques Q-Q (loi normale).

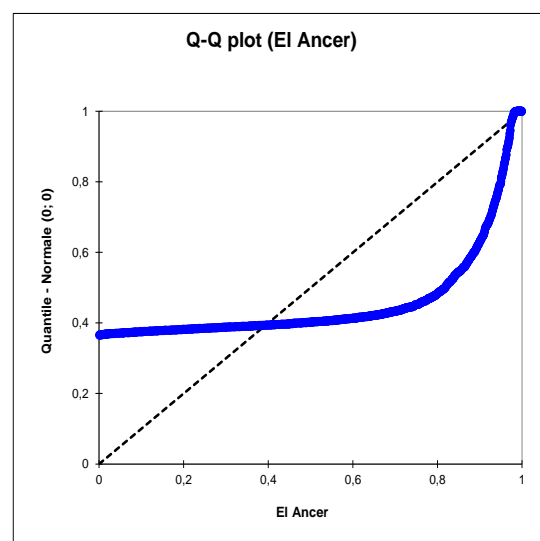


Figure (I.20) : Graphiques Q-Q (loi normale).

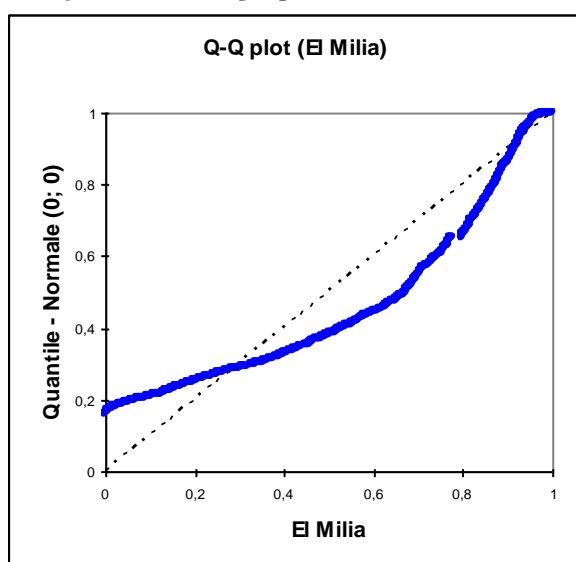


Figure (I.21) : Graphiques Q-Q (loi normale).

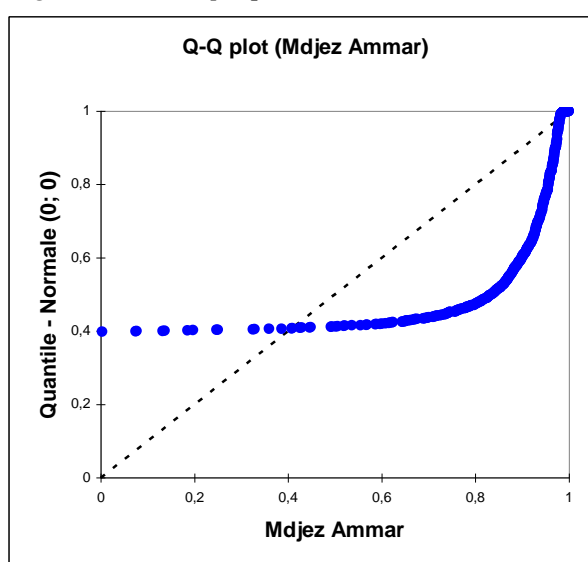


Figure (I.22) : Graphiques Q-Q (loi normale).

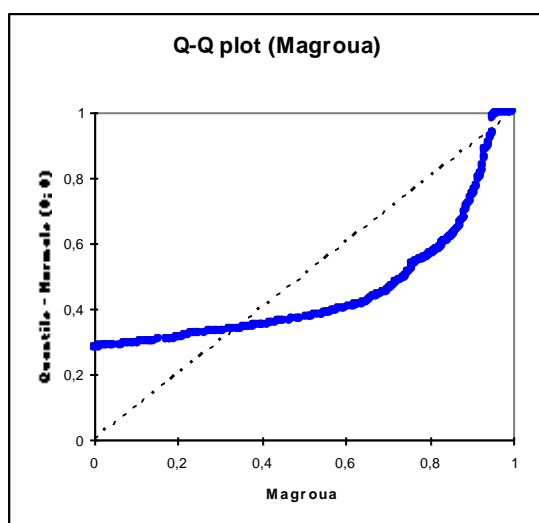


Figure (I.23) : Graphiques Q-Q (loi normale).

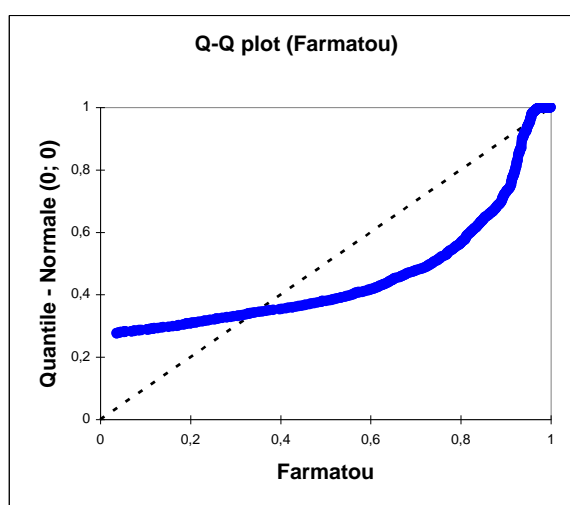


Figure (I.24) : Graphiques Q-Q (loi normale).

Tableau (I.13) : Test Shapiro wilk pour les cinq bassins étudiés.

Bassin	Station	W	P-value (bilatérale)	Alpha
Côtiers Constantinois	El Mkaceb	0,625	< 0,0001	0,05
	Chedia	0,593	< 0,0001	0,05
	Khemakhem	0,253	< 0,0001	0,05
	Ain Charchar	0,154	< 0,0001	0,05
Hauts Plateaux	Foum El Gueiss	0,609	< 0,0001	0,05
Kébir Rhumel	Tassadane	0,303	< 0,0001	0,05
	Athmania	0,230	< 0,0001	0,05
	Grarem	0,246	< 0,0001	0,05
	Foum El Gueiss	0,609	< 0,0001	0,05
	El Ancer	0,298	< 0,0001	0,05
	El Milia	0,731	< 0,0001	0,05
Seybouse	Mdjez Ammar	0,227	< 0,0001	0,05
Soummam	Magroua	0,522	< 0,0001	0,05
	Farmatou	0,523	< 0,0001	0,05

Tableau (I.14): Test de Anderson-Darling pour les cinq bassins étudiés .

Bassin	Station	A ²	P-value (bilatérale)	Alpha
Côtiers Constantinois	El Mkaceb	50,622	< 0,0001	0,05
	Chedia	80,232	< 0,0001	0,05
	Khemakhem	+Inf	< 0,0001	0,05
	Ain Charchar	+Inf	< 0,0001	0,05
Hauts Plateaux	Foum El Gueiss	141,878	< 0,0001	0,05
Kébir Rhumel	Tassadane	+Inf	< 0,0001	0,05
	Athmania	+Inf	< 0,0001	0,05
	Grarem	+Inf	< 0,0001	0,05
	El Ancer	+Inf	< 0,0001	0,05
	El Milia	75,031	< 0,0001	0,05
Seybouse	Mdjez Ammar	+Inf	< 0,0001	0,05
Soummam	Magroua	108,389	< 0,0001	0,05
	Farmatou	+Inf	< 0,0001	0,05

Tableau (I.15): Test de Lilliefors pour les cinq bassins étudiés .

Bassin	Station	D	D (normalisé)	p-value (bilatérale)	alpha
Côtiers Constantinois	El Mkaceb	0,242	5,216	< 0,0001	0,05
	Chedia	0,264	6,598	< 0,0001	0,05
	Khemakhem	0,396	15,390	< 0,0001	0,05
	Ain Charchar	0,405	18,597	< 0,0001	0,05
Hauts Plateaux	Foum El Gueiss	0,283	9,098	< 0,0001	0,05
Kébir Rhumel	Tassadane	0,402	10,549	< 0,0001	0,05
	Athmania	0,429	11,257	< 0,0001	0,05
	Grarem	0,396	10,391	< 0,0001	0,05
	El Ancer	0,366	17,641	< 0,0001	0,05
	El Milia	0,173	5,933	< 0,0001	0,05
Seybouse	Mdjez Ammar	0,399	19,568	< 0,0001	0,05
Soummam	Magroua	0,280	7,499	< 0,0001	0,05
	Farmatou	0,276	12,052	< 0,0001	0,05

Tableau (I.16): Test de Jarque-Bera pour les cinq bassins étudiés.

Bassin	Station	JB (Valeur observée)	JB (Valeur critique)	DDL	p-value (bilatérale)	alpha
Côtiers Constantinois	El Mkaceb	5089,567	5,991	2	< 0,0001	0,05
	Chedia	4372,486	5,991	2	< 0,0001	0,05
	Khemakhem	605394,678	5,991	2	< 0,0001	0,05
	Ain Charchar	16024009,541	5,991	2	< 0,0001	0,05
Hauts Plateaux	Foum El Gueiss	4239,448	5,991	2	< 0,0001	0,05
Kébir Rhumel	Tassadane	28917,204	5,991	2	< 0,0001	0,05
	Athmania	77438,453	5,991	2	< 0,0001	0,05
	Grarem	183021,513	5,991	2	< 0,0001	0,05
	El Ancer	373442,732	5,991	2	< 0,0001	0,05
	El Milia	11243,845	5,991	2	< 0,0001	0,05
Seybouse	Mdjez Ammar	2206863,550	5,991	2	< 0,0001	0,05
Soummam	Magroua	10088,076	5,991	2	< 0,0001	0,05
	Farmatou	55541,842	5,991	2	< 0,0001	0,05

Annexe II

Crues du bassin des Côtiers Constantinois

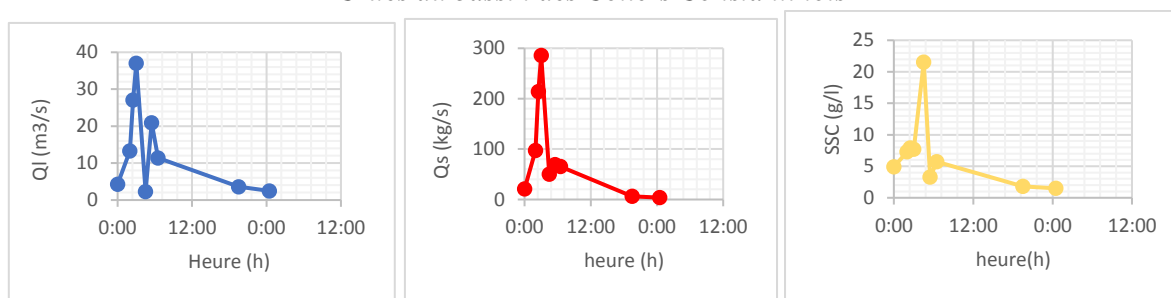


Figure (II.1) : Crue de 27-28 novembre -1978 station el Mkaceb.

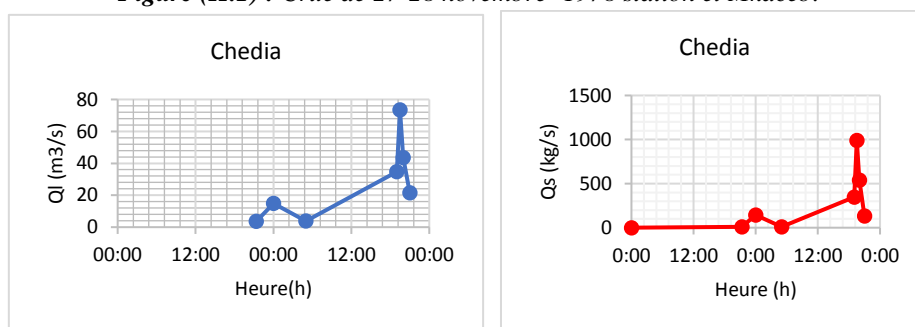


Figure (II.2) : Crue de 15-16-17 février 1979 -station Chedia-.

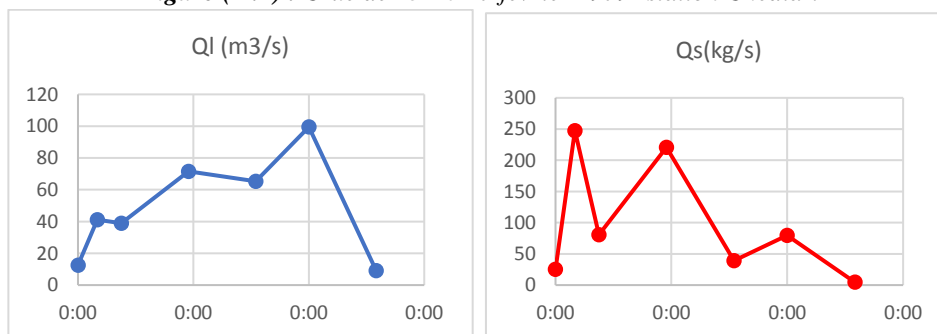


Figure (II.3) : Crue 19-20-21-22 Janvier 1972 station Khemakhem.

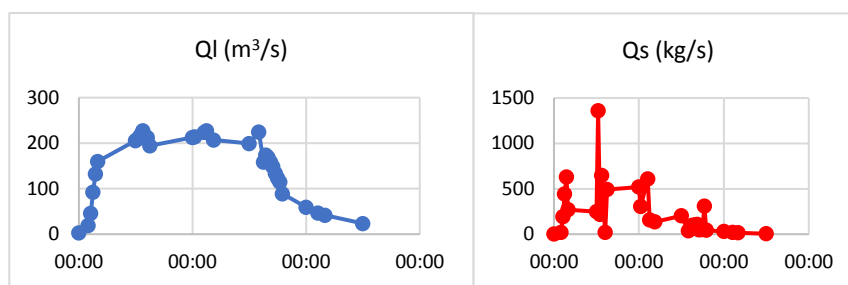


Figure (II.4) : Crue du 23 au 28 janvier 1973 -station Ain Charchar-.

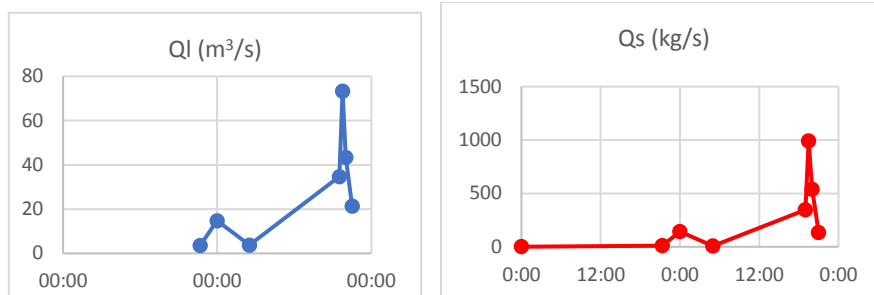


Figure (II.5) : Crue du 15-17 Février 1979 Chedia.

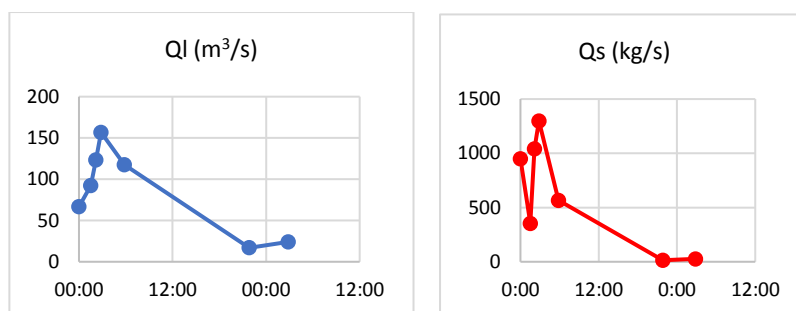


Figure (II.6) : 7-8 mars 1985 -station Chedia-.

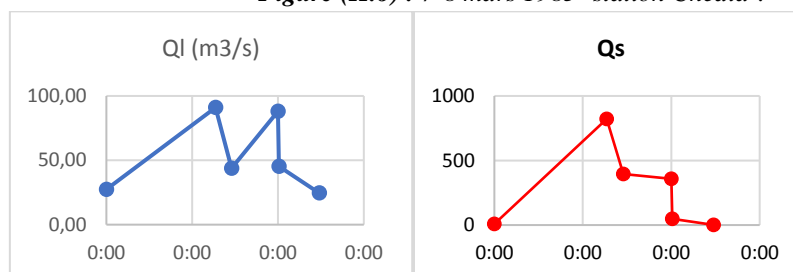


Figure (II.7) : 25-29 janvier 1972 -station Khemakhem-.

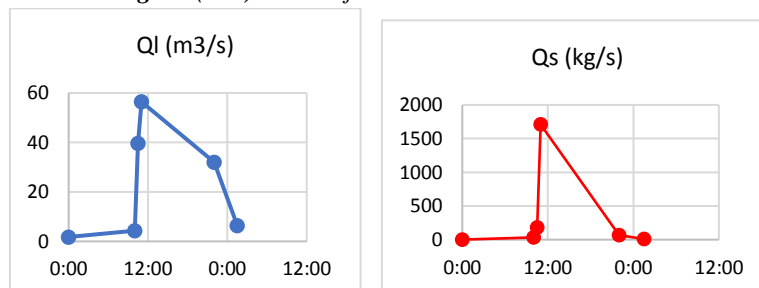


Figure (II.8) : Crue 06 Mai 1972 -station Khemakhem-.

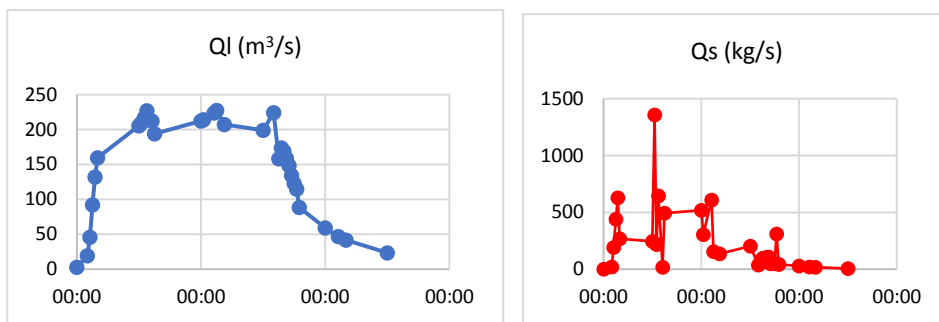


Figure (II.9) : Crue 23-28 janvier 1973 -station Ain Charchar.-.

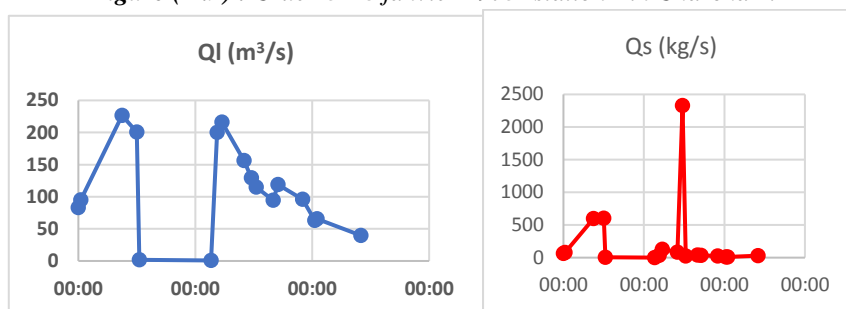


Figure (II.10) : Crue 26-31 Mars 1973 -station Ain Charchar.-.

Crues du Bassin des Hauts Plateaux

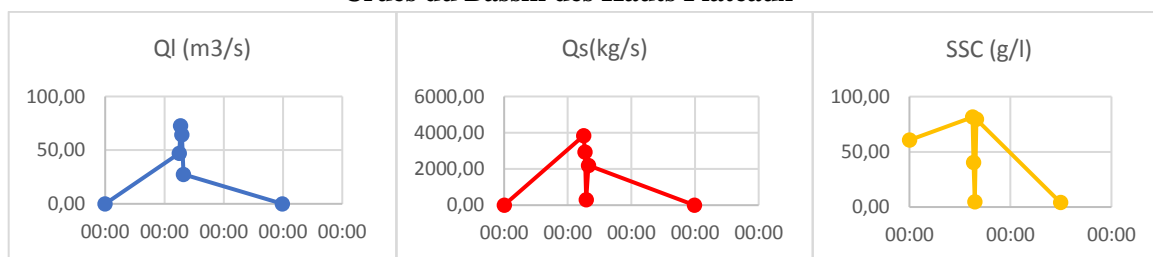


Figure (II.11) : Crue 22-26 Aout 1978 station Foug El Gueiss.

Crues Bassin Kébir Rhumel

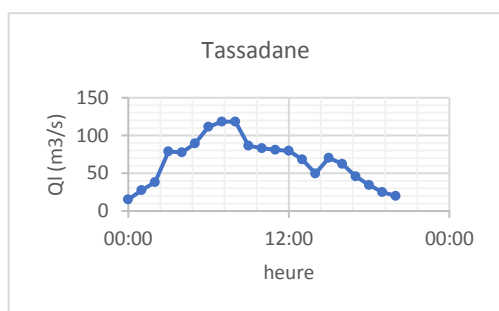


Figure (II.12) : Crue 27-28 novembre 1998.

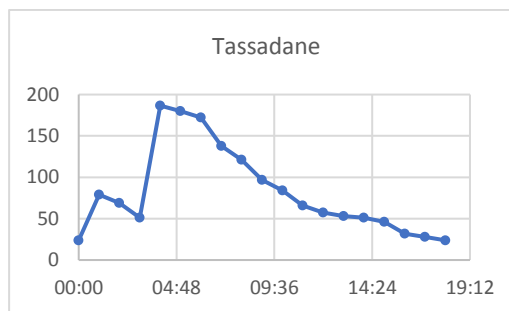


Figure (II.13) : Crue de 19-décembre 1999.

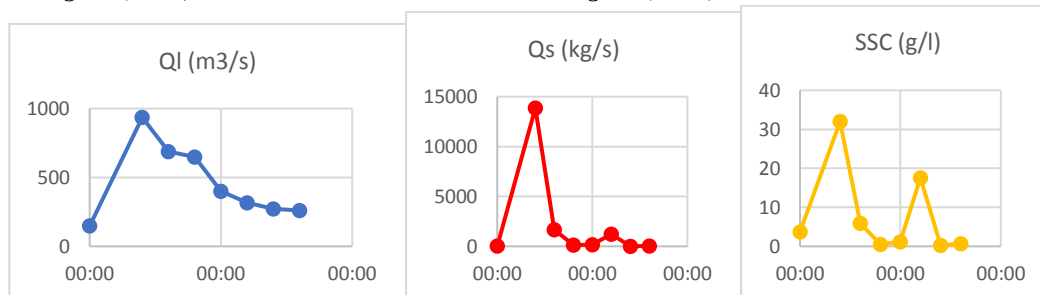


Figure (II.14) : Du 27 décembre au 7 janvier 1984-St Grarem.-.

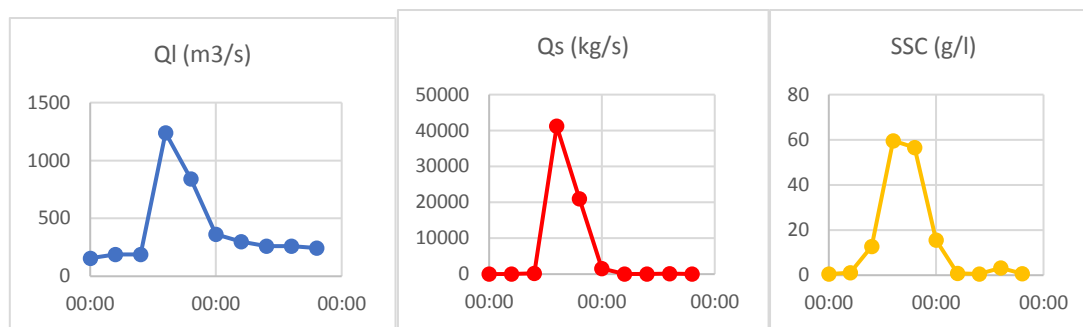


Figure (II.15) : Crue 5 au 14 Mars 1985-St Grarem-.

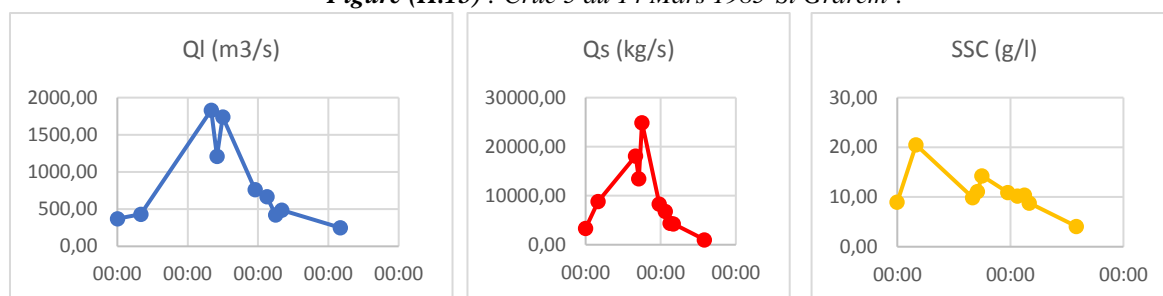


Figure (II.16) : Crue 15 au 18 Avril 1979 -station El Ancer-.

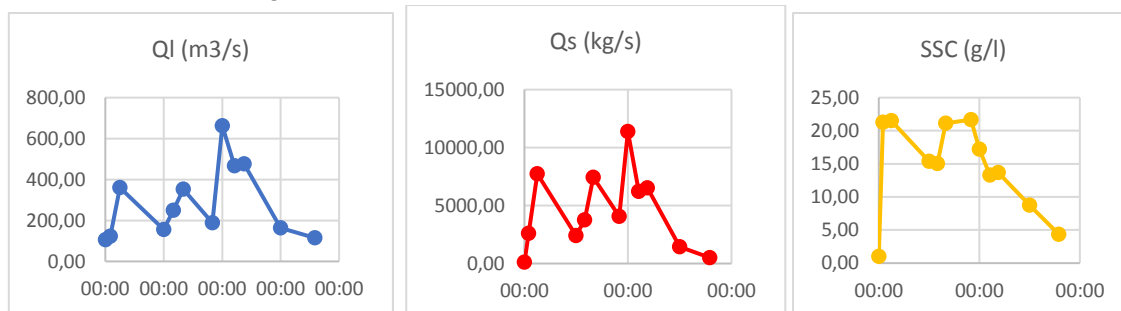


Figure (II.17) : Crue Du 18 au 21 Décembre 1980 -station El Ancer-.

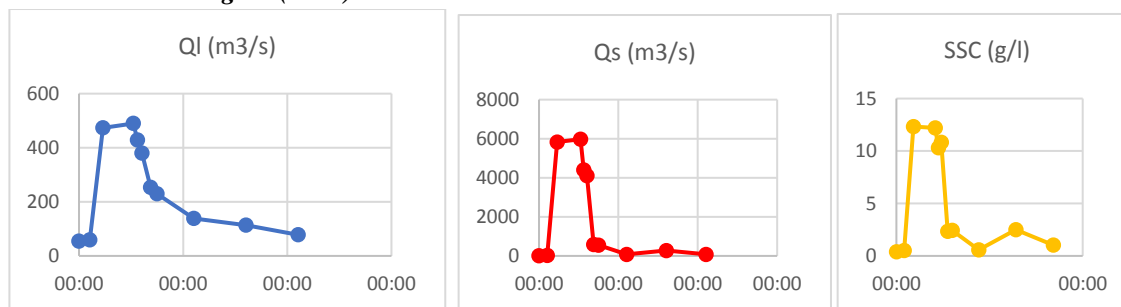


Figure (II.18) : Crue 21 au 25 Février 1981 -station El Ancer-.

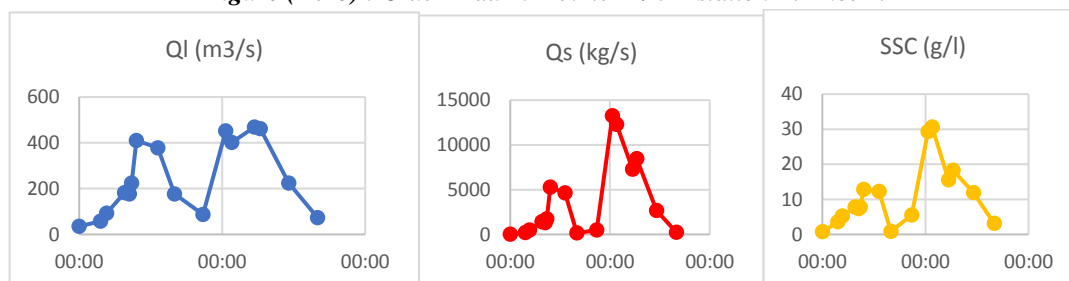


Figure (II.19) : Crue du 22 janvier au 1 Février 1982- station El Ancer-.

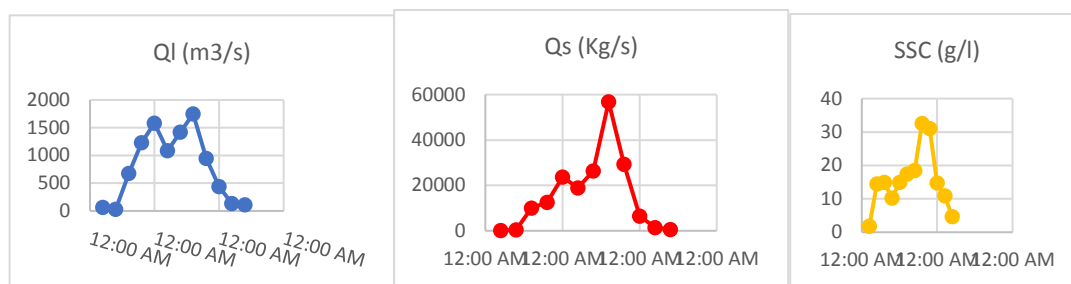


Figure (II.20) : Crue du 1-7 Février 1984 -St El Ancer-.

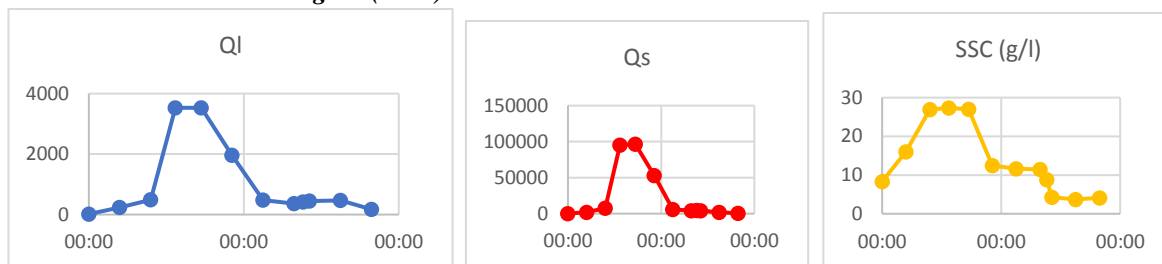


Figure (II.21) : Crue du 27 Décembre 5 janvier 1985-St El Ancer-.

Crues Bassin Soummam

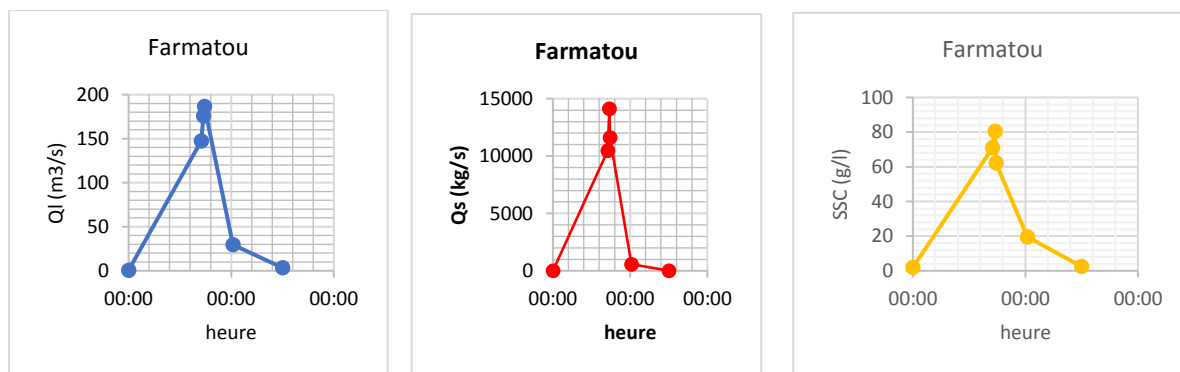


Figure (II.23) : Crue du 10- 14 septembre 1979.

ملخص

ان التنبؤ بالتركيبة الحدية والعالية للرواسب المياه العالقة (المنحلة) في المناطق الجافة و شبه الجافة يكتسي أهمية متزايدة منذ سنوات نظرا لدوره المهم في التخطيط و ادارة الموارد المائية. حاليا تعد نمذجة هذه التراكيز الحدية للرواسب المياه العالقة بواسطة الشبكة العصبية الاصطناعية (RNA) و أنظمة الاستدلال التكييفية الضبابية العصبية (ANFIS) طرقا جد متطورة و واسعة الاستخدام لمعالجة نقص البيانات في المواقع الغير معايرة أو في المواقع التي تعد فيها المعايرة غير كافية و ذلك لبطء تطبيق هذه التقنيات و كفاءتها مقارنة بطرق نماذج الانحدار (model régressif). ان الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو أقلمة (الهيكله الاقليمية) هذه التراكيز الحدية بواسطة نماذج الانحدار (régression) الشبكة العصبية الاصطناعية (RNA) و أنظمة الاستدلال الضبابية (ANFIS) في خمس أحواض ساكنة كبرى و التي تقع في الشرق الجزائري و هي: حوض السواحل القسنطينية, حوض الهضاب العليا, حوض كبير الرمال, حوض سييوس, و حوض الصومام. تتميز هذه المنطقة بارتفاع حمولة رواسب الاتربة للانجراف المائي و نقص بيانات تراكيز الرواسب العالقة و كذلك قلة القياسات الموجودة في هذه المناطق. تم تطبيق النمذجة للسلاسل الزمنية: التدفق السائل (QI), التدفق الصلب (Qs), التراكيز الحدية للرواسب العالقة (CSS), الخاصة ب 14 محطة قياس هيدرومترية تتوزع عبر كامل مجال الدراسة. تم دراسة أنموذجين. الانموذج الأول يتضمن التدفق السائل كمدخل (input) و التدفق الصلب كمخرج (output), أما الانموذج الثاني فيتضمن التدفق السائل وكذلك الصلب كمدخلات و التراكيز الحدية للرواسب كمخرجات. ان أفضل النماذج التي تم الحصول عليها في الاحواض المدروسة كانت باستخدام نموذج المتعدد الطبقات ذي الحد (PMC) ذو التغذية الامامية (التدفق الامامي) (FFN) الذي يستخدم منهجية الانتشار العكسي للأخطاء أي من الخلف للأمام (Backpropagation) بواسطة خوارزمية ليفانيرف (LM) و ذلك بالنسبة للنمذجة المعطيات بالشبكة العصبية الاصطناعية (RNA), أما بالنسبة للنمذجة بواسطة الأنظمة الضبابية (ANFIS) فقد استخدمنا أنموذج الدرجة الأولى تاكاجي سيجينو (Takagi-Sugeno) ذو خوارزمية التعلم الهجين (Hybride). تم تقييم كفاءة النماذج المتحصل عليها بواسطة خمسة معايير: معامل التحديد (R^2), معامل الارتباط (R), معامل ناش ساتكليف (NSE), الخطأ التربيعي المتوسط (MSE), الجذر التربيعي للخطأ التربيعي المتوسط (RMSE), و الخطأ المطلق (MAE). و قد أظهرت كل من نماذج التنبؤات بواسطة الشبكة العصبية الاصطناعية و الأنظمة الضبابية كفاءة عالية.

الكلمات المفتاحية: أنظمة الاستدلال التكييفية الضبابية العصبية- الشبكة العصبية الاصطناعية-الشرق الجزائري- خوارزمية التعلم الهجين- خوارزمية ليفانيرف- نموذج المتعدد الطبقات ذي الحد-الأقلمة- التراكيز الحدية والعالية للرواسب المياه العالقة- أنموذج تاكاجي سيجينو.

Résumé

La prédiction des Concentrations de sédiments en suspension CSS extrêmes dans les zones arides et semi-arides a suscité un intérêt croissant depuis des années vu leur rôle primordial dans la planification et la gestion des ressources en eau. Aujourd'hui la modélisation des CSS par les réseaux de neurones artificiels RNA et les systèmes adaptatifs neuro flou d'inférence ANFIS sont des méthodes très développées et largement utilisées pour faire face au manque des données dans les sites non jaugés ou peu jaugés, en raison de leur simplicité d'application et fiabilité comparément aux modèles régressifs. L'objectif principal de cette étude est la régionalisation des CSS par les modèles régressifs, les modèles RNA et ANFIS dans cinq grands bassins versants de l'Est Algérien : les Côtiers Constantinois, les Hauts plateaux Constantinois, le Kébir Rhumel, le Seybouse, et le Soummam, qui sont caractérisés à la fois par une forte charge d'érosion hydrique et d'un manque de mesures des CSS. Une application a été donnée aux séries chronologiques : des débits liquides QI, débits solides Qs, et des CSS journalières, pour 14 stations hydrométriques contrôlant la totalité de la zone d'étude. Deux vecteurs d'entrée ont été choisis : le premier vecteur contient une seule entrée : débit liquide QI, et une seule sortie : débit solide Qs. Le deuxième vecteur : deux entrées : débit liquide QI et débit solide Qs et les Concentrations des Sédiments en Suspension CSS comme sortie. Les meilleurs modèles ont été obtenus pour des perceptrons multicouches PMC d'une architecture : Flux vers l'avant ou « Feed for ward » FNN qui utilise la méthode de rétropropagation de l'erreur avec un l'algorithme de Levenberg-Marquardt "LM", pour la modélisation par RNA. Les meilleurs modèles ANFIS ont été développés en appliquant un modèle du premier ordre Takagi Sugeno TSK avec un algorithme d'apprentissage hybride. La fiabilité des modèles créés a été évaluée par cinq critères de validation : le coefficient de détermination R^2 , le coefficient de corrélation R, le coefficient Nash-Sutcliffe NSE, l'erreur quadratique moyenne MSE, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne RMSE et l'erreur absolue moyenne MAE. Les modèles RNA et ANFIS ont montré une performance très élevée pour les deux vecteurs d'entrée.

Mots clés : systèmes adaptatifs neuro flou d'inférence- les réseaux de neurones artificiels- l'Est Algérien- apprentissage hybride- l'algorithme de Levenberg-Marquardt -perceptron multicouche- régionalisation- concentrations des sédiments en suspension - Takagi-Sugeno-Kang.

Abstract

High Suspended Sediment Concentrations SSC prediction in arid and semi-arid areas has aroused increasing interest in recent years because of its primary role in water resources planning and management. Today, given its simplicity and reliability, SSC modeling by artificial neural networks ANN and adaptive neuro-fuzzy Interference ANFIS are the most developed and widely used methods, to address the lack of data measurement in ungauged or poorly gauged basins. The main aim of this study is suspended sediment concentrations regionalization using ANN and ANFIS modeling at the five largest basins in eastern Algeria: the Constantinois Coastal, Highlands, Kébir-Rhumel, Seybouse, and Soummam basin, which are characterized by high water erosion and a lack of SSC measurements. An application was given for historical time series: liquid flows QI and solid flows Qs as inputs, and daily SSC as outputs, for the 14 hydrometric stations controlling the entire area. Two input vectors were selected, the first vector: one input: the liquid flow QI input, and one output: solid flow Qs. The second vector: two inputs: liquid flow QI and solid flow Qs and one input : suspended sediment concentrations SSC. The best models were achieved using a Multi-Layer Perceptrons MLP Feed Forward Networks FNN trained with a Levenberg-Marquardt LM algorithm for ANN modeling and a First-order Takagi-Sugeno-Kang TSK with a hybrid learning method for ANFIS modeling. The reliability of the created models was evaluated using five validation criteria: determination coefficient R^2 , the correlation coefficient R, the Nash-Sutcliffe coefficient NSE, mean square error MSE, root-mean-square error RMSE, and the mean absolute error MAE. Both of ANN and ANFIS models showed high accuracy.

Key words: adaptive neuro fuzzy- artificial neural networks- eastern algerian basins- hybrid learning- levenberg marquardt-multi-layer perceptrons- regionalization-prediction- suspended sediment concentrations-Takagi Sugeno Kang