

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2017

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

THESE

Présentée par

Salima GUECHI

En vue de l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Option : Hydrologie

Thème

*CARTOGRAPHIE DES PLUIES EXTREMES DU NORD-EST
ALGERIEN*

Directeur de thèse : Laroussi BELOULOU, Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba

Jury d'examen :

CHAAB Salah	(Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba) :	Président
ZOUINI Derradji	(Professeur, Université Badji Mokhtar, Annaba) :	Examineur
MEBARKI Azzedine	(Professeur, Université Mentouri, Constantine) :	Examineur
MANSOURI Rachid	(Professeur, Université du 08 Mai 1945, Guelma) :	Examineur
MAOUI Amar	(Professeur, Université du 08 Mai 1945, Guelma) :	Examineur

ملخص

إن معرفة التوزيع المكاني و الزمني للأمطار الغزيرة قصيرة المدى له أهمية قصوى في إنجاز الدراسات الهيدروتقنية. خاصة عندما يتعلق الأمر بنموذجة هطول الأمطار الإستثنائية. هذه الدراسة ترمي إلى تحقيق هدف مزدوج، المتمثل أولا في تقييم العلاقات بين منسوب الأمطار – الزمن – التردد (HDF) و شدة الأمطار – الزمن – التردد (IDF) وثانيا تصميم خرائط منحنيات التسوية لهطول الأمطار الأكثر شدة و التي مدتها أقل أو تساوي 24 ساعة في منطقة شمال شرق الجزائر. قاعدة المعطيات تتكون من أكثر من 5000 فترة أمطار غزيرة متحصل عليها من التسجيل الأوتوماتيكي على مستوى 18 محطة و كشوفات الأمطار اليومية ل 74 محطة قياس موزعة على مستوى حوض السواحل القسنطينية، حوض الهضاب العليا القسنطينية، حوض واد الرمال - الكبير، حوض مجردة - ملاق و حوض السيبوس.

لقد تم إختبار عدة صيغ تحليلية لاختيار قوانين HDF و IDF . دراسة حساسية التحليل مكنت من تحديد نموذجين ثنائي الإعدادات دون أبعاد (النموذج الهندسي و النموذج النصف لوغارتمي) لوصف رياضي لعلاقة HDF و نموذج ثلاثي الإعدادات من صنف برنار للتعبير عن علاقة IDF .

استغلال نتائج الأبحاث السابقة و النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة من ناحية و الاستفاء المكاني بطريقة الكريجاج من ناحية أخرى مكنت من الانتقال من التقييم المحلي لمخاطر الأمطار إلى التقييم على الصعيد الجهوي لهذه المخاطر. وهذا عن طريق تصميم 8 خرائط منحنيات التسوية للأمطار ذات مدد زمنية قصيرة (15، 30 و 60 دقيقة) و 24 ساعة للترددات 10 و 100 سنة. و قد تم أيضا إنجاز خريطة $Gradex$ للأمطار اليومية القصوى ذات تردد 10 سنوات لتكون مرفقة لخريطة منحنيات التسوية للأمطار ذات تردد 10 سنوات و لمدة 24 ساعة من أجل مساعدة المستخدمين لطريقة $Gradex$ كنموذج لتحديد العلاقة بين الأمطار و التدفق في المنطقة المستهدفة بالدراسة.

إن رسم هذه الخرائط سمح بالتعرف على التباين الكبير كمي و زمنيا بين فترات التساقط الأكثر شدة في الأحواض الهيدروغرافية لشمال شرق الجزائر. و في الأخير تجدر الإشارة إلى أنه على مستوى التطبيقات، هذه الدراسة تمكن من الإجابة على تساؤلات المختصين في مجالات الهيدروليك و الدفاع و الحفاظ على التربة .

الكلمات المفتاحية : شمال شرق الجزائر – الأمطار القصوى – التحليل الترددي – الخرائطية.

Abstract

Knowledge of spatial and temporal distribution of short duration rainfall is of great interest in hydro-technical studies that deal with exceptional floods modeling. This work has two objectives. The first one relates to calculating the Depth-Duration-Frequency (DDF) and the Intensity-Duration-Frequency (HDF) relationships and, as a second goal, to drawing isohyetal maps for heavy rains with short durations (less than or equal to 24 hours) in the Northeast of Algeria. The database consists of digitized charts for more than 5000 rainfall events recorded at 18 sites and daily rainfall measured at 74 rain gauges that spread over the Côtiers and Hauts plateaux constantinois, Kébir-Rhumel, Medjerda-Mellegue and Seybouse basins. Several analytical formulations have been tested to assess the HDF and IDF laws. The sensitivity analysis validated two non-dimensional 2-parameter models (geometric and semi-logarithmic) to analytically describe the HDF law and a 3-parameter model of the Bernard type to express the IDF relation. Using previous works and newly produced results, on one hand, and the kriging method for interpolation, on the other hand, we were able to shift from a point estimate to a spatial or regional evaluation of the rainfall hazard by drawing eight isohyetal maps for the 15, 30, 60 minute and 24 hour rainfall durations with 10 and 100-year return periods. A 10-year maximum daily rainfall Gradex map was also drawn to accompany the 24-hour 10-year isohyetal map to assist Gradex methodologists in Rainfall-Runoff modeling relationship in the study area. Indeed, this mapping has made it possible to reconstruct the great disparities in quantities and durations of heavy rainfall events in the Northeastern Algeria watersheds. Finally, it should be noted that this study whose results are ready to use allows answering, for a well-informed user, many questions in the hydraulics and the soil conservation fields.

Key words: *Northeastern Algeria, heavy rains, frequency analysis, mapping.*

Résumé

La connaissance de la distribution spatiale et temporelle des pluies de courtes durées est primordiale lorsqu'on veut réaliser des études hydrotechniques, notamment lorsqu'on veut modéliser les crues exceptionnelles. La présente étude a un double objectif. Il s'agit de calculer les relations Hauteur-Durée-fréquence (HDF) et Intensité-Durée-Fréquence (IDF) et d'élaborer ensuite des cartes en courbes isohyètes des averses les plus intenses de durées inférieures ou égales à 24 heures pour le Nord-est algérien. La base de données est constituée des dépouillements des pluviogrammes de plus de 5000 épisodes pluvieux enregistrés au niveau de 18 stations et des relevés des pluies quotidiennes de 74 pluviomètres répartis sur les bassins des Côtiers constantinois, Hauts Plateaux constantinois, Kébir-Rhumel, Medjerda-Mellegue et Seybouse.

Plusieurs formulations analytiques ont été testées pour apprécier les lois HDF et IDF. L'analyse de sensibilité a permis de valider deux modèles adimensionnels à 2-paramètres (géométrique et semi-logarithmique) pour décrire de façon analytique la loi HDF et un modèle à 3-paramètres de type Bernard pour exprimer la relation IDF. Grâce à l'exploitation des résultats d'anciens travaux et ceux produits dans le cadre de ce travail, d'une part, et à l'interpolation spatiale par le krigeage, d'autre part, on a pu passer d'une évaluation ponctuelle à une connaissance spatiale ou régionale de l'aléa pluviométrique par l'élaboration de huit cartes isohyétales relatives à des durées de référence de 15, 30, 60 minutes et 24 heures et des fréquences d'apparition décennales et centennales. Une carte du Gradex des pluies journalières maximales décennales a été également dressée pour accompagner la carte des isohyètes décennales de 24 heures afin d'assister les partisans de la méthode du Gradex pour modéliser la relation *Pluie-Débit* dans la zone d'étude. En effet, cette cartographie a permis de restituer les grandes disparités en quantités et durées des épisodes pluvieux les plus intenses dans les bassins hydrographiques du Nord-est algérien.

Faut-il noter enfin que sur le plan des applications, cette étude dont les résultats sont prêts à l'usage permet de répondre, pour un usager averti, à de nombreuses questions dans les domaines de l'hydraulique et de la défense et restauration des sols.

Mots clé : *Nord-est algérien, pluies extrêmes, analyse fréquentielle, cartographie.*

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont en premier lieu à dieu qui m'a donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

J'adresse ma sincère gratitude à mon directeur de thèse Pr. Beloulou Laroussi pour son aide précieuse dans l'élaboration de cette thèse, ses conseils et ses suggestions pour améliorer la qualité de ce travail. J'ai beaucoup bénéficié de ses idées et de son expérience.

Toute ma reconnaissance va à tout le personnel de l'ANRH et de l'ONM (antennes d'Annaba, Constantine et Alger) pour leur aide en matière de collecte de données. Je tiens à remercier particulièrement MM Boumaaza Abderrahmane et Bouchebcheb Abdelmadjid, respectivement, ex chef de service d'hydrologie au niveau de Constantine et chef d'antenne à Annaba.

Je remercie chaleureusement et j'adresse ma profonde gratitude à Mr Nacer Djamel (chercheur confirmé, géologie de l'uranium au centre de recherche nucléaire de Draria, Alger) pour son précieux et fructueux soutien dans le domaine de la cartographie. J'ai bénéficié de ses connaissances approfondies sur l'utilisation du logiciel Surfer 11 de Golden Software Compagnie pour réaliser les cartes.

Je tiens à remercier également Messieurs les membres de jury qui ont bien voulu examiné mon travail.

Mes remerciements vont également à mon frère Dr. Guechi El Hadi, enseignant chercheur à l'université 20 Aout à Skikda pour son aide dans le domaine d'informatique, notamment l'utilisation de MathLab.

Je tiens enfin à exprimer ma profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à réussir ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce manuscrit

- à mes chers parents que dieu les garde et les protège.
- à mon mari et mes enfants qui m'ont toujours aidé, encouragé et soutenu durant toutes ces longues années de recherche jusqu'à l'achèvement de ce travail.
- à mes sœurs et mes frères.
- à toutes les amies et à toutes les personnes intéressées par mon travail.

TABLE DES MATIERES

	Page
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	XII
LISTE DES CARTES.....	XII
INTRODUCTION.....	1
 CHAPITRE I - PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE.....	 8
1. Situation géographique de la zone d'étude	8
2. Relief.....	9
3. Réseau hydrographique	10
4. Caractéristiques morphométriques des bassins versants.....	16
5. Climat du Nord-est algérien.....	17
5.1. Les précipitations.....	18
5.2. Les températures.....	22
5.3. L'évapotranspiration.....	22
5.4. Autres facteurs météorologiques.....	25
6. Le couvert végétal.....	26
7. Aperçu géologique.....	28
8. Notion sur le régime hydrologique des cours d'eau.....	30
9. Conclusion.....	32
 CHAPITRE II - PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES - ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNEES.....	 33
1. Introduction.....	33
2. Acquisition des données Le réseau pluviométrique.....	33
3. Reconstitution des données manquantes.....	35

TABLE DES MATIERES - (Suite)

	Page
3.1. La moyenne arithmétique simple.....	35
3.2. La méthode des distances inverses.....	35
3.3. La méthode du rapport normal.....	37
3.4. Méthode des doubles cumuls.....	38
4. Analyse exploratoire des données.....	40
4.1. Test d'indépendance de Wald-Wolfowitz.....	40
4.2. Le test d'homogénéité des observations ou test "U" de Mann-Whitney.....	42
4.3. Test de représentativité des données.....	44
4.3.1. Techniques graphiques.....	45
4.3.2. Quantitatives-tests statistiques.....	45
a- Test de Hampel	45
b- Test de Tukey ou méthode des quartiles (Box plot).....	51
c- Test de Grubbs et Beck (version US-Water Resources Council).....	51
5. Conclusion.....	54
CHAPITRE III- ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES.....	55
1. Introduction.....	55
2. Analyse statistique descriptive.....	56
3. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales.....	60
3.1. Modèles probabilistes ajustés.....	61
a- Loi log-normale à 2 paramètres (LN-2p).....	61
b- Loi log-normale à 3 paramètres (LN-3p).....	62
c- Loi de Gumbel (EVI).....	62

TABLE DES MATIERES - (Suite)

	Page
d- Loi des Valeurs Extrêmes Généralisées (GEV).....	62
e- Loi Gamma à 2 paramètres.....	63
f- Loi Gamma à 3 paramètres.....	63
g- Loi log-Pearson III.....	64
h- Loi de Fréchet à 2 paramètres.....	64
i- Loi de Fréchet à 3 paramètres.....	64
3. 2. Appréciation de la qualité de l'ajustement.....	65
3.2.1. Techniques graphiques.....	67
3.2.2. Techniques de la statistique inférentielle -Tests d'adéquation.....	70
3.2.2.1. Test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov.....	70
3.2.2.2. Test du Khi-deux de Pearson	71
3.2.2.3. Test d'Anderson-Darling.....	74
3.3. Choix du modèle fréquentiel.....	77
a -Méthode de classement.....	77
b- Méthode des L-moments.....	78
4. Conclusion.....	92
CHAPITRE IV - ANALYSE DES AVERSES - ESSAI DE MODELISATION.....	96
1. Introduction	96
2. Quelques définitions	96
3. Acquisition, mise en forme et construction de la base de données	100
3.1.Données de base	100
3.2. Choix des épisodes pluvieux et mise en forme des données	103
4. Construction des courbes HDF et IDF	106
4.1. Analyse statistique descriptive des averses	108
4.2. Analyse fréquentielle des averses	115

TABLE DES MATIERES - (Suite)

	Page
4.3. Modélisation des courbes HDF et IDF	119
4.3.1. Modélisation des HDF	120
4.3.2. Modélisation des IDF	125
4.3.3. Validation des modèles HDF et IDF	134
5. Conclusion	152
<i>CHAPITRE V - CARTOGRAPHIE DES PLUIES INTENSES</i>	153
1. Introduction	153
2. Estimation de la hauteur des averses (relevés aux pluviomètres)	153
3. Etablissement et interprétation des cartes isohyètes	156
4. Aperçu sur l'extension géographique et abattement des averses	171
5. Gradex des pluies: estimation et cartographie	172
6. Conclusion	175
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	178
<i>LISTE DES REFERENCES</i>	181
<i>ANNEXES</i>	188

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Page
1. Carte de situation géographique de la zone d'étude.....	8
2. Bassins hydrographiques du Nord-est algérien.....	9
3. Carte du relief de la zone d'étude.....	10
4. Profil en long du Kébir-Est	12
5. Profil en long de l'Oued Kébir-Rhumel	13
6- Profil en long de l'Oued Seybouse.....	14
7- Profil en long de l'oued Medjerda	16
8. Carte de précipitations moyennes annuelles de l'Est algérien	19
9. Variabilité spatiale et temporelle des pluies dans la zone d'étude.....	20
10. Couverture végétale dans la partie Nord-est de l'Algérie.....	26
11. Distribution des principales espèces végétales au niveau du Nord-est algérien	28
12. Esquisse géologique de la région d'étude.....	30
13. Répartition des postes pluviométriques dans la zone d'étude.	36
14. Diagramme de dispersion et droite de régression des pluies cumulées à la station de Tebessa-ONM vs les pluies cumulées à la station de Tebessa APC.....	38
15. Station d'Amoucha-Detection graphique des données atypiques.....	46
16. Station de Batna-Detection graphique des données atypiques	47
17. Station de Settara-Detection graphique des données atypiques	48
18. Station de Meskiana-Detection graphique des données atypiques.....	49
19. Station de Medjez Amar-Detection graphique des données atypiques	50
20. Station d'Héliopolis- Limites de détection de données atypiques selon le test de Grubbs et Beck.....	54
21. Etapes de l'analyse fréquentielle d'une variable hydrologique.....	55
22. Histogrammes de fréquences des pluies journalières maximales.....	60
23. Graphiques de symétrie des pluies journalières maximales.....	61

LISTE DES FIGURES – (Suite)

Figure N°	Page
24. QQ plots - Appréciation de l'ajustement des modèles probabilistes aux données pluviométriques dans le Nord-est algérien.....	68
25. PP plots - Appréciation de l'ajustement des modèles probabilistes aux données pluviométriques dans le Nord-est algérien	69
26. Diagramme des L-moments des pluies journalières maximales du Nord-est algérien.....	86
27. Bassin des côtiers constantinois- Diagramme des L-moments.....	87
28. Bassin de la Seybouse - Diagramme des L-moments.....	88
29. Bassin du Kébir-Rhumel - Diagramme des L-moments.....	89
30. Bassin de la Medjerda-Mellegue - Diagramme des L-moments.....	90
31. Courbe des pluies cumulées enregistrées au cours de l'averse du 24 au 25 Mai 1992 à la station de Pont Bouchet.	98
32. Hyétogramme afférent à l'averse du 14 Mai 1976 à Guelma.	99
33. Situation des stations à pluviographes.....	102
34. Hauteurs et intensités maximales de l'épisode pluvieux du 24 au 25 Septembre 1985.....	104
35. Procédure de calcul des courbes HDF et IDF.....	107
36. Structure de l'épisode pluvieux du 10 Janvier 1972 à Ain Assel.....	113
37. Structure de l'épisode pluvieux du 27 Décembre au 1 ^{er} Janvier 1985 à Ouled Rahmoun.....	113
38. Structure de l'épisode pluvieux du 6 au 8 Octobre 1972 à Aioun Settara.....	114
39. Structure de l'épisode pluvieux du 4 au 5 Décembre 2004 à Foug Toub.....	114
40. Station de Tebessa - Diagrammes de dispersion des relations HDF et IDF.....	119
41. Evolution de la constante α de Montana avec la période de retour.....	132
42. Station de Bousnib -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus.....	136
43. Station de Foug Toub -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus.....	137
44. Station de Settara -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus.....	137
45. Station de Pont Bouchet -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus.....	138
46. Station de Jijel - Courbes HDF.....	141

LISTE DES FIGURES – (Suite)

Figure N°	Page
47. Station de Foug Toub - Courbes HDF.....	141
48. Station de Chelghoum Laid - Courbes HDF.....	142
49. Station de Tebessa - Courbes HDF.....	142
50. Station de Guelma - Courbes HDF.....	143
51. Station de Jijel – Courbes IDF.....	144
52. Station d’Ain Assel – Courbes IDF	145
53. Station de Foug El Gueis – Courbes IDF.....	146
54. Station de Settara – Courbes IDF.....	147
55. Station de Ouled Rahmoun – Courbes IDF.....	148
56. Station de Tebessa – Courbes IDF.....	149
57. Station de Cheikh Abdallah - Courbes IDF.....	150
58. Station de Aioun Settara – Courbes IDF.....	151
59. Station d’Ain Berda – Courbes IDF.....	152
60. Cercle corrélation des principaux descripteurs des averses.....	154
61. Abattement des pluies-Quelques exemples	172

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Page
1. Récapitulatif des paramètres morphométriques de quelques bassins versants de la zone d'étude.....	17
2. Pluies moyennes et extrêmes de quelques stations de la zone d'étude.....	18
3. Variations des températures mensuelles et annuelles dans la zone d'étude.....	23
4. Résultats des bilans évaporométriques de Thornthwaite.....	24
5. Zonage bioclimatique selon l'indice d'aridité dans le bassin méditerranéen.....	24
6. Autres caractéristiques météorologiques du Nord-est algérien.....	25
7. Variabilité spatiale et temporelle des débits des principaux cours d'eau dans la zone d'étude.....	31
8. Station El Aouinet- Calcul de la pluie manquante de l'année 1998.....	36
9. Station de Texanna- Calcul de la pluie manquante de l'année 1991.....	36
10. Station de Kef Mourad- Calcul de la pluie manquante de l'année 1977.....	37
11. Station Meskiana- Calcul de la pluie manquante de l'année 1989.....	37
12. Station Berriche- Calcul de la pluie manquante de l'année 1976	38
13. Reconstitution des pluies journalières maximales à la station de Tebessa-ONM.....	39
14. Tableau récapitulatif des résultats du comblement des lacunes.....	40
15. Exemple de calcul du test d'indépendance de Wald-Wolfowitz.....	41
16. Exemple de calcul du test d'homogénéité de Mann-Whitney.....	43
17. Exemple de calcul du test de représentativité de Hampel.....	51
18. Exemple de calcul et schéma explicatif du test de représentativité de Tukey.....	52
19. Exemple de calcul du test de représentativité de Grubbs et Beck.....	53
20. Résultats des tests non paramétriques-Exemple de quelques stations.....	54
21. Bassin des Côtiers constantinois-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales.....	56
22. Bassin des Hauts Plateaux constantinois-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales.....	57

LISTE DES TABLEAUX – (Suite)

Tableau N°	Page
23. Bassin du Kébir-Rhumel-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales.....	57
24. Bassin de la Medjerda-Mellegue-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales.....	58
25. Bassin de la Seybouse-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales.....	58
26. Résumé statistique synthétique des pluies journalières maximales dans le Nord-est algérien.....	59
27- Station de Berrahal-Estimation des paramètres.....	66
28- Station de Constantine-Estimation des paramètres.....	66
29- Station de Tebessa-Estimation des paramètres.....	66
30- Station de Pont Bouchet-Estimation des paramètres.....	67
31. Appréciation de l'ajustement des modèles probabilistes à l'aide du coefficient de corrélation entre quantiles-Pjmax à M'daourouch.....	69
32. Test de Kolmogorov-Smirnov (Pjmax à la station de Ain Babouche en mm).....	72
33. Test d'adéquation de l'ajustement d'une loi de Frechet aux données pluviométriques de la station de Col de Fdelous.....	75
34. Test d'Anderson-Darling pour l'ajustement d'une loi Gamma aux pluies journalières maximales à la station d'El Kouif.....	76
35. Nombre de fois où le modèle est classé premier.....	78
36. Calcul des L-moments-Pluies journalières maximales en mm à la station de Settara.....	80
37. Bassin versant des côtières constantinois-Résultats du calcul des L-moments.....	81
38. Bassin versant de la Seybouse - Résultats du calcul des L-moments.....	82
39. Bassin versant du Kébir-Rhumel - Résultats du calcul des L-moments.....	83
40. Bassin versant de la Medjerda-Mellegue - Résultats du calcul des L-moments.....	84
41. Choix du modèle probabiliste par la méthode du score maximum.....	91
42. Fréquence de pluies journalières maximales dans le bassin des côtières constantinois.....	93
43. Fréquence de pluies journalières maximales à la station de Batna.....	93
44. Fréquence de pluies journalières maximales dans le bassin du Kébir-Rhumel.....	94
45. Fréquence de pluies journalières maximales dans la Medjerda-Mellegue.....	94

LISTE DES TABLEAUX – (Suite)

Tableau N°	Page
46. Fréquence de pluies journalières maximales dans le bassin de la Seybouse.....	95
47. Dépouillement des épisodes pluvieux du 28 Sept et du 05 Oct 1998 à la station de Jijel.....	100
48. Identification des stations dotées d'un pluviographe.....	101
49. Choix de l'averse et réaménagement de la matrice de données.....	103
50. Variation de la hauteur de la pluie maximale avec la durée	104
51. Variation de l'intensité maximale de la pluie avec la durée.....	105
52. Pluies maximales annuelles à la station de Tébessa	105
53. Intensité maximale annuelle des pluies à la station de Tébessa.....	106
54. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Jijel (Zone humide)	109
55. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Guelma (Zone subhumide)	110
56. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Tébessa (Zone semi-aride)	111
57. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Fom Toub (Zone semi-aride)	112
58. Ain Assel – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses.....	116
59. Settara – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses.....	116
60. Aioun Settara – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses.....	117
61. Tébessa – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses.....	118
62. Comparaison des modèles alternatifs (classement <i>STATGRAPHICS</i>)	121
63. Bassin versant des Côtiers constantinois- Résultats des modèles adoptés.....	122
64. Bassin versant des Hauts Plateaux constantinois- Résultats des modèles adoptés.....	123
65. Bassin versant du Kébir-Rhumel- Résultats des modèles adoptés.....	123
66. Bassin versant de Medjerda-Mellegue - Résultats des modèles adoptés.....	124
67. Bassin versant de la Seybouse - Résultats des modèles adoptés.....	124
68. Bassin des côtiers constantinois - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement.....	127
69. Bassin des Hauts Plateaux constantinois - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement.....	128

LISTE DES TABLEAUX – (Suite)

Tableau N°	Page
70. Bassin du Kébir-Rhumel - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement.....	129
71. Bassin de la Medjerda-Mellegue - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement.....	130
72. Bassin de la Seybouse - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement	131
73. Paramètres du modèle de Bernard.....	133
74- Résultats de la validation du modèle multiplicatif.....	139
75- Résultats de la validation du modèle semi-logarithmique.....	140
76. Résultats de la validation du modèle de Bernard pour l'ajustement des pluies intenses dans le Nord-est algérien.....	143
77. Matrice de corrélation des principaux descripteurs des averses.....	154
78. Répartition des stations cibles et des stations de référence.....	155
79. Exemple de calcul de la pluie de courte durée.....	157
80. Bassin des Côtiers constantinois – Calcul des HDF (mm).....	158
81. Bassin des Hauts Plateaux constantinois – Calcul des HDF (mm).....	159
82. Bassin du Kébir-Rhumel– Calcul des HDF (mm).....	159
83. Bassin de la Medjerda-Mellegue – Calcul des HDF (mm).....	160
84. Bassin de la Seybouse – Calcul des HDF (mm).....	161
85. Gradex des pluies quotidiennes maximale dans le bassin des Côtiers constantinois.....	173
86. Gradex des pluies quotidiennes maximale dans le bassin des Hauts Plateaux constantinois.....	173
87. Gradex des pluies quotidiennes maximale dans le bassin du Kébir-Rhumel.....	174
88. Gradex des pluies quotidiennes maximale dans le bassin de la Medjerda-Mellegue.....	174
89. Gradex des pluies quotidiennes maximale dans le bassin de la Seybouse.....	175

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo N°	Page
1. Principaux oueds dans le bassin des Côtiers constantinois.....	11
2. Principaux cours d'eau dans le bassin du Kébir-Rhumel.....	12
3. La Seybouse et quelques affluents.	14
4.. La Medjerda et ses affluents Djedra et Mellegue.....	15
5. Couverture neigeuse dans quelques régions du Nord-est algérien.....	21
6. Diversité du couvert végétal du Nord vers le Sud dans le Nord-est algérien.....	28

LISTE DES CARTES

Carte N°	Page
1. Isohyètes maximales décennales de 15 minutes dans le Nord-est de l'Algérie.....	163
2. Isohyètes maximales décennales de 30 minutes dans le Nord-est de l'Algérie.....	164
3. Isohyètes maximales décennales de 60 minutes dans le Nord-est de l'Algérie.....	165
4. Isohyètes maximales décennales de 24 heures dans le Nord-est de l'Algérie.....	166
5. Isohyètes maximales centennales de 15 minutes dans le Nord-est de l'Algérie.....	167
6. Isohyètes maximales centennales de 30 minutes dans le Nord-est de l'Algérie.....	168
7. Isohyètes maximales centennales de 60 minutes dans le Nord-est de l'Algérie.....	169
8. Isohyètes maximales centennales de 24 heures dans le Nord-est de l'Algérie.....	170
9. Carte du Gradex des pluies journalières maximales dans le Nord-Est algérien	176

INTRODUCTION

Les eaux météoriques constituent l'origine principale des ressources en eau dans la planète. Celles-ci seront exploitées par l'homme desquelles il tire de l'énergie et se nourrit. Malheureusement ces eaux météoriques peuvent être une menace constante pour la sécurité des personnes et des biens suite aux catastrophes naturelles provoquées par les pluies exceptionnelles et de forte intensité. Selon l'Institut International de l'Eau de Stockholm (SIWI), pour la période 1996-2005, environ 80% des événements brutaux sont d'origine météorologiques (pluies violentes, inondations, tempêtes); conséquence directe du réchauffement climatique; imputable à l'activité anthropique (GIEC¹, 2004) et sont aggravés par une mauvaise gestion des espaces urbains. Plusieurs études ont montré que le réchauffement globale du climat s'accompagne d'une augmentation de la fréquence des fortes précipitations dans de nombreuses régions du globe (Frei et al., 2000; Trömel et Schönwiese, 2007; IPCC², 2007) causant d'énormes aléas naturels (inondations, glissements de terrain, etc.). Selon le GIEC (2004), cette augmentation des événements extrêmes a été détectée dans plusieurs régions du monde. Le Québec a expérimenté 23 sinistres dus aux inondations liées à un taux extrêmement élevé de pluies en 2004 (RNCa³, 2004c) causant des blessures, des problèmes cardiaques et des morts par noyade. Cette hausse est aussi perceptible en Suisse où les précipitations journalières maximales tendent à augmenter au cours de la période 1911-2010 pour la plus part des stations (Fallot, 2013). La Fédération Française des Sociétés d'Assurance (FFSA, 2011) déclare sur son site que les pertes humaines et les coûts des dommages matériels des événements extrêmes des années 2009 et 2010 ont été évalués à 91 décès et 4 milliards d'Euros sur le territoire français. Selon l'une des principales hypothèses d'une étude publiée par la FFSA en 2008 ; il existerait une forte probabilité de voir doubler la charge des dommages liés à ces événements d'ici 20 ans.

Les crues et les mouvements de terrain liés aux pluies extrêmes ont affectées d'autres pays à travers le monde. On cite, à titre d'exemples, les cas suivants :

¹ Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

² Intergovernmental Panel on Climate Change

³ Ressources naturelles Canada

Pays	Année	Dommages et dégâts	Causes	Sources
Shimizu, Japan	1988	100 décès et importants dégâts (300 Md de yens)	Précipitations intenses	Polemio et Petrucci, 2000
Malaisie	1993	48 décès et 2 blessés	Fortes précipitations	Rasid, 2006
Maharstra, Inde	2005	987 décès	Inondations et glissement de terrain suite à une averse de 942 mm en durée 13 jours	Brakenridge, 2017
Roumanie	2005	34 morts, \$625 millions	Inondations suite à une averse de 20 jours	Brakenridge, 2017
Kapiti Coast, NZ	2015	Plusieurs routes coupées.	Glissement de terrain suite à 80 à 150mm de pluies en 24 h	GNS Science Report , 2015
Guinée	2015	4 morts	Forte pluie de 450 mm en trois jours	Brakenridge, 2017
Equateur	2016	7 morts	Pluies torrentielles	Brakenridge, 2017
Pakistan	2016	100 morts	Averse de 14 jours	Brakenridge, 2017
Mocoa, Colombie	2017	254 morts	Pluies diluviennes, coulées de boue énormes et débordement de cours d'eau.	Radio Sputnik, 2017

Dans ce contexte, le bassin méditerranéen est particulièrement soumis à ce genre de risque résultant à la fois des pluies journalières intenses et de la topographie accidentée des bassins versants. Ainsi en Novembre 1994, le piémont italien a déploré plus de 60 morts (Buzzi et al, 1998) à la suite d'inondations. En France les inondations de Nîmes en 1988, Vaison la romaine en 1992, l'Aude en 1999 et le département du Gard en Septembre 2002 ont provoqué 20 décès et des pertes économiques estimées à plus d'un milliard d'euros (Delrieu et al., 2005, Huet et al., 2003).

Dans les pays du Maghreb, les inondations liées aux pluies intenses sont également fréquentes. On peut citer celles:

- du 11 novembre 1982 à Annaba : 26 décès, 9500 sinistrés, dégâts matériels importants
- du 28 au 31 décembre 1984 dans le bassin du Saf Saf: précipitations quotidiennes maximales 137 mm à Zardezas, 97.6 mm à El Harrouch et 111.2 mm à Ramdane Djamel; 11 décès,
- du 29 décembre 1984 à Jijel : 29 décès, 11000 sinistrés
- du 9 au 11 Novembre 2001 à Alger (Bab el Oued) : 262 mm dont 204 mm en 24 heures (Beloulou, 2008 ; Hamadache et al., 2002) : plus de 800 victimes
- du 11 et 12 Décembre 2003 à Tébessa : écoulement torrentiel avec d'importants charriages.

- de l'hiver 2005 dans la région de Bizerte (Tunisie) : glissement de terrains suite à des pluies torrentielles causant la détérioration des champs des cultures (Mathlouthi, 2011)
- du 30 novembre 2010 à Casablanca : 180 mm en 24 heures (Centre de Marseille pour l'Intégration en Méditerranée, 2011) ; fermetures de l'aéroport international, de plusieurs entreprises et écoles.
- du 22 et 23 Février 2012 à El Taref : fortes précipitations estimées à 133 mm causant le débordement de quatre barrages; 3 morts.

Pour faire face aux risques causés par les pluies extrêmes et qui constituent une entrave au développement socio-économique, une analyse fréquentielle est impérative pour identifier leurs caractéristiques pour mieux aménager l'espace. Dans ce contexte l'approche probabiliste est souvent utilisée dans les différentes études relatives aux pluies extrêmes. Selon l'objectif visé, de nombreux travaux, basés sur des modèles probabilistes différents, ont été effectués dans le monde.

A partir de séries de 23 à 28 ans d'observations, Zalina et al. (2002) ont conduit une étude ayant pour objectif le choix d'une loi de distribution parmi huit distributions testées pour estimer les précipitations maximales annuelles probables en Malaisie.. La loi des Valeurs Extrêmes Généralisée (GEV) semble la mieux adaptée.

Mohymont et Demarée (2006), les auteurs ont établi les courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) des précipitations extrêmes de courtes durées pour la station de Yangambi, zone tropicale du Congo. Plusieurs modèles de type Montana ont été testés pour six durées de référence allant de 15 min à 24 h. Une famille de courbes est décrite par un modèle à quatre paramètres dont deux sont liés à la loi de distribution de Gumbel (paramètres de localisation et d'échelle) et les deux autres, liés au modèle, sont des paramètres régionaux.

En Tunisie, Zahar et Laborde (2007) ont constaté que les précipitations journalières maximales annuelles présentent une distribution dissymétrique ce qui justifie l'application de la loi de Gumbel. Une combinaison a été faite entre deux populations de distribution exponentielles (pour le calcul de la fréquence de non dépassement) et poissonniennes (pour l'estimation du nombre probable d'événements), en distinguant entre les pluies extrêmes (ordinaire) et les pluies exceptionnelles (horsains). Ces techniques d'ajustement statistique et de synthèse cartographique ont été appliquées sur 399 séries pluviométriques de plus de trente

ans d'observation. Elles ont permis d'élaborer les cartes du Gradex et des pluies journalières décennales pour le pays.

Fallot et al. (2013) ont estimés les pluies journalières extrêmes pour un temps de retour de 500 ans par la loi de distribution de Gumbel en usant des données observées en Suisse sur 429 stations au cours de la période 1961-2010. Ils ont constatés que les précipitations cinquentenales sont plus élevées que celles calculées, pour la période 1901-1970, par l'Institut Fédéral de Recherches sur la Forêt, la Neige et le Paysage pour près de 300 endroits de la Suisse. Ils ont conclu que les précipitations extrêmes tendent à augmenter durant le 20ème siècle, du moins en Suisse.

En Algérie, Benabdesselam et Amarchi (2013) ont utilisé l'analyse fréquentielle régionale basée sur les L-moments pour améliorer l'estimation des quantiles des précipitations journalières maximales annuelles au niveau de 50 stations dans les bassins de la Seybouse et de la Medjerda (Nord Est). Les lois de distributions des valeurs extrêmes généralisés (GEV) et log-normale à 3 paramètres (LN-3p) ont été appliquées pour la prévision des précipitations dans les zones humides et semi-arides ; respectivement, tout en montrant que le modèle local sous estime les quantiles de fortes périodes de retour pour la moitié des stations de la région d'étude.

Dans ces études, l'objectif est de connaître les précipitations des fréquences rares (pluies de projet) nécessaires pour la conception des ouvrages hydrauliques (ouvrages de protection contre les inondations, réseaux d'assainissement pluvial) et pour de nombreuses applications de l'ingénierie de l'eau dans le domaine de la défense et restauration des sols (DRS). L'estimation des valeurs rares à extrêmes d'un aléa naturel, via la théorie des valeurs extrêmes, est fondée sur les lois des probabilités qui offrent un cadre mathématique rigoureux de la modélisation des variables stochastiques et déterministes ayant pour variable d'entrée la pluie dont les caractéristiques sont synthétisées par des courbes 'Hauteur ou Intensité-Durée-Fréquence (HDF/IDF)' et une cartographie des pluies extrêmes (Garcon, 1993 ; Benzerti, 2003, Zahar et Laborde, 2007).

En Algérie, plusieurs progrès ont été réalisés dans le domaine de recherche qui vise à réduire les dommages occasionnés par les inondations et les glissements de terrain suites aux pluies extrêmes et à améliorer les infrastructures de protection actuellement en place. L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) a effectué un inventaire exhaustif des

inondations survenues en Algérie durant ces quarante dernières années. Cet inventaire a fait la différence entre les inondations survenant suite à des pluies exceptionnelles généralisées (cas de l'inondation de Mars 1973 et Décembre 1984 sur tout l'Est algérien) et celles causées par les orages locaux de forte intensité affectant certaines agglomérations connues par la prolifération des constructions anarchiques (Lahlah, 2004).

Benkaci Ali et Dechemi (2004) ont travaillé sur la modélisation des pluies journalières et les débits. Benkhaled (2007), Habibi et al. (2012), Benabdesslem et al. (2013) et Meddi et Toumi (2015) ont abordé l'analyse fréquentielle et la cartographie des pluies journalières maximales dans différentes régions du pays. Boukhelifa et al. (2011) ont élaboré les courbes *Intensité-Durée-Fréquence* (IDF) des pluies de courte durée pour la ville de Tipaza. L'ensemble de ces études ont pour objet de mieux comprendre la distribution temporelle et spatiale des pluies extrêmes afin de limiter les zones vulnérables aux aléas hydriques et préserver les ressources en eau.

Au niveau du Nord-est algérien, le nombre d'études effectuées sur ce sujet est très réduit à l'exception de quelques rapports édités par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et des études plus anciennes qui remontent à plus de 30 ans (Guilmet 1963 et Body , 1981). Les travaux de Guilmet (1963) constituent une première approche à l'étude des averses de courtes durées au niveau des postes pluviométriques de cinq grandes villes d'Algérie (dont Annaba ex Bône et Constantine) basés sur les observations d'une dizaine d'années (1951-1961). Les résultats exprimés en terme de fréquence absolue (nombre de cas pour que la pluie atteigne ou dépasse une valeur donnée pendant une durée de référence fixée a priori) restent insuffisants pour décrire de façon probabiliste la notion d'intensité-durée-fréquence. Les données traitées ne s'apprêtent pas à une généralisation tant sur le plan probabiliste que structurale (structure de l'averse). Les résultats des travaux de Body (1981) découlent de la synthèse d'une analyse fréquentielle (distribution de Galton) et corrélatrice (modèle de type Montana). Ces résultats, essentiellement basés sur l'étude des pluies journalières maximales observées à travers le territoire national demeurent tout de même conservatifs, les valeurs des pluies calculées comparées aux données observées sur des courtes périodes (durée inférieure à 12 heures) sont souvent sous-estimées.

Malgré les recherches récentes (Beloulou et al., 2015) sur l'analyse des pluies extrêmes de courtes durées dans la région d'Annaba qui représentent la cause principale des événements naturels brutaux cités précédemment, des études complémentaires et plus approfondies

s'avèrent nécessaires pour améliorer les performances des modèles stochastiques et hydrologiques pour permettre une bonne gestion du territoire en intégrant les risques d'inondation et de mouvement de terrain (élaboration des cartes) et préserver les ressources en eau. Les statistiques constituent l'outil principal, appliqué dans cette thèse, pour améliorer l'estimation des probabilités d'occurrence des hauteurs de pluies rares génératrices des dégâts importants, notamment dans les secteurs habités. Plusieurs lois de probabilités seront ajustées aux séries de données recueillies au niveau des postes pluviométriques de l'ANRH et de l'Office National de la Météorologie (ONM). Les résultats des analyses fréquentielle et de régression permettent de valoriser la base de données relative aux pluies extrêmes en mettant à la disposition des services techniques les documents cartographiques et les courbes synthétiques des averses qui s'adaptent à leurs besoins dans les différents projets.

Dans cette optique, la thèse est organisée en cinq chapitres. Le premier volet est dédié à la **'PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE'** décrivant la géographie, la géomorphologie, la géologie et l'hydro-climatologie pour mieux comprendre le fonctionnement des processus hydrologiques de la zone d'étude.

Le second chapitre, intitulé **'PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES - ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNEES'** a pour objet la vérification et l'amélioration de la qualité des données collectées au niveau des quatre grands bassins versants du Nord-est algérien (Coties Constantinois, Kébir-Rhumel, Seybouse et Medjerda). Les méthodes classiques de comblement de lacunes et les tests non paramétriques sont appliqués afin d'obtenir des séries complètes, fiables et prêtes à l'usage statistique.

Le troisième chapitre est consacré à **'L'ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES'** de 74 postes pluviométriques plus ou moins uniformément répartis sur la zone d'étude. Il s'agit d'ajuster les séries observées à neuf lois de distribution des probabilités utilisées en hydrologie. Seules les modèles probabilistes qui répondent aux différents tests d'adéquations seraient retenus pour estimer et cartographier les quantiles des pluies journalières maximales

L'**'ANALYSE DES AVERSES - ESSAI DE MODELISATION'** fait l'objet du quatrième volet. Il s'agit de traiter et d'interpréter un ensemble représentatif d'épisodes pluvieux (5005) enregistrés par les 24 pluviographes afin d'établir les modèles HDF et IDF des averses maximales génératrices du caractère extrême de l'écoulement dans la région d'étude.

Le cinquième chapitre intitulé '*CARTOGRAPHIE DES PLUIES INTENSES*' a pour objet l'élaboration des cartes synthétiques prêtes à l'usage par les autorités territoriales (DHW), OMA, ANBT, etc....) dans de nombreuses applications dans l'ingénierie de l'eau (modélisation pluie-débit, modélisation des transports solides). Ces cartes permettent de fournir, pour une fréquence donnée, la hauteur maximale de pluie prévue sur une durée spécifique.

La thèse se termine par une '*CONCLUSION GENERALE*' qui comprend une partie prospective, définissant les actions scientifiques et techniques à développer ou à mettre en place pour améliorer l'estimation des quantiles des pluies extrêmes et leurs applications dans le génie de l'eau.

CHAPITRE I

PRESENTATION DU CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

1. Situation géographique de la zone d'étude

Située au Nord-est algérien, la zone d'étude s'étend sur une longueur d'environ 300 km depuis Jijel à l'Ouest jusqu'à la frontière tunisienne à l'Est et sur une largeur de 250 km, à vol d'oiseau, du Nord vers le Sud. Elle est située, en grande partie, au Nord de l'Atlas tellien. C'est un quadrilatère limité par les méridiens 5°00' et 8°50' Est et les parallèles 35° et 37° Nord. Cette zone est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud et Sud-est par Chott Melhrir et le bassin des Hauts Plateaux Constantinois, par la frontière algéro-tunisienne et enfin, par le bassin versant de la Soummam à l'Ouest (Fig. 1). Quatre grands bassins versants sont à distinguer (Fig. 2): les Côtiers constantinois (03), le Kébir-Rhumel (10), la Seybouse (14) et la Medjerda-Mellegue (12). Sur le plan administratif, le secteur d'étude couvre totalement les wilayates de Jijel, Mila, Constantine, Skikda, Annaba, Guelma, El Tarf, Tébessa, Souk Ahras et Oum El Bouaghi et, en partie, les wilayas de Khenchela et Batna situées dans le bassin des hauts plateaux constantinois (07).

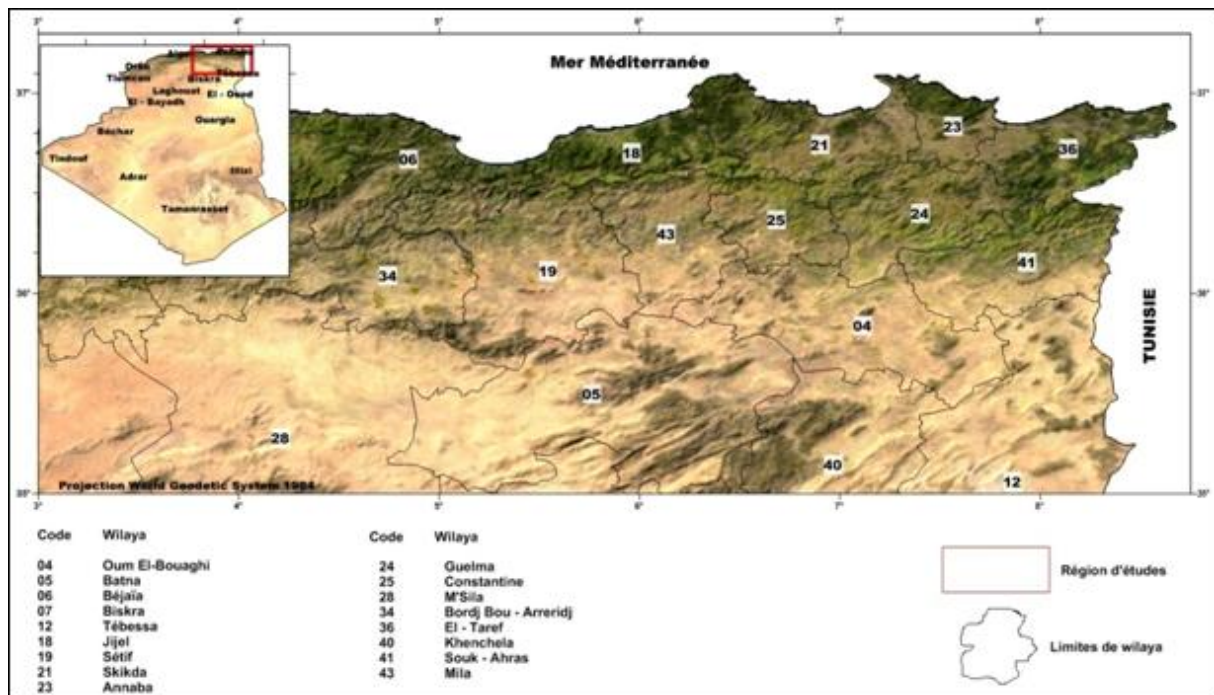


Fig.1- Carte de situation géographique de la zone d'étude

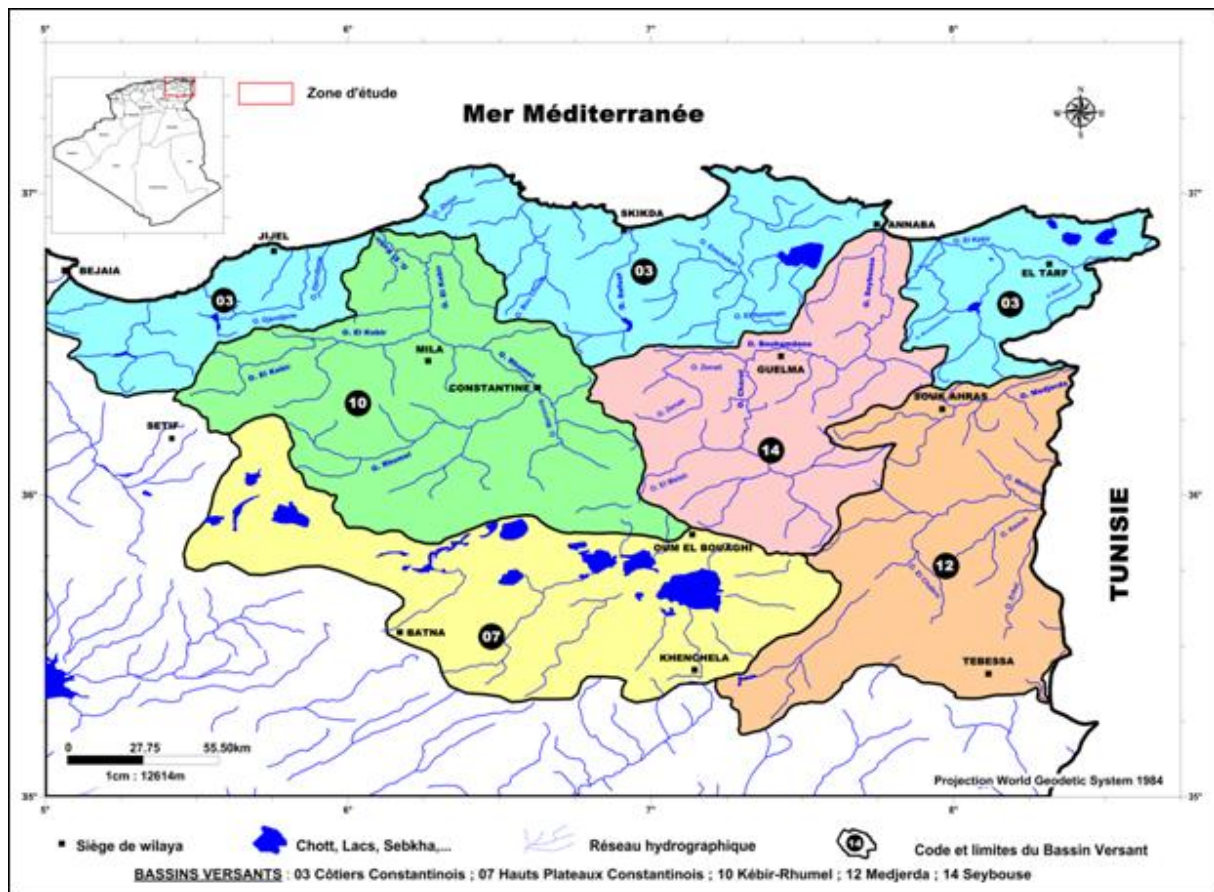


Fig.2. Bassins hydrographiques du Nord-est algérien

2. Relief

Le relief du Nord-est algérien est représenté par les montagnes telliennes qui sont sous forme de bourrelet longeant et dominant la mer Méditerranée de Bejaia jusqu'à la frontière tunisienne. Il s'agit d'une chaîne de 300 km de longueur et de 50 à 80 km de largeur (Marre, 1992). Le Tell oriental très compartimenté se caractérise par un gradient altimétrique décroissant de l'Ouest vers l'Est: Djebel Babor 2004 m, Djebel M'cid Aicha 1462 m, Djebel Sidi Driss 1364 m, Djebel Débar 1060 m, Djebel Souani à El Kala 808 m. Cette série de collines constitue la chaîne numidique et forme une véritable barrière où les voies de communications sont difficiles. Vers le Nord de cette chaîne se trouve les massifs d'El Ouana 1121 m, Djebel Goufi 1183 m à Bougaroun et le massif de l'Edough 1008 m à Bouzizi. L'Atlas tellien est découpé au voisinage de la mer par les petites plaines côtières de Jijel, Collo, Skikda ; la plus vaste étant celle d'Annaba qui s'étend de Guerbès à El Tarf. Vers le Sud, la chaîne numidique descend vers les hautes plaines constantinoises, les altitudes s'échelonnent entre 1300 m et 1400 m (Djebel Chettaba : 1316 m et Djebel Maouna 1411 m). A la proximité de la mer ces massifs de montagnes présentent des pentes très raides favorisant

le caractère torrentiel à l'écoulement. Entre ces massifs s'étendent des plaines dites intérieures dont la plus importante est la plaine de Guelma (Fig.3).

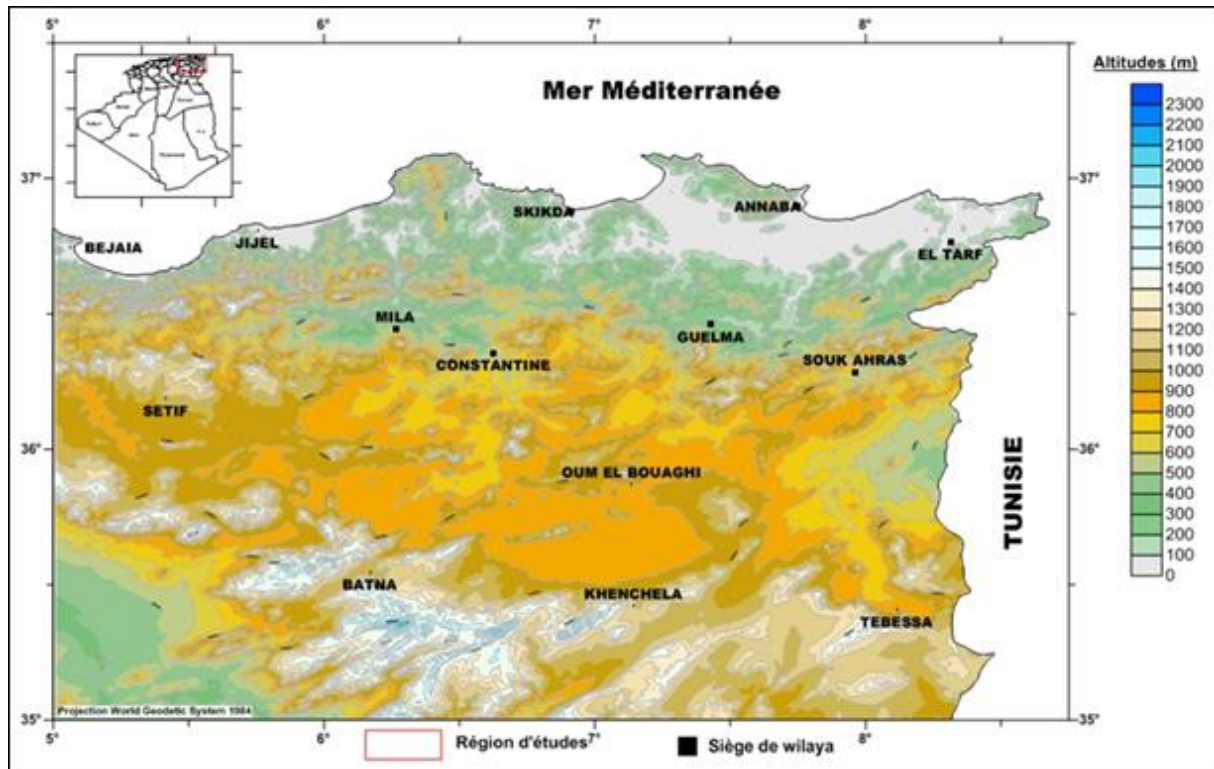


Fig. 3. Carte du relief de la zone d'étude

3. Réseau hydrographique

La série des montagnes de l'Atlas tellien est entrecoupée par d'importants cours d'eau exoréiques qui, suite aux phénomènes d'altération et d'érosion hydrique, donnent naissance à des plaines côtières et intérieures de différentes tailles. Les principaux cours d'eau de la région d'étude sont le Kébir-Rhumel, la Seybouse, les Côtiers constantinois (oueds Guebli, Saf Saf, Kébir Ouest, El Mafragh) et la Medjerda (Fig. 2).

Le bassin versant des Côtiers constantinois s'étale sur une superficie totale de 11509 km². Il est subdivisé en trois bassins; les Côtiers constantinois Ouest, Centre et Est (photo 1).

Les Côtiers constantinois Ouest drainent une superficie de 2727 km². Le bassin se caractérise par un chevelu hydrographique important dont la longueur dépasse les 2000 km. Les principaux cours d'eau qui drainent ce bassin sont Oued Djemaa, Oued Djenjen, Oued Nil et Oued Agrioun.



Photo 1. Principaux oueds dans le bassin des côtiers constantinois

Le bassin des Côtiers constantinois Centre couvre une superficie de 5582 km². Sur le plan administratif, il appartient à la wilaya de Skikda (de Collo à Ain Charchar). Le réseau hydrographique est dense et présente une longueur de 4200 km. Il est principalement drainé par le Guebli à Collo, le Saf Saf à Skikda et le Kébir Ouest à Guerbes.

Le bassin des Côtiers constantinois Est s'étend sur une surface de 3203 km² dont les limites en crêtes couvrent les wilayas d'El Tarf, Souk Ahras, Guelma et Annaba. Le réseau hydrographique dont la longueur dépasse 1760 km est essentiellement représenté par le Bounamoussa et le Kébir-Est dont la confluence donne naissance à la Mafragh. Le profil longitudinal montre l'évolution de la pente de l'amont vers l'aval de l'oued Kébir Est (Fig. 4).

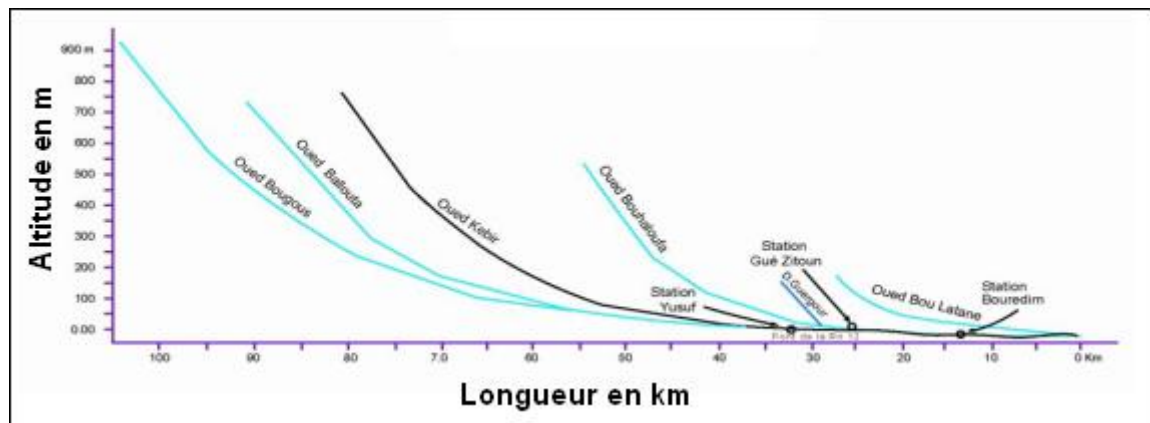


Fig. 4. Profil en long du Kébir-Est (d'après Samie in Annuaire hydrologique de 1956/57)

Le bassin du Kébir-Rhumel s'étend sur une superficie de 8811 km² avec une façade maritime d'environ 7 km. Le chevelu hydrographique dépasse les 4200 km de longueur. Long de 178 km, l'oued Rhumel, cours d'eau principal, prend sa source dans les monts de Ferdjioua au Nord-Ouest de Belaa (Mila). Il pénètre dans les plateaux de Constantine où il draine, selon une direction Sud Ouest-Nord Est, les sous bassins semi-arides des hautes plaines constantinoises (Tadjnent, Chelghoum El Aid). Au Nord de Ain Smara, il s'infiltré entre les gorges calcaires de Djebel El Hadja et du plateau d'Ain El Bey (Photo 2).



Photo 2. Principaux cours d'eau dans le bassin du Kébir-Rhumel

Le Rhumel continue son chemin vers la cité Boussouf à Constantine où le lit devient très étroit au lieu dit « Les Arcades romaines ». La confluence du Rhumel avec Oued Endja se fait plus au Nord et forme l’oued El Kébir qui draine la partie occidentale du bassin. Ce dernier franchit les chaines numidiques dans des gorges profondes avant de se jeter dans la mer à l’est du Golfe de Jijel (Fig. 5).

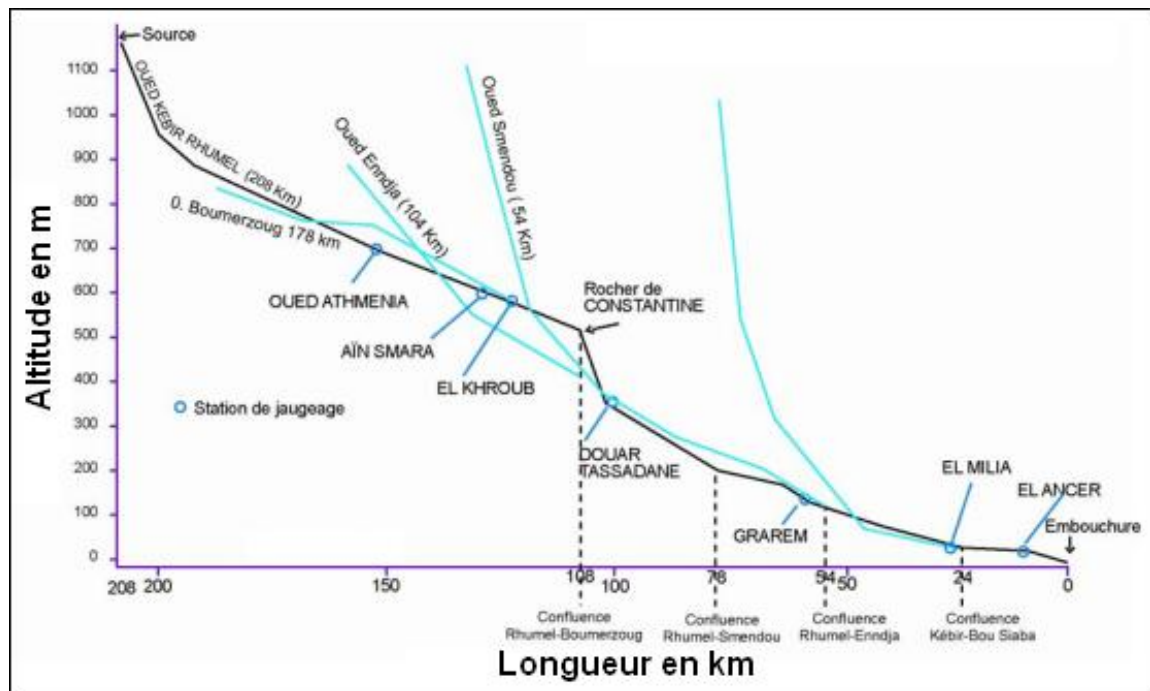


Fig. 5. Profil en long de l’Oued Kébir-Rhumel (Mebarki, 1984)

Le bassin de la Seybouse à la station de Mirbek s’étend sur une superficie de l’ordre de 6471 km². De par sa longueur (240 km) et le nombre d’affluents (Oued Mellah, Oued Ressoul, Oued Bouhamdane, Oued Charef), la Seybouse est considéré comme l’un des plus importants fleuves du Maghreb (Photo 3). L’oued Seybouse est formé par la confluence des oueds Charef et Bouhamdane au niveau de Medjez Amar au Sud-ouest de la ville de Guelma (Fig. 6). Ces deux derniers drainent, respectivement, les parties Sud-est (2930 km² à Medjez Amar et Sud-ouest (1105 Km²). Le long de son parcours, l’oued Seybouse reçoit les oueds Mellah (550 km²) à Bouchegouf et Ressoul à Pont Bouchet (El Hadjar). S’écoulant de l’ouest vers l’est depuis Bouchegouf jusqu’à Chihani, la Seybouse draine la vaste Plaine d’Annaba où il reçoit le canal de Meboudja qui draine la cuvette de Fetzara. Avant de se jeter dans la mer à Annaba (Sidi Salem), la Seybouse traverse principalement les wilayas de Guelma, Annaba et El Tarf; des territoires à vocation agricole et industrielle.



Photo 3. La Seybouse et quelques affluents.

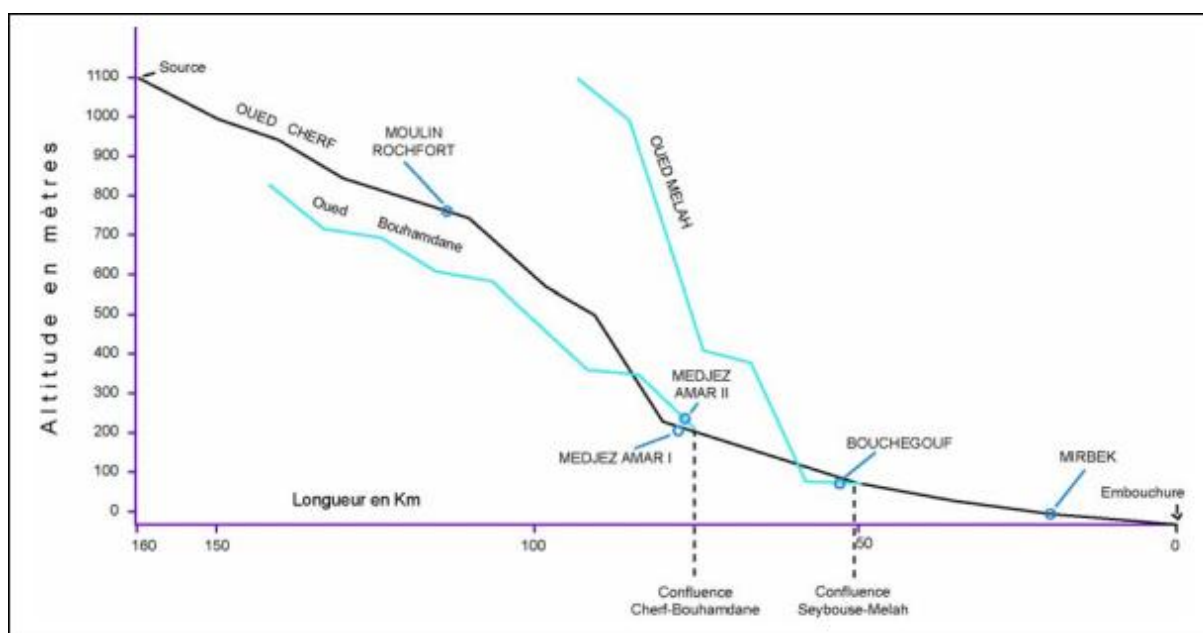


Fig. 6- Profil en long de l'Oued Seybouse (Ghachi, 1986)

A cheval sur l'Algérie et la Tunisie, l'oued Medjerda qui prend naissance au niveau des ruines de Khemissa, dans la région de Souk Ahras, draine, dans sa partie algérienne, une superficie de 7870 km² (ABH, 2001). La haute vallée de l'oued Medjerda comprend toute la partie Sud des monts de la Medjerda. Elle s'étire en ligne droite d'orientation Est-Nord-est sur une longueur de 130 km et une largeur de 25 à 30 km (Rodier et al., 1981). Principal affluent de la Medjerda, l'oued Mellegue draine un bassin versant très vaste dont les 2/3 se situent en Algérie. La limite sud du bassin suit la longue chaîne montagneuse de l'Atlas Tunisien qui sépare le nord et le centre de la Tunisie puis se prolonge en Algérie par les Monts de Tebessa jusqu'au massif des Aurès (Photo 4).

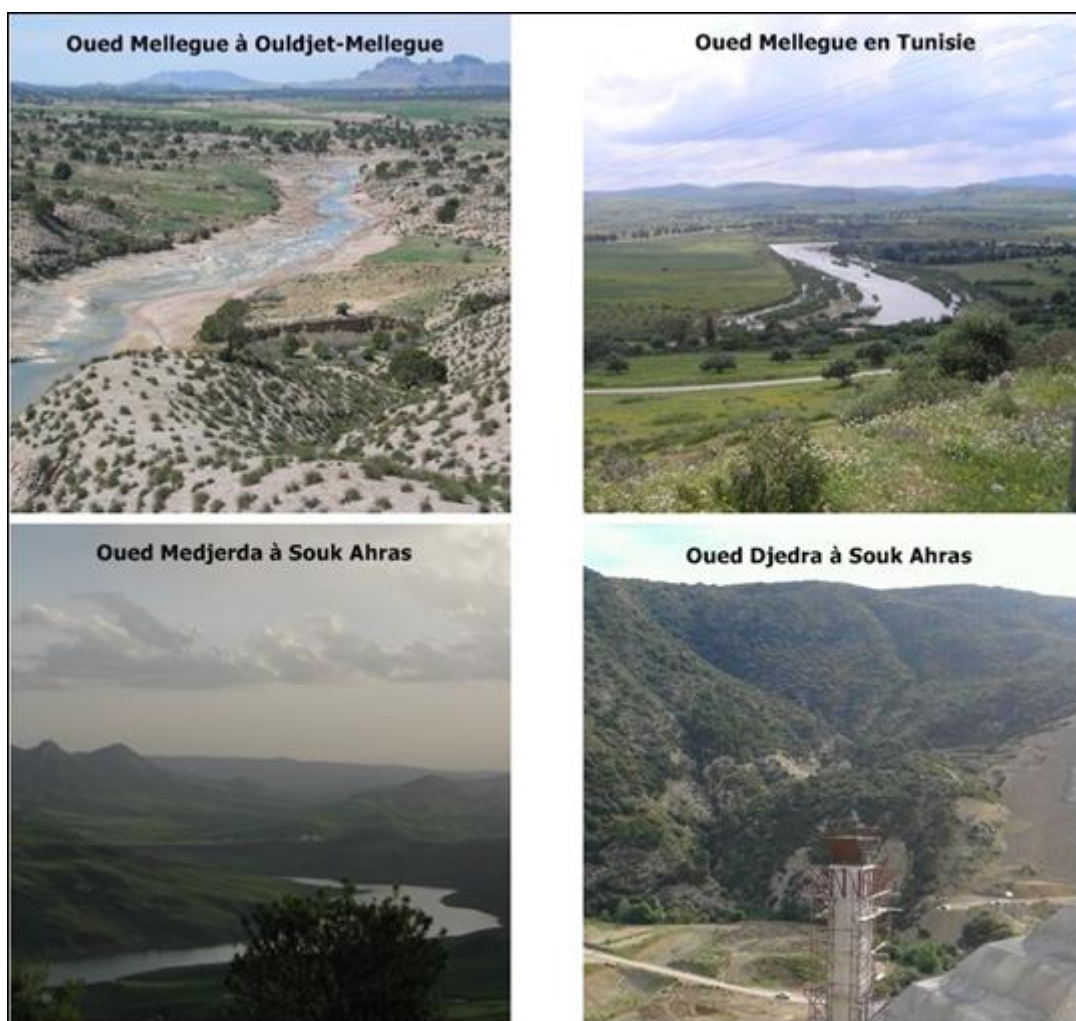


Photo 4. La Medjerda et ses affluents

L'oued Mellegue prend sa source en *Algérie*, dans l'une des hautes plaines qui bordent le versant nord du massif des Nemencha, à proximité du bourg de Khenchela. Cette rivière, issue d'un exutoire du Chott Sbikra perché à 1065 m d'altitude, suit la direction SO-NE de

l'Atlas algéro-tunisien et parcourt une distance de 317 km avant de confluer près de Jendouba avec l'Oued Medjerda à 140 m d'altitude. La figure 7 montre l'évolution de la pente du lit de l'oued Medjerda (Gautier, 1911).

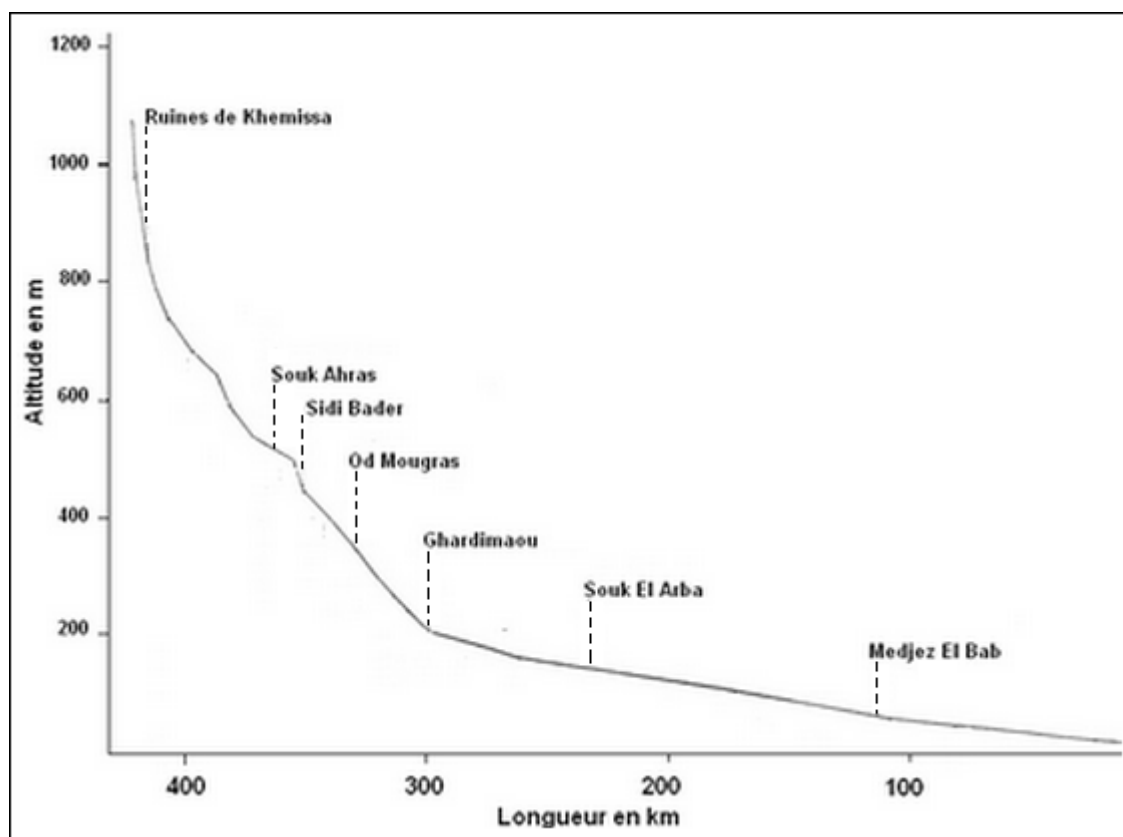


Figure. 7- Profil en long de l'oued Medjerda (Gautier, 1911, modifiée)

4. Caractéristiques morphométriques des bassins versants

Le caractère montagnard du Tell oriental et son compartimentage influent directement sur les propriétés physiques des bassins fluviaux. Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant (superficie, forme, relief et exposition, longueur et pente du cours d'eau, couvert végétal, type de sol, etc.) ont un impact sur la réponse hydrologique, notamment le régime des écoulements en période de crue et d'étiage (Musy in Riad, 2003). Ces différents facteurs déterminent le temps de concentration du bassin, un paramètre clé dans le dimensionnement des projets hydrotechniques. Généralement, ces caractéristiques géométriques et physiques s'estiment à partir des cartes topographiques à des échelles adéquates en utilisant des modèles numériques. Les principales caractéristiques géométriques et morphométriques des bassins versants de la zone d'étude sont résumés au (tableau 1).

Tableau 1. Récapitulatif des paramètres morphométriques de quelques bassins versants de la zone d'étude (diverses sources) ⁴

Nom de l'oued	A (km ²)	K _c	Z _{min} (m)	Z _{max} (m)	$\bar{Z}$ (m)	T _c (h)	D _d (km/km ²)	L _p (km)	I _{moy} (m/km)
Bassin des Côtiers constantinois (03)									
Djendjen	530	1,3	330	1992	876	7	12,3	29,2	72.2
Zhor	96	1.1	21	1181	480	2	3.1	16.5	437
Fessa à Guenitra (amont du Guebli)	202.6	1.2	120	1364	492. 5	5	4.0	15.3	45
Saf Saf à Zerdezas	322	1,4	200	1172	615	5	4.4	61	290
El Kébir-Ouest à Ain charchar	1096	1,5	25	1220	293	30	3.5	53	13.4
El Kébir-Est à Ain EL Assel	660	1,5	30	1202	390	11	2.8	40	162
Bouamoussa à Med Tayeb	452.4	1.4	185	1340	661	6.5	3.4	17.5	48.6
Bassin du Kébir-Rhumel (10)									
Rhumel à Ain Smara	2340	1,2	602	1377	861	25	3,1	87	16.0
Boumerzoug à El Khroub	1630	1.0	575	1729	880	16	0.7	45	28.5
Kébir-Rhumel à El Ancer	8735	1,1	15	1729	767	30	-	208	18.3
Bassin de la Medjerda-Mellegue (12)									
Medjerda à la frontière tunisienne	1411	1.7	257	1125	650	20	3.2	106.2	23.0
Meskiana à la confluence avec Oued Chabbro	1854	1.6	589	1459	105 9	15	4.5	54	20.2
Bassin de la Seybouse (14)									
Chref à Moulin Rochefort	1720	1.7	740	1543	904	26	1.8	64	19
Bouhamdane à Medjez Amar	1105	1.6	295	1326	787	16	2.6	99	31
Mellah à Bouchegouf	551	1.6	98	1398	619	10	3.2	65	55
Seybouse à Mirbek	5960	1.6	10	1543	716	40	2.4	341	20
Ressoul à Ain Berda	103	1.3	58	939	314	6	3.3	25	16

5. Climat du Nord-est algérien

L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. Au Nord, il est de type méditerranéen et englobe principalement le littoral. Entre l'atlas tellien et l'atlas saharien où culminent les hauts plateaux, le climat est de type continental avec des étés chauds et secs et des hivers humides et frais. Les précipitations sont caractérisées par une variabilité très marquante entre le Nord et le Sud et entre l'Est et l'Ouest. A la décroissance des pluies

⁴ A : superficie du bassin ; K_c : indice de compacité ; Z_{min} : altitude minimale ; Z_{max} : altitude maximale ; $\bar{Z}$: altitude moyenne du bassin ; T_c : temps de concentration ; D_d : densité de drainage ; L_p : longueur du cours d'eau principale et I_{moy} : pente moyenne du bassin.

du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest. En effet, la région Est du pays est plus pluvieuse par rapport à la région Ouest.

En effet, le Nord-est algérien subit l'influence des trois principales lois de la pluviosité : l'éloignement de la mer, le relief (ou l'altitude) et l'exposition des versants aux vents. La position de l'Atlas tellien constitue un obstacle aux perturbations provenant du Nord-ouest et subdivise la région d'étude en deux versants remarquables. Le versant Nord, très humide, est recouvert par une végétation abondante (forêts de chaîne liège des massifs de Collo et de l'Edough). Le versant Sud, plus sec voire semi-aride, se démarque par des pluies faibles et un couvert végétal dégradé et parsemé (Hautes plaines constantinoises et la zone des steppes).

5.1. Précipitations

Plusieurs sources de données ont permis de caractériser le régime pluviométrique du Nord-est algérien : Seltzer (1946), Chaumon et Paquin (1971), ANRH (1993), Cote (1998) et les données actuelles publiées par l'office national de la météorologie (ONM).

Si l'on considère le Nord-est algérien dans son ensemble, l'examen du tableau 2 et de la carte pluviométrique de l'ANRH (Fig. 8) montre que les précipitations annuelles dans la zone d'étude se démarquent par un gradient pluviométrique légèrement croissant de l'Est vers l'Ouest et remarquablement décroissant du Nord (littoral) vers l'intérieur, plus au Sud.

Tableau 2. Pluies moyennes et extrêmes de quelques stations de la zone d'étude

Station	Période d'obs.	N	Minimum	Moyenne	maximum	NJP
Zitouna (Collo)	1914-1989	66	919,4	1648	2443,3	-
Erraguene	1970-2005	36	712,4	1280	2107,4	
Annaba ONM	1970/-008	39	409,5	648,6	1126,6	111
Constantine ANRH	1984/2009	26	307,2	560,4	888,9	106
Souk Ahras	1970/2009	39	220,1	593,3	111,6	64
Oum el Bouaghi	1983-2002	19	155,8	320,0	447,6	-
Batna	1970/2007	35	185,8	379,2	603,8	101
Tebessa PC	1970/2009	39	185	360,7	624,0	67

La pluviosité annuelle moyenne varie de 250 à 300 mm dans les zones semi arides (axe Tébessa-Khenchela-Batna) à plus de 1600 mm sur les pentes montagneuses dominant la mer et exposées à la trajectoire des dépressions cycloniques (massif de Collo).

Cette décroissance est également contrôlée par le gradient latitudinale affronté par la chaîne numidique, d'une part, et l'éloignement de la mer, d'autre part. Les données récemment

collectées au niveau de l'ANRH et de l'ONM confirment la grande variabilité des précipitations du Nord vers le Sud de la zone d'étude (Tableau 2).

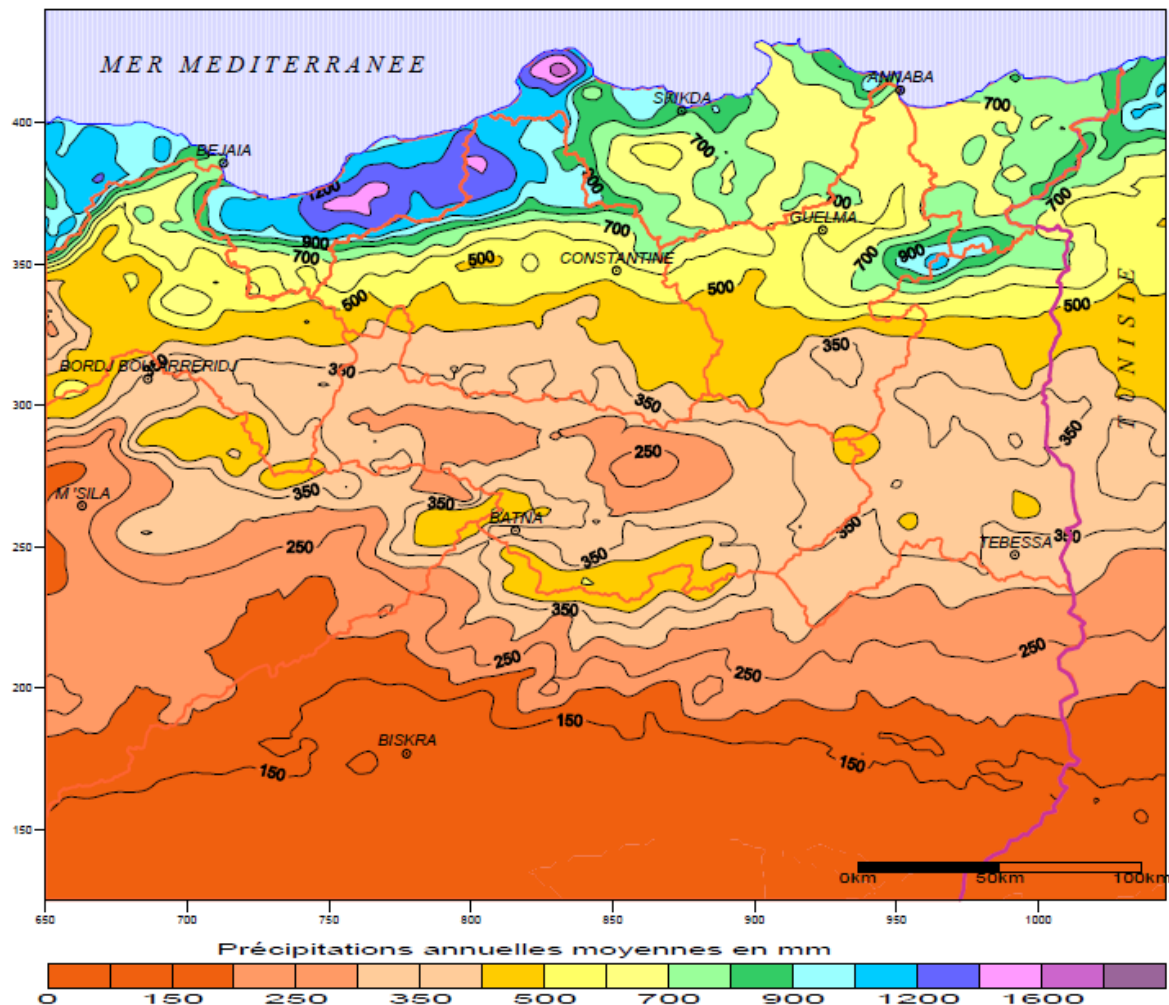


Fig. 8. Carte des précipitations moyennes annuelles de l'Est algérien (ANRH, 1993)

Par ailleurs, les pluies tombent en grande partie pendant la saison froide, au moment où la demande en eau de culture; globalement appréciée par l'évapotranspiration potentielle (ETP); est faible (Figure 9). Ce sont souvent des pluies torrentielles survenant généralement durant la période pluvieuse et provoquent des inondations catastrophiques aussi bien en zones semi-arides (cas des inondations de 1996 à Tébessa : 6 morts suite à des pluies intenses de plus de 50 mm enregistrées le 27 Septembre), qu'en zones plus humides (inondations de Décembre 1984 dans l'est du pays : plusieurs décès) où les pluviomètres ont affiché plus de 170 mm/j dans le bassin du Saf Saf et 150 à 170 mm/j dans le Kébir-Rhumel. La sécheresse estivale peut durer plusieurs mois.

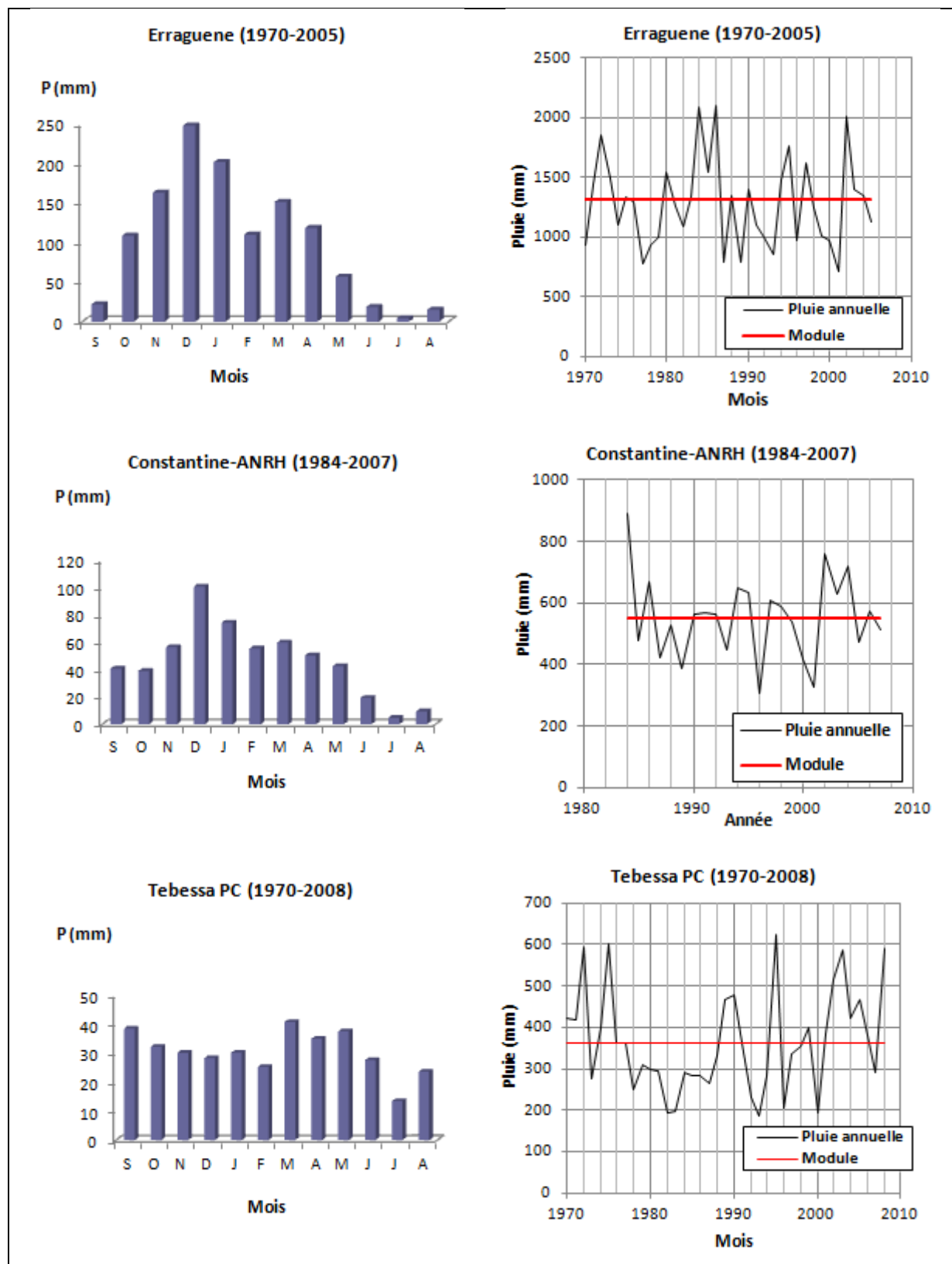


Fig. 9. Variabilité spatiale et temporelle des pluies dans la zone d'étude

Pour la période 1970-2009, le nombre moyen de jours de pluie (NJP) varie grossièrement de 65 à 100 jours/an dans le bassin des côtiers constantinois, de 60 à 100 jours/an dans le bassin

du Kébir-Rhumel et de 36 à 75 jours/an dans le bassin de Medjerda. La chronique 1970-2007 montre que ce nombre fluctue entre 50 et 95 jours/an au Sud et au Nord du bassin de la Seybouse ; respectivement (Tableau 2 et Annexe 1).

Faut-il ajouter que l'interaction de la topographie et de la température font que les massifs montagneux se recouvrent parfois de neige pour plusieurs jours. La photo suivante illustre le recouvrement neigeux survenu récemment.

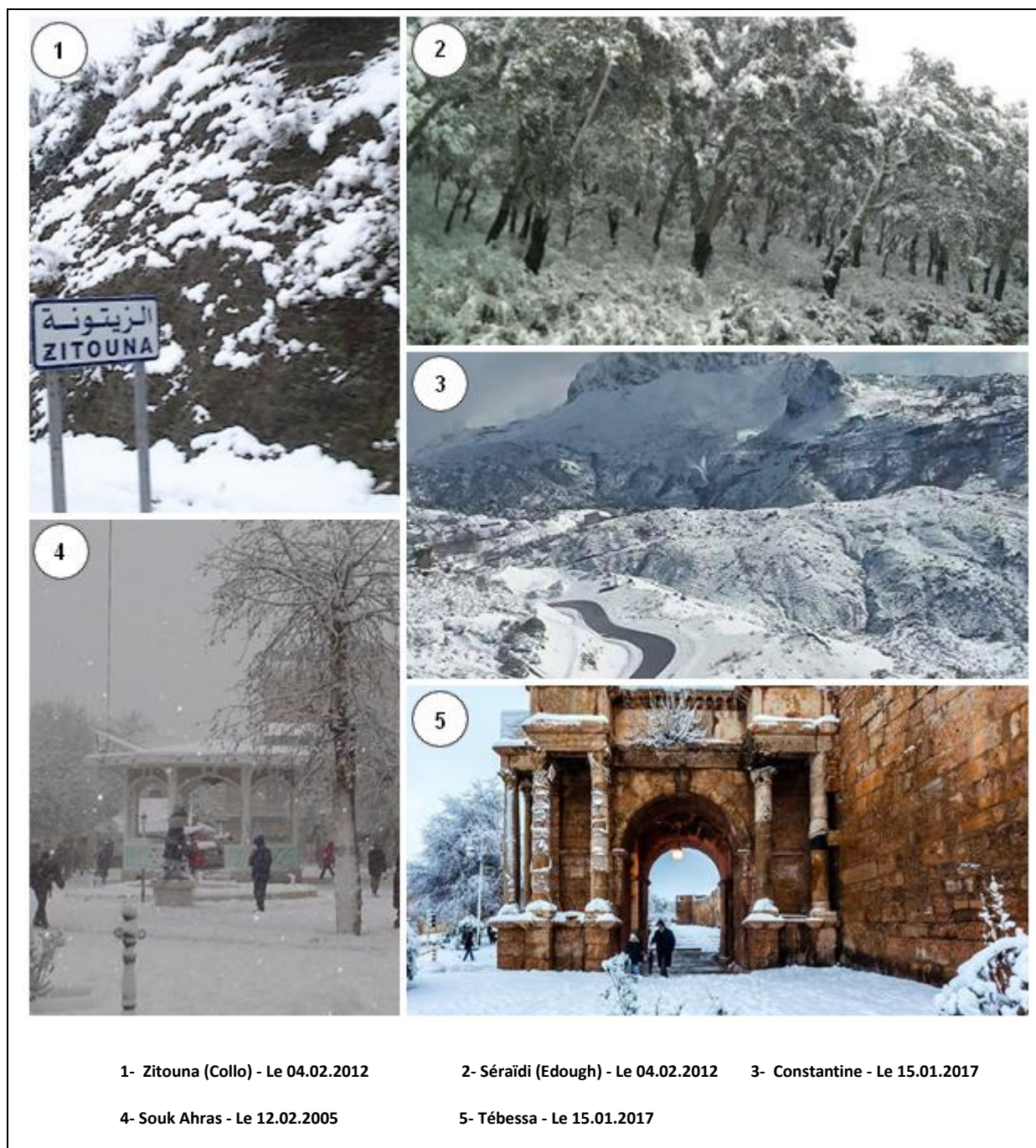


Photo 5. Couverture neigeuse dans quelques régions du Nord-est algérien

Du point de vue précipitations, on peut définir trois zones géographiques distinctes au niveau du NE algérien:

- **la zone très pluvieuse** : zones montagneuses côtières : plus de 1200 mm/an à Séraïdi (altitude: 900 m), 1600 mm/an à Zitouna-Collo (altitude: 620 m) et 1280 mm à Erraguene (région de Jijel ; 680 m d'altitude). Le nombre de jours de pluies est supérieur à 95 jours/an.

- **la zone relativement pluvieuse** : zones de hautes plaines et régions montagneuses du Tell et de la Medjerda : 880 mm à Ain Seynour (904 m), 590 mm à Souk Ahras (790 m) ; 560 mm à Constantine (595 m) et 810 mm à Hamala (660 m). Le nombre de jour de pluies est compris entre 60 et 100 jours/an. La pluviométrie annuelle est de 500 – 900 mm.

- **la zone peu pluvieuse** : elle correspond aux hauts plateaux constantinois et le sud du bassin de la Medjerda. Le nombre de jours de pluie varie entre 40 et 70 jours/an. La pluie annuelle étant de l'ordre de 280 à 400 mm.

5.2. Températures

Dans la zone d'étude, les températures varient considérablement en fonction de la latitude, de l'altitude et de la continentalité. Ainsi, la température moyenne annuelle s'échelonne entre 15 et 18 °C. Les températures minimales moyennes du mois le plus froid varient de 0 à 9°C dans les régions littorales et entre -2 et 4°C dans les régions semi-arides (Nadjraoui, 2003). Les températures maximales moyennes du mois le plus chaud varie avec la continentalité de 28 à 40°C au mois d'Août (Tableau 3).

Pendant les jours de Sirocco, elles atteignent les 40°C sur le littoral et 33 à 38°C dans les hautes plaines steppiques. Il va sans dire que ces moyennes peuvent masquer des variations inter-journalières ou interannuelles très importantes qui peuvent occasionner des dégâts aux cultures et à la végétation en général (gel en hiver et sirocco en été).

5.3. Evapotranspiration

Elément essentiel du bilan hydrologique, l'évapotranspiration intervient dès que la pluie atteint la surface terrestre. Exprimée en mm, elle correspond à l'ensemble des quantités d'eau évaporées par la surface du sol ou transpirées par les plantes. Dans cet exposé, elle est déterminée par la méthode du bilan évaporométrique de Thornthwaite au niveau de six stations jugées représentatives de l'aire d'étude.

Tableau 3. Variations des températures mensuelles et annuelles dans la zone d'étude

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Année
Skikda : 1992-2012 (Source : ONM)													
T _{min}	20,7	17,5	13,2	10,4	8,8	8,7	10,5	12,5	15,9	19,1	21,9	23,0	15,2
T _{max}	27,5	25,2	20,9	17,9	15,7	23,8	18,3	20,0	23,1	26,2	28,7	29,3	23,0
T _{moy}	24,1	21,4	17,1	14,1	12,2	16,2	14,3	16,3	19,5	22,7	25,3	26,2	19,1
Guelma : 1990-2003 (Source : ONM)													
T _{min}	15,2	11,1	8	3,9	1,9	3,5	4	5,5	6	13,4	15,9	17,2	8,8
T _{max}	34,4	31	29	19,4	17,8	20,3	24,2	23,7	30,3	35,4	38,6	39,8	28,7
T _{moy}	24,8	21,1	18,5	11,7	10,0	11,9	14,1	14,6	18,2	24,4	27,3	28,5	18,7
Constantine : 1990/2003 (Ladlani, 2007)													
T _{min}	10,3	9,1	5,7	1,6	0,1	0,1	3,1	5,1	7	12,8	15,6	17,1	7,3
T _{max}	32	26,4	25	15,4	14	17,7	21,4	21,6	29,4	33,4	37	37,4	25,9
T _{moy}	21,15	17,75	15,35	8,5	7,05	8,9	12,25	13,35	18,2	23,1	26,3	27,25	16,6
Tébessa : 1990-2003 (Ladlani, 2007)													
T _{min}	13,7	8,7	4,7	1	-1,2	1,4	1,5	7,5	13,6	13,6	15,6	15,9	7,3
T _{max}	31,3	27,8	23,6	19,8	14	17,7	22,6	23,2	30,2	34,8	37,6	37,2	26,6
T _{moy}	22,5	18,3	14,2	10,4	6,4	9,6	12	14,1	18,9	24,2	26,6	26,6	16,9

Le bilan est établi pour l'année moyenne en affectant une valeur décroissante à la réserve facilement utilisable ou RFU de 100 mm pour le littoral (Annaba et Jijel), 50 mm pour la zone intermédiaire (Souk Ahras et Constantine) et 30 mm pour la zone semi-aride (Oum El Bouaghi et Tébessa). La synthèse des résultats obtenus au moyen de l'application 'THORN' pour les stations prises en considération sont consignés au tableau 4.

Dans la région d'étude, l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne annuelle varie grossièrement entre 870 et 920 mm. L'évapotranspiration réelle (ETR) est comprise entre 315 mm en milieu semi-aride (Oum el Bouaghi) et 500 mm à Jijel. Elle représente 60 à 70 % de la pluie dans le milieu humide et subhumide et plus de 95 % plus au Sud. La reconstitution de la réserve du sol s'effectue le plus souvent à partir de Novembre plus au Nord et de Décembre à Oum El Bouaghi et Tébessa, au Sud. Le sol atteint la saturation (réserve pleine) dès les mois de Décembre dans la partie Nord de la zone d'étude et Février dans la partie Sud. La réserve commence à s'épuiser à partir du mois de Mai au Nord et Mars et Avril au Sud pour se vider complètement en Mai et Juin (réserve à sec). Le nombre de mois déficitaires est plus élevé au Sud qu'au Nord.

Tableau 4. Résultats des bilans évaporométrique de Thornthwaite

Station	Annaba (Les Salines)	Jijel	Souk Ahras	Constantine (ANRH)	Oum El Bouaghi	Tebessa
Précipitation (P: mm)	672	878,3	719,3	560,4	320	363,4
Evapotranspiration potentielle (ETP : mm)	873,2	884,1	875,2	875,2	871,3	890,1
Evapotranspiration réelle (ETR : mm)	465,8	500,8	420	382,4	314,8	350
Déficit agricole (mm)	407,5	383,2	455,2	492,8	556,5	540,1
Excédent (mm)	206,2	377,5	299,3	178	5,2	13,6
P/ETP	0.77	0.99	0.82	0.64	0.38	0.41
ETR/P (%)	69.3	57	58.4	58.2	98.4	96.3
EXC/P (%)	30.7	43	41.6	31.8	1.6	3.7
Période déficitaire	Jun –Oct.	Jun-Sept	Jun-Oct	Jun-Oct	Mai-Nov	Mai-Nov
Période excédentaire	Déc-Avr	Déc-Avr	Déc-Avr	Déc-Avr	Fév	Fév-Mars
Début de la reconsti- tution de la réserve	Nov	Oct	Nov	Nov	Déc	Déc
Réserve pleine	Déc	Déc	Déc	Déc	Fév	Fév
Début de l'épuisement des réserves	Mai	Mai	Mai	Mai	Mars	Avr
Réserve à sec	Jun	Jun	Jun	Jun	Mai	Mai

Le calcul de l'indice d'aridité, défini par le rapport de la pluie à l'évapotranspiration potentielle, montre qu'enfin de compte, l'aire d'étude peut être subdivisée en deux zones bioclimatiques distinctes (tableau 5): la zone semi-aride ($0.21 < P/ETP < 0.50$) et la zone subhumide et humide ($P/ETP > 0.65$).

**Tableau 5. Zonage bioclimatique selon l'indice d'aridité dans le bassin méditerranéen
(Le Houérou in Skouri, 1993)**

Zone	Pluviométrie moyenne (mm/an)	Indice d'aridité :P/ETP	
		Penman	Thornthwaite (PNUE)
Hyper-aride	< 100	< 0.05	< 0.05
Aride	100 – 400	0.05 – 0.28	0.05 – 0.20
Semi-aride	400 – 600	0.28 – 0.43	0.21 – 0.50
Subhumide sèche	600 – 800	0.43 – 0.60	0.51 – 0.65
Subhumide et humide	800 – 1200	0.60 – 0.90	> 0.65
Hyper-humide	> 1200	> 0.90	-

5.4. Autres facteurs météorologiques

Parmi les facteurs régissant le climat d'une région, le vent, l'humidité relative de l'air, la durée d'ensoleillement et l'évaporation sont souvent appréciés. Au niveau du Nord-est algérien, les vents dominants sont de direction Nord-ouest et Sud-est. Les vents venant de la mer Méditerranée, plus fréquents en saison froide, sont des vents humides. Dans la région d'étude, la vitesse moyenne annuelle varie grossièrement de 2 m/s à Guelma à 3,5 m/s à Souk Ahras (Tableau 6).

Tableau 6. Autres caractéristiques météorologiques du Nord-est algérien

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Année
Skikda : 1992-2012 (Source : ONM)													
Humidité (%)	69,4	72,3	72,6	73,1	75,2	73,9	72,9	72,9	72,7	73,4	71,8	71,7	72,7
Ensoleillement (h)	244,6	214,4	151,8	133,5	145,4	161,8	217,0	234,1	282,4	307,0	349,0	315,6	2756,4
Vent moyen (m/s) ⁵	2,7	2,9	3,5	3,7	3,4	3,2	3,1	3,0	2,6	2,7	2,7	2,7	3,0
Vent max (m/s)	15,8	16,1	19,6	21,9	18,7	20,2	20,5	19,4	16,3	15,7	14,3	16,8	17,9
Evaporation (mm)	101,5	125,1	112,1	73,9	70,6	85,5	100,6	82,8	88,3	104,6	110,4	114,1	1169,2
Guelma : 1990-2003 (Source : Ladlani, 2007)													
Humidité (%)	62,1	66,8	71,6	74,4	75	74,5	70,5	70,3	65,4	56,5	50,4	50,7	65,7
Ensoleillement (h)	243	204,6	162	145,7	161,2	173,6	198,4	216	266,6	303	331,7	297,6	2703,4
Vent moyen (m/s)	1,8	2	1,8	1,9	1,8	1,6	1,7	1,7	2	1,8	2	1,9	1,8
Evaporation (mm)	106,1	68,2	36,3	22,5	23,5	32,6	59,8	78,7	120,9	141	168,3	154,8	1012,7
Constantine : 1990-2003 (Source : Ladlani, 2007)													
Humidité (%)	59,1	66,1	71,9	77,5	78,1	74,5	71,9	70,9	64,1	55,8	48,8	49,6	65,7
Ensoleillement (h)	243	210,8	177	158,1	155,0	176,4	207,7	228,0	297,6	312,0	356,5	381,3	2903,4
Vent moyen (m/s)	2,3	2,1	2,5	2,7	2,2	2,4	2,5	2,7	2,2	2,4	2,2	2	2,4
Evaporation (mm)	106,4	63,8	35,3	20,2	19,9	32,5	60,9	83,2	121,7	150,5	169	151,8	1015,2
Souk Ahras : 1990-2003 (Source : Ladlani, 2007)													
Humidité (%)	59,8	66,9	72,9	76,6	78,4	74,1	73,1	72,6	65,4	57,4	48,4	50,8	66,4
Ensoleillement (h)	240	210,8	171	151,9	148,8	165,2	198,4	219	285,2	297	350,3	325,5	2763,1
Vent moyen (m/s)	3,0	2,9	3,3	3,7	3,5	3,8	3,8	3,9	3,1	3,4	3,5	3,0	3,4
Evaporation (mm)	111,9	68,8	40,6	25,7	25,4	39,5	65	83,8	124,8	153,6	181,2	160,7	1081,0
Tebessa : 1990-2003 (Source : Ladlani, 2007)													
Humidité (%)	53,6	59,3	65,1	70,6	70,6	64,4	59,1	56,2	47,9	42,2	40,9	43,9	56,2
Ensoleillement (h)	246	229,4	183	164,3	158,1	176,4	219	246	288,3	291	347,2	313,1	2861,8
Vent moyen (m/s)	2,7	2,4	2,9	3,1	2,8	3,3	3,4	3,8	3,5	3,1	3,1	2,5	3,1
Evaporation (mm)	114,2	74,2	48,5	28,2	26,9	44,2	74,7	95,2	141	168,5	197,9	162,5	1176,0

A l'échelle annuelle, l'humidité relative de l'aire s'échelonne entre 56 % en milieu semi-aride (Tebessa) et 73 % à Skikda. Selon les données collectées au niveau des services de l'ONM, le Nord-est algérien est une région à la fois humide et ensoleillée. Le nombre d'heures

⁵ Moyenne de la série : 1976-2006.

d'ensoleillement, variable avec la latitude, est compris entre 2700 et 2900 h/an; la moyenne étant de l'ordre de 2800 h/an. A titre d'exemple, Skikda reçoit plus de 10 heures de soleil par jour en été. L'action combinée de la vitesse du vent, de l'ensoleillement et de l'humidité confère à la zone d'étude un taux d'évaporation relativement élevé (1013 mm/an à Guelma et 1176 mm/an à Tébessa).

6. Le couvert végétal

Au Nord-est de l'Algérie, les facteurs climatiques (conditions d'aridité et de stress hydrique), topographiques (relief) et pédologiques (types de sol) imposent un certain nombre de limitations quant à la diversité et la densité de la flore. Grossièrement, la forêt algérienne est irrégulière, avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent ouverts formés d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange parfois désordonné.

Dans la zone tellienne, notamment le tell maritime plus humide, les résineux (pin d'Alep, pin maritime, cèdre) et les feuillus (chêne liège, chêne zen, chêne afarès, chêne kermès, chêne vert) constituent les principales essences forestières. Ce domaine humide et subhumide renferme des forêts denses constituées, d'Ouest en Est, par les subéraies des massifs de Bejaia, de la petite Kabylie, des massifs de Collo et de l'Edough et des confins Algéro-tunisiens où on rencontre le pin d'Alep sur le flanc sud des Monts de la Medjerda (Fig. 10).

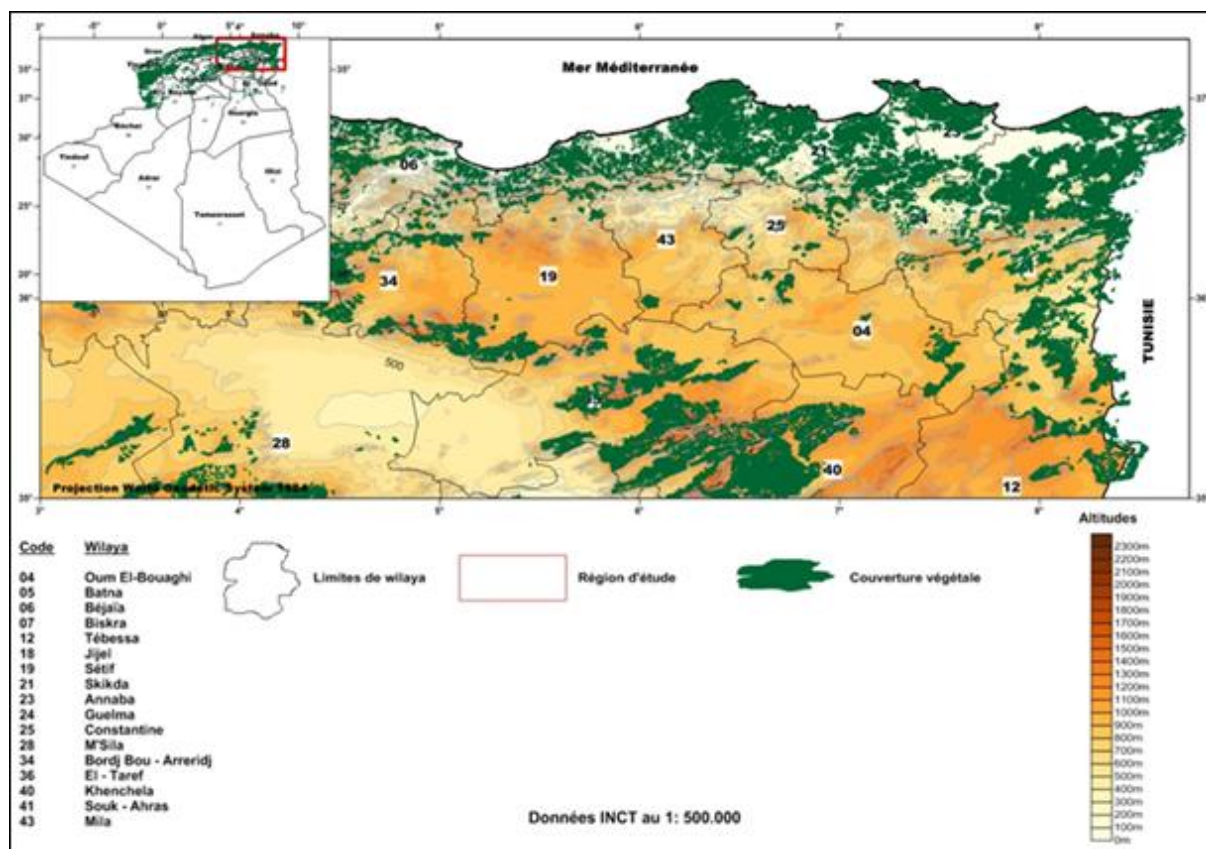


Fig. 10. Couverture végétale dans la partie Nord-est de l'Algérie

La zone intermédiaire est caractérisée une couverture végétale moins développée. Il s'agit de forêts, maquis et matorrals plus ou moins dégradés, terrains agricoles et broussailles. Enfin, la zone semi-aride ou sub-steppique est marquée par la disparition des forêts et l'apparition des espèces steppiques (alpha, pâturage) avec, par endroit, quelques lambeaux de broussailles de chêne vert (Photo 6).

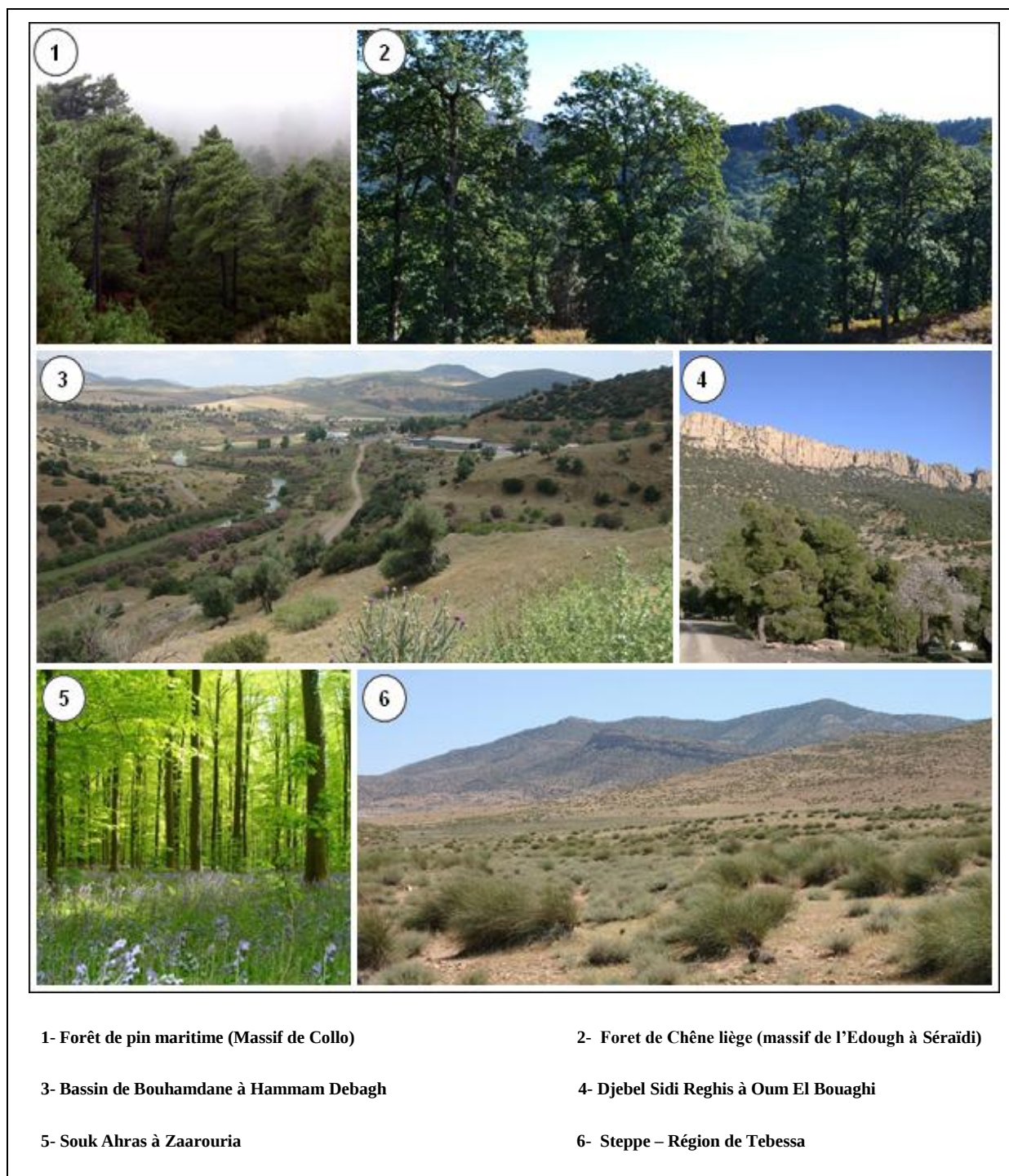


Photo 6. Diversité du couvert végétal du Nord vers le Sud dans le Nord-est algérien

Les terres cultivées au niveau des plaines littorales : plaines de Jijel, de Skikda (périmètre irrigué du Saf Saf) et Annaba (Périmètre de Bounamoussa) et les plaines sub-littorales sont caractérisées par les cultures délicates (agrumes et primeurs). Le domaine semi-aride est marqué par la présence de céréaliculture. La carte de l'occupation du sol suivante (Fig. 11), établies par la Direction Générale des Forêts (DGF) fournit plus de détails sur la répartition du couvert végétal au niveau du Nord-est algérien.

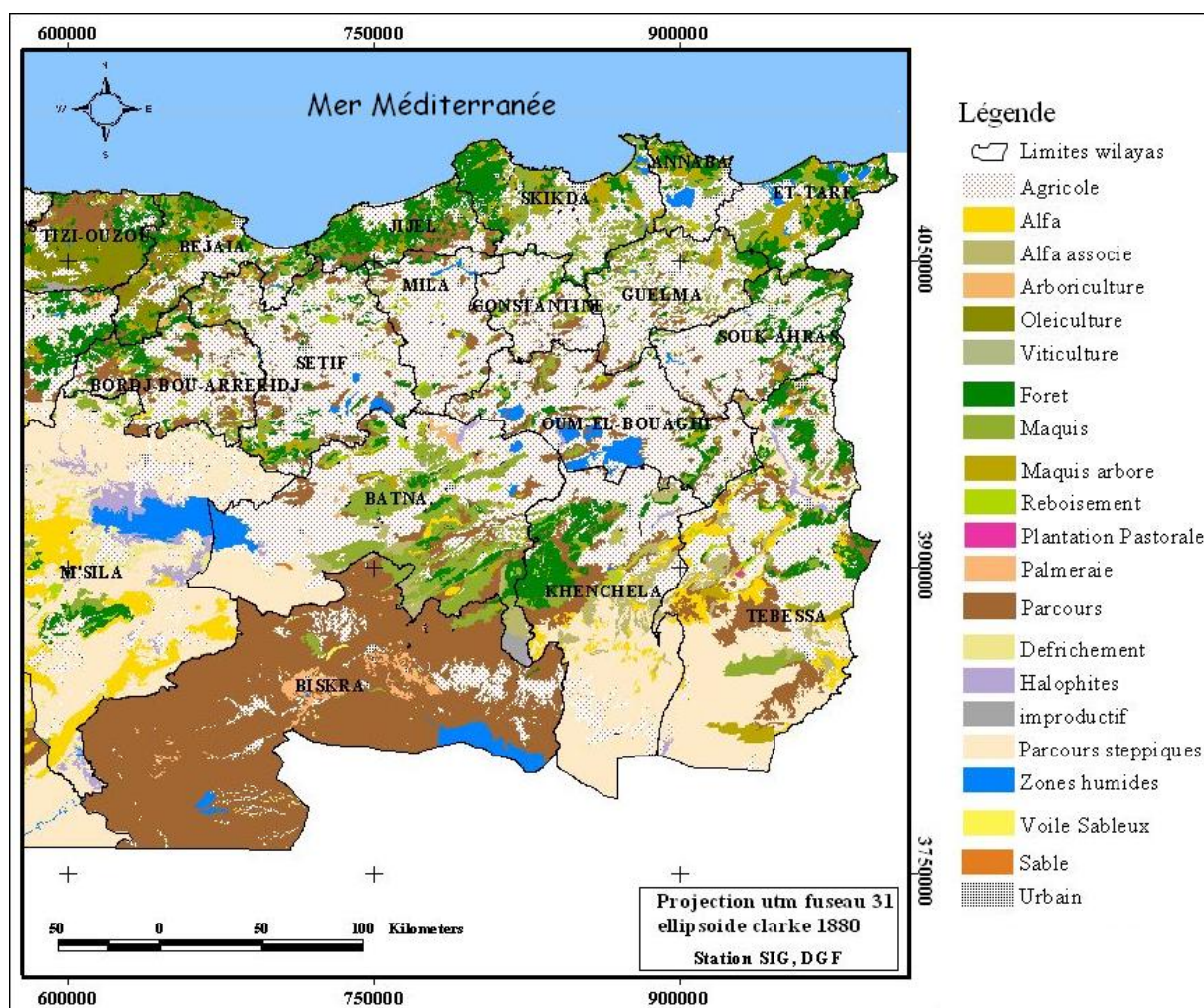


Fig. 11. Distribution des principales espèces végétales au niveau du Nord-est
(DGF in Nedjraoui, 2009, modifiée)

7. Aperçu géologique

L'Algérie du Nord ou le domaine septentrional fait partie de la chaîne alpine. C'est une zone instable par opposition à l'Algérie saharienne qui est un domaine plus stable. Il s'agit de la chaîne des Maghrébides d'âge Tertiaire (Delga et Fontboté, 1980). Du Nord au Sud, la zone

est constituée d'un empilement de nappes au cours de phases tectoniques successives (Vila, 1980). Ces nappes sont formées de matériaux très diversifiés. On distingue :

a- Les zones internes : sont caractérisées par la présence d'un certain nombre de noyaux métamorphiques anciens le long du littoral qui sont, d'Est en Ouest, le massif de l'Edough et l'ensemble Kabyle. Le domaine interne regroupe les massifs kabyles et leur couvert Paléozoïque et une bande étroite de terrains carbonatés, située plus au Sud que les massifs kabyles, datée du Trias à l'Eocène. C'est la dorsale kabyle (ou chaîne calcaire) qui est vivement plissée et écaillée par une tectonique tangentielle fini-Eocène. De point de vue structural, les zones internes sont constituées par plusieurs nappes charriées sur la plate forme saharienne. Cet ensemble de nappes est recouvert par des formations détritiques (conglomérats grés-micacés) de l'Oligo-Miocène kabyle ou OMK (Bouillin et Raoult, 1971).

b- Le domaine des flyschs occupe essentiellement une position allochtone par rapport aux zones externes. Deux grands types de séries ont été distingués, au Nord les flyschs mauritaniens décrits par Gelard (1979) et au Sud les flyschs du type Massylien décrits par Raoult (1969).

c- Le domaine externe (les séries telliennes)

En Algérie orientale, les séries telliennes comportent trois grandes unités découpées par des phases tectoniques tertiaires à prédominance marneuse (Vila, 1970 ; Wildi, 1983). Ce sont du Nord vers le Sud :

- **les séries ultra-telliennes** représentées par les formations typiques du Crétacé inférieur. Elles sont constituées par des formations marno-calcaires de couleur claire renfermant de riches microfaunes.

- **les séries telliennes** sont constituées par des sédiments vaseux de teinte sombre du Crétacé inférieur et sont plus ou moins riches en dépôts terrigènes. Les faciès néritiques sont modérés et sont datés du Crétacé supérieur à l'Eocène.

- **les séries péni-telliennes** montrent une sédimentation à faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène. Cette sédimentation carbonatée est proche de celle qui se dépose sur la plate forme néritique. Elle présente des caractères proches de ceux du Néritique constantinois et des unités sud sétifiennes (Fig. 12).

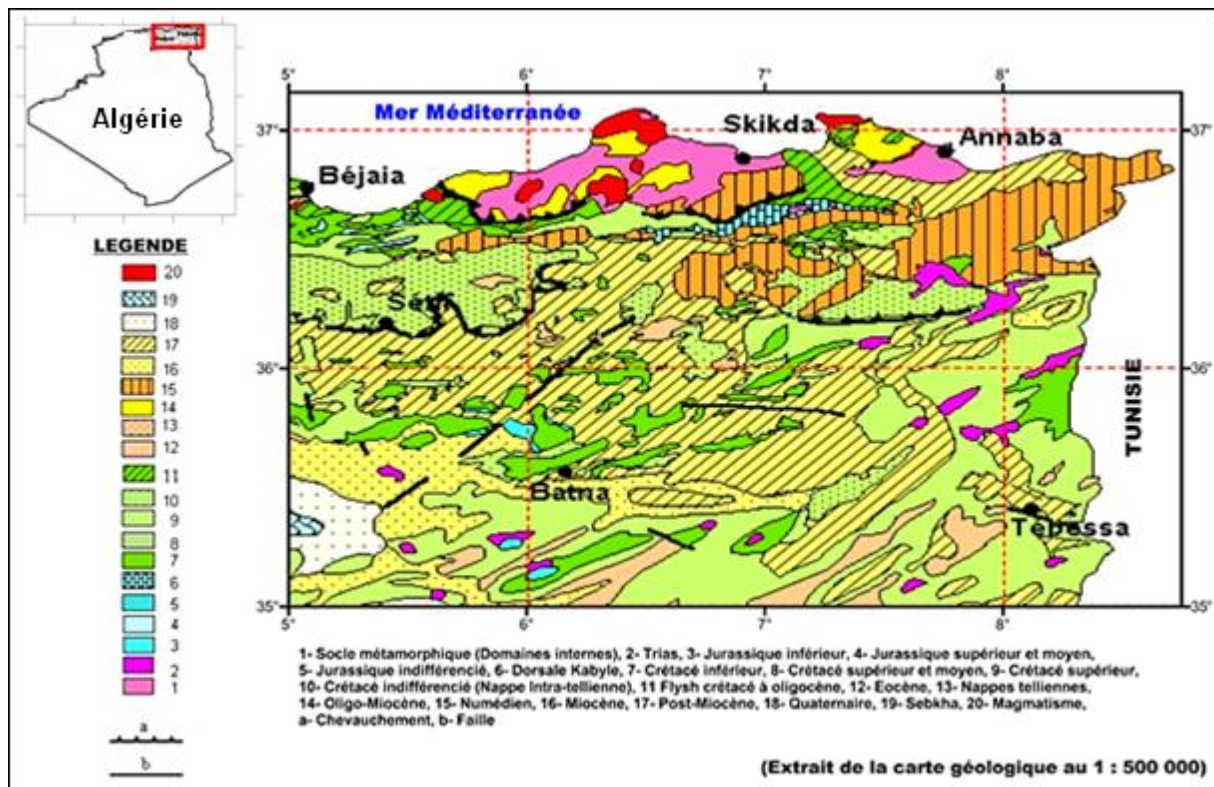


Fig. 12. Esquisse géologique de la région d'étude

8. Notion sur le régime hydrologique des cours d'eau

Dans le Nord-est algérien, les cours d'eau exoréiques s'écoulent vers la mer Méditerranée à des débits variables dont l'indigence en période d'étiage s'oppose nettement à l'importance des apports en période des crues. Le régime hydrologique des cours d'eau résume l'ensemble des variations saisonnières des débits entre les hautes et les basses eaux en fonction des principaux facteurs régissant l'écoulement de surface (situation géographique, précipitations, caractéristiques physiographiques du bassin versant, type de sol, etc.). Autrement dit, il se définit par la variabilité spatiale et temporelle des débits. Dans le Nord-est algérien, les cours d'eau, à alimentation essentiellement pluviale, se caractérisent par des apports très variables dans le temps et dans l'espace. L'apport annuel moyen à l'exutoire des bassins est estimé à 3250 Hm^3 ($103 \text{ m}^3/\text{s}$) pour les côtiers constantinois, à 910 Hm^3 ($29 \text{ m}^3/\text{s}$) pour Kébir-Rhumel et à 450 Hm^3 ($14 \text{ m}^3/\text{s}$) pour la Seybouse (Mébarki, 1999). L'oued Medjerda et son affluent Mellegue, dont la source est située en Algérie et dont les lits sont principalement sur le territoire tunisien, se caractérisent par des écoulements permanents sur l'ensemble de leurs cours ; les apports moyen annuels sont de l'ordre de 40 Hm^3 pour la Medjerda à Souk Ahras (série : 1968-1984) et 90 Hm^3 pour le Mellegue à Ouenza (série : 1970-1992). En effet, les écoulements connaissent des contrastes très marqués dans le temps et dans l'espace ; les

coefficients de variation (Cv) sont élevés aussi bien à l'échelle mensuelle qu'annuelle (tableau 7).

Tableau 7. Variabilité spatiale et temporelle des débits des principaux cours d'eau dans la zone d'étude (Source de données : ANRH)

Statistique	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Année	Qmax et date	
Medjerda à Souk Ahras (série: 1968-1985)															
Min	0,02	0,03	0,04	0,1	0,16	0,31	0,38	0,53	0,17	0,06	0,02	0	0,43	345	mars-73
Max	0,2	1,4	5,5	9,4	10,5	7,4	23,3	7	2,2	0,3	0,1	0,1	3,6		
Moy	0,06	0,24	0,53	1,55	2,52	2,62	3,54	2,38	0,69	0,17	0,06	0,04	1,27		
S	0,05	0,43	1,31	2,66	3,26	2,33	5,22	1,82	0,55	0,09	0,03	0,02	0,87		
Cv (%)	80	175	245	171	129	89	148	76	80	56	42	46	68		
Mellegue à Ouenza (1971-1992)															
Min	0,05	0	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0	0	0,88	1560	oct-88
Max	27,3	19,3	14	8,5	19,3	12,8	29	13,9	17,2	15,4	11,7	36,7	6,5		
Moy	3,69	3,78	2,79	1,55	1,55	1,97	2,92	2,66	3,75	3,21	1,29	4,02	2,76		
S	6,55	5,16	4,58	2,99	4,46	3,59	6,66	3,87	4,98	3,92	2,79	9,5	1,56		
Cv	178	137	164	193	288	182	228	145	133	122	217	236	57		
Kébir-Est à Ain Assel (1960-2003)															
Min	0	0	0	0,02	0,07	0,66	0,5	0,11	0,05	0	0	0	0,48	585	nov-76
Max	4,7	11	26,4	58,5	102,4	53,5	70,3	38,1	28,4	2,5	3,1	1	21,3		
Moy	0,3	1	5	11,5	17	17,4	10,7	9	3,3	0,4	0,2	0,1	6,3		
S	0,73	1,94	7,16	15,54	17,67	14,63	12,42	10,32	5,22	0,49	0,5	0,22	4,12		
Cv (%)	270	192	143	135	104	84	116	114	160	117	262	233	65		
Bounamoussa à Chaffia (1977-2000)															
Min	0,02	0,05	0,06	0,54	1,72	1,05	1,3	0,42	0,42	0	0,21	0,23	2,74	-	-
Max	5,6	3	28,9	86,5	89,1	112,6	45,2	56	47	4,6	5,2	5,3	28,2		
Moy	1,9	1,5	6,9	17	22,1	25,3	15,5	13,2	7,5	2,1	2,6	2,2	9,84		
S	1,36	1,06	8,97	22,85	24,95	31,8	13,07	17,24	11	1,25	1,55	1,46	6,49		
Cv (%)	72	72	131	134	113	125	84	130	147	61	60	68	66		
Seybouse à Mirbek (série: 1968-1994)															
Min	0	0,33	0,48	0,57	0,29	0,34	2,36	1,29	0,46	0,07	0	0	1,19	677	mars-91
Max	19,5	18,1	65	81,1	114,1	99,9	190,1	65,7	26,3	19	14,2	11	33,6		
Moy	3,1	3,6	7	14,3	24,7	19,7	24,7	19	7	3	1,8	2	10,9		
S	4,58	3,85	13,17	21,22	31,6	21,42	38,57	19,04	6,46	3,92	2,85	2,96	8,55		
Cv (%)	148	107	187	149	128	109	156	100	93	132	160	145	79		
Kébir-Ouest à Ain Charchar (1968-1997)															
Min	0	0	0,02	0,2	0,22	0,38	0,37	0,13	0,03	0	0	0	0,3	547	mars-84
Max	1,4	8,8	30,3	40,7	55,6	81,2	46,5	27,9	7,3	1,1	0,9	0,1	15,4		
Moy	0,15	1,03	2,32	6,68	12,17	12,78	9,37	5,69	1,16	0,26	0,07	0,02	4,4		
S	0,3	2,1	6	11,3	15,5	20,1	11,7	7,7	1,4	0,3	0,2	0	4,3		
Cv (%)	206	207	260	169	128	158	124	135	124	110	251	142	98		
Saf Saf à Khemakhem (1968-2002)															
Min	0	0	0	0	0,03	0,06	0,04	0,03	0,01	0	0	0	0,04	745	févr-84
Max	0,65	1,38	3,74	19,18	11,72	14,11	14,67	6,18	7,58	4,84	0,33	0,17	4,1		
Moy	0,05	0,15	0,43	1,91	2,38	2,94	2,45	1,37	0,66	0,21	0,03	0,02	1,06		
S	0,12	0,27	0,93	3,74	3,24	3,59	3,11	1,69	1,33	0,82	0,06	0,03	0,88		
Cv (%)	262	180	219	196	136	122	127	123	203	389	181	180	83		
Kébir-Rhumel à El Ancer (1972-1984)															
Min	0,85	2,22	3,12	2,44	4,05	7,25	3,11	6,28	1,59	1,89	1,05	0,59	9,14	6360	déc-84
Max	22,5	59	74,7	331,9	195,3	249,6	261,2	160,9	30,6	19,5	10,4	10,1	70,4		
Moy	3,8	14,2	16,4	56,8	58,5	64,4	66,5	37	13,4	6,5	3,2	2,6	28,6		
S	5,5	17,2	17,9	81,6	51,6	60,9	66	39,2	8,8	4,5	2,4	2,5	16,4		
Cv (%)	147	122	109	144	88	94	99	106	65	69	75	93	57		

L'évolution des débits au niveau des différents oueds dépend essentiellement du régime pluviométrique; les maxima sont enregistrés, dans la plus part des cas, durant la période humide ou pluvieuse (Décembre-Avril) pendant laquelle plus de 80 % de l'apport annuel moyen transitent par les stations de contrôle. Pendant les étiages, certains oueds affichent moins de 1 Hm³/mois. Le débit annuel moyen varie de 0,2 à 6 m³/s dans les côtiers constantinois et de 0,4 à 26 m³/s dans le Kébir-Rhumel. Grossièrement les apports annuels, très variables, s'échelonnent entre 30 et 900 Hm³/an. Les bassins les plus ruisselants sont ceux des côtiers constantinois Est et Ouest (Mebarki, 2010). Faut-il noter, encore une fois que ces valeurs cachent des réalités importantes sur les magnitudes des crues de ces cours d'eau. En effet, les débits maxima absolus enregistrés sont beaucoup plus grands. A titre d'exemple, les débits de pointe des crues affichés dans les chroniques étudiées est de 745, 1560 et 6360 m³/s dans les bassins versants des oueds Saf Saf, Mellegue et Kébir-Rhumel, respectivement.

9. Conclusion

Faisant partie du Nord-est algérien, la région étudiée représente une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud. L'action conjuguée de la topographie, de la géologie et du climat confère au Nord-est algérien des possibilités hydriques très importantes dont le renouvellement est, en grande partie, assuré par les pluies. Si les hauteurs de pluies annuelles et saisonnières assurent la pérennité des écoulements souterrains et superficiels, elles ne peuvent expliquer à elles seules le caractère imprévisible des pluies les plus intenses car elles ont tendance à lisser les variabilités dans le temps de la pluviosité, et à masquer de ce fait les caractéristiques énergétiques des averses.

Les pluies, plus clémentes au nord qu'au Sud de l'aire d'étude, tombent sous forme d'averses de courte durée, parfois violentes, dues à des perturbations météorologiques locales ou généralisées. La brutalité des pluies extrêmes provoquent parfois des inondations dont les dégâts matériels et humains ne cessent de s'accroître aussi bien en Algérie qu'ailleurs. Ainsi, le traitement des données relatives aux pluies quotidiennes extrêmes dans la zone d'étude fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II

PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES - ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNEES

1. Introduction

Dans toute étude hydrologique, la collecte et la critique des données constituent une phase capitale. De ce fait, il est accordé un investissement assez conséquent à l'analyse et à la critique des données pluviométriques enregistrées au niveau du Nord-est de l'Algérie. Dans ce chapitre on présente le réseau de mesure, les données pluviométriques brutes et la vérification de la qualité des données collectées afin de créer une base de données fiable et prête aux diverses analyses, notamment l'Analyse Exploratoire des Données (AED) et l'Analyse Fréquentielle (AF). Si ces deux dernières ont pour but d'aboutir à des résultats fiables ou dignes de confiance, elles doivent être basées sur des séries des données pertinentes, acceptables et précises. *La pertinence* implique que la série des données est bien appropriée à la nature du problème à résoudre. A titre d'exemple, l'étude des pluies extrêmes exige l'utilisation d'une série de données des pluies maximales enregistrées pendant une durée donnée et non pas une série de données mensuelles ou annuelles des pluies.

L'acceptabilité réfère essentiellement à la taille de l'échantillon qui doit être suffisante. En effet, les probabilités calculées à la base de séries très courtes ne peuvent donner des résultats plus ou moins sûrs et dignes de confiance.

La précision réfère aux problèmes d'homogénéité des mesures. Bien que les données pluviométriques, par exemple, soient plus ou moins précises, elles peuvent ne pas convenir à une analyse probabiliste si des changements importants dans la position de la station (distance horizontale et/ou altitude), dans l'environnement du site de mesure (obstructions dues à la construction d'immeubles ou la plantation d'arbres) ont eu lieu. Ceux-ci peuvent altérer les modalités de réception de la pluie et, par conséquent, entraîner une hétérogénéité dans la série des données.

2. Acquisition des données : le réseau pluviométrique

Le Nord-est de l'Algérie est recouvert d'un réseau de stations de mesure assez conséquent comportant cent quarante-quatre (144) stations équipées d'un pluviomètre et 24 stations équipées d'un pluviographe (Fig. 13). Les données pluviométriques de base nécessaires à cette étude sont collectées auprès du Service Hydrologique de l'ANRH (antennes d'Annaba, Constantine, Jijel et Bir Mourad Raïs) et des services de l'ONM d'Alger et d'Annaba (Annexe 2).

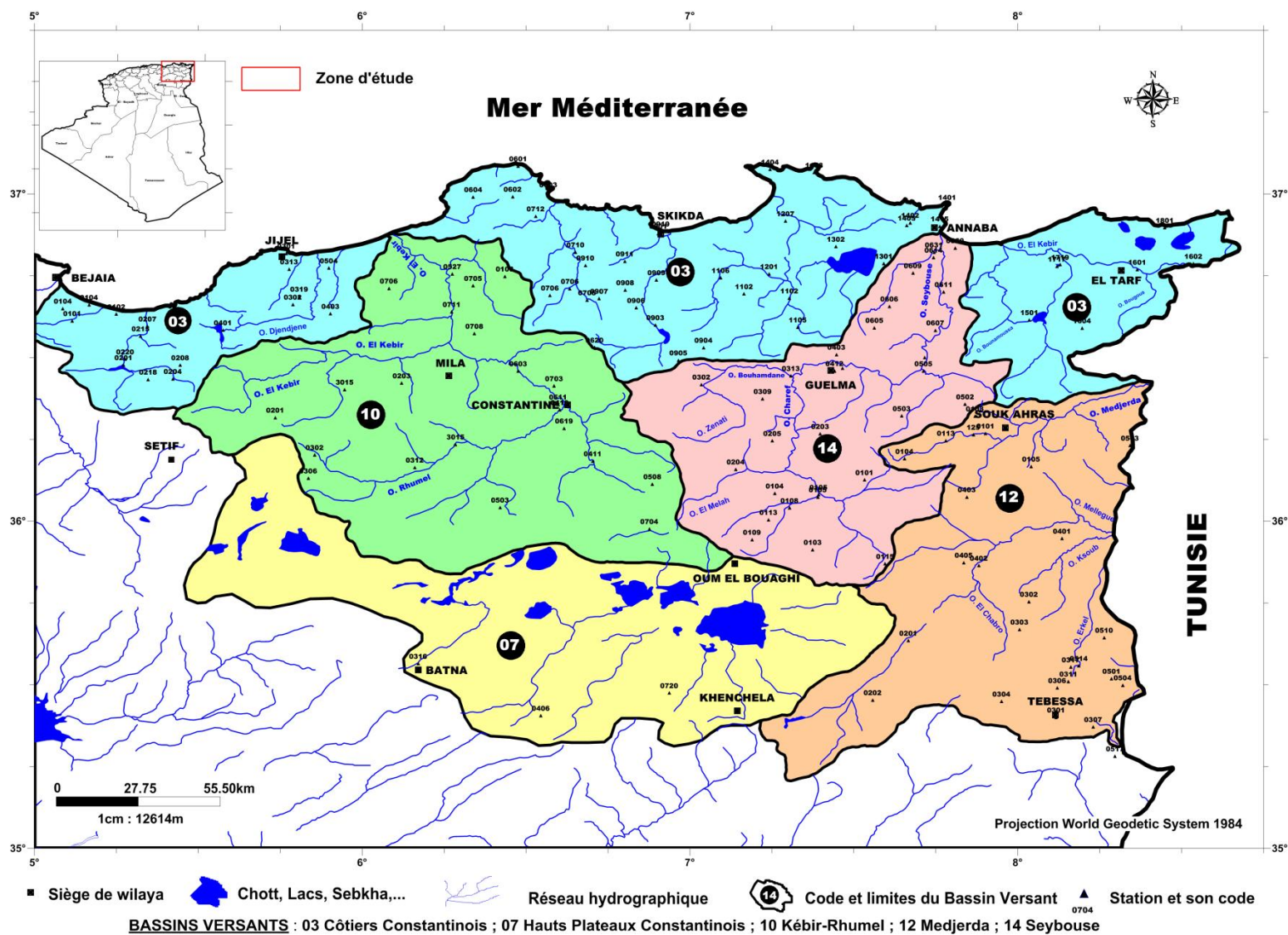


Fig. 13. Répartition des postes pluviométriques dans la zone d'étude.

Pour chaque station, les données sont organisées sous forme de fichiers opérationnels où on trouve les valeurs mesurées des pluies quotidiennes dont celles des pluies journalières maximales (P_{jmax}) pour chaque mois de l'année et ceci sur de longues périodes d'enregistrement (plusieurs années). Une pluie journalière maximale est définie comme étant la plus grande quantité d'eau enregistrée en 24 Heures entre 8 : 00 du jour J et 8 :00 du jour J+1. Compte tenu de la disponibilité de l'information recherchée dans ces divers fichiers et des objectifs, un premier tri a permis de retenir les données de dix-neuf (19) stations pluviométriques dans le bassin des côtières constantinois, vingt et un (21) stations au niveau de la Seybouse, quatorze (14) stations dans le bassin du Kébir-Rhumel et dix-neuf (19) stations dans le bassin de la Medjerda. Les postes pluviométriques dans le bassin des Hauts Plateaux Constantinois, où l'écoulement est essentiellement endoréique, sortent du cadre de cette étude. Seule la station pluviométrique de Batna est considérée pour des fins d'extrapolation spatiale. Ainsi, le nombre total de postes pluviométriques jugés représentatifs de la région d'étude s'élève à 74. Les coordonnées des diverses stations sont données en annexe 2. Cette nouvelle base de données contient des stations qui présentent des lacunes au niveau des observations qu'il faut combler. Selon le cas, quatre méthodes de reconstitution des données sont utilisées : la moyenne arithmétique, la méthode des distances inverse (version US National Weather Service), la méthode du rapport normal et celle des doubles cumuls.

3. Reconstitution des données manquantes

Elle constitue une phase importante avant toute analyse statistique de données afin d'obtenir des séries plus au moins complètes et longues assurant des résultats plus précis sur l'événement étudié.

3.1. La moyenne arithmétique simple

Cette méthode consiste à remplacer la valeur manquante par la moyenne de la série. Elle est appliquée pour les séries présentant une ou deux lacunes seulement.

3.2. La méthode des distances inverses

Appelée également la méthode du cadran par l'US-National Weather Service, cette technique consiste à estimer les valeurs des pluies manquantes en traçant sur une carte topographique à une échelle appropriée deux axes de coordonnées orthogonaux ayant pour origine les coordonnées du point représentatif de la station lacunaire (X). Chacun des quatre cadrans

obtenus (d'est en ouest : I, II, III et IV) peut contenir une ou plusieurs stations avoisinantes distantes de d_i de la station à corriger (X). La valeur à estimer P_x est déterminée à l'aide de la moyenne pondérée des valeurs des stations les plus proches de la station considérée. Le coefficient de pondération (f_i) est déterminé par l'inverse de la racine carrée de la distance (d_i) mesurée entre la station lacunaire et la station de référence la plus proche dans le cadran i.

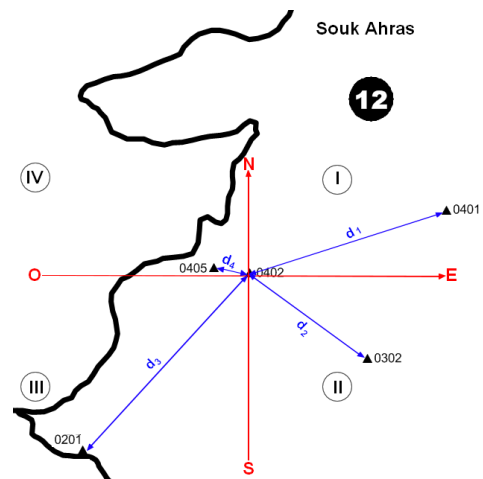
Ainsi, la valeur à estimer (P_x) est obtenue par la relation suivante :

$$P_x = \frac{\sum(f_i \times P_i)}{\sum f_i} \quad (1)$$

où la sommation se fait de $i=1$ jusqu'à 4. Les tableaux 8 à 10 et les schémas explicatifs correspondants illustrent le calcul de la pluie manquante par la méthode du cadran pour différentes situations.

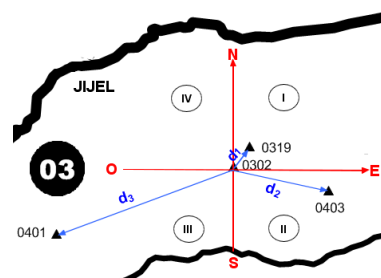
**Tableau 8. Station El Aouinet- Calcul de la pluie manquante de l'année 1998
(méthode du cadran : 4 stations de référence)**

Code et nom de la station	Cadran N°	P_i (mm)	d_i (cm)	$f_i = \frac{1}{\sqrt{d_i}}$	$P_i \times f_i$
120401 Ouneza	I	47,5	3,8	0,513	24,367
120302 Boukhadra	II	55	2,6	0,620	34,110
120201 Meskiana	III	25,2	4,5	0,471	11,879
120405 Messloula	IV	26,9	0,6	0,471	11,879
Somme				2,9	105,1
120402 El Aouinet		36,3 mm			



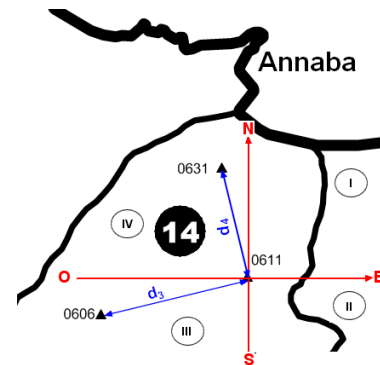
**Tableau 9. Station de Texanna- Calcul de la pluie manquante de l'année 1991
(méthode du cadran : 3 stations de référence)**

Code et nom de la station	Cadran N°	P_i (mm)	d_i (cm)	$f_i = \frac{1}{\sqrt{d_i}}$	$P_i \times f_i$
30319 Harma	I	60,8	0,7	1,195	72,670
30403 Fedouls	II	65	1,5	0,816	53,072
30401 Erraguène	III	126,2	3	0,577	72,862
-	IV	Pas de station dans le cadran			
Somme				2,6	198,6
30302 Texanna		76,7 mm			



**Tableau 10. Station de Kef Mourad- Calcul de la pluie manquante de l'année 1977
(méthode du cadran : 2 stations de référence)**

Code et nom de la station	Cadran N°	P _i (mm)	d _i (cm)	$f_i = \frac{1}{\sqrt{d_i}}$	P _i × f _i
-	I	Pas de station dans le cadran-			
-	II	Pas de station dans le cadran-			
140606 Ain Berda	III	27	2,2	0,674	18,203
140631 Pont Bouchet	IV	48,9	2,1	0,690	33,744
Somme				1,364	51,948
140611 Kef Mourad		38,1 mm			



3.3. La méthode du rapport normal

Cette méthode, appliquée par l'US-Environnemental Service, est fondée sur les notions de la régression linéaire multiple. La pluie manquante (P_x) à la station lacunaire X peut être approximée à partir des pluies enregistrées aux trois stations de références les plus proches par la formule suivante :

$$P_x = \frac{N_x}{3} \left[\frac{P_a}{N_a} + \frac{P_b}{N_b} + \frac{P_c}{N_c} \right] \quad (2)$$

où P_a , P_b et P_c sont respectivement les pluies aux stations avoisinantes (ou stations de référence) pour la période considérée. Les quantités N_x , N_a , N_b et N_c sont les pluies normales (ou modules pluviométriques moyens) calculées sur une période assez longue.

Faut-il ajouter que cette méthode est applicable si l'écart relatif absolu entre la normale de la station de référence et celle de la station lacunaire, calculé par la relation :

$$E_a = 100 \times \left| \frac{N_i - N_x}{N_i} \right| \quad (3)$$

est supérieur à 10 % ; l'indice i pouvant être remplacé par les lettres a, b et c (tableau 11).

**Tableau 11. Station de Meskiana- Calcul de la pluie manquante de l'année 1989
(méthode du Rapport Normal : cas où $E_a > 10\%$)**

Code	Station	P _i (mm)	N _i (mm)	N _x (mm)	N _i -N _x	N _i -N _x /N _i en%
120202	Ain Dhalaa	28	36	34	2	5,6
120402	EL Aouinet	44,2	39	34	5	12,8
120301	Tébessa APC	67,3	40	34	6	15,0
120201	Meskiana	40,7 mm				

Au cas où cet écart est inférieur à 10 % pour toutes les stations de référence, la moyenne arithmétique des trois stations est attribuée à P_x (tableau 12).

Tableau 12. Station de Berriche- Calcul de la pluie manquante de l'année 1976 (méthode du Rapport Normal : cas où $E_a < 10\%$)

Code	Station	Pi (mm)	Ni (mm)	Nx (mm)	Ni-Nx	Ni-Nx /Ni en%
140104	Ksar Sbahi	38.7	36.9	36.6	0.3	0.8
140109	Ain Babouche	18,5	39	36.6	2.4	6.2
140115	Terraguelt	35	36,8	36.6	0.2	0.5
140103	Berriche	30.2 mm (moyenne arithmétique des stations de référence)				

3.4. Méthode des doubles cumuls

Cette méthode consiste à tracer le cumul des pluies observées pendant une période assez longue à la station lacunaire (Y) en fonction du cumul des pluies enregistrées durant la même période de la station de référence (X). Une fois le diagramme de dispersion montre qu'une relation linéaire existe entre les cumuls des deux stations, les constantes de la droite de régression sont obtenues par la méthode des moindres (Fig. 14).

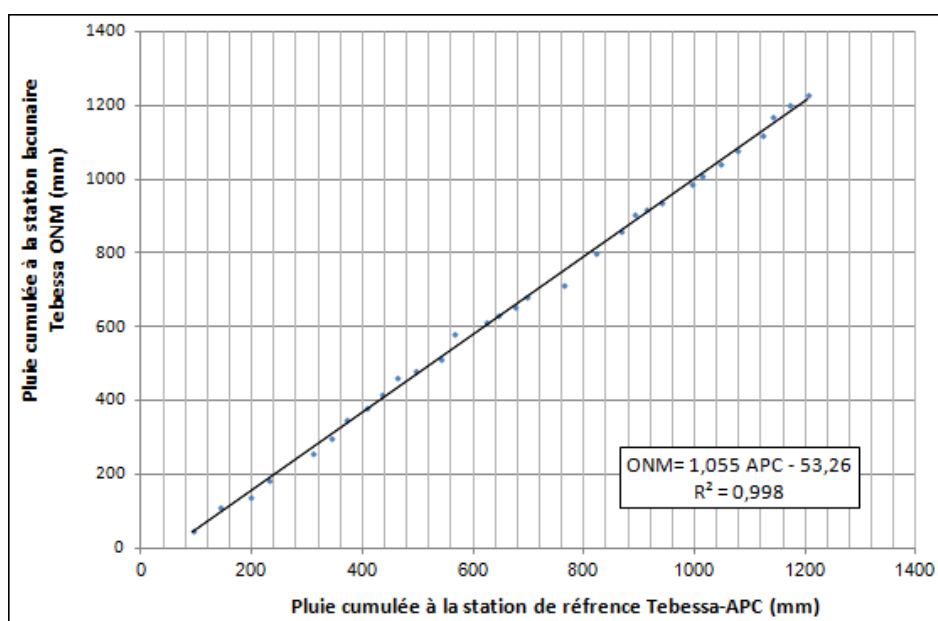


Fig. 14. Diagramme de dispersion et droite de régression des pluies cumulées à la station de Tébessa-ONM vs les pluies cumulées à la station de Tébessa-APC

Si la qualité de l'ajustement est satisfaisante (coefficient de détermination R^2 proche de 1), les pluies manquantes à la station lacunaire (Tébessa-ONM) peuvent être estimées à partir des pluies de la station de référence (Tébessa-APC) en utilisant l'équation de régression obtenue entre les deux variables. Les valeurs prévues par la régression correspondent aux valeurs

cumulées. Par un processus récursif, on obtient les valeurs prévues des pluies journalières maximales de l'année sans observation. Le tableau ci-dessous montre les différentes étapes de calcul.

**Tableau 13. Reconstitution des pluies journalières maximales à la station de Tébessa-ONM
(méthode des doubles cumuls : valeurs reconstituées pour 2003 et 2004)**

Année	P _{jmax} -Tébessa APC (mm)	P _{jmax} -Tébessa ONM (mm)	Cumul P _{jmax} -Tébessa APC (mm)	Cumul P _{jmax} -Tébessa ONM (mm)	P _{jmax} reconstituées Tébessa-ONM (mm)
1972	94,0	46,7	94,0	46,7	46,7
1973	50,2	62,0	144,2	108,7	62,0
1974	53,4	29,1	197,6	137,8	29,1
1975	35,3	47,5	232,9	185,3	47,5
1976	78,4	72,7	311,3	258,0	72,7
1977	34,0	39,6	345,3	297,6	39,6
1978	27,6	51,9	372,9	349,5	51,9
1979	35,1	28,0	408,0	377,5	28,0
1980	27,0	40,4	435,0	417,9	40,4
1981	29,1	41,8	464,1	459,7	41,8
1982	32,2	22,0	496,3	481,7	22,0
1983	46,8	32,1	543,1	513,8	32,1
1984	22,0	65,8	565,1	579,6	65,8
1985	58,0	33,0	623,1	612,6	33,0
1986	21,5	19,4	644,6	632,0	19,4
1987	30,0	23,1	674,6	655,1	23,1
1988	22,4	25,2	697,0	680,3	25,2
1989	67,3	33,1	764,3	713,4	33,1
1990	59,2	87,3	823,5	800,7	87,3
1991	43,8	59,2	867,3	859,9	59,2
1992	25,3	43,1	892,6	903,0	43,1
1993	21,8	13,5	914,4	916,5	13,5
1994	27,0	21,5	941,4	938,0	21,5
1995	53,0	47,8	994,4	985,8	47,8
1996	19,8	23,5	1014,2	1009,3	23,5
1997	31,8	29,7	1046,0	1039,0	29,7
1998	33,2	36,8	1079,2	1075,8	36,8
1999	45,3	44,7	1124,5	1120,5	44,7
2000	17,5	48,7	1142,0	1169,2	48,7
2001	29,0	30,4	1171,0	1199,6	30,4
2002	34,0	30,8	1205,0	1230,4	30,8
2003	74,1	-	1279,1	1296,2	65,8
2004	33,2	-	1312,3	1331,2	35,0
2005	49,2	50,6	1361,5	-	50,6
2006	36,0	24,9	1397,5	-	24,9
2007	24,0	29,6	1421,5	-	29,6
2008	63,0	40,1	1484,5	-	40,1

Ainsi, la combinaison des résultats des différentes méthodes sus citées a permis d'apporter des corrections et des extensions de certaines séries dont les résultats statistiques sont récapitulés au tableau ci-dessous.

Tableau 14. Tableau récapitulatif des résultats du comblement des lacunes

Bassin versant	Code ANRH	Nombre de stations	Nombres de lacunes comblées	Nombre total d'années	Pourcentage corrigé
Côtiers constantinois	03	19	204	718	28
Kébir-Rhumel	10	14	121	483	25
Medjerda-Mellegue	12	19	168	685	24.5
Seybouse	14	21	174	739	23.5
Moyenne	-	-			25

A la lumière des statistiques reportées au tableau 14, il ressort que le nombre de corrections apportées aux séries pluviométriques journalières est important (25 % en moyenne) traduisant la défaillance du système de mesure pluviométrique dans la zone d'étude.

4. Analyse exploratoire des données

D'une manière générale, les données collectées présentent probablement des anomalies dues essentiellement aux erreurs expérimentales et de lecture. Par conséquent, elles doivent faire l'objet d'une analyse critique afin de réduire les erreurs probables. En effet, toute série étudiée doit être sujette à une série de tests visant à vérifier le caractère aléatoire, homogène et représentatif des données observées, un pré requis pour l'analyse fréquentielle (St-Hilaire, 2005). Ces tests sont brièvement décrits ci-dessous.

4.1. Test d'indépendance de Wald-Wolfowitz

Il existe dans la littérature plusieurs tests d'indépendance : test du signe, Lag-1 auto corrélation, test du χ^2 , Rapport de Vraisemblance Maximum, etc.). Dans la présente étude on a utilisé le test de Wald-Wolfowitz (1943). Ce test, appelé également le test du signe (en anglais, *the run test*), a pour objet de vérifier le caractère aléatoire de la variable étudiée pour s'assurer que les éléments de la série des données sont vraiment indépendants les uns des autres et sont donc le résultat du hasard.

Le test du signe consiste à calculer la médiane (Me) de la série de données observées et à remplacer chaque valeur x_i par un signe plus (+) si $x_i > Me$ et un signe moins (-) si $x_i < Me$. On obtient ainsi une alternance de groupes de signes positifs et négatifs (ou séquence). Dans

cette séquence, chaque groupe de signes définit une suite. Si on désigne par R_{obs} le nombre de "suites" dans la séquence étudiée et par N_1 et N_2 le nombre de signes de part et d'autre de la médiane, le test cherche à comparer la valeur de R_{obs} à une valeur critique ($R_{N_1=N_2, \alpha}$) correspondant à une probabilité donnée α appelée seuil de signification (table en annexe 3).

La règle de décision est la suivante:

- si $R_{obs} \in]R_1, R_2[$: accepter l'hypothèse d'indépendance au seuil de signification α
- si $R_{obs} \leq R_1$ ou $R_{obs} \geq R_2$: rejeter cette hypothèse au seuil de signification α .

Le tableau 15 présente une application numérique du test d'indépendance des pluies journalières maximales observées à la station de Pont Bouchet.

**Tableau 15. Exemple de calcul du test d'indépendance de Wald-Wolfowitz
(Application à la série des pluies journalières maximales à Pont Bouchet)**

Année	P _{jmax} (mm)	Signe	Séquence	Année	P _{jmax} (mm)	Signe	Séquence
1976	62,8	+	1	1993	32,8	-	5
1977	48,9	-	1	1994	32,8	-	
1978	57,7	+	1	1995	43,0	-	
1979	34,0	-	3	1996	34,4	-	
1980	36,0	-		1997	47,2	-	2
1981	38,4	-		1998	60,0	+	
1982	114,6	+		1999	82,8	+	2
1983	114,6	+	3	2000	28,7	-	
1984	83,7	+	4	2001	39,0	-	6
1985	28,8	-		2002	101,0	+	
1986	23,6	-		2003	58,5	+	
1987	26,2	-		2004	56,7	+	
1988	47,4	-	1	2005	54,7	+	2
1989	54,0	+		2006	62,1	+	
1990	45,0	-	1	2007	53,7	+	
1991	58,0	+	2				
1992	71,0	+					
Me	51,3			$R_{N_1/N_2, 0.05} : 11 - 23$			
R _{obs}	13						
N1	16	Décision : Puisque R _{obs} appartient à l'intervalle des valeurs critiques, on accepte l'hypothèse d'indépendance des données.					
N2	16						

Lorsque N_1 et N_2 sont grands (supérieures aux valeurs tabulées), la distribution du nombre de suites R devient gaussienne de paramètres :

$$E(R) = \bar{R} = \frac{2 \times N_1 \times N_2}{N_1 + N_2} ; \quad (4)$$

$$s_R = \left[\frac{2 \times N_1 \times N_2 \times (2 \times N_1 \times N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2 \times (N_1 + N_2 - 1)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

et de variable réduite : $z_{obs} = \frac{R_{obs} - \bar{R}}{s_R}$, où $\bar{R}$ est l'espérance mathématique de R et s_R est son écart type.

Dans ce cas la décision est d'accepter l'hypothèse d'indépendance des données au seuil $\alpha = 0.05$ si $z_{obs} \in]-1.96, +1.96[$.

4.2. Le test d'homogénéité des observations ou test "U" de Mann-Whitney (1945)

Le test "U" de Mann-Whitney, appelé également test de Wilcoxon, est utilisé pour vérifier l'hypothèse d'uniformité ou d'homogénéité de deux groupes d'observations. En d'autres termes, on adopte ce test pour vérifier, avec un risque d'erreur connu, si deux échantillons de tailles N_1 et N_2 proviennent de la même population. Dans ce cas, on dit que les données observées sont homogènes avec un risque α de commettre une erreur dans la décision adoptée.

Le principe de ce test repose sur le fait que les données des deux groupes seraient d'autant plus différentes que les observations de l'un des groupes seraient classées suffisamment en avant par rapport à celles de l'autre. Ainsi, la première étape du test consiste à fusionner les données des deux échantillons pour former une série de taille $N = N_1 + N_2$. Après avoir classé, par ordre croissant, les diverses valeurs de la série obtenue, on calcule la somme des rangs (R_1) occupés par les observations de l'échantillon de taille N_1 ; N_1 dénotant toujours la taille du plus petit échantillon. La valeur observée du paramètre U, soit U_{obs} , est donnée par la relation:

$$U_{obs} = N_1 \times N_2 + \frac{N_1(N_1+1)}{2} - R_1 \quad (6)$$

Lorsque $N_1 \leq 20$ et $N_2 \leq 40$, (cas de la taille des échantillons collectés) la valeur de U_{obs} ainsi calculée sera confrontée à une valeur théorique ou critique $U_{N_1, N_2; \alpha}$ qu'on trouve dans les tables de Mann-Whitney (tableau 16 et Annexe 3).

La règle de décision est la suivante:

- si $U_{obs} > U_{N1, N2; \alpha}$: accepter l'hypothèse d'homogénéité des données au seuil de signification α choisi à priori.
- si $U_{obs} \leq U_{N1, N2; \alpha}$: rejeter l'hypothèse d'homogénéité au seuil de signification α ; l'hétérogénéité est d'autant plus marquée que U_{obs} est plus petit que U critique.

**Tableau 16. Exemple de calcul du test d'homogénéité de Mann-Whitney
(Application à la série des pluies journalières maximales à Souk Ahras)**

Série brute		Série classée			Série brute		Série classée		
Identifiant	P _{jmax} (mm)	Identifiant	P _{jmax} (mm)	Rang	Identifiant	P _{jmax} (mm)	Identifiant	P _{jmax} (mm)	rang
1970	55,9	1987	17,9	1	1990	51,5	1973	50,6	21
1971	41,4	1994	18,4	2	1991	72,0	1990	51,5	22
1972	35,4	1993	20,5	3	1992	39,9	1979	52,4	23
1973	50,6	2007	29,4	4	1993	20,5	1980	52,4	24
1974	32,7	1977	32,4	5	1994	18,4	1982	52,4	25
1975	66,5	1974	32,7	6	1995	44,0	2008	53,4	26
1976	64,5	1988	35,3	7	1996	38,1	2002	53,6	27
1977	32,4	1972	35,4	8	1997	42,5	1970	55,9	28
1978	45,1	1989	36,3	9	1998	45,5	2004	56,0	29
1979	52,4	1981	37,7	10	1999	65,3	2000	57,2	30
1980	52,4	1996	38,1	11	2000	57,2	2005	60,8	31
1981	37,7	1992	39,9	12	2001	48,7	1976	64,5	32
1982	52,4	1971	41,4	13	2002	53,6	1999	65,3	33
1983	89,4	2006	42,0	14	2003	90,5	1975	66,5	34
1984	74,4	1997	42,5	15	2004	56,0	1991	72,0	35
1985	72,4	1986	43,0	16	2005	60,8	1985	72,4	36
1986	43,0	1995	44,0	17	2006	42,0	1984	74,4	37
1987	17,9	1978	45,1	18	2007	29,4	1983	89,4	38
1988	35,3	1998	45,5	19	2008	53,4	2003	90,5	39
1989	36,3	2001	48,7	20					
Résultats de la statistique du test									
N1 : 19	N2 : 20	Σ R ₁ : 382		Σ R ₁ : 398		U _{obs} : 188	U _{N1/N2,0.05} : 119		
Décision : Puisque le U _{obs} est supérieur à U _{N1/N2,0.05} , on accepte l'hypothèse d'homogénéité des données observées.									

Lorsque N_1 et N_2 sont supérieurs à 20, ou bien si l'une des tailles N_1 ou N_2 dépasse 40, les tables de Mann-Whitney ne peuvent plus être sollicitées. Dans ce cas, la distribution de la variable U devient approximativement gaussienne. Au cas où les observations dans les deux groupes seraient homogènes, la valeur espérée de U , c'est à dire $E(U)$ ou U_{moy} , et l'écart type de U , soit s_U , seront calculées par:

$$E(U) = \bar{U} = \frac{N_1 N_2}{2} \quad (7)$$

$$s_U = \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad (8)$$

Pour une valeur observée de U, soit (U_{obs}), calculée à l'aide de la formule ci-dessus, on déterminera la variable réduite de Gauss (Z_{obs}) telle que:

$$Z_{obs} = \frac{U_{obs} - \bar{U}}{s_U} \quad (9)$$

Dans ce cas la règle de décision devient:

- si $Z_{obs} \in [-Z_{\alpha/2}, +Z_{1-(\alpha/2)}]$: accepter l'hypothèse d'homogénéité des deux groupes de données au risque α défini a priori.
- si $Z_{obs} \notin [-Z_{\alpha/2}, +Z_{1-(\alpha/2)}]$: rejeter l'hypothèse d'homogénéité au seuil α . Dans ce cas les deux groupes de données proviennent de deux populations différentes.

$Z_{\alpha/2}$ et $Z_{1-(\alpha/2)}$ sont les fractiles d'ordre $\alpha/2$ et $1 - (\alpha/2)$ qu'on lit dans la table de l'intégrale de Laplace ou table de la loi normale.

4.3. Test de représentativité des données

Dans tout travail de mesure d'une grandeur, on se confronte parfois à une ou des valeurs suspecte (s) parce qu'elle (s) semblait (aient) s'éloigner beaucoup trop des autres mesures, ce qui incitait à penser qu'une erreur était survenue lors de l'expérience ou le report des résultats de mesure. Ces dernières, appelées aussi les horsains, les atypiques, les inclassables, en anglais 'outliers', sont des valeurs observées de la variable aléatoire étudiée pouvant avoir lieu aux extrémités de la courbe analytique de la distribution des fréquences. Il est toutefois délicat d'éliminer une valeur puisque les probabilités nous enseignent que toute valeur est possible. Ainsi le fait de retirer une valeur au motif qu'elle semble trop s'éloigner des autres pourrait alors être perçu comme une forme de malhonnêteté scientifique, une volonté de « trafiquer » des résultats (en particulier pour améliorer l'incertitude).

Par intuition on se rend compte qu'il s'agit d'évènements rares survenus durant la période d'observations mais si cette dernière serait plus longue, ces évènements s'ajusteraient mieux à la courbe en question. En conséquence, plusieurs hydrologues, basés sur des jugements simples, font extrapoler ces points sur la courbe ou bien ils les ignorent complètement.

Dans la pratique, il existe plusieurs techniques (graphiques et statistiques) qui apportent une réponse à ce problème. Toutefois, il importe de garder à l'esprit que la décision finale de conserver ou supprimer une mesure est de la responsabilité de l'opérateur.

4.3.1. Techniques graphiques

Parmi les techniques graphiques permettant de localiser une donnée atypique on cite le diagramme de dispersion, l'histogramme des fréquences, le *box-plot* (ou boîte à moustaches) et le *stem plot* (ou diagramme tige-feuille). Les figures 15 à 19 illustrent l'existence ou non de données douteuses. Faut-il toutefois noter que ces méthodes exploratoires sont peu précises et la décision quant à la présence ou non de données atypiques reste subjective. D'où la nécessité d'opter, à chaque fois qu'il est possible, pour les techniques quantitatives.

4.3.2. Techniques quantitatives ou tests statistiques

Il existe plusieurs tests statistiques pour vérifier la représentativité des données d'une série d'observation. On cite, à titre d'exemple, les tests de Dixon, Grubbs, Chauvenet, Hampel, Tukey et Grubbs et Beck. Les trois derniers tests sont passés en revue dans ce qui suit.

a- Test de Hampel (in Chrominski et Tkacz, 2010)

Pour calculer le test de Hampel, les tableaux statistiques ne sont pas nécessaires. Théoriquement, cette méthode est robuste car elle n'est pas sensible aux valeurs aberrantes ; c'est-à-dire, le nombre de valeurs aberrantes ne devraient pas affecter l'efficacité du test. De plus il n'y a pas de restrictions quant à la taille de l'échantillon étudié. Pour effectuer le test de Hampel sur un ensemble de données, les étapes sont les suivantes:

- Calculer la médiane de la série observée: Me
- Calculer l'écart absolu à la médiane pour toute observation x_i : $|d_i| = |x_i - Me|$
- Calculer la médiane des écarts absolus $Me_{|d_i|}$

La règle de décision est :

- Si $|d_i| \geq 4,5 \times Me_{|d_i|}$, x_i peut être considéré comme atypique.

Les résultats du calcul du test de Hampel pour le poste d'El Milia sont reportés au tableau 17.

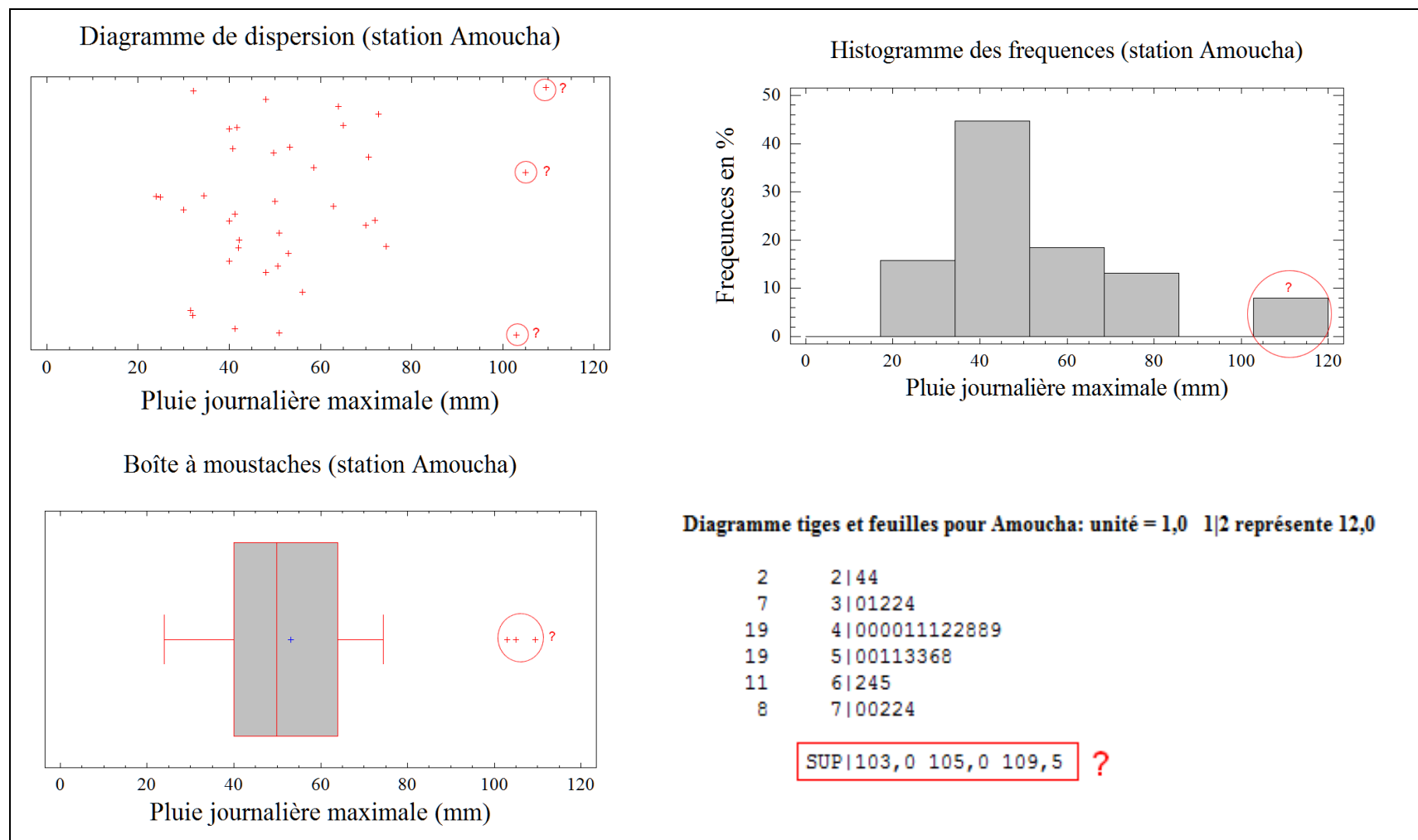
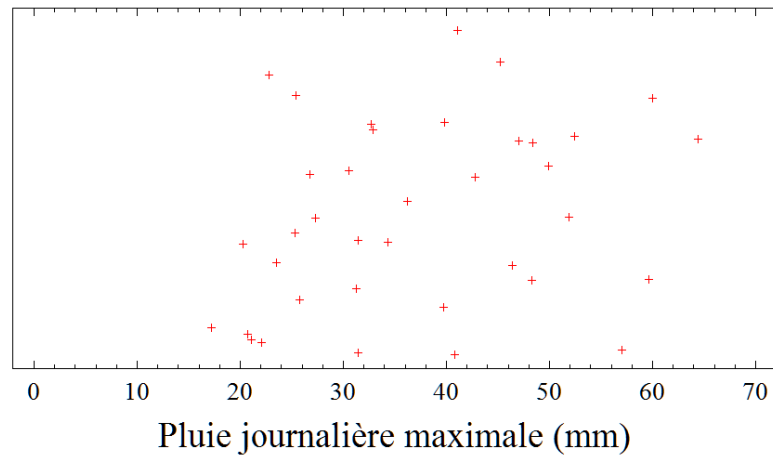
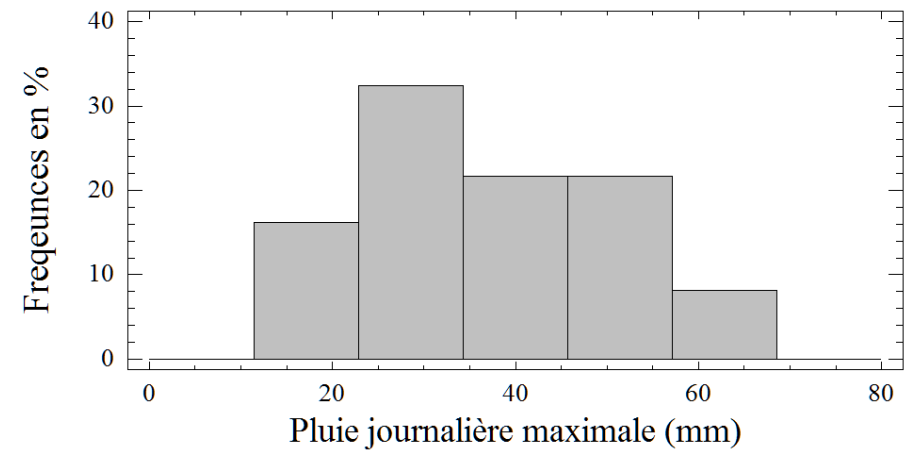


Fig. 15. Station d'Amoucha-Detection graphique des données atypiques (?: donnée douteuse)

Diagramme de dispersion (station de Batna)



Histogramme des frequences (station de Batna)



Boîte à moustaches (station de Batna)

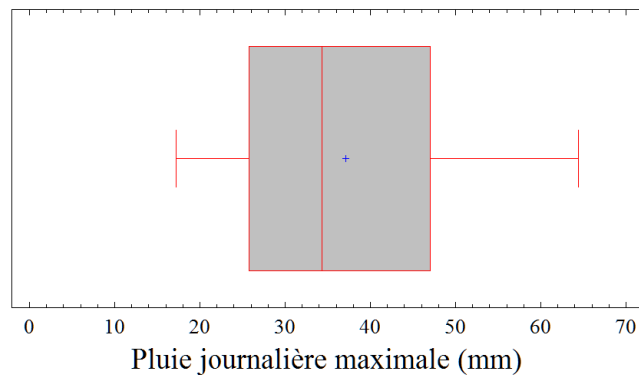
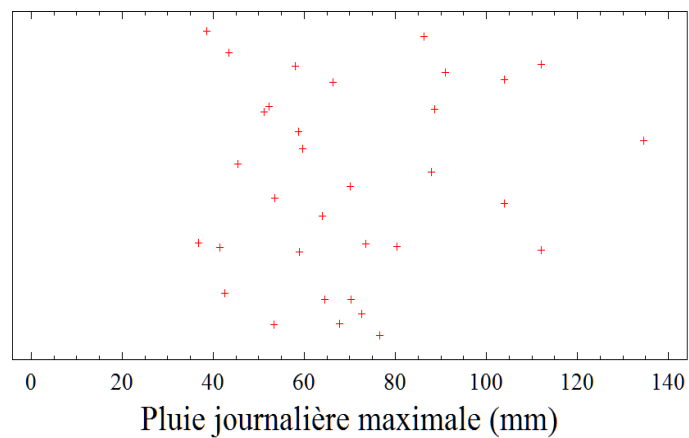


Diagramme tiges et feuilles pour Batna: unité = 1,0 1|2 représente 12,0

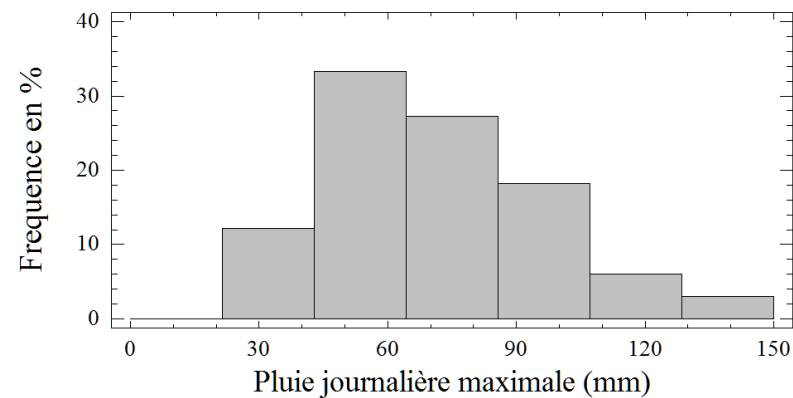
1	1 7
7	2 001223
12	2 55567
(7)	3 0111224
18	3 699
15	4 012
12	4 567889
6	5 12
4	5 79
2	6 04

Fig. 16. Station de Batna-Detection graphique des données atypiques (pas de donnée douteuse)

Diagramme de dispersion (station de Settara)



Histogramme de frequences (station de Settara)



Boîte à moustaches (station de Settara)

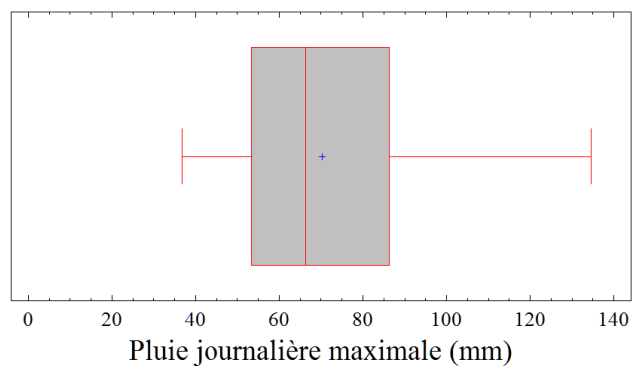
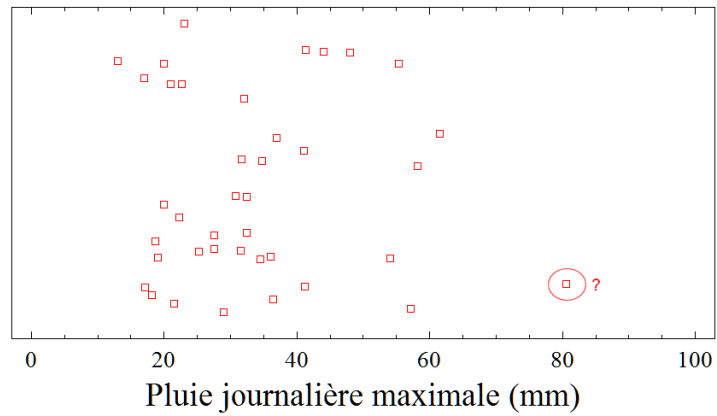


Diagramme tiges et feuilles pour Settara: unité = 1,0 1/2 représente 12,0

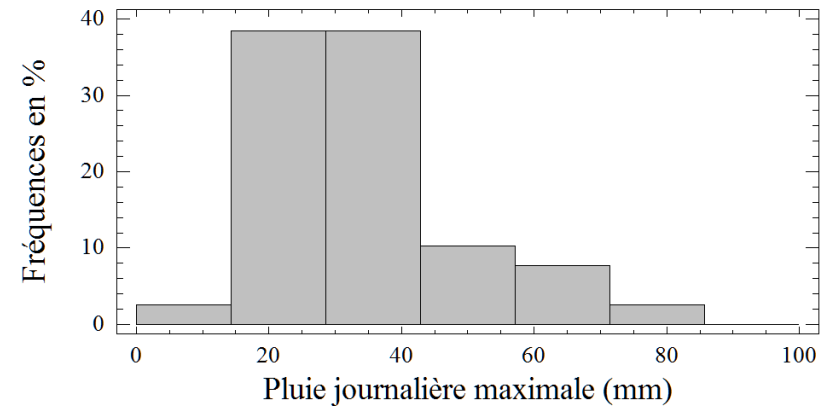
2	3 68
6	4 1235
14	5 12338899
(4)	6 4467
15	7 00236
10	8 0688
6	9 1
5	10 44
3	11 22
1	12
1	13 4

Fig. 17. Station de Settara-Detection graphique des données atypiques (pas de donnée douteuse)

Diagramme de dispersion (station de Meskiana)



Histogramme de fréquences (station de Meskiana)



Boîte à moustaches (station de Meskiana)

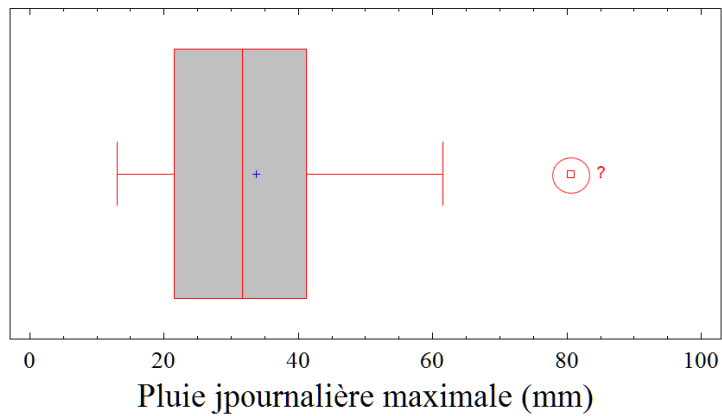


Diagramme tiges et feuilles pour Meskiana: unité = 1,0 1|2 représente 12,0

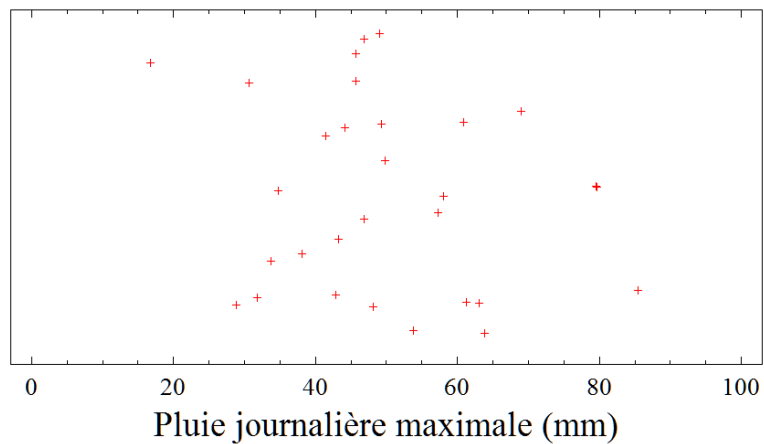
```

6      1|377889
17     2|00112235778
(11)   3|01122244667
11     4|11148
6      5|4578
2      6|1
    
```

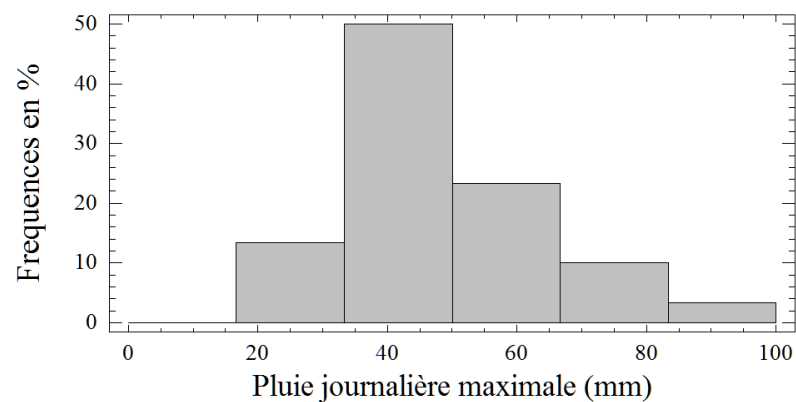
SUP|80,5 ?

Fig. 18. Station de Meskiana-Detection graphique des données atypiques (? : donnée douteuse)

Diagramme de dispersion (station de Medjez Amar)



Histogramme des frequences (station de Medjez Amar)



Boîte à moustaches (station de Medjez Amar)

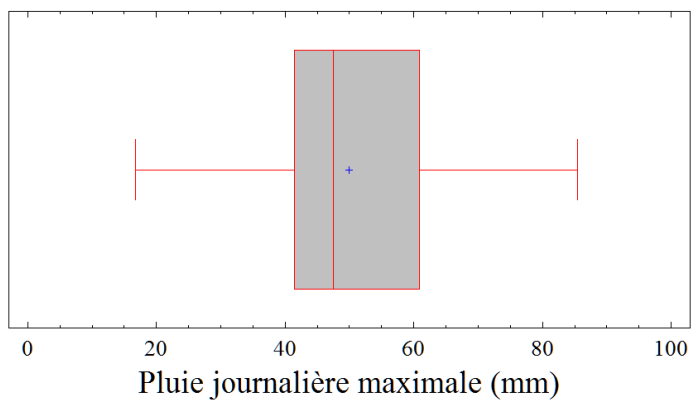


Diagramme tiges et feuilles pour Medjez: unité = 1,0 1|2 représente 12,0

1	1 6
2	2 8
7	3 01348
(12)	4 123455668999
11	5 378
8	6 01339
3	7 99
1	8 5

Fig. 19. Station de Medjez Amar-Detection graphique des données atypiques (pas de donnée douteuse)

**Tableau 17. Exemple de calcul du test de représentativité de Hampel
(Application à la série des pluies journalières maximales à El Milia)**

Année	P _{jmax} (m)	d _i (mm)	Année	P _{jmax} (m)	d _i (mm)	Année	P _{jmax} (m)	d _i (mm)	Année	P _{jmax} (m)	d _i (mm)
1973	146,4	77,3	1982	112,0	42,9	1991	45,0	24,1	2000	72,0	2,9
1974	15,8	53,3	1983	112,3	43,2	1992	80,9	11,8	2001	44,5	24,6
1975	101,4	32,3	1984	154,3	85,2	1993	73,0	3,9	2002	70,5	1,4
1976	76,3	7,2	1985	125,0	55,9	1994	57,7	11,4	2003	67,7	1,4
1977	96,5	27,4	1986	45,1	24	1995	59,9	9,2	2004	91,3	22,2
1978	71,6	2,5	1987	38,9	30,2	1996	58,3	10,8	2005	53,7	15,4
1979	46,5	22,6	1988	52,2	16,9	1997	82,9	13,8	2006	63,3	5,8
1980	92,8	23,7	1989	74,2	5,1	1998	67,5	1,6	2007	46,9	22,2
1981	51,7	17,4	1990	210,3	141,2	1999	67,7	1,4	2008	55,7	13,4
Résultat du calcul du test											
Me_x : 69,1 mm , $Me_{ d }$: 17,2 mm											
statistique du test $4.5 \times Me_{ d }$: 77,2 mm											
Décision: présence de 3 valeurs douteuses (X_{1973} , X_{1984} , X_{1990})											

b- Test de Tukey ou méthode des quartiles (box plot)

Dans ce test, comme dans celui de Hampel, il n'est pas nécessaire de faire recours aux tables statistiques pour les valeurs critiques. Pour trouver une valeur atypique, il est nécessaire d'effectuer les calculs suivants (tableau 18):

- Calculer les premier et troisième quartiles : Q_1 et Q_3
- Calculer l'intervalle interquartile : $IIQ = Q_3 - Q_1$
- Calculer les valeurs seuils : $Q_1 - 1.5 \times IIQ$ et $Q_3 + 1.5 \times IIQ$

$$Q_1 - 3 \times IIQ \quad \text{et} \quad Q_3 + 3 \times IIQ$$

La règle de décision est :

- si $x_i < Q_1 - 1.5 \times IIQ$ ou bien $x_i > Q_3 + 1.5 \times IIQ$: x_i est une donnée modérément atypique
- si $x_i < Q_1 - 3 \times IIQ$ ou bien $x_i > Q_3 + 3 \times IIQ$: x_i est une donnée extrêmement atypique.

c- Test de Grubbs et Beck (version US-Water Resources Council)

Le *Water Resource Council (WRC)* des Etats Unis d'Amérique recommande le recours aux tests statistiques avant de décider si une observation constitue ou pas un horsain.

Tableau 18. Exemple de calcul et schéma explicatif du test de représentativité de Tukey
(Application à la série des pluies journalières maximales à Guelma-ONM)

Année	Pjmax (mm)	Année	Pjmax (mm)
1986	37,1	1997	46,3
1987	29,9	1998	67,5
1988	28,2	1999	37,8
1989	39,1	2000	108,7
1990	36,9	2001	40,8
1991	25,2	2002	27,9
1992	160,1	2003	109,2
1993	50,7	2004	73,5
1994	29,3	2005	60,4
1995	42,1	2006	31,4
1996	51,8	2007	71,6

Résultat du test de Tukey	
Q1	31,4
Me	41,5
Q3	67,5
IIQ	36,1
1,5*IIQ	54,15
Q1-1,5 IIQ	-22,8
Q3+1,5 IIQ	121,7
Q1-3 IIQ	-76,9
Q3+ 3 IIQ	175,8

Présence d'une valeur modéremment atypique (X_{1992})	
---	--

Station de Guelma-ONM
(Boîte à moustaches)

Pluie journalière maximale (mm)

En fonction de la valeur calculée du coefficient d'asymétrie (C_s) de la distribution empirique, le WRC propose de:

- tester du côté des observations maximales si $C_s > 0.4$,
- tester du côté des observations minimales si $C_s < -0.4$,
- tester des deux côtés lorsque $-0.4 \leq C_s \leq 0.4$.

Si X_{inf} et X_{sup} dénotent, respectivement, les valeurs de la variable X au dessus et en dessous desquelles les données observées pourraient être considérées comme des 'outliers' alors on a:

$$x_{inf} = \exp[\mu_{lnx} - K_{a,N} \times \sigma_{lnx}] \quad (10)$$

$$x_{sup} = \exp[\mu_{lnx} + K_{a,N} \times \sigma_{lnx}] \quad (11)$$

où $\mu_{\ln x}$ et $\sigma_{\ln x}$ sont, respectivement, la moyenne et l'écart type des logarithmes népériens de la variable étudiée. Les valeurs du coefficient $K_{N,\alpha}$, fonction de la taille N de l'échantillon et du seuil de signification α , peuvent être lues sur les tables statistiques appropriées (Annexe 3) ou estimées par l'une des relations ci-dessous :

- Pilon et al., 1985.

$$K_{N, 10\%} = -3.62201 + 6.28446 \times N^{1/4} - 2.49835 \times N^{1/2} + 0.491436 \times N^{3/4} - 0.037911 \times N \quad (12)$$

- Stedinger et al., 1993. Pour $5 \leq N \leq 150$:

$$K_{N, 10\%} \approx -0.9043 + 3.345 \times \sqrt{\log(N)} - 0.4046 \times \log(N). \quad (13)$$

Compte tenu du caractère asymétrique de la distribution des fréquences des pluies journalières maximales, les résultats du test de Grubbs et Beck sont adoptés dans ce travail. Ainsi, toutes les observations s'avérant douteuses sont détectées et, par conséquent, éliminées (tableau 19 et Fig. 20).

**Tableau 19. Exemple de calcul du test de représentativité de Grubbs et Beck
(Application à la série des pluies journalières maximales à Héliopolis)**

Année	x: P _{jmax} (mm)	y = ln(x)	Année	x: P _{jmax} (mm)	y = ln(x)	Année	x: P _{jmax} (mm)	y = ln(x)
1970	18,0	2,89	1983	94,6	4,55	1996	24,7	3,21
1971	67,0	4,20	1984	72,1	4,28	1997	46,0	3,83
1972	92,4	4,53	1985	40,4	3,70	1998	69,1	4,24
1973	39,0	3,66	1986	43,0	3,76	1999	83,0	4,42
1974	52,5	3,96	1987	22,7	3,12	2000	45,7	3,82
1975	36,4	3,59	1988	54,6	4,00	2001	25,9	3,25
1976	51,2	3,94	1989	33,3	3,51	2002	88,2	4,48
1977	31,7	3,46	1990	37,3	3,62	2003	51,1	3,93
1978	51,0	3,93	1991	58,8	4,07	2004	91,0	4,51
1979	31,4	3,45	1992	108,6	4,69	2005	103,7	4,64
1980	50,9	3,93	1993	46,6	3,84	2006	80,8	4,39
1981	33,3	3,51	1994	54,5	4,00	2007	40,6	3,70
1982	39,3	3,67	1995	41,5	3,73			
Résultats du test								
N	μ_{lnx}	σ_{lnx}	C _s	K _{38,10%}	X _{inf} :	X _{sup} :		
38	3,895	0,443	0,8	2,661	15,1	159,9		
Décision : au seuil de signification de 10 %, les données ne présentent pas de valeurs atypiques.								

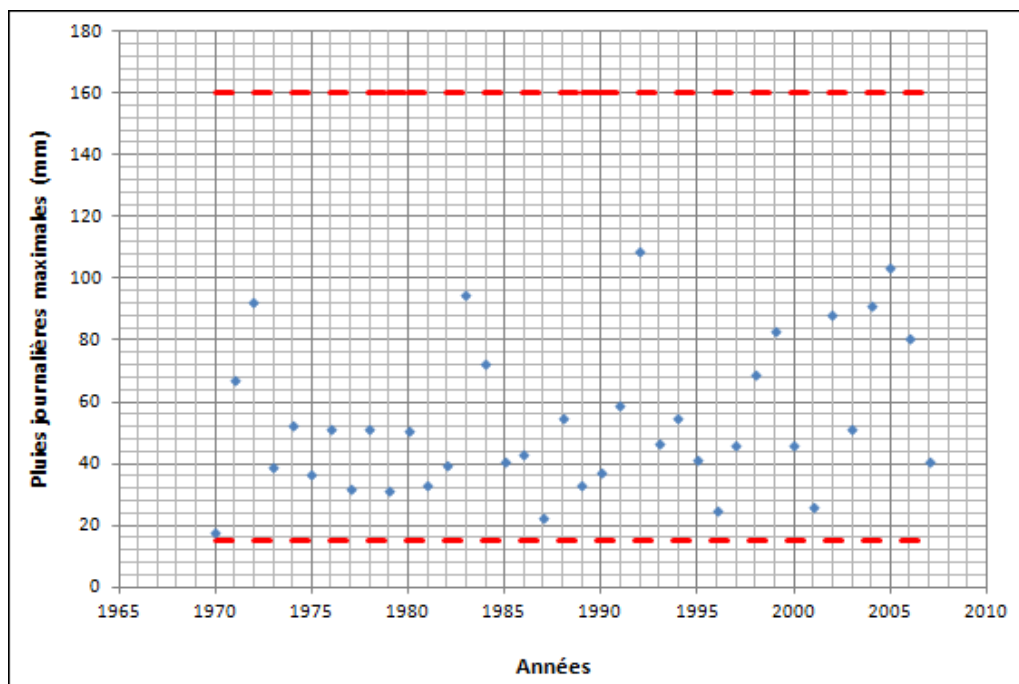


Fig. 20. Station d'Héliopolis- Limites de détection de données atypiques selon le test de Grubbs et Beck

Le tableau 20 récapitule enfin les résultats de calcul des tests non paramétriques de quelques stations représentatives du Nord-est algérien.

Tableau 20. Résultats des tests non paramétriques-Exemple de quelques stations

Test	Statistique	Station						
		Annaba ONM	Skikda ONM	Jijel secteur	Guelma Lycée	Constantine ANRH	Souk Ahras	Tebessa
Wald- Wolfowitz	Médiane	47	53,4	63,5	44	40,1	49,7	34
	N_+	19	19	19	18	19	19	19
	N_-	19	19	19	18	19	19	19
	R	21	21	22	16	21	17	21
	$R_{N1/N2 : \alpha}$	13-27	13-27	13-27	12-26	13-27	13-27	13-27
Décision:		accepter l'hypothèse au seuil de signification 5% si R_{obs} appartient à l'intervalle $R_{N1/N2 : \alpha}$						
Mann- Withney	U_{obs}	168	149,5	136	120	125	181	168
	U_{cr}	119	119	119	99	119	119	119
	Décision:	accepter l'hypothèse d'homogénéité au seuil de signification 5% si $U_{obs} > U_{cr}$						
Grubbs-Beck	$K_{N,0.10}$	2,6716	2,6716	2,6716	2,6394	2,6716	2,6716	2,6716
	X_{inf}	14,3	21,1	28	16,1	16,6	16,9	12,1
	X_{sup}	149,4	135,5	154	120,8	107,9	126	111,5
	Décision:	Rejeter toute valeur en dehors de l'intervalle X_{inf} et X_{sup}						

5. Conclusion

La fiabilité des données, étant complètement vérifiée pour l'ensemble des séries étudiées (rejet des observations aberrantes), les données pluviométriques quotidiennes maximales s'apprêtent ainsi aux analyses statistiques : descriptive et fréquentielle. Ces dernières font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III

ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES JOURNALIERES MAXIMALES

1. Introduction

L'analyse fréquentielle (AF) est l'un des outils de base de l'analyse de l'occurrence d'événements extrêmes. Elle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Cette méthode statistique a pour objectif principal d'utiliser des mesures d'événements passés pour estimer les probabilités futures d'occurrence. Les diverses étapes de l'AF peuvent être simplement schématisées par l'organigramme suivant (Fig. 21):

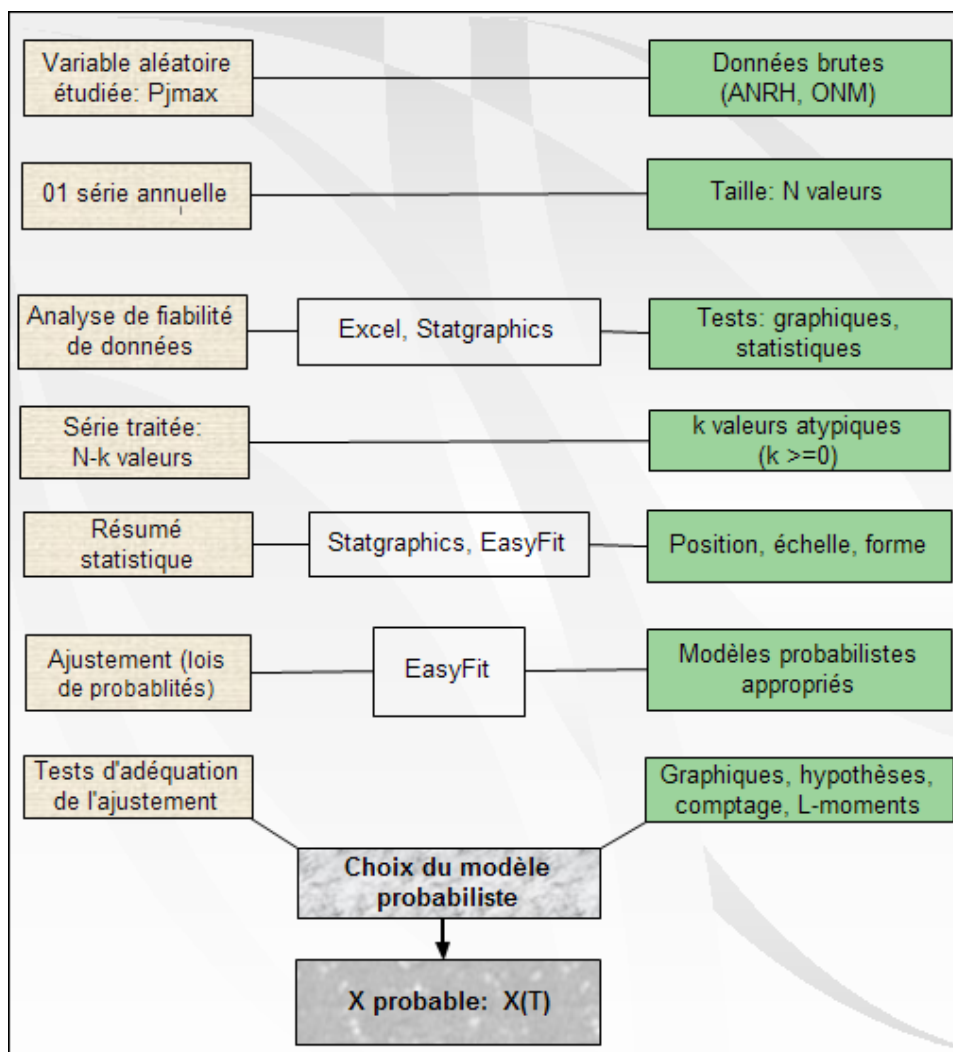


Fig. 21. Etapes de l'analyse fréquentielle d'une variable hydrologique

En hydrologie, plusieurs modèles de distribution des probabilités existent dans la littérature, parmi lesquelles on cite celles des valeurs extrêmes, de Pearson, Log-normale, Gamma, Fréchet, etc. Dans le chapitre précédent, on a constitué une base de données fiable de pluies journalières maximales. Dans le présent, on cherche à ajuster l'ensemble des échantillons de pluies journalières maximales enregistrées au niveau de 74 postes pluviométriques du Nord-est algérien à un modèle fréquentiel; une équation décrivant le comportement statistique de la variable aléatoire étudiée.

2. Analyse statistique descriptive

Après vérification de la fiabilité et la qualité des données, les séries annuelles des pluies journalières maximales obtenues ont fait l'objet d'un traitement statistique descriptif afin de faire ressortir les principales caractéristiques de la distribution des pluies extrêmes observées au niveau de 74 stations du Nord-est algérien dont la taille (N) des séries varient de 20 à 40 ans d'enregistrement avec plus de 93% des stations connaissant des séries de données de 30 à 40 ans. Les caractéristiques de tendance centrale ou de position, de dispersion ou d'échelle et de forme les plus utilisées dans l'AF sont respectivement, la moyenne ($\bar{x}$), l'écart type (s) et le coefficient d'asymétrie (C_s). Elles sont reportées aux tableaux 21 à 25 où figurent également les autres descripteurs de la distribution empirique de chaque station, notamment : les valeurs extrêmes ($x_{\min}$ et $x_{\max}$), les quantiles X d'ordre 5, 10, 25, 50, 75, 90 et 95% ainsi que le coefficient de variation (Cv).

Tableau 21. Bassin des côtières constantinois-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales

Station	N	$X_{\min}$	$X_{\max}$	$X_{5\%}$	$X_{10\%}$	$X_{25\%}$	$X_{50\%}$	$X_{75\%}$	$X_{90\%}$	$X_{95\%}$	$\bar{x}$	s	Cv	C_s
Domaine Dehas	39	33,0	119,4	35,6	36,5	47,0	58,5	74,5	93,0	114,5	63,1	21,8	0,4	0,9
Amoucha	38	24,0	109,5	24,8	31,4	40,0	49,9	64,3	77,4	105,2	53,1	20,7	0,4	1,2
Jijel secteur	39	34,6	149,4	41,6	46,5	52,5	62,7	80,5	108,6	131,0	69,2	24,6	0,4	1,5
Texena	38	34,0	165,0	35,6	49,2	65,5	83,7	118,1	142,2	153,4	91,0	33,0	0,4	0,4
Harma	37	13,3	142,0	15,5	35,8	60,9	73,8	95,3	108,7	138,0	76,0	28,6	0,4	0,0
Erraguene	39	50,6	172,9	53,6	55,0	74,5	92,5	126,2	156,4	166,5	97,8	33,4	0,3	0,7
Col de Fdelous	36	35,2	145,8	46,3	53,1	61,9	74,9	96,0	96,0	144,3	82,2	27,6	0,4	0,8
Taher	37	39,0	154,2	39,9	47,2	56,0	72,6	92,0	117,0	126,2	76,2	26,4	0,4	0,9
Zardezas Bge	38	24,0	137,0	25,1	26,8	32,9	49,6	70,1	104,7	120,4	57,6	29,1	0,5	1,1
Bousnib	38	22,5	109,0	23,0	31,8	41,9	50,2	64,9	90,9	102,4	54,6	21,6	0,4	0,9
Ramdane Djamel	39	24,8	124,7	26,8	27,7	36,6	44,2	59,8	90,1	111,2	51,2	23,2	0,5	1,5
Bekouche Lakhdar	38	18,7	82,2	19,4	25,5	36,5	49,8	65,2	77,1	81,8	50,5	17,6	0,4	0,02
Bouati Mahmoud	38	20,2	130,1	22,6	24,5	37,0	52,2	66,7	99,4	128,1	57,1	27,4	0,5	1,1

Tableau 21. Suite

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	S	Cv	C _s
Ain Charchar	38	26,1	85,5	28,3	34,7	44,1	48,1	67,8	83,5	85,5	54,4	16,5	0,3	0,5
Berrahal	38	28,9	176,0	29,9	33,8	38,3	45,8	61,2	92,1	162,2	57,7	32,8	0,6	2,4
Cheffia Barrage	37	26,5	116,0	30,2	33,4	40,7	60,0	73,4	93,5	113,8	59,9	23,0	0,4	0,7
Ain Assel	36	28,0	142,7	30,4	33,5	40,0	56,4	74,1	109,2	123,2	61,6	27,1	0,4	1,2
Ain El kerma	36	17,0	117,6	23,5	31,3	39,1	59,0	85,3	101,2	112,8	62,3	26,8	0,4	0,4
Skikda ONM	39	25,3	103,0	30,3	32,9	41,5	52,8	72,2	84,9	92,2	56,7	19,6	0,3	0,6

Tableau 22. Bassin des hauts plateaux constantinois-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s
Batna	38	20.3	64.4	20.7	22	26.5	36.2	47.3	57.3	60.2	37.7	12.3	0.3	0.4

Tableau 23. Bassin du Kébir-Rhumel-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s
Belaa	39	13,5	72,6	20,0	20,5	26,4	34,4	48,3	55,4	72,6	72,6	14,5	0,4	0,7
Ouled Rahmoune	36	7,0	171,4	7,4	13,7	22,5	35,4	48,5	73,5	112,0	41,2	30,6	0,7	2,5
Hamala	39	26,5	159,0	35,8	37,8	48,6	58,0	73,5	90,0	101,5	63,2	23,6	0,4	1,9
Constantine ANRH	40	24,3	102,7	24,6	28,1	31,6	40,1	53,7	71,6	88,4	45,6	17,8	0,4	1,4
Bir El Arch	36	14,5	95,7	15,8	18,9	25,4	31,3	40,1	61,5	75,9	35,5	16,5	0,5	1,8
Bir Drimil	23	13,5	48,0	14,6	19,8	24,0	29,0	32,0	43,2	47,5	29,2	7,8	0,3	1,6
Fourchi	38	16,2	125,0	16,8	18,0	24,7	38,5	51,0	80,0	114,5	42,9	24,9	0,6	1,7
El Milia	36	15,8	210,3	35,4	44,8	52,6	69,1	92,4	131,4	162,7	77,3	37,3	0,5	1,6
Contantine ONM	39	21,8	111,5	24,6	27,8	31,0	37,0	57,0	83,8	88,7	45,0	20,8	0,5	1,5
Chelghoum Laid	31	16,2	65,5	17,0	17,7	23,0	30,6	38,4	48,8	59,7	31,8	11,8	0,4	1,0
Ain Fakroun	33	13,0	98,5	13,3	15,2	27,5	34,5	50,0	61,1	78,8	37,8	18,2	0,5	1,2
Ouled Naceur	24	6,8	51,1	7,6	10,4	13,9	16,5	29,6	39,7	49,7	21,7	11,3	0,5	1,1
Ouled Messaouda	36	56,0	213,0	57,3	62,5	75,5	92,2	116,1	135,9	162,0	97,5	32,1	0,3	1,5
Settera	33	36,8	134,6	38,0	41,9	52,8	66,3	87,2	108,8	118,8	70,3	23,9	0,3	0,8

Tableau 24. Bassin de la Medjerda-Mellegue-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s
Souk Ahras	39	17,9	90,5	18,4	29,4	37,7	48,7	57,2	72,4	89,4	49,2	17,0	0,4	0,4
Ain Seynour	38	23,0	128,5	33,5	38,5	45,6	55,0	90,9	103,6	116,2	66,6	25,9	0,4	0,3
Khemissa	37	19,0	98,1	23,4	25,2	31,8	43,6	67,0	79,0	95,4	49,2	21,1	0,4	0,7
Ain Dalia	20	16,1	88,0	16,4	23,3	36,6	50,2	75,8	87,7	88,0	54,3	22,8	0,4	0,1
Meskiana	39	13,0	80,5	17,0	18,1	21,5	31,7	41,2	57,2	61,5	33,7	14,9	0,4	1,1
Ain Dhalaa	39	12,5	83,8	18,2	18,8	23,6	33,2	44,2	59,3	66,2	36,5	15,7	0,4	0,9
Tébessa APC	39	17,5	94,0	19,8	21,8	27,0	34,0	50,2	67,3	78,4	40,1	17,9	0,5	1,2
Boukhadra	39	24,0	80,7	24,5	26,4	32,0	42,7	51,0	68,0	79,5	43,8	14,5	0,3	0,9
Bekkaria	37	15,0	122,0	16,4	20,6	27,3	35,0	47,9	70,2	113,0	41,3	23,8	0,6	2,1
Mcht. Ouled Hamza	35	8,0	113,7	10,4	15,0	24,5	39,4	52,7	72,3	95,8	41,8	23,4	0,6	1,0
El Ounza	39	6,0	63,6	13,5	20,0	26,3	33,8	45,3	49,0	61,3	34,9	12,7	0,4	0,2
El Aouinet	39	17,5	86,5	21,5	24,6	27,7	37,9	45,6	50,4	75,0	38,6	14,1	0,4	1,5
Mdaourouch	39	19,0	66,1	19,2	20,5	29,6	35,0	42,0	51,2	59,2	36,1	11,2	0,3	0,6
Mesloula	37	14,0	96,5	17,8	20,9	25,8	32,8	38,4	49,7	72,3	34,7	14,9	0,4	2,3
Ras El Aioun	35	17,9	78,1	18,0	21,3	26,6	36,5	48,6	58,8	74,8	38,5	14,8	0,4	2,5
El Kouif	37	10,6	94,0	12,9	14,1	21,9	32,0	45,9	66,5	76,0	35,8	19,0	0,5	1,1
Saf-Saf	37	5,4	83,3	6,7	7,5	9,7	23,0	37,0	61,3	82,4	26,9	20,7	0,8	1,3
Souk Ahras ONM	23	24,9	91,8	27,1	36,4	39,7	48,0	66,0	80,1	89,7	52,7	16,7	0,3	0,7
Tébessa ONM	37	13,5	87,3	18,8	21,9	28,6	36,8	48,3	65,8	74,2	39,9	16,4	0,4	2,7

Tableau 25. Bassin de la Seybouse-Résultats de l'analyse descriptive des pluies journalières maximales

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s
Annaba ONM	39	18,8	118,4	19,5	23,6	36,6	46,5	64,2	73,6	79,0	49,5	20,3	0,4	0,9
Ain Babouche	34	5	76	13,6	18,7	25,8	37,7	49	68,5	71,7	39,0	17,5	0,45	0,44
Ain Berda	38	18,5	111,0	23,7	27,0	36,9	45,5	67,6	87,6	104,8	51,6	22,4	0,4	1,0
Ain Makhlouf	38	4,0	110,0	12,7	24,0	30,4	43,9	62,0	70,5	88,7	46,6	21,1	0,5	0,7
Aioun Settera	35	14,5	61,5	15,4	20,2	25,0	32,1	45,0	49,9	54,8	34,7	11,8	0,3	0,24
Bordj Sabath	34	24,4	109,5	27,4	29,7	37,4	46,8	56,1	80,1	100,1	50,1	19,1	0,4	1,5
Bouchegouf	38	25,9	120,0	27,2	31,3	36,7	46,5	64,1	83,0	89,3	52,2	20,8	0,4	1,2
Boukhamouza	38	21,1	160,0	27,7	30,0	38,7	49,3	69,2	99,6	107,3	58,1	28,1	0,5	1,5
Guelma Lycée	36	15,0	100,0	21,7	27,1	35,6	44,0	58,0	72,5	84,7	47,2	17,7	0,4	0,9
Guelma ONM	22	25,2	160,1	25,6	28,0	31,0	41,5	68,5	109,1	152,5	54,8	33,5	0,6	1,9
Hammam N'bails	38	27,5	110,8	29,3	30,0	43,7	53,6	63,0	89,0	104,1	56,1	17,7	0,4	1,0
Heliopolis	38	18,0	108,6	22,5	25,8	37,1	48,8	69,9	92,6	103,9	54,0	23,9	0,4	0,8
Kef Mourad	37	22,1	145,6	24,7	33,9	38,3	49,6	70,5	85,2	118,3	56,5	24,9	0,4	1,6
Ksar Sbahi	35	13,6	86,3	16,2	18,4	24,8	33,3	48,3	58,3	65,1	36,8	15,8	0,4	1,0
Mcht. Cheikh Rabeh	35	14,3	70,5	15,0	18,4	22,5	32,5	38,5	50,7	66,4	33,0	13,3	0,4	1,0
Medjez Amar	30	16,8	85,5	23,4	30,7	40,7	47,5	61,0	78,5	82,3	50,0	15,8	0,3	0,4

Tableau 25. Suite

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s
Nechmaya	37	17,0	119,8	22,0	27,4	40,4	54,6	69,9	89,9	106,0	56,7	22,7	0,4	0,6
Pont Bouchet	32	23,6	114,6	25,3	28,7	34,8	51,3	61,6	95,8	114,6	54,1	23,8	0,4	1,2
Ras El Akba	37	20,1	117,8	20,5	32,0	41,0	51,8	63,5	79,0	105,4	55,0	20,5	0,4	1,0
Terraguelt	34	22,0	70,5	22,6	24,6	28,7	32,8	39,6	49,5	57,0	35,3	10,1	0,3	1,5
Berriche	34	16,6	65,0	17,4	18,8	24,4	32,2	38,5	49,4	55,1	32,6	11,1	0,3	0,8

Les résultats de la statistique descriptive, montrent que pour la majorité absolue des stations, les pluies journalières maximales moyennes se caractérisent par une variabilité moyenne à forte ($30\% \leq Cv \leq 80\%$). Dans la zone d'étude, les minima et les maxima s'échelonnent entre 4 à 5 mm à Ain Makhoul et Ain Babouche (bassin de la Seybouse) et plus de 210 mm à El Milia et Ouled Messaouda (bassin du Kébir-Rhumel). Suivant les lois de la pluviosité citées au premier chapitre, les valeurs moyennes varient de 22 mm à Ouled Nacer (bassin du Kébir-Rhumel) et 98 mm à Erraguene (bassin des Côtiers constantinois). La synthèse des résumés statistiques présentée ci-dessus, montre, qu'en moyenne, 80 % des valeurs des P_{jmax} sont comprises entre 38 et 98 mm dans les Côtiers constantinois, 27 et 78 mm dans le Kébir-Rhumel, 22 et 67 mm dans la Medjerda-Mellegue et 27 et 73 mm au niveau de la Seybouse (Tableau 26). Les intervalles inter-quantiles (IIQ : inter-quartile, IID : inter-décile et IIq : inter-quintile) ainsi que les coefficients inter-quantile relatifs (CIIQ, CIID et CIIq) ; supérieurs à 0,5 ; traduisent la forte variabilité des pluies journalières maximales au niveau du Nord-est algérien.

Tableau 26. Résumé statistique synthétique des pluies journalières maximales dans le Nord-est algérien (Valeurs moyennes par bassin)

Statistique	Bassin versant			
	Côtiers constantinois	Kébir-Rhumel	Medjerda-Mellegue	Seybouse
N	38	35	36	35
X _{min}	27,7	20,1	15,5	18,3
X _{max}	130,6	118,5	90,9	105,8
X _{5%}	33,3	23,4	18,6	24,7
X _{10%}	38,1	26,9	22,3	27,3
X _{25%}	47,2	34,3	28,6	34,4
X _{50%}	59,8	43,8	38,4	43,9
X _{75%}	77,8	58,4	52,4	57,5
$\bar{x}$	64,9	50,8	41,8	47,9
X _{90%}	98,4	77,5	66,8	72,9
X _{95%}	113,3	95,2	81,5	81,7
IIQ	30,6	24,2	23,8	23,1
IID	60,3	50,5	44,5	45,5
IIq	80,0	71,8	62,9	57,0
CIQR	0,5	0,6	0,6	0,5
CIDR	1,0	1,2	1,2	1,0
CIqR	1,4	1,6	1,6	1,3

A l'exception de quelques cas très limités, les valeurs du coefficient d'asymétrie indiquent que la distribution des pluies journalières maximales présentent une dissymétrie à droite ($C_s > 0$). Cette propriété est bien mise en évidence par la forme, plus ou moins étalée vers la droite, des histogrammes des fréquences (Figures 22).

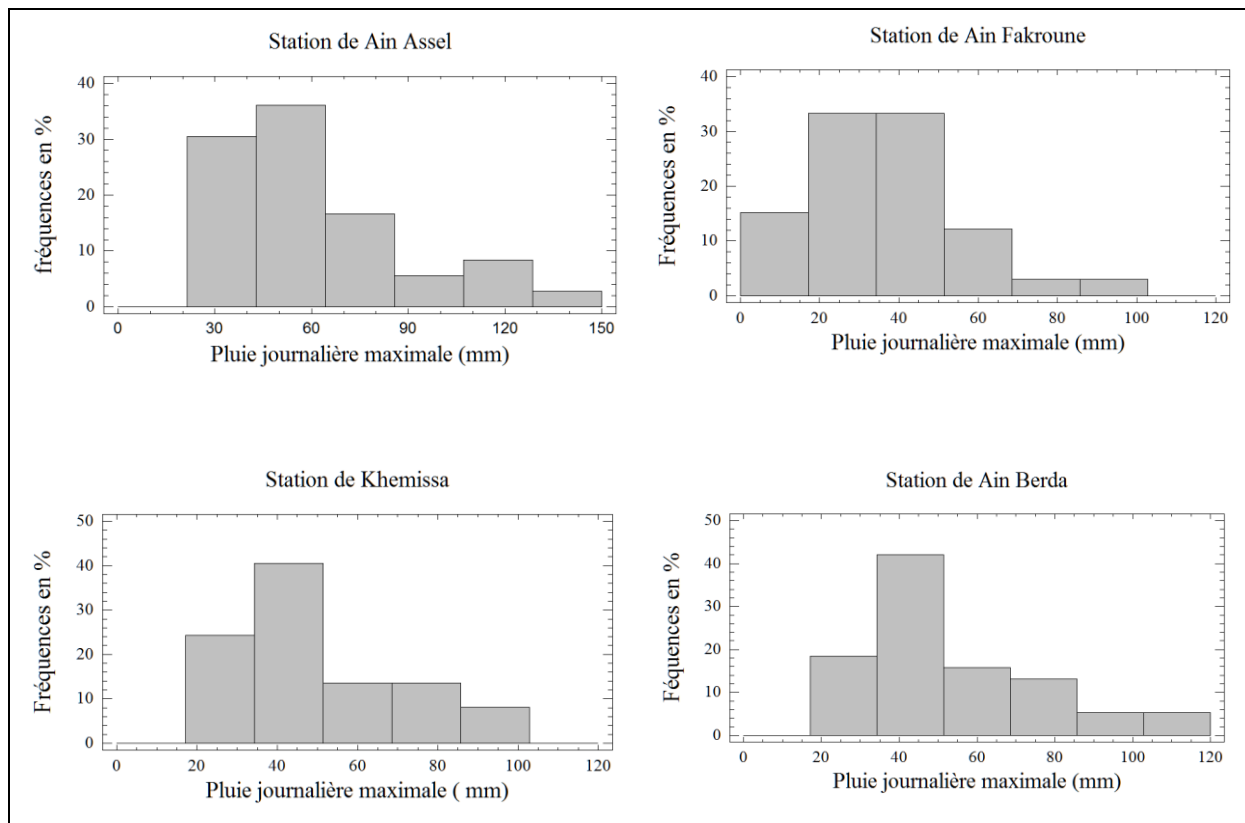


Fig. 22. Histogrammes de fréquences des pluies journalières maximales

Pour les cas où le coefficient d'asymétrie est proche de zéro (cas des stations de Bekouche Lakhdar, Harma, Ain Dalia et Aioun Settara), les graphiques de symétrie (Fig. 23) montrent que la distribution des pluies journalières maximales n'est pas forcément symétrique, d'où le rejet a priori du modèle de Gauss et le recours aux modèles probabilistes à queues.

3. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales

Plusieurs modèles ont été développés pour décrire la répartition des probabilités des variables hydrologiques. Cependant, le choix d'un modèle approprié constitue l'un des principaux défis dans l'ingénierie de l'eau car il n'y a pas d'accord universel quant à la distribution qui devrait être utilisée pour l'analyse de fréquence des pluies extrêmes (Tao et al., 2002 ; Topaloglu, 2002, Zalina et al., 2002, Lee, 2005, Olofintoye et al., 2009, Benabdesselam et Amarchi, 2013).

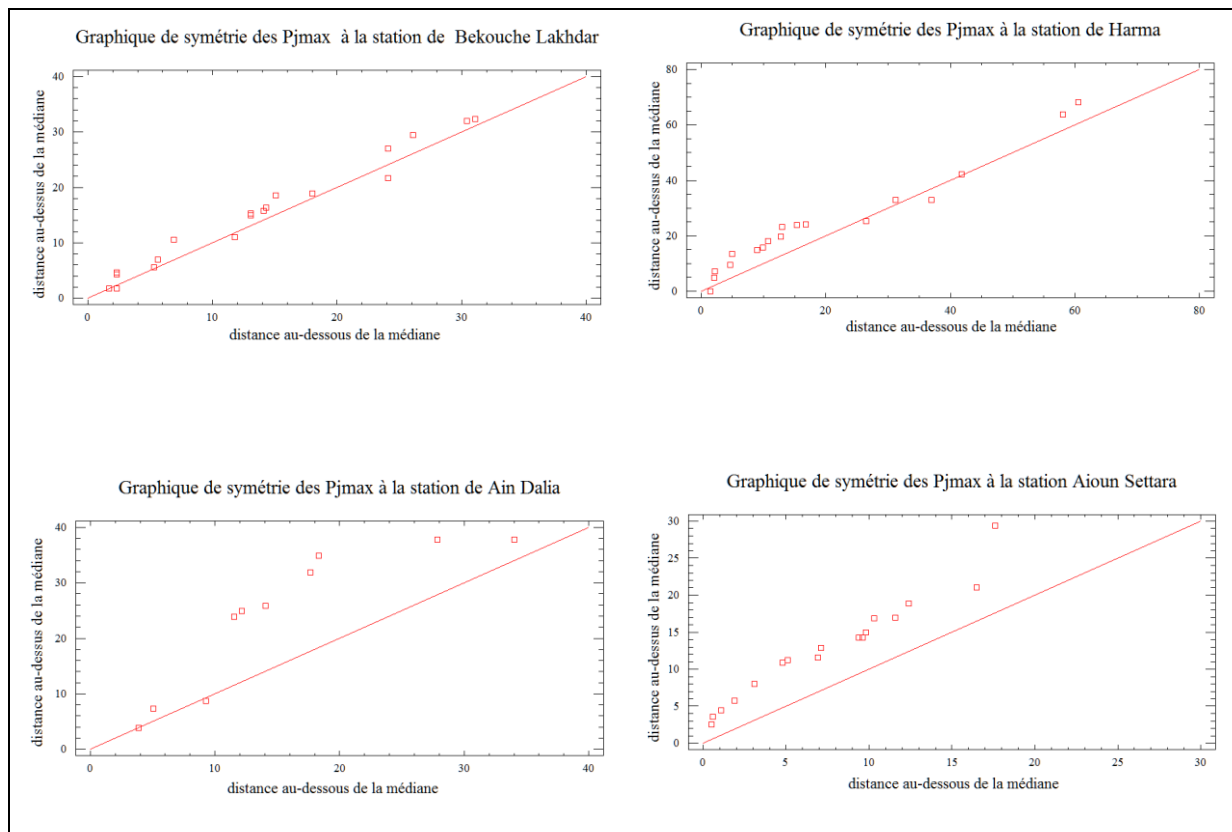


Fig. 23. Graphiques de symétrie des pluies journalières maximales

La sélection d'un modèle approprié dépend principalement des caractéristiques de la distribution empirique des données pluviométriques en un site particulier. Par conséquent, il est recommandé d'évaluer plusieurs distributions afin de trouver un modèle approprié qui pourrait fournir des estimations exactes des précipitations extrêmes.

3.1. Modèles probabilistes ajustés

Dans ce travail neuf lois de distribution des probabilités appliquées en hydrologie sont adoptées afin de trouver le meilleur ajustement: Log normale à 2 et 3 paramètres (LN-2p et LN-3p), Gumbel max (EV1), Valeurs Extrêmes Généralisées (GEV), Log-Pearson 3 (LP3), Gamma à 2 et 3 paramètres (G-2p et G-3p) et Fréchet à 2 et 3 paramètres (Fr-2p et Fr-3p). Les fonctions de densité $f(x)$ et de répartition $F(x_0)$ des différentes lois utilisées sont données ci-dessous :

a- Loi log-normale à 2 paramètres (LN-2p)

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right)}{x \sigma \sqrt{2\pi}} \quad (14)$$

- Domaine de définition: $0 < x < +\infty$

- Paramètres : σ - paramètre de dispersion ($\sigma > 0$)

μ - paramètre de tendance centrale

$$F(x_0) = \Phi \left[\frac{\ln(x_0) - \mu}{\sigma} \right] \quad \text{où } \Phi \text{ est l'intégrale de Gauss.}$$

b- Loi log-normale à 3 paramètres (LN-3p)

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{\exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x-\gamma) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right)}{(x-\gamma) \sigma \sqrt{2\pi}} \quad (15)$$

- Domaine de définition: $\gamma < x < +\infty$

- Paramètres : σ - paramètre de dispersion ($\sigma > 0$)

μ - paramètre de tendance centrale

γ - paramètre de position (pour $\gamma \equiv 0$ on obtient la loi LN-2p)

$$F(x_0) = \Phi \left[\frac{\ln(x_0 - \gamma) - \mu}{\sigma} \right]$$

c- Loi de Gumbel (EVI)

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) \quad \text{avec } z = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (16)$$

- Domaine de définition: $-\infty < x < +\infty$

- Paramètres : σ - paramètre de dispersion ($\sigma > 0$)

μ - paramètre de tendance centrale

$$F(x_0) = \exp[-\exp(-z)] \quad (17)$$

d- Loi des Valeurs Extrêmes Généralisées (GEV)

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp \left(-(1 - kz)^{-\frac{1}{k}} \right) (1 + kz)^{-1 - \frac{1}{k}} ; \quad k \neq 0 \quad (18)$$

- Domaine de définition: $1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} > 0$; $k \neq 0$

(si $k = 0$ on obtient la loi EVI)

- Paramètres : k – paramètre de forme
 σ - paramètre d'échelle ($\sigma > 0$)
 μ - paramètre de position

$$F(x_0) = \exp \left[- (1 + kz)^{-\frac{1}{k}} \right] \quad \text{où } z = \frac{x_0 - \mu}{\sigma} \quad (19)$$

e- Loi Gamma à 2 paramètres

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{(x)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-x/\beta) \quad (20)$$

- Domaine de définition: $0 < x < +\infty$
- Paramètres : α - paramètre de forme ($\alpha > 0$)
 β - paramètre d'échelle ($\beta > 0$)

$$F(x_0) = \frac{\Gamma_{x_0}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (21)$$

Γ correspond à la fonction Gamma d'Euler donnée par l'expression. Le numérateur et le dénominateur définissent les fonctions gamma incomplètes et complètes, respectivement. En fonction de la valeur de α (entier ou non), la fonction $\Gamma(\alpha)$ prend plusieurs formulations.

f- Loi Gamma à 3 paramètres

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{(x-\gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-(x-\gamma)/\beta) \quad (22)$$

- Domaine de définition: $0 < x < +\infty$
- Paramètres : α - paramètre de forme ($\alpha > 0$)
 β - paramètre d'échelle ($\beta > 0$)

γ – paramètre de position

$$F(x_0) = \frac{\Gamma_{\frac{(x_0-\gamma)}{\beta}}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (23)$$

g- Loi log-Pearson III

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{1}{x|\beta|\Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln(x)-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln(x)-\gamma}{\beta}\right) \quad (24)$$

- Domaine de définition: $0 < x \leq e^\gamma$ $\beta < 0$
 $e^\gamma \leq x < +\infty$ $\beta > 0$

- Paramètres : α - paramètre de forme ($\alpha > 0$)
 β - paramètre d'échelle ($\beta \neq 0$)

γ – paramètre de position

$$F(x_0) = \frac{\Gamma_{\frac{(\ln x_0 - \gamma)}{\beta}}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (25)$$

h- Loi de Fréchet à 2 paramètres

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x} \right)^{\alpha+1} \exp\left[-\left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha\right] \quad (26)$$

- Domaine de définition: $0 < x < +\infty$
- Paramètres : α - paramètre de forme ($\alpha > 0$)
 β - paramètre d'échelle ($\beta > 0$)

$$F(x_0) = \exp\left[-\left(\frac{\beta}{x_0}\right)^\alpha\right] \quad (27)$$

i- Loi de Fréchet à 3 paramètres

- Fonction de densité des probabilités

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x-\gamma} \right)^{\alpha+1} \exp\left[-\left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^\alpha\right] \quad (28)$$

- Domaine de définition: $\gamma < x < +\infty$
- Paramètres : α - paramètre de forme ($\alpha > 0$)
 β - paramètre d'échelle ($\beta > 0$)
 γ - paramètre de position

$$F(x_0) = \exp \left[- \left(\frac{\beta}{x_0 - \gamma} \right)^\alpha \right]. \quad (29)$$

Théoriquement, les probabilités cumulées (ou de non dépassement) sont obtenues par intégration de la fonction de densité entre la borne inférieure du domaine de définition de la variable X et une valeur particulière ou valeur d'intérêt x_0 telle que:

$$F(x_0) = P(x \leq x_0) = \int_0^{x_0} f(x). dx \quad (30)$$

Plusieurs techniques sont utilisées pour estimer les paramètres des différentes distributions des probabilités. On cite les méthodes: graphiques, les moindres carrés, les moments, le maximum de vraisemblance et les L-moments, récemment développées.

Les méthodes graphiques pour l'estimation des paramètres sont particulièrement utilisées pour les distributions pouvant être matérialisées par des droites sur les papiers à probabilité appropriés (cas des lois normale, log-normale, Gumbel et Fréchet). De plus ces méthodes dépendent de la méthode de calcul des probabilités empiriques. Elles sont souvent utilisées pour avoir une idée sur la distribution à ajuster, la décision reste, par conséquent, subjective.

Etant la plus ancienne et la plus utilisée pour l'estimation des paramètres, la méthode des moments utilise les relations entre les moments et paramètres centraux des distributions empiriques et théoriques. Dans ce travail, l'usage de cette méthode, intégrée au logiciel *EASYFIT* de la *Compagnie Mathwave technologies*, a permis d'estimer les paramètres décrivant chacune des 9 lois de distribution adoptées pour les 74 stations réparties sur la zone d'étude (Annexe 4). Les paramètres des pluies journalières maximales aux stations de Berrahal, Constantine-ANRH, Tébessa-APC et Pont Bouchet sont donnés, à titre d'exemple, aux tableaux 27 à 30.

3. 2. Appréciation de la qualité de l'ajustement

La qualité de l'ajustement est appréciée par une combinaison de techniques graphiques et numériques, y compris les diagrammes des quantiles et des probabilités, les tests D de

Kolmogorov-Smirnov, A^2 d'Anderson-Darling et χ^2 de Karl Pearson, intégrés au logiciel *EASYFIT* et enfin les L-moments.

Tableau 27. Station de Berrahal - Estimation des paramètres

(N = 36 ; $\bar{x}$ = 51,3 ; s = 19,6 ; Cs = 2,0)

Lois de probabilité	α	β	μ	σ	γ	K
Fréchet	3,989	41,165	-	-	-	-
Frechet3P	3,854	41,306	-	-	0,469	-
Gamma	6,797	7,547	-	-	-	-
Gamma3P	1,483	15,461	-	-	28,365	-
GEV	-	-	41,745	11,187	-	0,221
Gumbel max	-	-	42,442	15,341	-	-
Log Pearson3	5,369	0,141	-	-	3,124	-
Log normal	-	-	3,881	0,322	-	-
Log normal3P	-	-	3,083	0,663	24,165	-

Tableau 28. Station de Constantine - Estimation des paramètres

(N = 40 ; $\bar{x}$ = 45,6 ; s = 17,8 ; Cs = 1,4)

Lois de probabilité	α	β	μ	σ	γ	K
Fréchet	3,497	35,795	-	-	-	-
Frechet3P	4,258	45,771	-	-	9,213	-
Gamma	6,564	6,945	-	-	-	-
Gamma3P	1,345	16,124	-	-	22,897	-
GEV	-	-	36,788	11,616	-	0,155
Gumbel max	-	-	37,579	13,874	-	-
Log Pearson3	13,857	0,095	-	-	2,442	-
Log normal	-	-	3,755	0,348	-	-
Log normal3P	-	-	3,065	0,663	19,126	-

Tableau 29. Station de Tébesa - Estimation des paramètres

(N = 39 ; $\bar{x}$ = 40,1 ; s = 17,9 ; Cs = 1,15)

Loi de probabilité	α	β	μ	σ	γ	K
Fréchet	2,895	29,719	-	-	-	-
Frechet3P	4,04	44,376	-	-	13,635	-
Gamma	5,007	8,005	-	-	-	-
Gamma3P	1,603	14,495	-	-	16,853	-
GEV	-	-	31,126	12,085	-	0,144
Gumbel max	-	-	32,027	13,968	-	-
Log Pearson3	30,156	0,076	-	-	1,321	-
Log normal	-	-	3,604	0,41	-	-
Log normal3P	-	-	3,103	0,656	12,724	-

Tableau 30. Station de Pont Bouchet - Estimation des paramètres
(N = 32 ; $\bar{x}$ = 54,1 ; s = 23,8 ; Cs = 1,2

Loi de probabilité	α	β	μ	σ	γ	K
Fréchet	2,868	40,152	-	-	-	-
Frechet3P	6,212	96,926	-	-	54,519	-
Gamma	5,173	10,463	-	-	-	-
Gamma3P	1,661	19,119	-	-	22,378	-
GEV	-	-	42,539	16,664	-	0,107
Gumbel max	-	-	43,418	18,555	-	-
Log Pearson3	53,805	0,056	-	-	0,884	-
Log normal	-	-	3,906	0,405	-	-
Log normal3P	-	-	3,529	0,583	13,937	-

3.2.1. Techniques graphiques

Les représentations graphiques ont l'avantage de renseigner immédiatement sur l'allure générale de la distribution et facilitent l'interprétation des données recueillies. Etant déjà discutée plus haut, la forme de l'histogramme peut conduire à éliminer certains modèles, en particulier si les propriétés de symétrie ne sont pas vérifiées. Une forme symétrique conduit souvent à poser l'hypothèse de normalité mais il faut se souvenir que la loi de Laplace-Gauss (ou loi normale) n'est pas la seule à avoir une courbe de densité en cloche: c'est également le cas des lois de Cauchy et de Student entre autres. Une forme fortement dissymétrique peut suggérer l'usage de lois log-normales, gamma ou des valeurs extrêmes qui ont des courbes de densité assez ressemblantes au moins pour certaines valeurs des paramètres.

Pour la plupart des lois de probabilité une transformation fonctionnelle simple permet de représenter la courbe de répartition par une droite. La fonction de répartition empirique d'un échantillon de taille N diffère peu, si N est grand, de la fonction théorique F(x). On vérifiera alors simplement l'adéquation des données au modèle en comparant la fonction de répartition empirique à une droite sur un papier à échelles fonctionnelles (cas des lois normale, log-normale, Gumbel-EV1 et Fréchet). Ces types de papier à probabilité ne sont pas intégrés au logiciel *EASYFIT*.

Les diagrammes *quantile-quantile* et *probabilité-probabilité*, faciles à construire avec le tableur Excel et son complément *EASYFIT*, permettent une appréciation graphique de l'ajustement d'une distribution observée à un modèle théorique. Sur ces graphiques, *appelés en anglais QQ et PP plots*, l'axe des abscisses porte les quantiles x_i (ou les probabilités P_i) de

la distribution observée, tandis que l'axe des ordonnées porte les quantiles x_i' (ou les probabilités P_i') correspondants de la loi théorique. Le nuage des points s'aligne sur la première bissectrice lorsque la distribution théorique proposée est une bonne représentation des observations. On doit remarquer toutefois, que l'appréciation de l'alignement des points le long de la bissectrice peut être considérée comme subjective. Toutes les déviations par rapport à l'alignement (extrémités présentant une courbure, points éloignés, ...) peuvent être repérées et analysées (Goldfarb et Pardoux, 2005). Les diagrammes QQ et PP relatifs à l'ajustement des pluies journalières maximales enregistrées à la station de M'Daourouch par les neuf lois adoptées sont représentés sur les figures 24 et 25.

Sur les graphiques ci-dessous, on s'aperçoit que les modèles de Fréchet à 2 et à 3 paramètres s'éloignent considérablement de la droite de référence. Ce qui permet d'écarter ces deux distributions; elles ne prédisent pas correctement les pluies journalières maximales enregistrées à la station de M'Daourouch, prise à titre d'illustration.

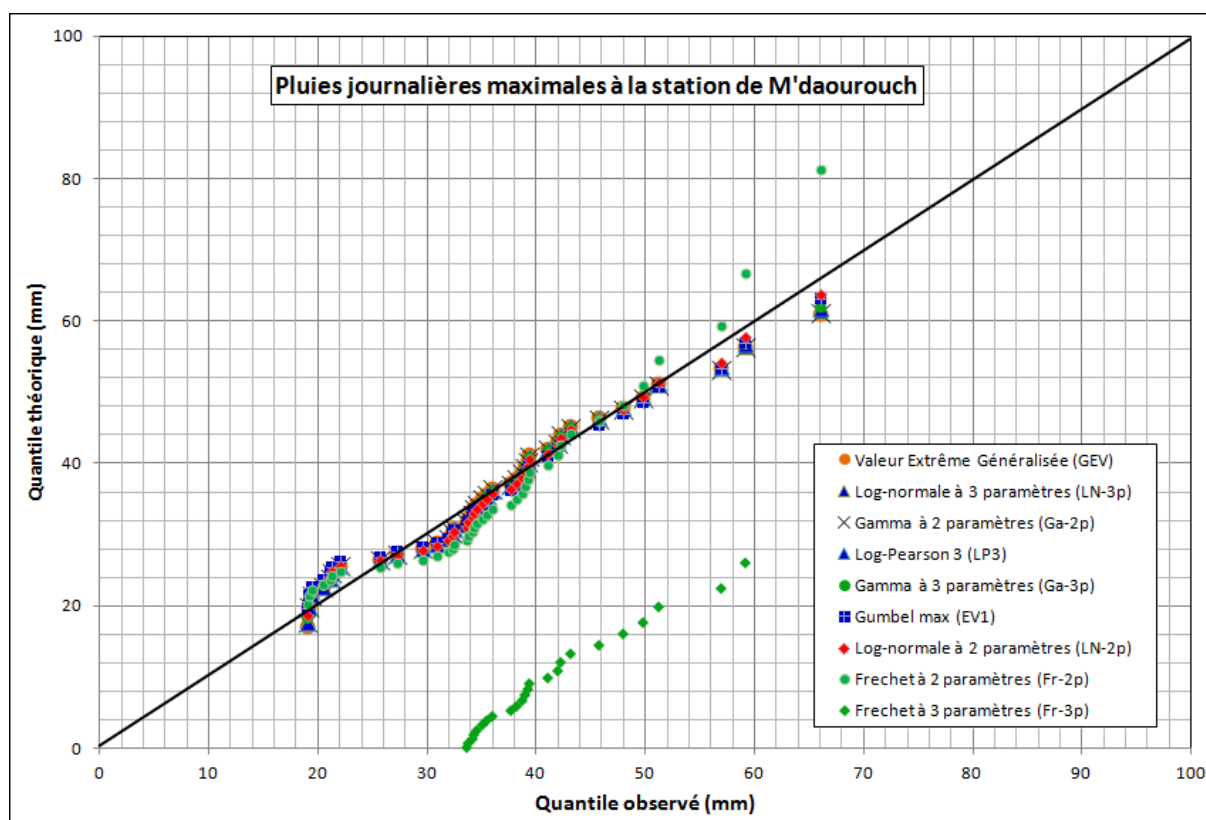


Fig. 24. QQ plots - Appréciation de l'ajustement des modèles probabilistes aux données pluviométriques dans le Nord-est algérien

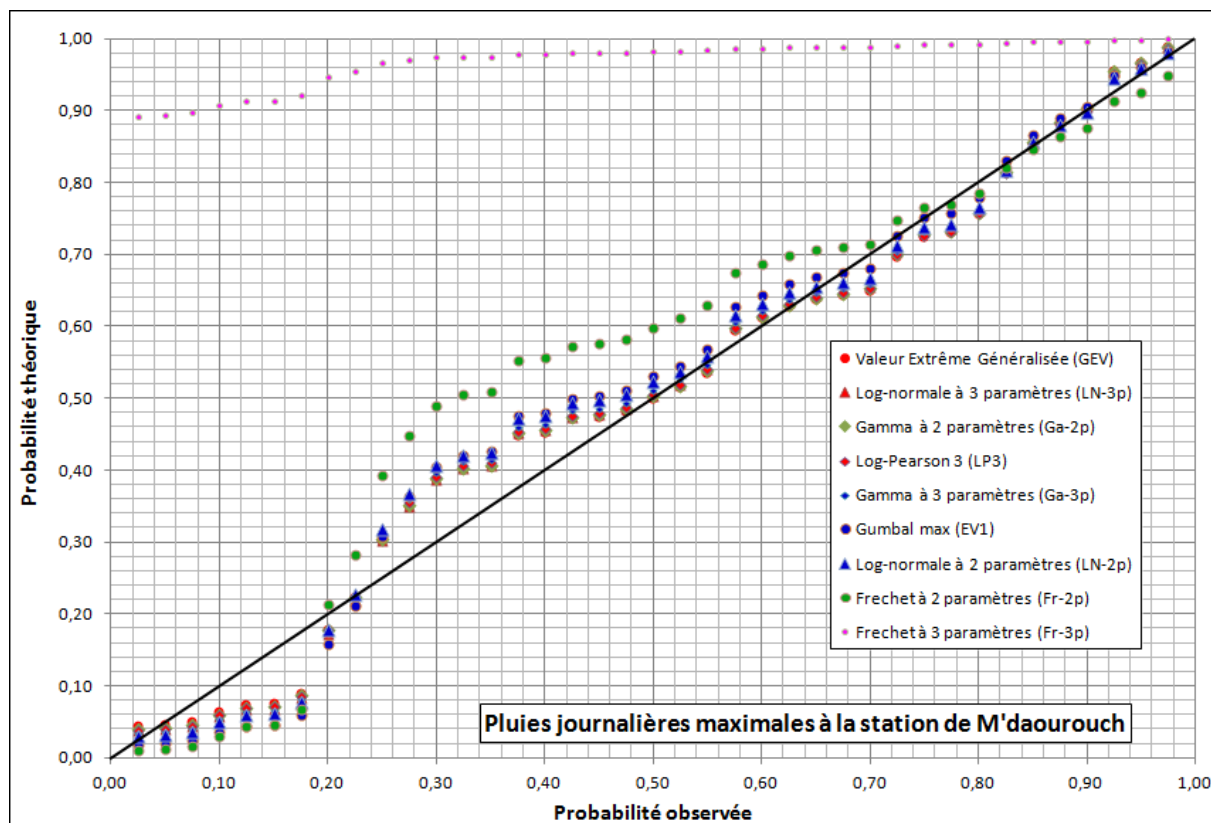


Fig. 25. PP plots - Appréciation de l'ajustement des modèles probabilistes aux données pluviométriques dans le Nord-est algérien

Le coefficient de corrélation (R) est parfois utilisé en connexion des graphiques quantile-probabilité, quantile-quantile et probabilité-probabilité comme un critère d'appréciation de la qualité de l'ajustement. Mais son usage non averti peut conduire à des conclusions erronées. A titre d'exemple, la régression linéaire entre les quantiles empiriques et théoriques obtenue pour chacune des 9 lois ajustées aux pluies journalières à la station de M'Daourouch a conduit aux résultats ci-dessous.

Tableau 31. Appréciation de l'ajustement des modèles probabilistes à l'aide du coefficient de corrélation entre quantiles - P_{jmax} à M'Daourouch

Loi	LN-2p	LN-3p	Ga-2p	Ga-3p	LP3	EV1	Fr- 2 P	Fr- 3P	GEV
R^6	0,986	0,984	0,984	0,985	0,985	0,982	0,956	0,573	0,984

Au vu des valeurs du coefficient de corrélation, on peut écarter la loi de Fréchet à 3 paramètres (R faible) alors que la loi de Fréchet à 2 paramètres peut être retenue

⁶ Le coefficient de corrélation correspond à la droite qui passe par l'origine ($y = ax$).

contrairement à la décision prise suite à l'analyse des graphiques quantile-quantile. Cette décision reste subjective et tout le problème est de quantifier le degré de proximité entre la distribution empirique et la distribution théorique. Ce qui nécessite la mise en œuvre de tests statistiques permettant de déterminer si l'écart est significatif ou non.

3.2.2. Techniques de la statistique inférentielle & -Tests d'adéquation

Plus robustes, ces tests ont pour objet de vérifier qu'un échantillon provient ou non d'une variable aléatoire de distribution connue $F_0(x)$. Dans ce travail, on décrit brièvement les trois tests les plus classiques : celui de Kolmogorov-Smirnov (D), du χ^2 et d'Anderson-Darling (A^2).

3.2.2.1. Test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov

Le test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse selon laquelle les données observées sont engendrées par une loi de probabilité théorique continue, entièrement spécifiée, et sans paramètre inconnu pouvant être considérée comme étant un modèle convenable. Dans ce test, les calculs sur les lois de probabilité se font sur les fonctions de répartition: on mesure l'écart entre la fonction de répartition théorique $F_0(x)$ et la fonction de répartition observée $F(x)$. La statistique du test est définie par la déviation maximale absolue (D), choisie parmi les N écarts. La procédure de calcul de cette statistique est la suivante :

- classer la série par ordre croissant
- affecter un rang i à chaque valeur de x ($i = 1$ pour $x_{\min}$ et $i = N$ pour $x_{\max}$)
- calculer la probabilité empirique cumulée par la relation : $F(x_i) = i/N$
- calculer la probabilité théorique par le modèle à tester $F_0(x_i)$
- calculer l'écart absolue (D_i) entre $F(x_i)$ et $F_0(x_i)$
- extraire la statistique du test $D = \max |F(x_i) - F_0(x_i)| = |D_i| = D$
- comparer la statistique D à une valeur critique $D_{\alpha, N}$ (tabulée)

La Règle de décision est:

- si $D < D_{\alpha, N}$: Accepter l'hypothèse d'ajustement au niveau de signification α . Les écarts constatés peuvent être attribués au hasard.

- si $D \geq D_{\alpha,N}$: Rejeter l'hypothèse d'ajustement au niveau de signification α . Les écarts constatés sont trop grands pour être attribués au seul hasard d'échantillonnage.

L'exemple ci-dessous illustre le processus des calculs du test de Kolmogorov-Smirnov pour apprécier l'ajustement des pluies journalières maximales à la station de Ain Babouche par les lois indiquées au tableau 32.

En fonction de la plus petite valeur de la statistique du test, les lois de distribution GEV et Fr-2p sont classées première et dernière, respectivement. Bien que toutes les distributions soient acceptées, on préfère, pour cet exemple précis, utiliser la distribution des Valeurs Extrêmes Généralisées.

3.2.2.2. Test du Khi-deux de Pearson.

Le test du Khi-deux (χ^2) est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse selon laquelle les données observées sont engendrées par un modèle faisant intervenir une loi ou une famille de lois de probabilité. Le choix du modèle résulte de diverses considérations théoriques ou expérimentales et il importe de tester son adéquation.

Le principe du test repose sur la définition d'une fonction discriminante χ^2 qui constitue une mesure normalisée de l'écart entre les valeurs théoriques déduites du modèle probabiliste et les valeurs observées dans l'échantillon. Lorsque l'hypothèse d'ajustement n'est pas vraie, les valeurs de χ^2 augmentent et lorsqu'elle est vraie, χ^2 suit, au moins asymptotiquement, une loi du χ^2 de Pearson à v degrés de liberté. La région critique du test est donc constituée des grandes valeurs de χ^2 .

Le risque α étant donné, on note $\chi_{1-\alpha,v}^2$, le fractile d'ordre $1 - \alpha$ de la loi du χ^2 de Pearson à v degrés de liberté défini par $P(\chi^2 \geq \chi_{1-\alpha,v}^2) = \alpha$.

On note χ_c^2 la valeur observée de χ^2 dans l'échantillon, et on compare cette valeur à $\chi_{1-\alpha,v}^2$.

Lorsque l'approximation par la loi du χ^2 de Pearson à v degrés de liberté est valable, cette comparaison définit la règle de décision suivante :

- Si $\chi_c^2 < \chi_{1-\alpha,v}^2$: considère que l'écart est dû au hasard de l'échantillonnage et qu'il n'est pas significatif : on accepte l'hypothèse d'ajustement.
- Si $\chi_c^2 \geq \chi_{1-\alpha,v}^2$: on considère que l'écart observé est trop important pour être attribué aux seules fluctuations d'échantillonnage et qu'il révèle l'inadéquation du modèle : on refuse l'hypothèse d'ajustement.

Tableau 32. Test de Kolmogorov-Smirnov (P_{jmax} à la station de Ain Babouche en mm)

Ordre		Observé		Théorique			Déviation absolue			
i	x_i	$F(x_i)$	GEV (0,09 ; 15,55 ; 31,39)	Ga-3p (11,6 ; 5,07 ; 19,9)	LN-2p (3,485 ; 0,357)	Fr-2p (1,91 ; 25,56)	D_{GEV}	D_{Ga-3p}	D_{Fr-2p}	D_{LN-2p}
1	5,0	0,0294	0,01	0,0067	0,0001	0,0000	0,0217	0,0227	0,0294	0,0293
2	16,5	0,0588	0,08	0,0772	0,0799	0,0990	0,0222	0,0184	0,0402	0,0211
3	18,5	0,0882	0,11	0,1026	0,1171	0,1558	0,0192	0,0144	0,0676	0,0288
4	19,0	0,1176	0,11	0,1096	0,1273	0,1709	0,0029	0,0080	0,0532	0,0096
5	19,7	0,1471	0,13	0,1200	0,1420	0,1923	0,0216	0,0271	0,0452	0,0050
6	22,6	0,1765	0,18	0,1683	0,2084	0,2812	0,0011	0,0082	0,1048	0,0319
7	23,0	0,2059	0,18	0,1756	0,2180	0,2932	0,0229	0,0303	0,0874	0,0121
8	24,3	0,2353	0,21	0,2004	0,2497	0,3314	0,0268	0,0349	0,0961	0,0144
9	26,3	0,2647	0,25	0,2414	0,2994	0,3868	0,0142	0,0233	0,1221	0,0347
10	26,4	0,2941	0,25	0,2435	0,3019	0,3895	0,0415	0,0506	0,0954	0,0078
11	27,5	0,3235	0,28	0,2673	0,3292	0,4180	0,0466	0,0562	0,0945	0,0057
12	30,0	0,3529	0,33	0,3240	0,3906	0,4777	0,0186	0,0289	0,1248	0,0376
13	32,0	0,3824	0,38	0,3711	0,4380	0,5204	0,0008	0,0112	0,1381	0,0556
14	32,2	0,4118	0,39	0,3759	0,4426	0,5245	0,0255	0,0359	0,1127	0,0308
15	35,0	0,4412	0,45	0,4430	0,5052	0,5767	0,0117	0,0018	0,1356	0,0640
16	37,0	0,4706	0,50	0,4906	0,5469	0,6096	0,0291	0,0200	0,1390	0,0763
17	37,0	0,5000	0,50	0,4906	0,5469	0,6096	0,0004	0,0094	0,1096	0,0469
18	38,5	0,5294	0,53	0,5257	0,5764	0,6320	0,0045	0,0037	0,1026	0,0470
19	39,0	0,5588	0,55	0,5372	0,5859	0,6391	0,0137	0,0216	0,0803	0,0271

Tableau 32. Suite

Ordre		Observé		Théorique			Déviation absolue			
i	x _i	F(x _i)	GEV	Ga-3p	LN-2p	Fr-2p	D _{GEV}	D _{Ga-3p}	D _{Fr-2p}	D _{LN-2p}
			(0,09 ; 15,55 ; 31,39)	(11,6 ; 5,07 ; 19,9)	(3,485 ; 0,357)	(1,91 ; 25,56)				
20	39,5	0,5882	0,56	0,5487	0,5952	0,6460	0,0320	0,0396	0,0578	0,0070
21	40,0	0,6176	0,57	0,5600	0,6044	0,6528	0,0504	0,0577	0,0351	0,0132
22	42,0	0,6471	0,61	0,6042	0,6394	0,6780	0,0372	0,0429	0,0310	0,0077
23	43,0	0,6765	0,63	0,6254	0,6559	0,6897	0,0462	0,0510	0,0132	0,0206
24	45,0	0,7059	0,67	0,6662	0,6869	0,7113	0,0366	0,0397	0,0054	0,0190
25	47,0	0,7353	0,71	0,7043	0,7153	0,7309	0,0297	0,0310	0,0044	0,0200
26	48,0	0,7647	0,72	0,7224	0,7286	0,7400	0,0419	0,0424	0,0247	0,0361
27	52,0	0,7941	0,78	0,7872	0,7763	0,7722	0,0098	0,0070	0,0219	0,0178
28	52,3	0,8235	0,79	0,7915	0,7795	0,7744	0,0350	0,0320	0,0491	0,0440
29	62,0	0,8529	0,89	0,9002	0,8625	0,8313	0,0398	0,0472	0,0216	0,0095
30	64,0	0,8824	0,91	0,9154	0,8752	0,8404	0,0254	0,0331	0,0420	0,0071
31	67,0	0,9118	0,93	0,9346	0,8921	0,8527	0,0151	0,0229	0,0590	0,0197
32	70,0	0,9412	0,94	0,9499	0,9066	0,8637	0,0013	0,0088	0,0775	0,0345
33	70,3	0,9706	0,94	0,9513	0,9080	0,8647	0,0267	0,0193	0,1059	0,0626
34	76,0	1,0000	0,97	0,9714	0,9300	0,8823	0,0348	0,0286	0,1177	0,0700
Résultats du test						D = D _{max}	0,0504	0,0577	0,1390	0,0763
						D _{0,05; 34}	0,2274	0,2274	0,2274	0,2274
						Décision:	Accepter	Accepter	Accepter	Accepter
						Rang	1	2	4	3

Faut-il remarquer que certaines conditions d'application du test sont à vérifier:

- On considère que l'approximation par la loi du χ^2 est satisfaisante si $N \geq 30$ et si tous les effectifs théoriques sont supérieurs ou égaux à 5. Si les effectifs des classes extrêmes sont inférieurs à 5, il faut procéder à des regroupements de classes.

- Le choix des classes, quand il est possible, doit être tel que les effectifs théoriques soient proches les uns des autres, quand ils ne sont pas tous égaux.

- Le nombre k des classes, lorsqu'il est à définir, doit être à la fois assez grand pour perdre le moins d'information possible, et assez petit pour que les effectifs des classes ne soient pas trop réduits. Empiriquement, la formule $k = \sqrt{N}$ (partie entière de la racine carrée de N) paraît convenable. *EASYFIT* utilise la règle de Sturges (1926) : $k = 1 + \log_2(N)$.

Dans la pratique, L'indicateur d'écart est donné par :

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - NP_i)^2}{NP_i} \quad (31)$$

où n_i est l'effectif observé de la classe i et NP_i correspond à l'effectif attendu par le modèle à ajuster. La valeur obtenue est comparée à une valeur critique $\chi_{\alpha, \nu}^2$ pouvant être lue dans les tables de la distribution du χ^2 ou calculée à l'aide du tableur Excel.

Si la fonction de répartition $F_0(x)$ dépend de p paramètres, le nombre de degrés de liberté devient alors: $\nu = (k-1) - p$.

Finalement, le tableau 33 illustre la démarche suivie pour appliquer ce test.

3.2.2.3. Test d'Anderson-Darling

Le test d'Anderson-Darling est une autre variante du test de Kolmogorov-Smirnov. Analogie dans sa philosophie, il donne plus d'importance aux queues de distribution et considère individuellement chaque élément de l'échantillon étudié. Initialement, il s'agissait d'un test d'adéquation à la loi Normale développé par T.W. Anderson et D. A. Darling en 1954 sur la base du test de Kolmogorov-Smirnov. Il a été ensuite repris et développé par Stephens dans les années 70 pour être appliqué à d'autres lois de distribution de probabilité telles que : Log-normale, Exponentielle, Weibull et Gamma. Le fonctionnement est le même, simplement, il faudra alors changer la table des valeurs critiques. C'est un test un peu plus laborieux à mettre en œuvre du moins manuellement mais il est beaucoup plus efficace.

Tableau 33. Test d'adéquation de l'ajustement d'une loi de Fréchet (x : 3,532 ; 65,379) aux données pluviométriques de la station du Col de Fdelous

Classe (k)	x _{inf} (mm)	x _{sup} (mm)	Effectif observé (ni)	F ₀ (x _{inf}) (F ₁)	F ₀ (x _{sup}) (F ₂)	Pi (F ₂ -F ₁)	Effectif prévu (NP _i)	Vérification
1	35,0	55,8	4,0	0,0001	0,1695	0,1694	6,0989	NP _i > 5
2	55,8	76,7	15,0	0,1695	0,5605	0,3909	14,0739	
3	76,7	97,5	9,0	0,5605	0,7806	0,2202	7,92548	
4	97,5	118,3	3,0	0,7806	0,8825	0,1019	3,66898	NP _i < 5
5	118,3	139,2	3,0	0,8825	0,9320	0,0494	1,77956	
6	139,2	160,0	2,0	0,9320	0,9579	0,0259	0,93264	

Après groupement des 3 dernières classes, on obtient :

Classe (k)	x _{inf} (mm)	x _{sup} (mm)	Effectif observé (ni)	F ₀ (x _{inf}) (F ₁)	F ₀ (x _{sup}) (F ₂)	Pi (F ₂ -F ₁)	NP _i	$\chi_i^2 = \frac{(n_i - NP_i)^2}{NP_i}$
1	35,0	55,8	4,0	0,0001	0,1695	0,1694	6,0989	0,722
2	55,8	76,7	15,0	0,1695	0,5605	0,3909	14,0739	0,061
3	76,7	97,5	9,0	0,5605	0,7806	0,2202	7,9255	0,146
4	97,5	160,0	8,0	0,7806	0,9579	0,1773	9,0934	0,131

Résultats du test :							$\chi_c^2 =$	1,060
							v= (4-1)-2=	1
							$\chi_{0,05; 1}^2$	3,841

Décision: accepter l'hypothèse d'ajustement

Soit un échantillon de taille N où x_i est la i^{ème} valeur de l'échantillon classé par ordre croissant. On peut estimer pour chaque x_i la fréquence théorique F₀(x_i) à partir de l'ajustement que l'on désire tester. La statistique du test est donnée par l'expression :

$$A^2 = -N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{ (2i-1) \cdot [\ln F_0(x_i) + \ln(1 - F_0(x_{N-i+1}))] \} \quad (32)$$

L'ajustement est d'autant satisfaisant que la statistique du test est faible. De la même manière, la statistique calculée A_c^2 est comparée à la valeur critique (A_α^2) dont les seuils de rejet sont donnés par des tables ou par les logiciels de statistiques où le test est mis en œuvre.

D'une manière générale, les valeurs critiques de la statistique du test d'Anderson-Darling dépendent de la distribution testée. Cependant, les tables des valeurs critiques pour de nombreuses distributions ne sont pas faciles à trouver dans la littérature. Le test d'Anderson-Darling mis en œuvre dans *EASYFIT* utilise les mêmes valeurs critiques pour toutes les

distributions. Ces valeurs sont calculées à l'aide de la formule d'approximation et dépendent seulement de la taille de l'échantillon.

Pour simplifier les calculs, désignons par :

$$a_i = \frac{2i-1}{N} \quad (33)$$

$$b_i = \ln F_0(x_i) \quad (34)$$

$$c_i = \ln(1 - F_0(x_{N-i+1})) . \quad (35)$$

L'expression de la statistique du test devient :

$$A^2 = -N - \sum_{i=1}^N [a_i \cdot (b_i + c_i)] = -N - S . \quad (36)$$

Ce test n'est valable que si $N > 7$.

Enfin, l'application de ce test est illustrée par l'ajustement d'une loi Gamma à 2p aux pluies maximales journalières à la station d'El Kouif dont les différents calculs sont consignés au tableau 34.

Tableau 34. Test d'Anderson-Darling pour l'ajustement d'une loi Gamma (x: 3,5718 ; 10,044) aux pluies journalières maximales à la station d'El Kouif

i	x_i	a_i	$F_0(x_i)$	b_i	x_{N-i+1}	$F_0(x_{N-i+1})$	c_i	S_i
1	10,6	0,0270	0,0421	-3,1680	94,0	0,9900	-4,6081	-0,2102
2	13,1	0,0811	0,0746	-2,5962	74,0	0,9574	-3,1555	-0,4664
3	13,2	0,1351	0,0760	-2,5764	68,7	0,9387	-2,7912	-0,7253
4	14,3	0,1892	0,0934	-2,3709	66,0	0,9264	-2,6097	-0,9423
5	17,1	0,2432	0,1445	-1,9348	56,8	0,8666	-2,0146	-0,9607
6	17,2	0,2973	0,1464	-1,9211	53,9	0,8405	-1,8356	-1,1169
7	20,0	0,3514	0,2056	-1,5818	51,4	0,8146	-1,6850	-1,1478
8	20,2	0,4054	0,2101	-1,5604	50,5	0,8044	-1,6317	-1,2941
9	20,7	0,4595	0,2213	-1,5083	48,4	0,7789	-1,5092	-1,3864
10	23,0	0,5135	0,2745	-1,2927	43,4	0,7076	-1,2295	-1,2951
11	23,5	0,5676	0,2864	-1,2505	43,2	0,7044	-1,2187	-1,4014
12	24,0	0,6216	0,2983	-1,2098	43,2	0,7044	-1,2187	-1,5096
13	24,7	0,6757	0,3150	-1,1553	43,2	0,7044	-1,2187	-1,6040
14	25,4	0,7297	0,3317	-1,1034	42,5	0,6930	-1,1810	-1,6670
15	25,8	0,7838	0,3413	-1,0749	34,5	0,5416	-0,7801	-1,4539
16	28,7	0,8378	0,4105	-0,8903	34,5	0,5416	-0,7801	-1,3995
17	29,2	0,8919	0,4223	-0,8620	32,6	0,5003	-0,6937	-1,3875

Tableau 34. Suite.

i	x_i	a_i	$F_0(x_i)$	b_i	x_{N-i+1}	$F_0(x_{N-i+1})$	c_i	S_i
18	31,5	0,9459	0,4755	-0,7433	32,4	0,4958	-0,6848	-1,3509
19	32,0	1,0000	0,4868	-0,7198	32,0	0,4868	-0,6672	-1,3870
20	32,4	1,0541	0,4958	-0,7016	31,5	0,4755	-0,6454	-1,4197
21	32,6	1,1081	0,5003	-0,6926	29,2	0,4223	-0,5487	-1,3756
22	34,5	1,1622	0,5416	-0,6132	28,7	0,4105	-0,5285	-1,3268
23	34,5	1,2162	0,5416	-0,6132	25,8	0,3413	-0,4175	-1,2535
24	42,5	1,2703	0,6930	-0,3667	25,4	0,3317	-0,4031	-0,9778
25	43,2	1,3243	0,7044	-0,3504	24,7	0,3150	-0,3783	-0,9651
26	43,2	1,3784	0,7044	-0,3504	24,0	0,2983	-0,3542	-0,9712
27	43,2	1,4324	0,7044	-0,3504	23,5	0,2864	-0,3374	-0,9853
28	43,4	1,4865	0,7076	-0,3459	23,0	0,2745	-0,3210	-0,9913
29	48,4	1,5405	0,7789	-0,2498	20,7	0,2213	-0,2501	-0,7702
30	50,5	1,5946	0,8044	-0,2177	20,2	0,2101	-0,2358	-0,7231
31	51,4	1,6486	0,8146	-0,2051	20,0	0,2056	-0,2302	-0,7176
32	53,9	1,7027	0,8405	-0,1738	17,2	0,1464	-0,1583	-0,5655
33	56,8	1,7568	0,8666	-0,1431	17,1	0,1445	-0,1560	-0,5256
34	66,0	1,8108	0,9264	-0,0764	14,3	0,0934	-0,0981	-0,3159
35	68,7	1,8649	0,9387	-0,0633	13,2	0,0760	-0,0791	-0,2656
36	74,0	1,9189	0,9574	-0,0436	13,1	0,0746	-0,0775	-0,2323
37	94,0	1,9730	0,9900	-0,0100	10,6	0,0421	-0,0430	-0,1046
								$S = -37,1927$
								$N = 37$
Résultat du test								$A_c^2 = 0,172$
								$A_{0,05;37}^2 = 2,5018$ (Easyfit)
								Décision : Accepter Ga(x: 3,5718; 10,044) au seuil de 5%.

3.3. Choix du modèle fréquentiel

L'examen des résultats des trois tests statistiques d'adéquation des ajustements de lois de probabilité adoptées aux pluies journalières maximales pour toutes les stations mettent en lumière que la majorité absolue des distributions sont acceptées au seuil de signification de 5% (Annexe 4). D'où le recours à d'autres formes de jugement (méthodes de classement et des L-moments) pour choisir la loi la mieux placée pour modéliser la distribution empirique.

a -Méthode de classement

Compte tenu du classement des modèles probabilistes proposé par le logiciel *EASYFIT* pour chacun des tests, cette méthode consiste à calculer la fréquence de la loi qui occupe le premier

rang dans chaque test pour l'ensemble des 74 séries étudiées. Les résultats du dénombrement sont consignés au tableau ci-dessous.

Tableau 35. Nombre de fois où le modèle est classé premier

Modèle probabiliste	Statistiques du test d'adéquation			Fréquence	
	D	A ²	χ^2	Absolue	relative (%)
Frechet à 2p	2	0	10	12	5,48
Frechet à 3p	14	6	6	26	11,87
Gamma à 2p	6	3	9	18	8,22
Gamma à 3p	10	10	11	31	14,16
Valeurs Extrêmes Généralisées	23	34	16	73	33,33
Gumbel max	3	2	4	9	4,11
Log-Pearson 3	9	16	3	28	12,79
Log-normale à 2p	8	0	7	15	6,85
Log-normale à 3p	7	9	8	24	10,96

Dans cette analyse, toutes les lois dont la fréquence est inférieure à 10% des stations ont été écartées. Ce premier tri a permis de réduire le nombre de lois de distribution ajustées à cinq au lieu de neuf, notamment, celles de Fréchet à 3p, Gamma à 3p, Valeurs Extrêmes Généralisées, Log-Pearson 3 et Log-normale à 3p.

b- Méthode des L-moments

Les L-moments ont les avantages théoriques par rapport aux moments conventionnels d'être capables de caractériser une large gamme de distributions et d'être plus robustes à la présence d'horsains dans la série de données.

La théorie des L-moments, développée par Hosking (1990), a pour objectif principal de vérifier la robustesse des lois de distribution appliquées à partir des moments des probabilités pondérées (Probability Weighted Moments ou PWM). Plusieurs travaux de recherches sont effectués ultérieurement (Vogel et Fennessey, 1993 ; Hosking et Wallis, 1995, 2005; Elamir, 2001, Bilkova, 2014) pour améliorer cette théorie. Les L-moments sont estimés à partir de combinaisons linéaires des données ordonnées. Ils sont définis par :

- l_1 : moyenne arithmétique de la variable aléatoire x ,
- l_2 : une mesure de la dispersion ou d'échelle analogue à l'écart type,
- l_3 : mesure de la dissymétrie de la distribution (ou skewness),
- l_4 : mesure de l'aplatissement (ou kurtosis).

Pratiquement ils peuvent être déterminés par les relations suivantes (Hosking et Wallis, 1995):

$$l_1 = \beta_0 \quad (37)$$

$$l_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (38)$$

$$l_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (39)$$

$$l_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (40)$$

Les coefficients $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ et β_3 et les L-moments de probabilités pondérés (PWM) sont estimés par :

$$\beta_0 = N^{-1} \sum_{i=1}^N x_i \quad (41)$$

$$\beta_1 = N^{-1} \sum_{i=2}^N x_i \left[\frac{i-1}{N-1} \right] = N^{-1} \sum_{i=2}^N b_1 \quad (42)$$

$$\beta_2 = N^{-1} \sum_{i=3}^N x_i \left[\frac{(i-1)(i-2)}{(N-1)(N-2)} \right] = N^{-1} \sum_{i=3}^N b_2 \quad (43)$$

$$\beta_3 = N^{-1} \sum_{i=4}^N x_i \left[\frac{(i-1)(i-2)(i-3)}{(N-1)(N-2)(N-3)} \right] = N^{-1} \sum_{i=4}^N b_3 \quad (44)$$

Comme dans le cas des moments conventionnels, il est intéressant de standardiser les moments d'ordre 3 et 4 pour qu'ils soient indépendants de l'unité de mesure de la variable étudiée. On définit alors les rapports des L-moments d'ordre 2 à 4 :

$$\text{- } L_{-Cv} : \text{coefficient de variation : } \tau_2 = \frac{l_2}{l_1} \quad (45)$$

$$\text{- } L_{-Cs} : \text{mesure d'asymétrie : } \tau_3 = \frac{l_3}{l_2} \quad (46)$$

$$\text{- } L_{-Ck} : \text{mesure d'aplatissement : } \tau_4 = \frac{l_4}{l_2} \quad (47)$$

En pratique, l_1, L_{-Cv} et les rapports des L-moments τ_3 et τ_4 sont les principaux descripteurs des distributions des probabilités. Le calcul des L-moment est appliqué aux pluies journalières maximales de l'ensemble des stations de la zone d'étude. L'exemple ci-dessous montre les différentes étapes de calcul.

Tableau 36. Calcul des L-moments-Pluies journalières maximales en mm à la station de Settara

P_{jmax}	x_i classé	i	b₁	b₂	b₃
43,5	36,8	1			
59,7	38,5	2	1,203		
51,2	41,5	3	2,594	0,084	
76,5	42,6	4	3,994	0,258	0,009
58,8	43,5	5	5,438	0,526	0,035
38,5	45,4	6	7,094	0,915	0,092
80,4	51,2	7	9,600	1,548	0,206
45,4	52,2	8	11,419	2,210	0,368
112,0	53,3	9	13,325	3,009	0,602
42,6	53,5	10	15,047	3,883	0,906
72,7	58,0	11	18,125	5,262	1,403
58,0	58,8	12	20,213	6,520	1,956
91,0	59,0	13	22,125	7,851	2,617
52,2	59,7	14	24,253	9,388	3,442
70,3	64,0	15	28,000	11,742	4,697
36,8	64,5	16	30,234	13,654	5,917
67,7	66,3	17	33,150	16,040	7,485
53,3	67,7	18	35,966	18,563	9,281
134,6	70,0	19	39,375	21,593	11,516
66,3	70,3	20	41,741	24,236	13,734
88,0	72,7	21	45,438	27,849	16,709
104,0	73,5	22	48,234	31,119	19,709
64,0	76,5	23	52,594	35,628	23,752
59,0	80,4	24	57,788	41,010	28,707
53,5	86,3	25	64,725	48,022	35,216
70,0	88,0	26	68,750	53,226	40,806
64,5	88,7	27	72,069	58,120	46,496
73,5	91,0	28	76,781	64,397	53,664
88,7	104,0	29	91,000	79,258	68,690
41,5	104,0	30	94,250	85,129	76,616
104,0	112,0	31	105,000	98,226	91,677
86,3	112,0	32	108,500	105,000	101,500
112,0	134,6	33	134,600	134,600	134,600
Somme	2320,5		1382,6	1008,9	802,4
			$\beta_0 = 70,32$	$\beta_1 = 41,90$	$\beta_2 = 30,57$
			$l_1 = 70,32$	$l_2 = 13,48$	$l_3 = 2,36$
					$\beta_3 = 24,32$
					$l_4 = 1,61$
					Echelle: $\tau_2 = 0,192$
					Asymétrie: $\tau_3 = 0,175$
					Kurtosis: $\tau_4 = 0,120$

Les résultats obtenus sont consignés aux tableaux 37 à 40.

Tableau 37. Bassin versant des côtières constantinois-Résultats du calcul des L-moments

Station	Code	N°	N	β_0	β_1	β_2	β_3	l_1	l_2	l_3	l_4	L_{-Cv}	L_{-Cs}	L_{-Ck}
Domaine Dehas	30104	1	39	63,12	37,64	27,52	21,93	63,12	12,16	2,4	1,67	0,19	0,2	0,14
Amoucha	30204	2	38	53,07	32,11	23,69	19,03	53,07	11,15	2,56	2,03	0,21	0,23	0,18
Jijel secteur	30301	3	39	69,21	41,08	30,16	24,19	69,21	12,95	3,69	2,72	0,19	0,28	0,21
Texenna	30302	4	38	91,01	54,99	40,1	31,82	91,01	18,96	1,72	1,99	0,21	0,09	0,11
Harma	30319	5	37	76,03	46,03	33,34	26,35	76,03	16,04	-0,11	3,10	0,21	-0,01	0,19
Erraguenne	30401	6	39	97,84	51,19	35,00	26,65	97,84	4,53	0,72	-0,59	0,05	0,16	-0,13
Col de Fdelous	30403	7	36	82,15	48,80	35,60	28,32	82,15	15,46	2,90	1,94	0,19	0,19	0,13
Taher	30504	8	37	76,16	45,433	33,21	26,46	76,16	14,70	2,85	1,87	0,19	0,19	0,13
Zardezaz	30903	9	38	57,57	36,70	27,81	22,68	57,57	15,83	4,19	2,20	0,28	0,26	0,14
Bousnib	30905	10	38	54,64	33,30	24,60	19,75	54,64	11,96	2,44	2,03	0,22	0,20	0,17
Ramdane Djamel	30909	11	39	51,24	31,70	23,80	19,36	51,24	12,16	3,83	2,38	0,24	0,32	0,20
Bekouche Lakhdar	31102	12	38	50,51	26,26	17,75	13,42	50,51	2,01	-0,55	0,52	0,04	-0,28	0,26
Bouati Mahmoud	31105	13	38	57,14	36,02	27,05	21,96	57,14	14,90	3,36	2,70	0,26	0,23	0,18
Ain Charchar	31201	14	38	54,46	31,91	23,06	18,21	54,46	9,36	1,36	0,78	0,17	0,14	0,08
Berrahal	31302	15	38	57,48	36,22	27,79	23,07	57,48	14,95	6,92	4,80	0,26	0,46	0,32
Cheffia	31501	16	36	60,42	36,75	27,00	21,54	60,42	13,09	1,89	1,36	0,22	0,14	0,10
Ain Assel	31601	17	36	61,62	38,12	28,48	23,06	61,62	14,61	3,80	2,57	0,24	0,26	0,18
Ain El Karma	31604	18	36	62,35	38,91	28,79	22,98	62,35	15,47	1,61	0,63	0,25	0,10	0,04
Skikda-ONM	Ski	19	39	56,69	33,94	24,77	19,66	56,69	11,19	1,63	0,80	0,20	0,15	0,07

Tableau 38. Bassin versant de la Seybouse - Résultats du calcul des L-moments

Station	Code	N°	N	β_0	β_1	β_2	β_3	l_1	l_2	l_3	l_4	L_{Cv}	L_{Cs}	L_{Ck}
Annaba ONM	Ann	20	39	50,70	31,46	23,35	18,79	50,70	12,22	2,09	2,03	0,24	0,17	0,17
Berriche	140103	21	34	32,64	19,44	14,15	11,23	32,64	6,25	0,89	0,75	0,19	0,14	0,12
Ksar Sbahi	140104	22	35	36,80	22,78	16,91	13,59	36,80	8,76	1,60	0,91	0,24	0,18	0,10
Aioun Seterra	140105	23	35	34,65	20,75	15,03	11,85	34,65	6,84	0,37	0,24	0,20	0,05	0,04
Ain Babouche	140109	24	34	39,05	24,51	18,18	14,58	39,05	9,96	1,11	1,11	0,26	0,11	0,11
Terraguelt	140115	25	34	35,31	20,36	14,70	11,65	35,31	5,42	1,36	0,93	0,15	0,25	0,17
Ain Makhlouf	140205	26	38	46,58	29,16	21,63	17,36	46,58	11,73	1,43	1,59	0,25	0,12	0,14
Bordj Sabath	140302	27	34	50,06	30,03	22,08	17,73	50,06	9,99	2,41	2,33	0,20	0,24	0,23
Ras EL Akba	140309	28	37	54,99	33,11	24,22	19,32	54,99	11,23	1,64	2,22	0,20	0,15	0,20
Medjez Amar	140313	29	30	49,98	29,47	21,28	16,81	49,98	8,96	0,81	1,56	0,18	0,09	0,17
Heliopolis	140403	30	38	54,00	33,69	25,13	20,26	54,00	13,38	2,68	1,44	0,25	0,20	0,11
Guelma-Lycée	140412	31	36	47,25	28,53	20,93	16,72	47,25	9,80	1,65	1,72	0,21	0,17	0,18
Hammam N'bails	140503	32	38	56,08	33,42	24,42	19,49	56,08	10,76	2,05	2,24	0,19	0,19	0,21
Boucheouf	140505	33	38	52,25	31,79	23,56	18,95	52,25	11,33	2,87	1,40	0,22	0,25	0,12
Nechmaya	140605	34	38	56,11	34,42	25,29	20,19	56,11	12,74	1,31	2,05	0,23	0,10	0,16
Ain Berda	140606	35	38	51,60	31,96	23,83	19,24	51,60	12,32	2,84	1,85	0,24	0,23	0,15
Boukhamouza	140607	36	38	58,11	36,49	27,47	22,34	58,11	14,87	3,99	2,45	0,26	0,27	0,16
Kef Mourad	140611	37	37	56,50	34,79	25,93	20,97	56,50	13,09	3,34	2,35	0,23	0,26	0,18
Pont Bouchet	140631	38	32	54,13	33,51	25,00	20,22	54,13	12,89	3,11	2,24	0,24	0,24	0,17
Mcht Cheikh Rabeh	140113	39	35	33,02	20,19	14,92	11,96	33,02	7,37	1,38	0,98	0,22	0,19	0,13
Guelma-ONM	Guel	40	22	54,80	35,79	27,85	23,24	54,80	16,78	7,18	3,92	0,31	0,43	0,23

Tableau 39. Bassin versant du Kébir-Rhumel - Résultats du calcul des L-moments

Station	Code	N°	N	β_0	β_1	β_2	β_3	l_1	l_2	l_3	l_4	L_{-Cv}	L_{-Cs}	L_{-Ck}
Belaa	100302	41	39	37,61	22,90	16,83	13,43	37,61	8,19	1,21	0,78	0,22	0,15	0,10
Ouled Rahmoune	100508	42	36	41,20	27,92	21,87	18,32	41,20	14,65	4,85	4,37	0,36	0,33	0,30
Hamala	100703	43	39	63,21	37,65	27,58	22,08	63,21	12,08	2,83	2,76	0,19	0,23	0,23
Constantine ANRH	100410	44	40	43,02	24,98	17,81	13,84	43,02	6,94	0,04	-0,99	0,16	0,01	-0,14
Bir el Arch	100306	45	36	35,53	21,99	16,49	13,42	35,53	8,45	2,51	2,23	0,24	0,30	0,26
Bir Drimil	100411	46	23	29,25	16,75	11,94	9,38	29,25	4,25	0,37	1,29	0,15	0,09	0,30
Fourchi	100511	47	38	42,87	27,89	21,39	17,63	42,87	12,90	3,89	2,71	0,30	0,30	0,21
El Milia	100706	48	36	77,27	48,28	36,32	29,62	77,27	19,28	5,54	4,75	0,25	0,29	0,25
Constantine ONM	Const	49	39	45,04	27,90	21,07	17,20	45,04	10,76	4,02	1,86	0,24	0,37	0,17
Chelghoum Laid	100312	50	31	31,85	19,20	14,11	11,28	31,85	6,56	1,29	0,95	0,21	0,20	0,15
Ain Fakroun	100503	51	33	37,84	23,84	17,82	14,42	37,84	9,84	1,73	1,97	0,26	0,18	0,20
Ouled Naceur	100527	52	24	21,74	13,96	10,62	8,68	21,74	6,17	1,71	0,81	0,28	0,28	0,13
Ouled Massaouda	100708	53	36	97,53	57,32	41,67	33,15	97,53	17,11	3,64	3,13	0,18	0,21	0,18
Settara	100711	54	33	70,32	41,90	30,57	24,32	70,32	13,48	2,36	1,61	0,19	0,18	0,12

Tableau 40. Bassin versant de la Medjerda-Mellegue – Résultats du calcul des L-moments

Station	Code	N°	N	β_0	β_1	β_2	β_3	l_1	l_2	l_3	l_4	L-Cv	L-Cs	L-Ck
Souk Ahras-Subd	120101	55	39	49,16	29,38	21,32	16,89	49,16	9,59	0,80	1,61	0,20	0,08	0,17
Ain Seynour	120103	56	38	66,57	40,64	29,91	23,84	66,57	14,71	2,20	0,61	0,22	0,15	0,04
Khemissa	120104	57	37	49,26	30,59	22,74	18,27	49,26	11,93	2,16	1,02	0,24	0,18	0,09
Ain Dalia	120125	58	20	54,31	33,84	24,87	19,71	54,31	13,37	0,53	-0,28	0,25	0,04	-0,02
Meskiana	120201	59	39	33,70	20,93	15,61	12,60	33,70	8,15	1,83	1,09	0,24	0,22	0,13
Ain Dhalaa	120202	60	39	36,53	22,64	16,83	13,54	36,53	8,74	1,69	1,01	0,24	0,19	0,12
Tébessa APC	120301	61	39	40,09	24,92	18,67	15,12	40,09	9,75	2,59	1,25	0,24	0,27	0,13
Boukhadra	120302	62	39	43,80	25,94	18,86	14,97	43,80	8,08	1,34	1,06	0,18	0,17	0,13
Bekkaria	120307	63	37	41,30	26,48	20,25	16,71	41,30	11,66	3,92	3,11	0,28	0,34	0,27
Mecht Ouled Hamza	120317	64	35	41,77	27,35	20,77	16,93	41,77	12,92	2,34	1,74	0,31	0,18	0,13
Ouenza	120401	65	39	34,90	21,09	15,32	12,11	34,90	7,29	0,26	0,86	0,21	0,04	0,12
El Aouinet	120402	66	39	38,61	23,01	16,83	13,44	38,61	7,40	1,53	1,51	0,19	0,21	0,20
M'daourouch	120403	67	39	36,07	21,17	15,26	12,04	36,07	6,28	0,57	1,09	0,17	0,09	0,17
Mesloula	120405	68	37	34,68	20,98	15,54	12,56	34,68	7,28	2,06	2,08	0,21	0,28	0,29
Ras el Aioun	120501	69	35	38,53	23,40	17,23	13,78	38,53	8,28	1,48	1,13	0,21	0,18	0,14
El Kouif	120504	70	37	35,88	23,16	17,56	14,31	35,88	10,44	2,31	1,42	0,29	0,22	0,14
Saf-Saf	120517	71	37	26,93	18,97	15,05	12,60	26,93	11,01	3,38	1,39	0,41	0,31	0,13
Souk Ahras ONM	Skahr	72	23	52,74	31,09	22,59	17,92	52,74	9,43	1,76	0,97	0,18	0,19	0,10
Tébessa ONM	Teb	73	37	39,90	24,51	18,15	14,57	39,90	9,12	1,71	1,21	0,23	0,19	0,13

A partir des résultats des tableaux ci-dessus, on a établi les diagrammes des L-moments qui sont une représentation graphique des L_{-CK} (ou τ_4) en fonction du L_{-Cs} (ou τ_3) afin de choisir la (ou les) loi (s) de distribution la (ou les) plus adéquate (s) pour le calcul des quantiles. Ces graphiques ont été tracés, à l'aide du logiciel *MATLAB*, pour les quatre lois de distribution (Valeurs Extrêmes Généralisées, Log-normales à 3p, Gamma à 3p et Log-Pearson 3) dont les valeurs théoriques de L_{-Ck} sont obtenues à partir de celles de L_{-Cv} par les relations suivantes (Hosking in Rao et Hamed, 2000) :

$$- GEV : \tau_4 = 0.107001 + 0.11090 \tau_3 + 0.84838 \tau_3^2 - 0.06669 \tau_3^3 + 0.00567 \tau_3^4 - 0.04208 \tau_3^5 + 0.03763 \tau_3^6 \quad (48)$$

$$- Ga-3p \text{ et } LP3 : \tau_4 = 0.1224 + 0.30115 \tau_3^2 + 0.95812 \tau_3^4 - 0.57488 \tau_3^6 + 0.19383 \tau_3^8 \quad (49)$$

$$- LN-3p : \tau_4 = 0.12282 + 0.77518 \tau_3^2 + 0.12279 \tau_3^4 - 0.13638 \tau_3^6 + 0.11368 \tau_3^8. \quad (50)$$

Pour des fins de sélection du modèle, on a porté sur ces diagrammes les points de coordonnées (τ_4, τ_3) représentatifs des pluies journalières maximales de chaque station dans la zone d'étude (Fig. 26).

L'examen de ce graphique montre qu'il n'y a pas de distribution particulière qui peut être utilisée pour le calcul des fréquences. Dans le but de raffiner l'analyse, les diagrammes des L-moments sont tracés pour chaque bassin versant. Les points numérotés de 1 à 19 représentent le bassin des côtiers constantinois (Fig. 27), de 20 à 40 le bassin de la Seybouse (Fig. 28), de 41 à 54 le bassin du Kébir-Rhumel (Fig. 29) et enfin de 55 à 73 le bassin de la Medjerda-Mellegue (Fig. 30).

La répartition des points autour des diagrammes montre une convergence vers le point d'intersection des courbes représentatives des lois théoriques d'où la difficulté d'opter pour une loi de probabilité particulière, parmi les quatre lois sus indiquées, pour modéliser la distribution des fréquences des pluies journalières maximales au niveau du Nord-est algérien. Par conséquent, les quantiles des pluies journalières maximales sont estimés, par ordre de priorité, par :

- la valeur moyenne des quantiles issus des 4 modèles probabilistes pour les stations regroupées autour des graphiques,

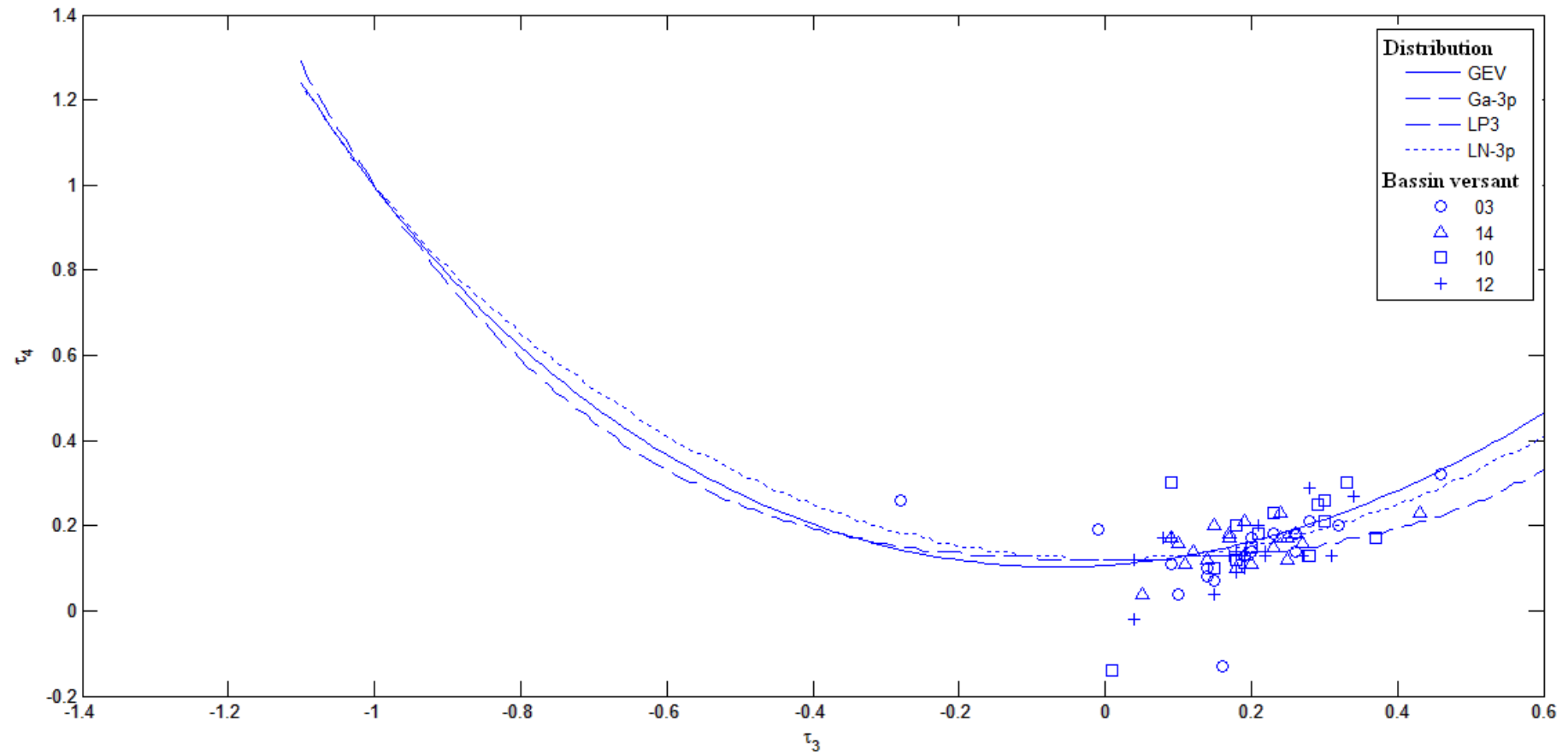


Fig. 26. Diagramme des L-moments des pluies journalières maximales du Nord-est algérien

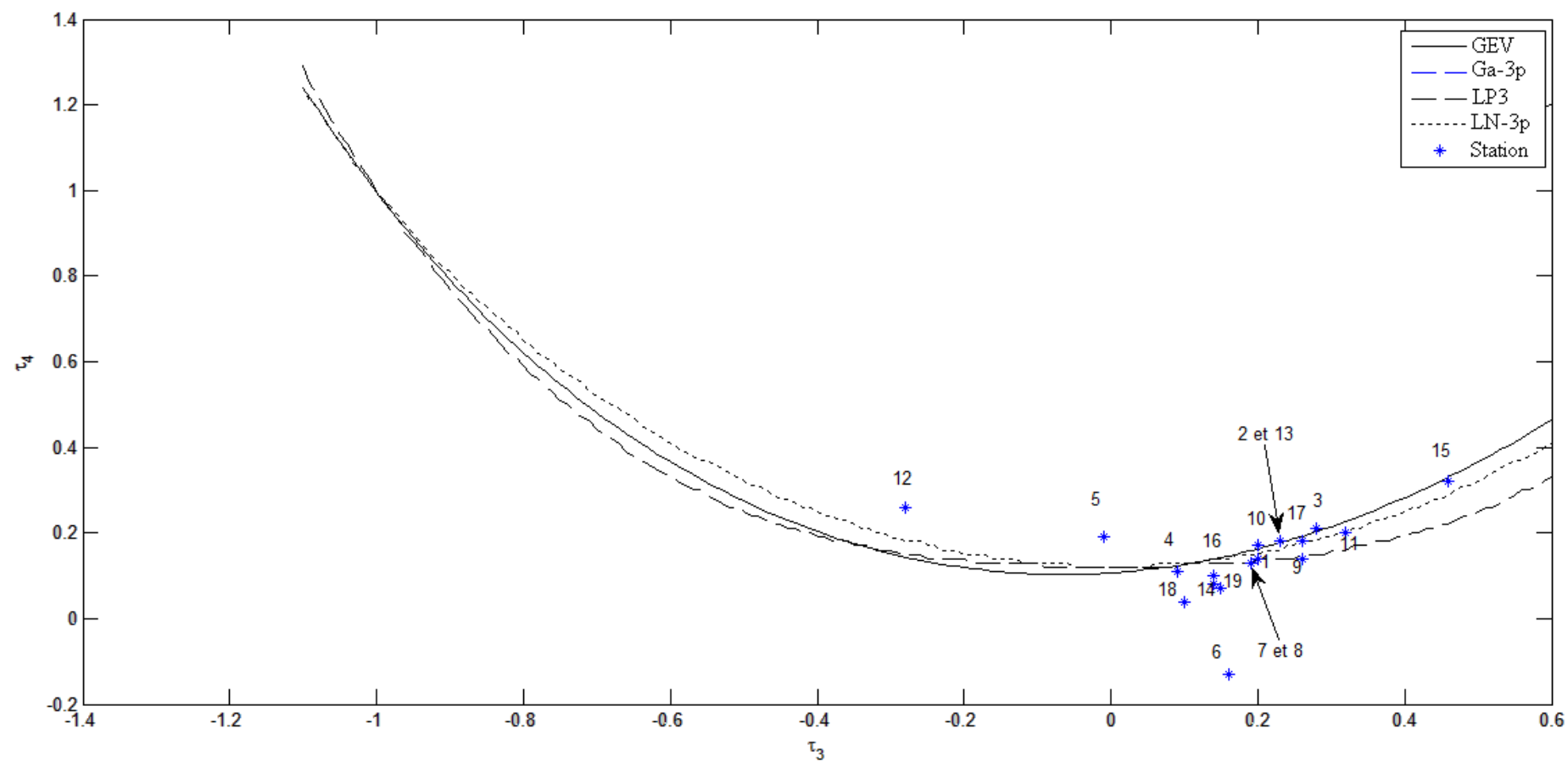


Fig. 27. Bassin des côtiers constantinois- Diagramme des L-moments

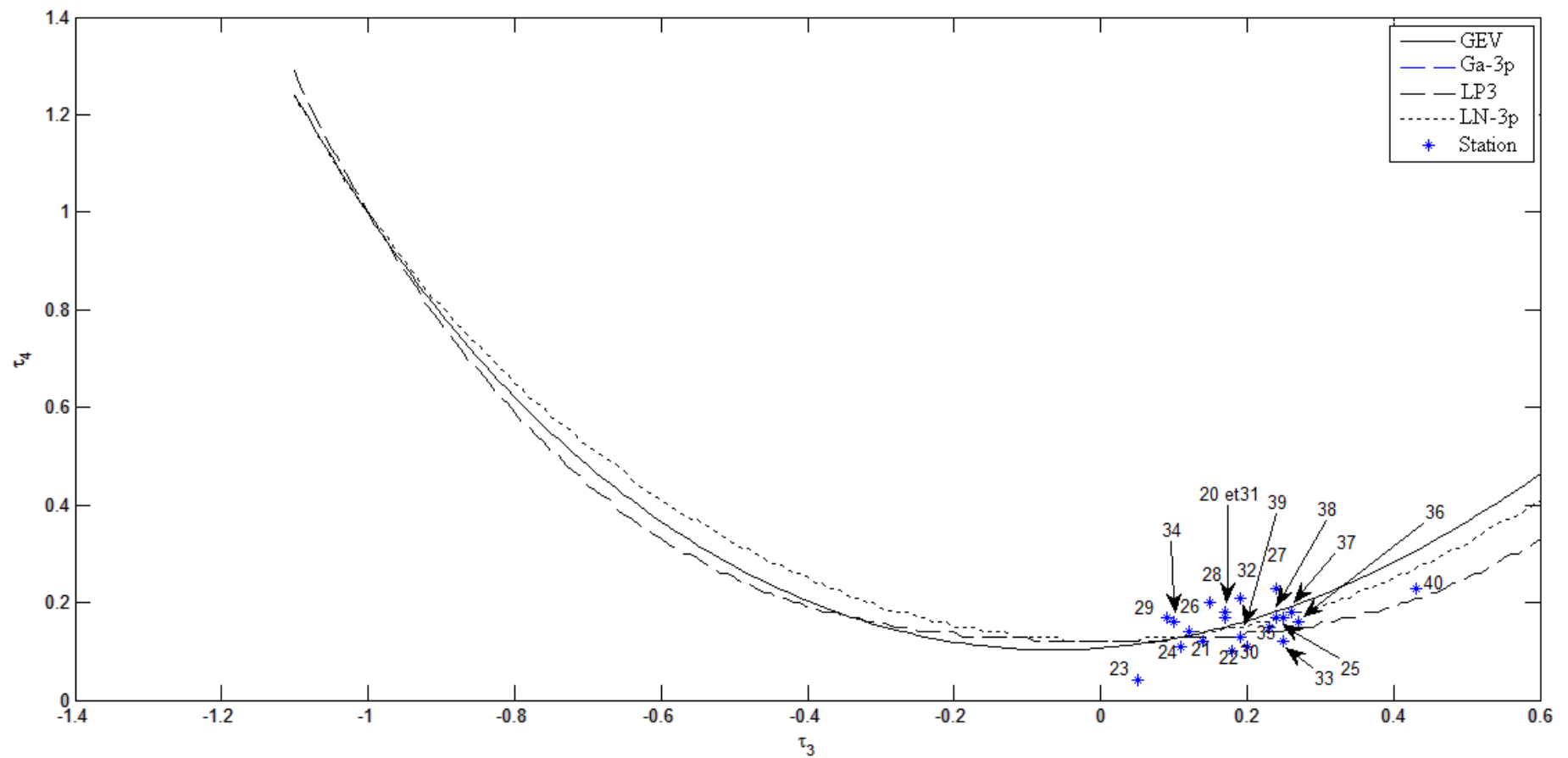


Fig. 28. Bassin de la Seybouse - Diagramme des L-moments

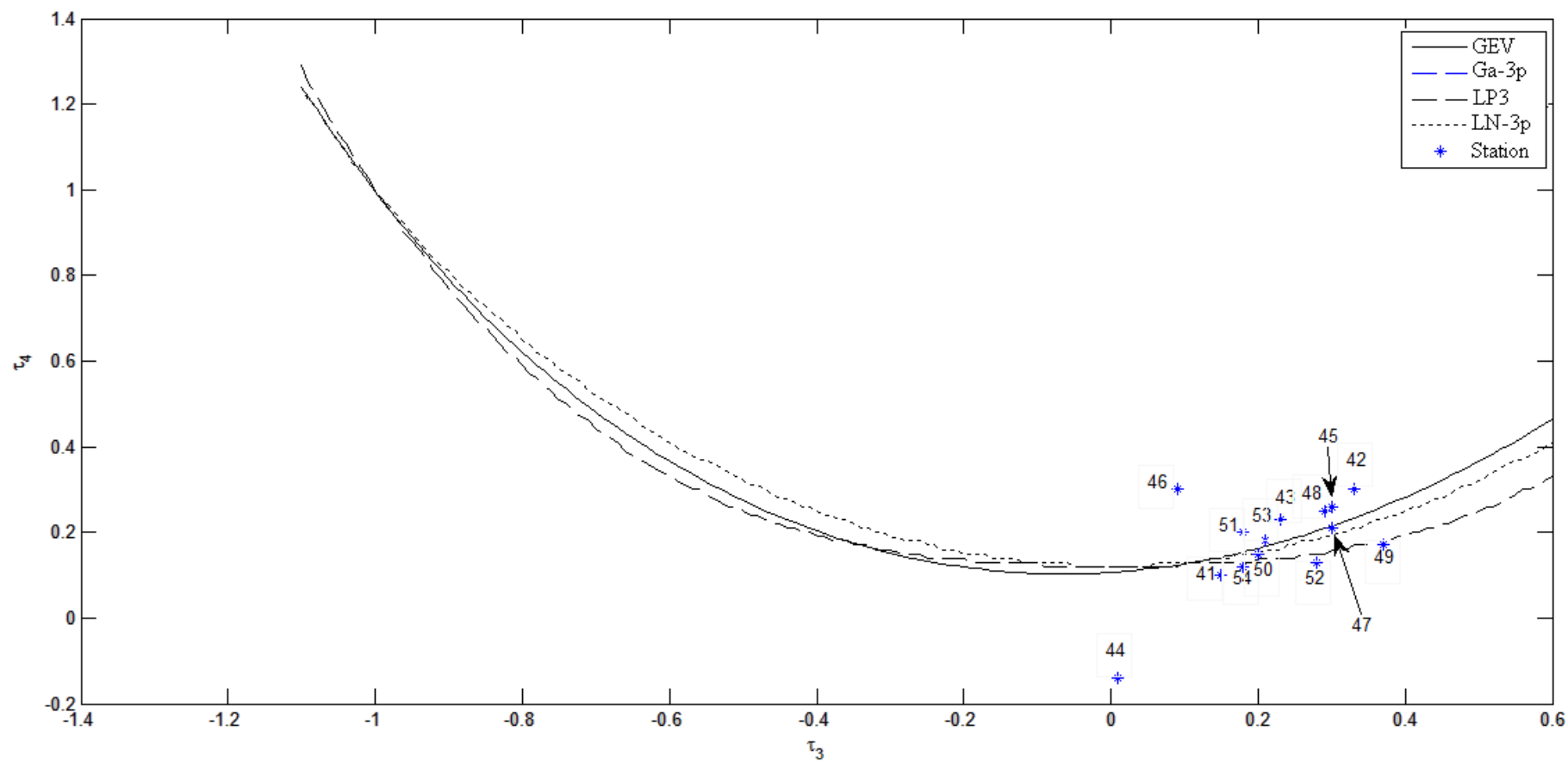


Fig. 29. Bassin du Kébir-Rhumel - Diagramme des L-moments

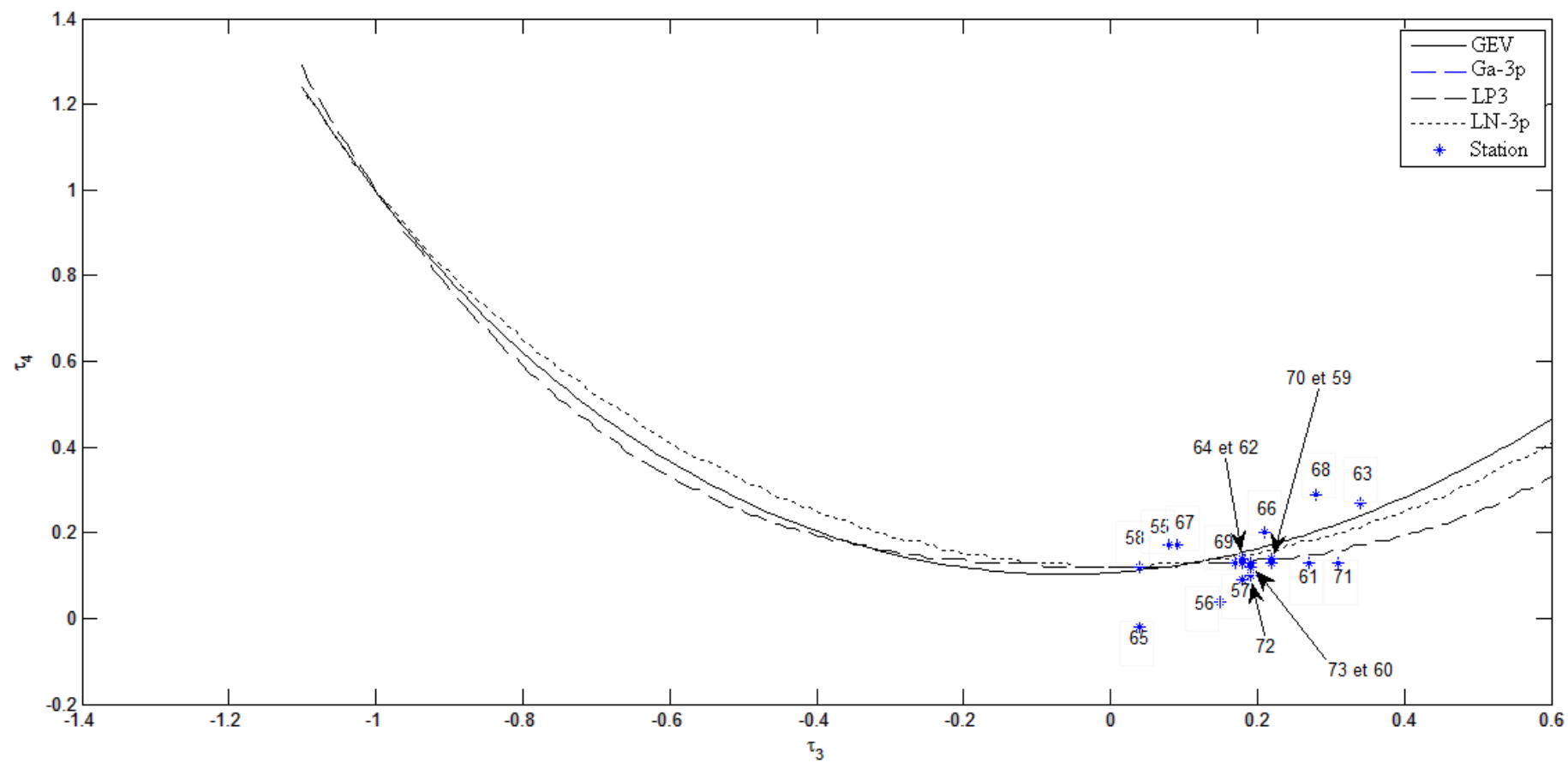


Fig. 30. Bassin de la Medjerda-Mellegue - Diagramme des L-moments

- la loi dont le diagramme des L-moments est le plus proche pour les stations s'écartant du groupe,
- la loi dont la somme des scores obtenus à partir des tests d'adéquation, est maximum pour le reste des stations.

Faut-il noter que dans cette nouvelle classification, l'évaluation des cinq modèles de distribution de probabilité retenus après le premier tri est basée sur le score total. En effet, des scores allant de 1 à 5 sont attribués à chaque modèle de distribution. Le meilleur modèle (le 1^{er} classé par le test) est accordé un score de 5, le suivant est décerné 4 et ainsi de suite, dans l'ordre décroissant. Les rangs globaux de chaque distribution ont été obtenus en additionnant le score individuel de chaque poste pluviométrique. Le tableau ci-dessous illustre la démarche utilisée pour le choix d'une loi de distribution pour quatre stations pluviométriques de chaque grand bassin versant.

Tableau 41. Choix du modèle probabiliste par la méthode du score maximum

Loi de Distribution	Score par test d'adéquation				Modèle retenu
	D	A^2	χ^2	Total	
Station de Belaa					
Valeurs Extrêmes Généralisées	5	3	5	13	GEV
Log-Pearson 3	4	4	2	10	
Log-normale à 3p	2	2	1	5	
Gamma à 3p	3	5	4	12	
Fréchet à 3p	1	1	3	5	
Ain Dhalaa					
Valeurs Extrêmes Généralisées	3	2	4	9	Ga-3p
Log-Pearson 3	4	4	3	11	
Log-normale à 3p	2	3	5	10	
Gamma à 3p	5	5	2	12	
Fréchet à 3p	1	1	1	3	
Cheffia (Bge)					
Valeurs Extrêmes Généralisées	5	5	5	15	GEV
Log-Pearson 3	4	4	4	12	
Log-normale à 3p	2	1	1	4	
Gamma à 3p	1	3	2	6	
Fréchet à 3p	3	2	3	8	
Bordj Sabath					
Valeurs Extrêmes Généralisées	4	5	4	13	FR-3p
Log-Pearson 3	2	3	3	8	
Log-normale à 3p	3	2	2	7	
Gamma à 3p	1	1	1	3	
Fréchet à 3p	5	4	5	14	

Les quantiles estimés par la loi de Fréchet à 3 paramètres, classée première dans moins de 10 % des stations et dont les L-moments théoriques n'existent pas dans la littérature, ont été introduit dans le calcul de la moyenne issue des lois étayées par les diagrammes des L-moments (annexe 4).

Enfin, une fois la décision est prise quant à la loi de distribution adoptée pour chacune des séries pluviométriques de la région d'étude, on a procédé au calcul des quantiles relatifs à des périodes de récurrence allant de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 ans. Les résultats de l'AF sont présentés aux tableaux 42 à 46.

Au vue des résultats de l'analyse fréquentielle, il ressort que, dans la zone d'étude, les pluies s'abattent à des intensités très variables. Les pluies décennales évoluent entre 75 mm/j à Berrahal et 145 mm/j à Erraguene (bassin des côtières constantinois), 37 mm/j à Ouled Nacer et 130 mm/j à Ouled Messaouda (bassin du Kébir-Rhumel), 47 mm/j Mesloula et 102 mm/j à Ain Seynour (Bassin de Medjerda-Mellegue), 45 mm/j à Terraguelt et 94 mm/j à Boukhamouza (Bassin de la Seybouse). Les pluies centennales s'étendent entre 50 mm/j à Bir Drimil (bassin du Kébir-Rhumel) et plus de 200 mm/j à Erraguene (Bassin des côtières constantinois) et El Milia (Bassin du Kébir Rhumel). La variabilité, relativement faible dans les bassins côtiers (C_v de l'ordre de 20 %) est d'autant plus marquée que l'on se dirige vers le sud ($40\% \leq C_v \leq 50\%$). Dans le Nord-est algérien, le rapport médian entre les pluies journalières maximales décennales et centennales est de l'ordre de 1,5 à 2.

4. Conclusion

L'intérêt principal de ce chapitre est de trouver un modèle fréquentiel capable de rendre compte de la probabilité d'occurrence des pluies quotidiennes maximales de 74 postes pluviométriques du Nord-est algérien. Sachant que la détermination de la meilleure loi d'ajustement a toujours été délicate et le choix du modèle probabiliste peut être crucial pour l'estimation des précipitations de différentes périodes de retour, plusieurs tests d'appréciation de la qualité de l'ajustement ont été utilisés. Les résultats ont montré qu'aucune loi ne peut être exclusivement utilisée sur l'ensemble du territoire d'étude.

Tableau 42. Fréquence de pluies journalières maximales dans le bassin des Côtiers constantinois

Station	Intervalle de récurrence (T) en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Domaine Dehas	59	79	93	107	111	125	139
Amoucha	49	67	80	93	97	110	123
Jijel secteur	64	85	100	116	122	139	158
Texenna	88	118	136	151	156	170	183
Harma	78	100	113	124	127	136	145
Erraguenne	92	123	144	163	169	187	205
Col de fdelous	64	103	119	135	139	154	169
Taher	71	95	112	128	133	150	166
Zardezas	49	75	96	118	126	150	177
Bousnib	51	71	84	96	100	113	125
Ramdane Djamel	45	65	81	98	104	123	144
Bekouche Lakhdar	58	78	93	107	112	127	142
Bouati Mahmoud	51	76	94	111	117	135	153
Ain cherchar	52	67	77	85	88	96	104
Berrahal	46	62	75	89	94	109	126
Cheffia	55	77	92	106	111	125	139
Ain Assel	55	80	98	117	123	143	165
Ain El Karma	59	84	99	114	118	131	143
Skikda-ONM	54	72	84	95	98	109	119

Tableau 43. Fréquence de pluies journalières maximales à la station de Batna

Station	Intervalle de récurrence (T) en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Batna	36	48	55	61	63	68	73

Tableau 44. Fréquence de pluies journalières maximales dans le bassin du Kébir-Rhumel

Station	Intervalle de récurrence (T) en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Belaa	35	49	57	65	68	76	83
Ouled Rahmoune	33	56	75	96	104	130	161
Hamala	59	75	85	93	96	103	110
Constantine ANRH	41	57	68	80	84	57	111
Bir el Arch	32	46	56	67	70	82	94
Bir Drimil	29	35	39	43	44	48	51
Fourchi	36	58	76	96	102	124	148
El Milia	69	100	124	150	159	189	222
Constantine ONM	69	101	124	149	157	184	212
Chelghoum Laid	30	40	48	56	58	66	74
Ain Fakroun	35	51	62	73	76	87	97
Ouled Naceur	19	29	37	44	47	55	64
Ouled Massaouda	91	114	130	143	148	161	173
Settara	65	88	103	118	123	137	152

Tableau 45. Fréquence de pluies journalières maximales dans la Medjerda-Mellegue

Station	Intervalle de récurrence (T) en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Souk Ahras SUBD	48	63	72	79	81	88	94
Ain Seymour	62	87	102	117	121	135	149
Khemissa	45	65	79	92	97	110	123
Ain Dalia	53	74	86	96	99	108	116
Meskiana	31	44	54	63	66	76	86
Ain Dhalaa	34	48	58	67	70	80	89
Tebessa APC	36	53	64	76	80	92	105
Boukhadra	41	55	64	73	76	85	94
Bekkaria	35	54	69	86	91	111	134
Mecht Ouled Hamza	37	59	74	88	92	106	119
Ouenza	35	46	52	58	59	64	68
El Aouinet	36	48	57	65	67	76	84
M'daourouch	35	45	51	57	58	63	67
Mesloul	31	41	47	52	54	59	64
Ras el Aioun	36	49	59	68	71	80	89
El Kouif	31	49	61	74	77	90	103
Saf-Saf	20	39	55	71	77	95	116
Souk Ahras ONM	50	65	75	84	87	96	105
Tebessa ONM	37	52	62	71	74	83	93

Tableau 46. Fréquence de pluies journalières maximales dans le bassin de la Seybouse

Station	Intervalle de récurrence (T) en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Annaba ONM	47	65	77	87	90	101	110
Berriche	31	41	48	54	57	63	69
Ksar Sbahi	34	48	58	68	71	80	90
Aioun Seterra	34	45	51	56	57	61	65
Ain Babouche	38	53	62	70	72	78	84
Terraguelt	33	40	45	50	52	56	61
Ain Makhlouf	46	64	73	81	84	91	98
Bordj Sabath	46	62	74	86	90	103	115
Ras EL Akba	53	71	82	92	95	105	114
Medjez Amar	49	62	71	80	82	90	97
Heliopolis	49	71	87	101	106	120	135
Guelma Lycée	45	61	71	80	82	91	99
Hammam N'bails	53	70	82	94	98	108	120
Boucheougouf	47	66	80	94	99	114	131
Nechmaya	54	75	87	98	101	111	120
Ain Berda	47	67	81	95	100	114	128
Boukhamouza	52	76	94	113	118	138	159
Kef Mourad	51	73	88	103	109	125	141
Pont Bouchet	49	70	86	102	107	124	142
Mcht Cheikh Rabeh	30	43	51	59	62	70	78
Guelma ONM	46	71	92	115	123	150	180

Etayées par ces différents tests, cinq lois de distribution des probabilités, choisies parmi les modèles classiquement utilisés en hydrologie, notamment la GEV, la LN-3p, la LP3, la Ga-3p et la Fr-3p, ont été retenues ; les résultats du calcul des quantiles étant plus ou moins comparables, d'où la difficulté de se prononcer sur une loi générale pour décrire le régime pluviométrique au niveau du Nord-est algérien. Ainsi les grandeurs des pluies maximales annuelles de 1 jour correspondant à des périodes de retour de 2 à 100 ans ont été estimées par la moyenne arithmétique des résultats de ces modèles dans près de 80% des stations. L'usage d'une loi particulière pour l'estimation des quantiles ne concerne que très peu de stations (annexes 4).

La valeur scientifique et pratique des résultats de ce travail réside dans la gestion des ressources en eau et des risques d'inondation dans les grands bassins caractérisés par des temps de concentration plus lents. Pour les petits bassins versants agricoles et urbains, il est préférable de travailler sur des échelles de temps plus réduites (inférieures ou égales à 24 heures). L'analyse des averses de courtes durées enregistrées au niveau du Nord-est algérien font l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE IV

ANALYSE DES AVERSES - ESSAI DE MODELISATION

1. Introduction

Si les précipitations mensuelles et annuelles dessinent la variation des réserves en eau souterraine sur une période assez longue, l'étude des averses, un des phénomènes causant le caractère extrême de l'écoulement superficiel, présente un double intérêt; le premier, d'ordre hydrogéologique, a trait à la réalimentation des nappes aquifères ; le second est lié aux problèmes des inondations, de l'érosion hydrique et de leurs effets désastreux sur le bien être socio-économique. Autrement dit, la notion d'averse ou précipitation de courte durée est importante en hydrologie. Elle joue un rôle très significatif dans le déclenchement des laves torrentielles, des glissements de terrain et des inondations, par débordement des oueds ou par submersion, qui peuvent être à l'origine des risques tant en milieu urbain que rural. La connaissance de leur distribution spatiale et temporelle est primordiale lorsqu'on veut réaliser des études hydrotechniques ayant trait à la protection contre les crues dévastatrices, au drainage agricole, à l'assainissement urbain et à la correction torrentielle des terrains montagneux dans le cadre de la défense et restauration des sols.

Ce chapitre traite de la construction des courbes *Hauteur-Durée-Fréquence* (HDF) et des courbes *Intensité- Durée- Fréquence* (IDF) pour les stations équipées de pluviographes au niveau du Nord-est de l'Algérie. Ces courbes, expriment les relations entre la lame d'eau précipitée, l'intensité moyenne de pluie, la durée et la période de récurrence (ou fréquence) de l'événement pluvieux sous forme graphique ou analytique. Elles présentent un outil d'aide à la décision dans les différents projets hydrotechniques sus cités. De plus, les résultats de cette étude permettent de trouver des averses types de projet qui fournissent les données d'entrée (input) pour les modèles '*Pluie-Débit*'.

2. Quelques définitions

Pour faciliter la compréhension du texte, il est instructif de définir les principaux termes relatifs à l'analyse des averses. Bien que la terminologie reste encore assez vague dans ce domaine, certains auteurs désignent par averse un ensemble de pluies associées à une même

perturbation météorologique. Dans les problèmes de drainage urbain, le nom d'averse est parfois employé pour une période de fortes pluies continues. Selon Laborde (2009), une averse peut être définie comme étant :

- a- un épisode de durée constante fixée à l'avance, d'origines variables et que la pluie soit continue ou discontinue,
- b- un épisode de durée constante fixée à l'avance, d'origines fixes et que la pluie soit continue ou discontinue,
- c- un épisode de durée constante fixée à l'avance, d'origines variables et pour des pluies continues.

Cet événement pluvieux est enregistré à l'aide d'un pluviographe qui est un pluviomètre comportant un dispositif d'enregistrement des hauteurs de précipitation en fonction du temps. Ce dernier se distingue du pluviomètre en ce sens que la pluie, au lieu de s'écouler directement dans un récipient collecteur, passe d'abord dans un dispositif particulier (réservoir à flotteur, augets, etc.) qui permet l'enregistrement automatique de la hauteur instantanée de précipitation. L'enregistrement est permanent et continu, et permet de déterminer non seulement la hauteur de précipitation, mais aussi sa répartition dans le temps donc son intensité. Quel que soit le type, le pluviographe fournit des diagrammes des hauteurs de précipitations cumulées en fonction du temps appelés pluviogrammes. Avec l'apparition des stations météorologiques automatiques, les données peuvent actuellement être envoyées à un enregistreur numérique qui peut transmettre ces informations à un réseau de distribution d'utilisateurs.

Quels que soit la définition adoptée et le type de pluviographe utilisé, toute averse se caractérise par quatre variables fondamentales qu'il importe de connaître :

- la durée

Elle correspond à l'intervalle de temps durant lequel une pluie ininterrompue ou non est tombée. Elle peut varier de quelques minutes à plusieurs dizaines d'heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à des milliers de km² (pluies cycloniques).

- la hauteur et l'intensité

L'intensité moyenne d'une averse est le rapport de la hauteur de pluie observée (H) à la durée (D) de l'averse. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut

s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de pluie. On parle alors d'intensité maximale.

Deux types de courbes déduites des enregistrements d'un pluviographe (pluviogramme) permettent d'analyser les averses d'une station : la courbe des hauteurs de pluie cumulée et le hyètoqramme. La courbe des pluies cumulées donne en ordonnées, pour chaque instant (t), l'intégrale représentant la hauteur totale de pluie tombée depuis le temps 0 choisi comme origine (généralement le début de l'averse). En chaque point, la pente de la tangente à la courbe des pluies cumulées est égale à l'intensité instantanée de la pluie à l'instant considéré (Fig. 31).

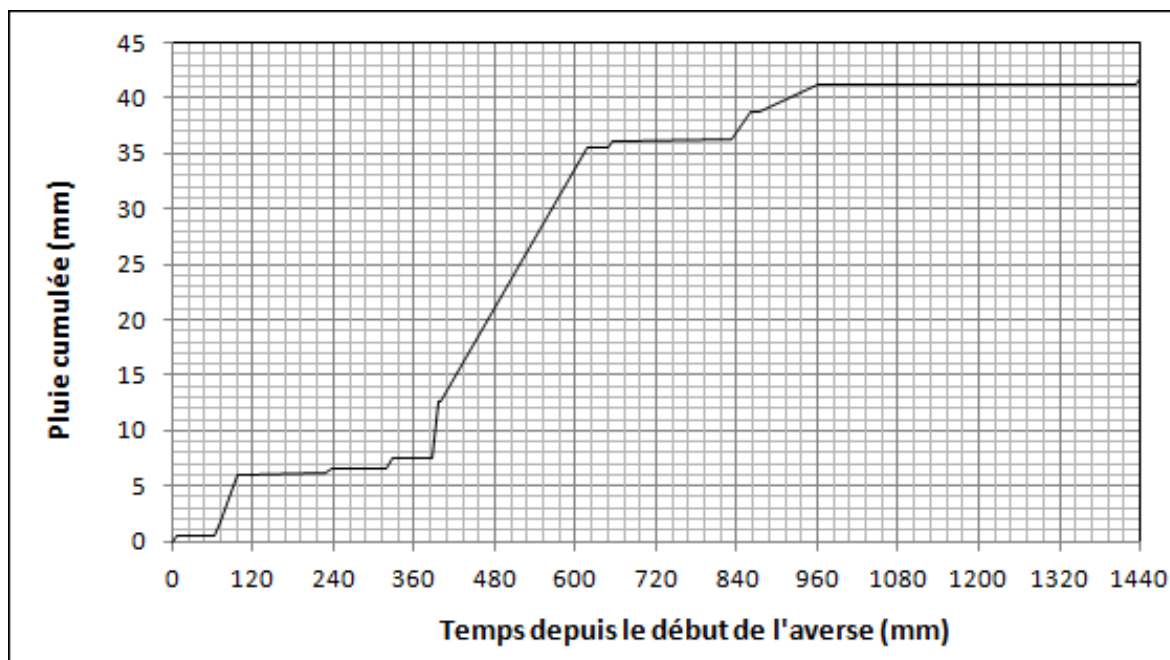


Fig. 31. Courbe des pluies cumulées enregistrées au cours de l'averse du 24 au 25 Mai 1992 à la station de Pont Bouchet.

Le hyètoqramme est un graphique en échelons donnant en abscisses le temps écoulé et en ordonnées l'intensité (I), exprimée le plus souvent en mm/h, de la pluie tombée (Fig. 32). Pour construire le hyètoqramme, on divise le pluviogramme en un pas de temps Δt le plus petit possible (15 min, 30 min, 1 h, ...). Toutefois, pour analyser les pluies orageuses de courte durée, un pas de temps d'une minute à cinq minutes serait souvent souhaitable voire même indispensable pour mieux représenter la variation de l'intensité des précipitations.

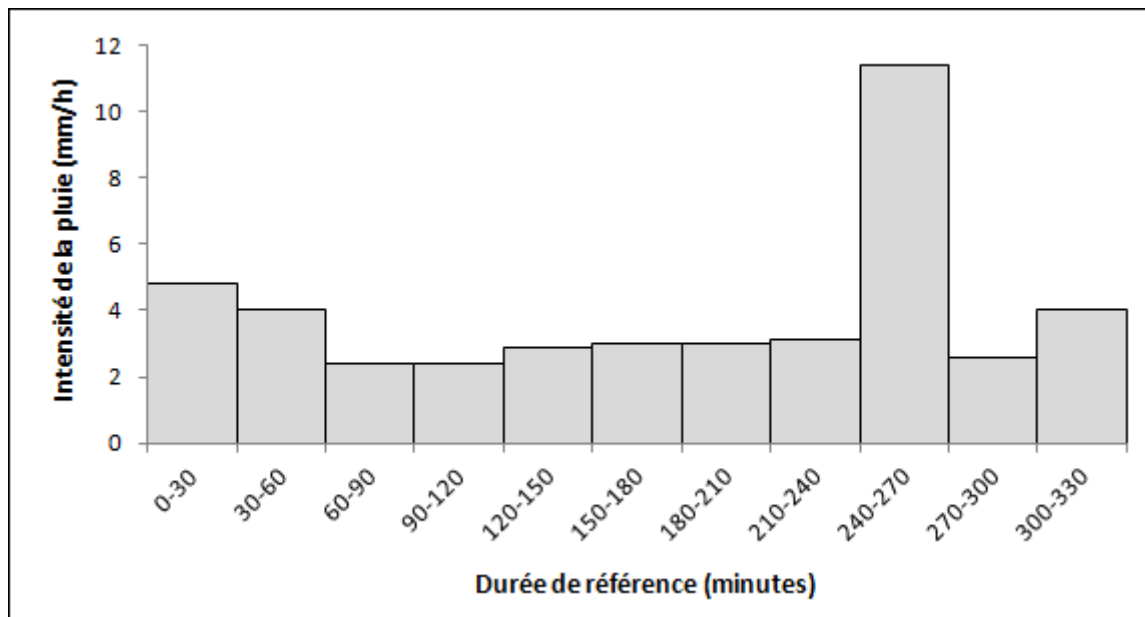


Fig. 32. Hyetogramme afférent à l'averse du 14 Mai 1976 à Guelma.

En pratique on s'intéresse le plus souvent aux intensités moyennes maxima des pluies pour une durée donnée dite "*intervalle de référence*". L'intérêt de cette notion d'intensité moyenne maximale afférente à un intervalle de temps (D) provient de ce que : "A égalité d'intensité, les pluies qui occasionnent le débit maximum en un point donné du réseau d'écoulement sont celles dont la durée de précipitation est au moins égale au temps de concentration du bassin versant (Réménieras, 1980).

- la fréquence

La fréquence correspond à la probabilité d'occurrence d'une averse particulière caractérisée par une durée et une intensité donnée ou les deux à la fois. Connaissant cette probabilité on déduira la durée de retour (ou l'intervalle de récurrence en années) de l'averse en question. Puisque les mesures pluviométriques dans la plupart des régions s'étalent sur des périodes assez courtes, les données statistiques sont extrapolées sur la base de la théorie des probabilités pour permettre d'estimer les pluies dont la durée de retour peut atteindre parfois 100 à 500 années.

- la répartition spatiale de l'averse

Il est souvent nécessaire, pour la prédétermination des crues par exemple, d'étudier, non seulement la répartition des précipitations sur la surface du bassin, mais leur distribution dans le temps au cours de la durée de l'averse. Les données de base de cette analyse sont fournies

par les diagrammes des pluviographes qui permettent d'établir exactement les hyètoigrammes relatifs aux stations correspondantes. La première phase de l'étude consiste à établir pour chaque averse ou tout au moins pour celles qui ont fourni des intensités importantes une fiche comportant les éléments suivants: la ou les cartes isohyètes concernant tout ou partie de la durée de l'averse, les hyètoigrammes relevés aux diverses stations et le hyètoigramme résultant. Chaque carte met en évidence les divers centres de l'averse permettant ainsi de localiser les zones d'intensité maximale de pluie; ces derniers ne se trouvant que très exceptionnellement au droit d'une station pluviométrique.

- l'averse type de projet

Selon, l'organisation mondiale de la météorologie (OMM, 2012), l'averse type de projet est une averse observée ou hypothétique, sur laquelle on se base pour la conception d'un ouvrage hydraulique.

3. Acquisition, mise en forme et construction de la base de données

3.1. Données de base

La recherche de la loi Hauteur-Durée-Fréquence ou Intensité-Durée-Fréquence s'effectue sur la base des enregistrements pluviographiques du réseau pluviométrique de l'ANRH. Les pluviogrammes sont dépouillés par un lecteur de courbes. La digitalisation a été réalisée par la méthode de dépouillement à intensités constantes. Les résultats de cette opération, longue et fastidieuse, sont fournis sous format papier ou numérique (fichier.txt ou fichier.xls). Le tableau 47, extrait du fichier pg_030301.xls relatif aux averses enregistrées à la station de Jijel entre 1984 et 2002, est une forme de présentation numérique des données pluviographiques fournies par le service hydrologique de l'ANRH.

Tableau 47. Dépouillement des épisodes pluvieux du 28 Septembre et du 05 Octobre 1998 à la station de Jijel (code : 30301, latitude : 36.82°N, longitude : 5.77°E, altitude : 5 m)

Code	Episode		Heure	Cumul	Code	Episode		Heure	Cumul
30301	28/9/98	28/9/98	23:45	0	30301	5/10/98	5/10/98	19:03	0
30301	28/9/98	28/9/98	23:55	1,7	30301	5/10/98	5/10/98	19:58	2,2
30301	28/9/98	29/9/98	02:35	6,7	30301	5/10/98	5/10/98	23:45	2,3
30301	28/9/98	29/9/98	04:24	6,9	30301	5/10/98	5/10/98	23:59	3,1
30301	28/9/98	29/9/98	05:01	8,8	30301	5/10/98	6/10/98	00:09	3,5
30301	28/9/98	29/9/98	05:21	8,8	30301	5/10/98	6/10/98	12:58	3,5
30301	28/9/98	29/9/98	06:24	18,9	30301	5/10/98	6/10/98	13:59	6,5
30301	28/9/98	29/9/98	07:56	24,9	30301	5/10/98	6/10/98	14:50	7,1
30301	28/9/98	29/9/98	08:10	24,9	...	...	...	...	...
30301	28/9/98	29/9/98	10:50	34,9	...	...	...	...	...
30301	28/9/98	29/9/98	12:06	35,8	...	...	...	...	...
30301	28/9/98	29/9/98	14:22	39,7	...	...	...	...	...

Dans cette étude, l'analyse des averses s'articule autour des données pluviographiques de 24 stations identifiées dans le tableau suivant.

Tableau 48. Identification des stations dotées d'un pluviographe

<i>Station</i>	<i>Code</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Période d'observation</i>	<i>Nombre d'années</i>	<i>Nombre d'averses</i>
Bassin des Côtiers Constantinois (03)							
Jijel	0301	36.82°N	5.77°E	5	1984/2002	18	308
El Agrem	0303	36.44°N	5.50°E	-	2001/2006	5	74
Zardezas Bge	0903	36.60°N	6.89°E	200	1984/1996	9	130
Bousnib	0905	36.50°N	6.96°E	900	1960/2002	24	1216
Lac Fetzara	1301	36.79°E	7.59°E	15	1973/1981	8	62
Chaffia Bge	1501	36.61°N	8.04°E	170	1987/1996	10	181
Ain Assel	1601	36.77°N	8.36°E	32	1970/2005	32	550
Bassin des Hauts Plateaux Constantinois (07)							
Foum Toub	0406	35.41°N	6.55°E	1102	1969/2004	29	219
Foum el Gueis	0720	35.50°N	6.94°E	945	1987/1997	10	96
Bassin du Kébir-Rhumel (10)							
Redjas Ferada	0201	36.42°N	6.12°E	360	1973/1979	7	45
Chelgoum Laid	0312	36.16°N	6.16°E	768	1984/1992	9	378
Ouled Rahmoun	0508	36.18°N	6.70°E	700	1984/1993	9	60
El Fourchi	0511	36.36°N	6.59°E	775	1974/1982	7	35
Settara	0711	36.72°N	6.34°E	280	1972/2002	31	286
Bassin de la Medjerda-Mellegue (12)							
Ain Seynour	0103	36.32°N	7.87°E	904	1996/2000	5	54
Cheikh Abdallah ⁷	0113	36.25°N	7.78°E	700	-	100	40
Tébessa	0301	35.40°N	8.12°E	890	1974/2005	31	141
Ain Zerga ⁸	0510	35.64°N	8.26°E	850	-	100	98
Bassin de la Seybouse (14)							
Aioun Settara	0105	36.07°N	7.39°E	741	1972/2004	27	148
Tamlouka	0204	36.16°N	7.14°E	740	1971/1979	8	46
Guelma Lycée	0412	36.46°N	7.44°E	260	1974/2001	27	249
Nechmaya	0605	36.59°N	7.56°E	265	1975/1979	3	4
Ain Berda	0606	36.66°N	7.61°E	100	1978/1999	22	322
Pont Bouchet	0631	36.82°N	7.74°E	3	1976/2005	29	263

La répartition spatiale du réseau des pluviographes disponibles est donnée sur la carte ci-dessous.

^{7,2} Variables aléatoires générées stochastiquement à partir des courbes Hauteur-Durée-Fréquence calculées par l'ANRH

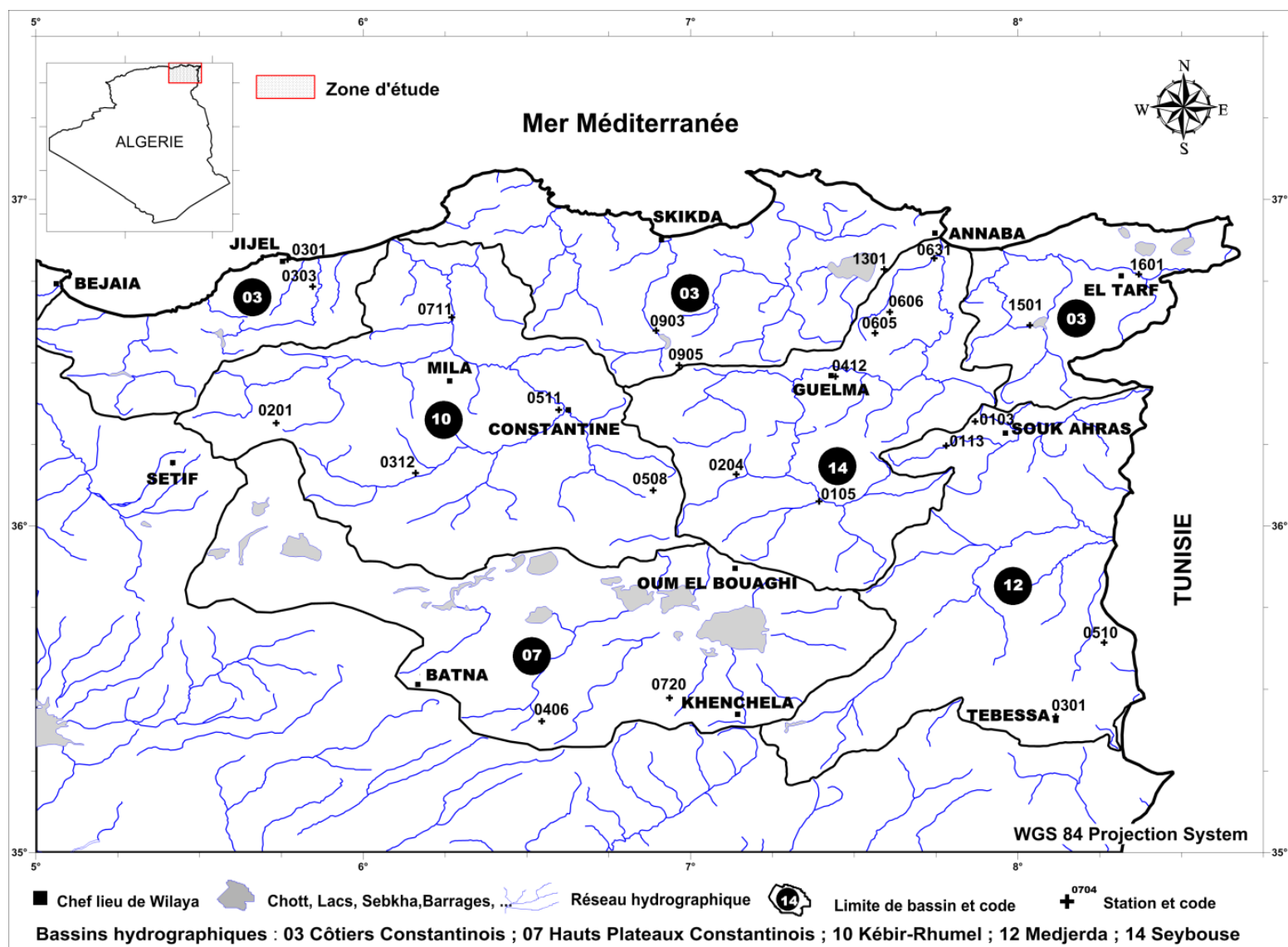


Fig. 33. Situation des stations à pluviographes

3.2. Choix des épisodes pluvieux et mise en forme des données

L'ensemble des enregistrements des précipitations tombées au cours d'une année est analysé pour repérer les événements pluvieux pouvant être qualifiés d'extrêmes, sévères ou torrentiels. Il s'agit d'épisodes donnant des intensités de l'ordre de 0,3 pouce/h (7 à 8 mm/h), selon l'école anglo-saxonne, ou des quantités de 30 mm/j, selon l'école francophone. Cette recherche, aussi méticuleuse, vise à sélectionner les averses pouvant donner des précipitations dont l'intensité moyenne est maximale au cours d'une durée constante choisie a priori. Une fois l'averse est choisie, la matrice de données du fichier d'origine fait l'objet d'un réaménagement pour être facilement introduite dans les différents programmes de calcul, notamment l'application 'Averse 2.0' (tableau 49).

**Tableau 49. Choix de l'averse et réaménagement de la matrice de données
(Episode pluvieux du 28/09/1998 à Jijel)**

Matrice de données d'origine					Matrice de donnée réaménagée			Calculs	
Code	Episode du		Heure	Cumul	Heure Début	Heure Fin	Pluie	Δt (min)	I (mm/h)
30301	28/9/98	28/9/98	23:45	0	23:45	23:55	1,7	10	10,2
30301	28/9/98	28/9/98	23:55	1,7	23:55	02:36	5	161	1,9
30301	28/9/98	29/9/98	02:35	6,7	02:36	04:24	0,2	108	0,0
30301	28/9/98	29/9/98	04:24	6,9	04:24	05:01	1,9	37	3,0
30301	28/9/98	29/9/98	05:01	8,8	05:01	05:21	0	20	0,0
30301	28/9/98	29/9/98	05:21	8,8	05:21	06:24	10,1	63	9,6
30301	28/9/98	29/9/98	06:24	18,9	06:24	07:56	6	92	4,2
30301	28/9/98	29/9/98	07:56	24,9	07:56	08:10	0	14	0,0
30301	28/9/98	29/9/98	08:10	24,9	08:10	10:50	10	160	3,6
30301	28/9/98	29/9/98	10:50	34,9	10:50	12:06	0,9	76	0,6
30301	28/9/98	29/9/98	12:06	35,8	12:06	14:22	3,9	136	1,8
30301	28/9/98	29/9/98	14:22	39,7					

Basées sur une approche probabiliste, les courbes HDF et IDF illustrent la distribution des fréquences des valeurs maximales de la hauteur (ou de l'intensité) de pluie sur une durée déterminée. L'obtention de ces courbes nécessite successivement la transformation des valeurs brutes en une série de valeurs maximales annuelles sur différentes durées puis l'ajustement consolidé ou non des lois de probabilité à ces séries de valeurs extrêmes (Lam *et al.*, 2004).

A partir des dépouillements des hyétogrammes on a ainsi calculé, au moyen du logiciel "Averse 2", les quantités maximales de pluies enregistrées au cours d'un épisode pluvieux de durée constante fixée à l'avance, d'origine variable et que la pluie soit continue ou discontinue (Conseil International de la Langue Française-CILF, 1978). La procédure consiste à décomposer la courbe des pluies cumulées en segments d'intensité constante. Pour chaque partie de la courbe, on a ensuite estimé automatiquement, par interpolation linéaire, la hauteur

de pluie enregistrée au cours d'une durée unitaire de 1 minute. On obtient ainsi la hauteur de la pluie de chaque minute pour toute la durée de l'averse.

Les durées de référence (D), choisies a priori, varient de 5 minutes à 24 heures. Pour chaque pas de temps, une somme mobile permet de sélectionner une valeur maximale par averse. Les plus grandes valeurs de la hauteur de pluie $H_{\max}(D)$ et de l'intensité de pluie $I_{\max}(D)$ sont affichées (Fig. 34).

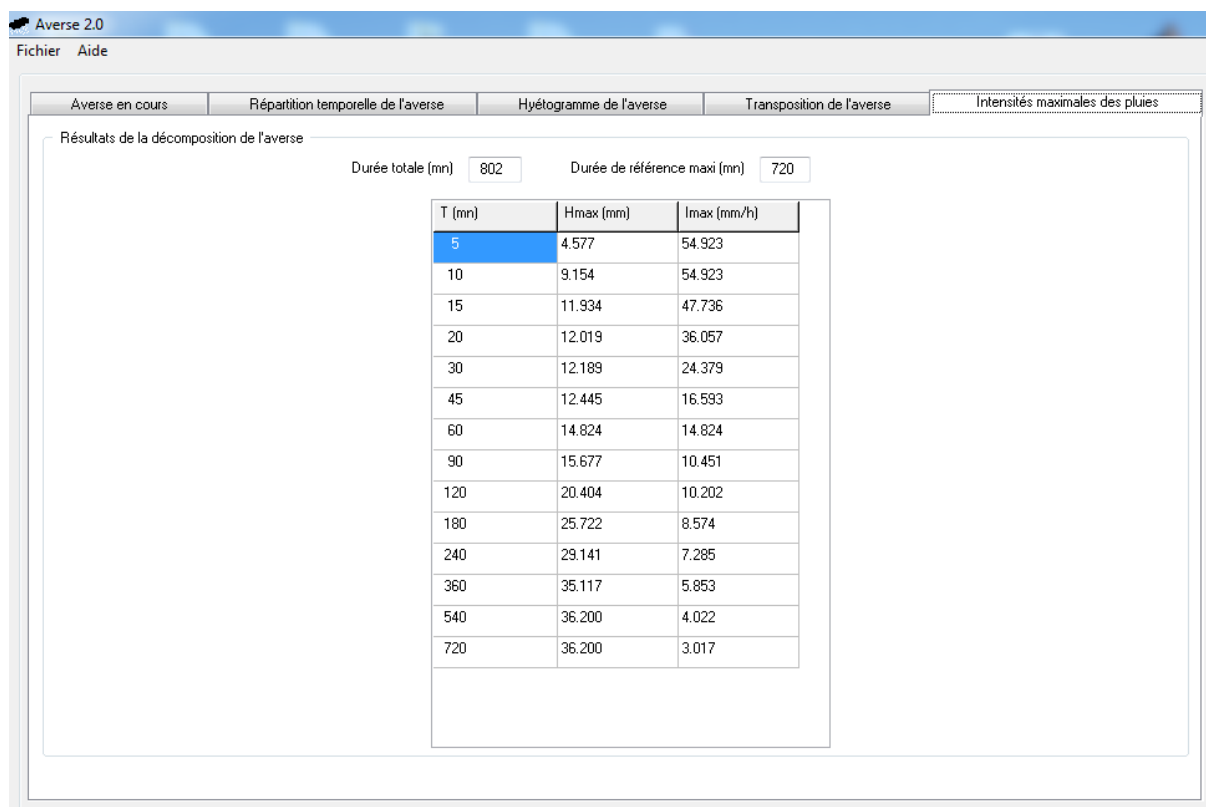


Fig. 34. Hauteurs et intensités maximales de l'épisode pluvieux du 24 au 25 Septembre 1985 à la station de Tébessa

La même procédure est répétée pour tous les épisodes pluvieux, jugés intenses, enregistrés au cours de l'année (tableaux 50 et 51).

Tableau 50. Variation de la hauteur de la pluie maximale avec la durée (Station de Tébessa - Année 1985-86)

Averse du	Durée de référence (minutes)						Durée de référence (heures)											
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24	
24-25 Sep	4,6	9,2	11,9	12,0	12,2	12,4	14,8	15,7	20,4	25,7	29,1	35,1	36,2	36,2	36,5	36,5	36,5	
28 Sep	5,7	7,0	7,1	7,3	7,7	10,9	11,4	12,5	13,5	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	
9 Janv.	0,5	0,9	1,3	1,8	2,7	3,4	3,6	4,0	4,3	5,5	7,5	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	
5-7 Mars	0,9	0,9	1,3	1,7	2,6	3,3	3,3	3,7	3,9	5,5	6,0	6,1	6,3	7,3	7,3	8,4	8,4	
19-20 Mars	0,3	0,7	1,0	1,3	2,0	3,0	4,0	5,7	6,1	7,0	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	
4-5 Juil.	11,1	22,1	22,2	22,3	22,6	23,0	29,3	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	60,3	
Max	11,1	22,1	22,2	22,3	22,6	23,0	29,3	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	60,3	

**Tableau 51. Variation de l'intensité maximale de la pluie avec la durée
(Station de Tébessa - Année 1985-86)**

Averse du	Durée de référence (minutes)						Durée de référence (heures)										
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24
24-25 Sep	55,2	55,2	47,6	36,0	24,4	16,5	14,8	10,5	10,2	8,6	7,3	5,9	4,0	3,0	2,4	2,0	1,5
28 Sep	68,4	42,0	28,4	21,9	15,4	14,5	11,4	8,3	6,8	4,7	3,5	2,3	1,6	1,2	0,9	0,8	0,6
9 Janv.	6,0	5,4	5,2	5,4	5,4	4,5	3,6	2,7	2,2	1,8	1,9	1,5	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4
5-7 Mars	10,8	5,4	5,2	5,1	5,2	4,4	3,3	2,5	2,0	1,8	1,5	1,0	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
19-20 Mars	3,6	4,2	4,0	3,9	4,0	4,0	4,0	3,8	3,1	2,3	1,9	1,3	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3
4-5 Juil.	133,2	132,6	88,8	66,9	45,2	30,7	29,3	24,7	18,5	12,3	9,3	6,2	4,1	3,1	2,5	2,1	2,5
Max	133,2	132,6	88,8	66,9	45,2	30,7	29,3	24,7	18,5	12,3	9,3	6,2	4,1	3,1	2,5	2,1	2,5

Ainsi, deux matrices, une pour les hauteurs, l'autre pour les intensités maximales annuelles des averses, relatives à 17 durées de références, sont obtenues pour chaque station (tableau 52 et 53). Ces chroniques constituent les données de base pour l'analyse fréquentielle des pluies extrêmes au Nord-est algérien.

Tableau 52. Pluies maximales annuelles à la station de Tébessa (série : 1974-2005)

Année	Durée de référence (minutes)						Durée de référence (heures)										
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24
1974-75	10,5	11,4	11,6	11,8	12,7	18,0	21,9	27,9	28,3	36,3	38,0	44,8	46,2	46,2	46,2	46,2	46,2
1975-76	3,6	4,6	7,0	8,3	9,9	12,1	13,2	14,3	15,2	17,1	17,1	20,1	20,9	27,0	27,9	27,9	27,9
1976-77	1,5	3,1	4,6	4,7	4,8	5,3	6,5	9,0	12,0	17,3	21,4	29,4	41,6	47,1	49,9	57,0	69,7
1977-78	20,6	20,7	20,7	20,7	20,8	20,9	21,0	21,1	24,9	28,1	28,1	28,1	33,9	41,1	41,7	41,7	43,7
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1985-86	11,1	22,1	22,2	22,3	22,6	22,9	29,3	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	60,3
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2000-01	4,3	6,6	8,1	8,9	10,2	11,9	13,1	14,8	15,9	17,9	19,2	21,5	23,7	25,2	26,0	26,9	29,0
2001-02	5,0	7,7	9,5	10,4	11,9	14,0	15,4	17,3	18,7	20,9	22,5	25,2	27,8	29,6	30,5	31,5	34,0
2002-03	10,9	16,8	20,6	22,6	25,9	30,4	33,5	37,7	40,6	45,6	49,0	54,9	60,5	64,4	66,4	68,6	74,0
2003-04	2,8	5,6	8,3	9,7	14,2	21,4	28,5	34,6	39,1	47,0	53,2	56,4	56,6	57,3	59,6	59,6	59,6
2004-05	3,4	3,4	3,5	3,5	5,1	6,8	7,6	12,0	16,0	22,1	23,7	27,9	31,8	36,7	37,8	37,8	39,2

Tableau 53. Intensité maximale annuelle des pluies à la station de Tébessa (série : 1974-2005)⁹

Année	Durée de référence (minutes)						Durée de référence (heures)											
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24	
1974-75	126,0	68,4	46,4	35,4	25,4	24,0	21,9	18,6	14,2	12,1	9,5	7,5	5,1	3,9	3,1	2,6	1,9	
1975-76	43,2	27,6	28,0	24,9	19,8	16,1	13,2	9,5	7,6	5,7	4,3	3,4	2,3	2,3	1,9	1,6	1,2	
1976-77	18,0	18,6	18,4	14,1	9,6	7,1	6,5	6,0	6,0	5,8	5,4	4,9	4,6	3,9	3,3	3,2	2,9	
1977-78	247,2	124,2	82,8	62,1	41,6	27,9	21,0	14,1	12,5	9,4	7,0	4,7	3,8	3,4	2,8	2,3	1,8	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
1985-86	133,2	132,6	88,8	66,9	45,2	30,7	29,3	24,7	18,5	12,3	9,3	6,2	4,1	3,1	2,5	2,1	2,5	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
2000-01	51,0	39,4	32,3	26,6	20,3	15,9	13,1	9,8	8,0	6,0	4,8	3,6	2,6	2,1	1,7	1,5	1,2	
2001-02	59,8	46,2	37,9	31,1	23,8	18,6	15,4	11,5	9,3	7,0	5,6	4,2	3,1	2,5	2,0	1,8	1,4	
2002-03	130,3	100,6	82,4	67,8	51,9	40,5	33,5	25,1	20,3	15,2	12,3	9,2	6,7	5,4	4,4	3,8	3,1	
2003-04	33,6	33,6	33,2	29,1	28,4	28,5	28,5	23,1	19,6	15,7	13,3	9,4	6,3	4,8	4,0	3,3	2,5	
2004-05	40,8	20,4	14,0	10,5	10,2	9,1	7,6	8,0	8,0	7,4	5,9	4,7	3,5	3,1	2,5	2,1	1,6	

4. Construction des courbes HDF et IDF

Une courbe HDF (IDF) est une relation entre la hauteur maximale (H en mm) ou l'intensité moyenne maximale (I en mm/h), la durée de référence ou résolution ou encore durée d'agrégation (D en minutes) de cette pluie et la période de retour de l'événement pluvieux (T en années). Elle donne la hauteur (H) ou l'intensité (I) de pluie prévue lors d'une averse de durée (D) et de fréquence F. Elle peut être représentée sous forme graphique ou analytique. Une fois qu'une base de données fiable est construite, la méthode utilisée pour établir la relation HDF ou IDF est classique et suit trois étapes distinctes. Utilisée par de nombreux auteurs (Demarée, 1985 ; Koutsoyiannis et Manetas, 1998 ; Lam et al., 2004; Mohymont et Démarée, 2006 ; Kiingumbi et Mailhot, 2010), elle consiste à ajuster une distribution de probabilité théorique à la série annuelle pour chaque durée d'agrégation, à estimer la hauteur ou l'intensité de la pluie attendue pour chaque durée de référence et pour des périodes de retour bien définies à l'aide de la loi de probabilité utilisée dans la première étape et à appliquer une régression curviligne entre la hauteur ou l'intensité (variable expliquée estimée au niveau de la deuxième étape) et la durée de l'averse (variable explicative). La méthode des moindres carrés est l'outil privilégié pour l'estimation des paramètres des relations

⁹ Ce tableau est présenté pour des raisons d'illustration. La chronique complète contient 31 ans d'observations.

empiriques HDF ou IDF. La chaîne des calculs est décrite par l'organigramme ci-dessous (Fig. 35).

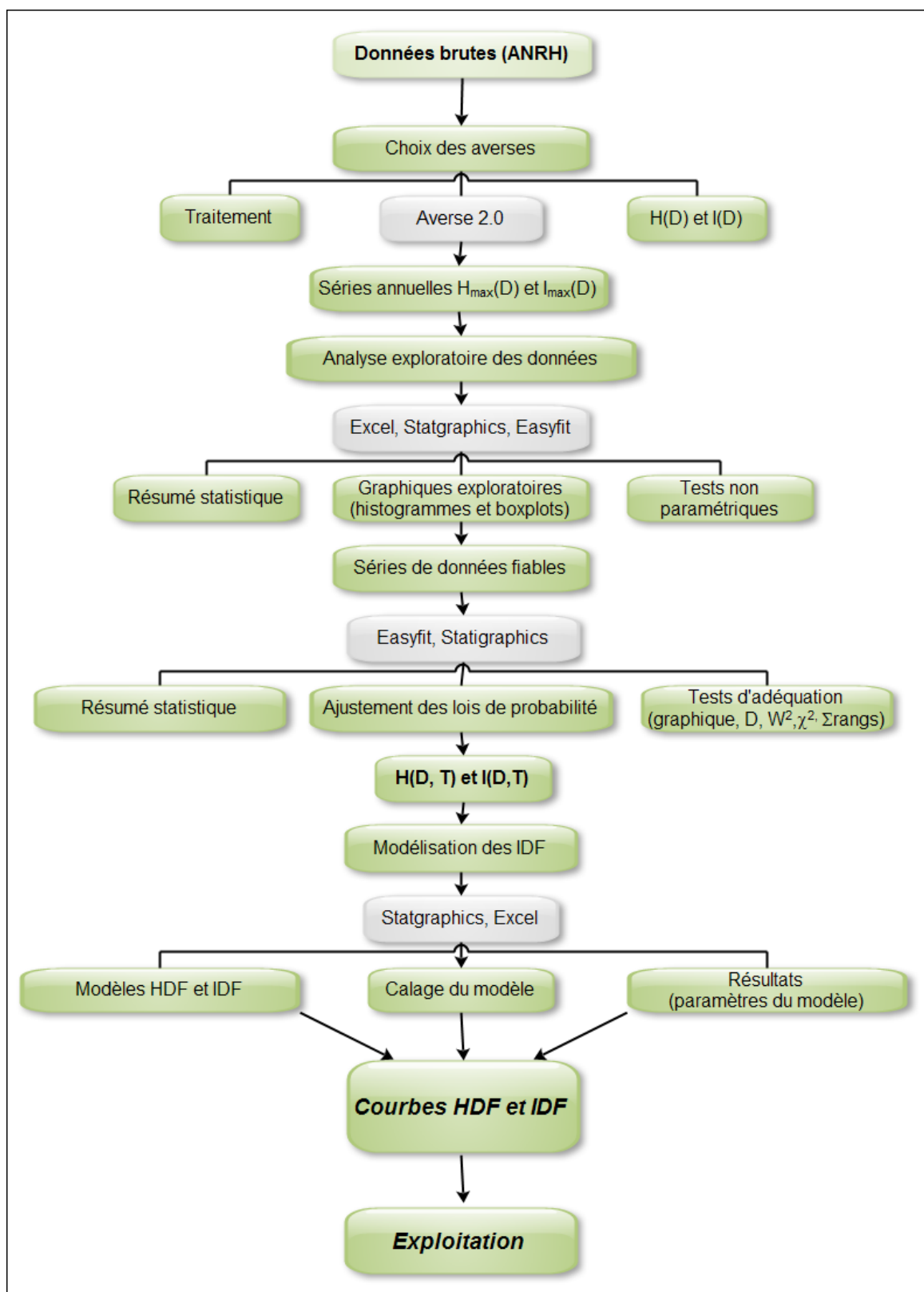


Fig. 35. Procédure de calcul des courbes HDF et IDF

Pour chaque station, les 34 séries chronologiques (données brutes) ont fait l'objet d'une analyse exploratoire pour vérifier la fiabilité des données pour l'analyse de fréquence en usant des techniques décrites en détail dans le chapitre précédent. Dix-huit postes pluviométriques contenant au moins sept années complètes d'observations sont retenus pour la construction de courbes HDF et/ou IDF. Les autres sont éliminés pour insuffisance de la taille de l'échantillon (El Agrem, Ain Seynour et Nechmaya) ou parce que les données contiennent des valeurs anormales par comparaison à celles des pluviomètres les plus proches (barrage de Zardezas, lac de Fetzara et El Fourchi).

4.1. Analyse statistique descriptive des averses

Après avoir vérifié la qualité des données, on a procédé au traitement statistique descriptif afin de faire ressortir les principales caractéristiques de la distribution empirique des pluies intenses au niveau du Nord-est algérien. Les résultats des calculs des paramètres statistiques les plus significatifs sont présentés aux tableaux 54 à 57.

L'examen des résumés statistiques consignés aux tableaux 54 à 57 montre que des fortes chutes de pluie sont observées sur des temps relativement très courts. Dans la zone d'étude, les pluviographes ont enregistré des valeurs maximales en 5 minutes de 25 mm à Ain Assel, 19 mm à Guelma, 21 mm à Tébessa et 26 mm à Foum Toub. Les intensités respectives sont de l'ordre de 300, 230, 250 et 312 mm/h. Par endroit la hauteur des pluies peut atteindre ou dépasser les 30 mm en 2 heures (Jijel 53 mm, Pont Bouchet: 42 mm, Ain Assel: 109 mm, Ain Berda: 34 mm, Settara: 48 mm, Bousnib: 45 mm, Guelma: 37 mm, Ouled Rahmoun : 32 mm, Tébessa: 41 mm, Foum Toub : 58 mm et Foum El Gueis : 64 mm). Ces exemples montrent que les pluies intenses se répartissent de façon très irrégulière aussi bien dans le temps que dans l'espace et se caractérisent souvent par un pouvoir destructif remarquable (cas des inondations catastrophiques de Oued Saf-Saf : 137 en 24 heures mm en 1984 à Zardezas).

A travers les exemples présentés aux tableaux ci-dessous, la variabilité des pluies de courtes durées augmente du Nord vers le Sud. Elle est également plus importante pour les durées de référence inférieure à 30 minutes, le coefficient de variation étant de l'ordre de 50 %.

**Tableau 54. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Jijel
(Zone humide)**

Statistique	Durée (min)						Durée (h)										
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Hauteur (mm)																	
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Min	2,1	4,3	6,1	6,8	8,5	11,6	13,1	15,8	16,6	17,3	17,3	17,7	21,0	24,7	25,4	25,4	25,5
Max	11,9	23,8	35,8	35,5	47,4	50,2	52,6	52,6	52,6	53,0	55,4	61,0	71,4	80,4	89,9	101,0	116,1
X _{5%}	2,1	4,3	6,1	6,8	8,5	11,6	13,1	15,8	16,6	17,3	17,3	17,7	21,0	24,7	25,4	25,4	25,5
X _{10%}	2,3	4,5	6,2	8,1	10,9	12,4	15,3	15,9	19,4	24,0	27,1	27,9	32,5	35,3	36,2	40,5	44,5
X _{25%}	3,8	6,3	8,9	10,2	11,9	16,6	19,5	22,7	24,9	27,6	28,8	35,9	41,0	44,2	48,1	53,0	56,3
X _{50%}	5,1	8,7	11,2	12,4	17,0	20,9	23,4	26,3	29,1	34,5	37,8	43,4	46,4	49,6	55,9	59,7	67,8
X _{75%}	8,2	12,4	16,0	19,1	23,9	28,2	30,3	38,5	40,4	42,0	48,2	49,0	55,1	58,3	62,8	68,0	74,5
X _{90%}	11,7	17,7	26,5	31,2	33,8	42,0	49,5	46,8	48,3	51,3	53,2	58,5	63,4	78,4	88,8	93,3	101,2
X _{95%}	11,9	23,8	35,8	45,5	47,4	50,2	52,6	52,6	52,6	53,0	55,4	61,0	71,4	80,4	89,9	101,0	116,1
$\bar{x}$	6,0	10,2	13,3	15,9	19,4	23,7	26,5	29,4	31,5	34,8	38,3	42,5	47,5	51,7	56,4	60,7	67,5
s	3,0	5,0	7,5	9,3	9,8	10,0	10,5	10,4	9,8	9,5	10,7	10,6	12,0	13,3	15,8	16,9	19,9
Cv	0,49	0,49	0,56	0,60	0,51	0,42	0,40	0,35	0,31	0,27	0,28	0,25	0,25	0,26	0,28	0,28	0,29
Cs	0,67	1,30	1,84	2,14	1,52	1,31	1,43	0,76	0,64	0,33	-0,06	-0,40	-0,06	0,52	0,53	0,58	0,49
Intensité (mm/h)																	
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Min	25,2	25,8	24,4	20,4	17,0	15,5	13,1	10,5	8,3	5,8	4,3	3,0	2,3	2,1	1,7	1,4	1,1
Max	142,8	142,8	143,2	136,5	94,8	66,9	52,6	35,1	26,3	17,7	13,9	10,2	7,9	6,7	6,0	5,6	4,8
X _{5%}	27,2	26,8	24,7	24,0	21,6	16,5	15,1	10,6	9,6	7,9	6,6	4,6	3,5	2,9	2,4	2,2	1,7
X _{10%}	35,2	31,6	25,4	25,2	22,8	18,8	17,5	11,8	10,2	8,8	7,1	5,4	3,9	3,3	2,7	2,5	1,9
X _{25%}	46,8	39,8	38,5	32,3	24,0	22,6	20,2	15,4	12,6	9,3	7,3	6,1	4,6	3,8	3,3	3,0	2,4
X _{50%}	60,6	51,9	44,6	37,2	34,0	27,8	23,4	17,5	14,6	11,5	9,5	7,2	5,2	4,1	3,7	3,3	2,8
X _{75%}	96,0	73,2	62,3	55,2	46,0	37,2	29,1	24,8	19,3	14,0	11,7	8,1	6,1	4,8	4,1	3,8	3,1
X _{90%}	121,9	95,3	84,1	71,8	62,9	47,1	38,6	28,4	21,7	15,4	13,1	9,1	6,9	5,6	4,9	4,2	3,7
X _{95%}	140,8	108,1	108,2	96,0	69,1	56,6	49,6	31,4	24,3	17,1	13,3	9,8	7,1	6,5	5,9	5,2	4,2
$\bar{x}$	72,5	61,0	53,4	47,8	38,9	31,6	26,5	19,6	15,8	11,6	9,6	7,1	5,3	4,3	3,8	3,4	2,8
s	35,9	29,7	30,1	28,0	19,7	13,3	10,5	7,0	4,9	3,2	2,7	1,8	1,3	1,1	1,1	0,9	0,8
Cv	0,49	0,49	0,56	0,59	0,51	0,42	0,40	0,35	0,31	0,27	0,28	0,25	0,25	0,26	0,28	0,28	0,30
Cs	0,7	1,3	1,8	2,1	1,5	1,3	1,4	0,8	0,6	0,3	-0,1	-0,4	-0,1	0,5	0,5	0,6	0,5

**Tableau 55. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Guelma
(Zone subhumide)**

Statistique	Durée (min)						Durée (h)										
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Hauteurs (mm)																	
N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Min	0,9	1,5	2,3	9,2	3,6	4,3	5,7	8,2	9,2	10,3	11,3	12,7	15,3	16,4	16,6	16,8	17,4
Max	18,6	22,3	23,5	23,5	23,5	23,5	25,8	30,9	36,8	55,2	73,6	81,6	81,6	83,0	89,9	95,4	102,6
X _{5%}	1,0	1,7	2,5	9,9	3,6	4,7	6,2	8,3	9,9	11,3	11,9	12,7	15,5	16,4	16,9	17,0	17,4
X _{10%}	1,3	2,5	3,1	11,2	3,9	5,8	7,7	9,3	11,2	12,7	13,8	14,7	19,1	21,2	22,7	24,0	25,3
X _{25%}	2,3	3,7	5,6	12,6	8,5	9,8	10,6	11,9	12,6	15,3	16,9	19,4	21,8	24,5	26,1	29,6	32,5
X _{50%}	4,3	7,0	8,9	15,8	11,4	12,6	13,1	15,4	15,8	19,3	20,7	23,7	29,6	30,7	32,6	36,2	37,7
X _{75%}	6,7	11,2	14,3	22,7	18,0	18,2	18,5	20,9	22,7	26,3	28,9	30,0	37,9	39,8	42,5	43,7	53,5
X _{90%}	15,9	16,9	18,0	27,3	21,8	22,3	23,4	26,4	27,3	33,9	37,8	51,9	57,7	60,9	62,4	67,5	69,2
X _{95%}	17,8	22,0	23,1	34,8	23,2	23,4	24,9	29,4	34,8	46,7	61,3	71,7	77,2	82,4	86,6	89,9	94,2
$\bar{x}$	5,6	8,4	10,1	18,2	12,4	13,4	14,5	16,4	18,2	21,5	24,7	28,3	33,1	35,7	38,1	40,3	43,5
s	4,7	5,5	5,6	6,7	5,7	5,4	5,4	6,0	6,7	9,3	12,5	15,0	15,7	16,9	17,5	18,2	18,6
Cv	0,83	0,65	0,56	0,37	0,46	0,40	0,38	0,36	0,37	0,43	0,51	0,53	0,47	0,47	0,46	0,45	0,43
Cs	1,68	1,10	0,76	1,09	1,09	0,38	0,49	0,82	1,10	1,96	2,50	2,13	1,74	1,67	1,62	1,56	1,52
Intensité (mm/h)																	
N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Min	10,8	9,0	9,2	9,0	7,2	5,7	5,7	5,5	4,6	3,4	2,8	2,1	1,7	1,4	1,1	0,9	0,7
Max	223,2	133,8	94,0	70,5	47,0	31,3	25,8	20,6	18,4	18,3	18,4	13,6	9,1	6,9	6,0	5,3	4,3
X _{5%}	14,8	12,7	12,0	10,7	7,8	7,2	7,2	5,9	5,5	4,2	3,3	2,2	1,9	1,5	1,3	1,1	0,9
X _{10%}	16,3	16,7	14,5	14,0	11,6	8,9	8,0	7,0	5,8	4,5	3,7	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2
X _{25%}	31,2	28,4	25,1	21,6	17,4	13,1	11,0	8,0	6,5	5,1	4,4	3,3	2,5	2,1	1,8	1,7	1,4
X _{50%}	51,6	42,0	35,6	32,7	22,8	16,8	13,1	10,3	7,9	6,4	5,2	4,0	3,3	2,6	2,2	2,0	1,6
X _{75%}	75,6	64,8	54,4	44,9	33,7	22,6	18,5	13,4	11,2	8,6	7,2	5,0	4,1	3,2	2,7	2,3	2,1
X _{90%}	140,2	93,1	67,4	57,1	40,2	28,7	23,0	16,5	12,8	10,2	8,8	7,5	5,8	4,6	3,7	3,4	2,6
X _{95%}	195,1	118,6	83,0	64,5	44,7	30,5	23,5	17,9	15,1	11,3	10,2	9,2	7,3	6,2	5,0	4,2	3,2
$\bar{x}$	67,2	50,6	40,5	34,1	24,9	17,8	14,5	10,9	9,1	7,2	6,2	4,7	3,7	3,0	2,5	2,2	1,8
s	55,8	33,2	22,6	17,2	11,4	7,2	5,4	4,0	3,4	3,1	3,1	2,5	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8
Cv	0,83	0,66	0,56	0,50	0,46	0,40	0,38	0,36	0,37	0,43	0,51	0,53	0,47	0,47	0,46	0,45	0,43
Cs	1,67	1,10	0,76	0,52	0,38	0,38	0,49	0,82	1,10	1,94	2,47	2,13	1,74	1,67	1,62	1,56	1,52

**Tableau 56. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Tébessa
(Zone semi-aride)**

Statistique	Durée (min)						Durée (h)										
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Hauteur (mm)																	
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Min	0,6	1,1	1,7	2,2	3,3	5,0	6,1	7,0	8,4	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Max	20,6	22,1	27,4	26,8	27,3	30,4	33,5	37,7	40,6	47,0	53,2	56,4	60,5	64,4	66,4	68,6	74,0
X _{5%}	0,7	1,5	2,2	2,9	4,1	5,2	6,3	7,5	8,6	10,2	11,2	13,5	14,6	14,9	15,3	15,5	15,5
X _{10%}	1,5	3,1	3,5	3,7	4,9	5,5	7,1	8,8	10,8	12,3	13,6	17,6	19,8	21,2	21,2	21,2	21,6
X _{25%}	2,5	4,1	5,5	6,7	6,9	9,3	11,1	12,2	13,5	15,2	17,1	21,2	22,6	22,6	25,1	26,9	27,1
X _{50%}	4,3	7,7	8,7	10,3	11,9	14,0	14,0	16,8	18,2	20,2	21,5	23,8	26,1	28,6	28,7	28,7	31,3
X _{75%}	7,8	11,2	13,3	15,0	17,8	20,9	21,9	23,5	24,9	28,1	28,1	29,4	36,6	41,1	41,7	42,8	45,9
X _{90%}	11,0	19,3	20,7	21,9	22,2	24,5	29,1	33,8	36,4	41,4	41,9	44,4	45,6	46,9	49,6	56,3	60,2
X _{95%}	15,7	21,3	23,2	24,3	26,5	29,0	31,5	37,3	39,7	46,2	50,7	55,5	58,2	46,1	62,3	63,2	71,4
$\bar{x}$	5,4	8,4	10,3	11,3	12,9	15,1	16,7	18,8	20,2	22,7	24,4	27,4	30,1	32,1	33,1	34,2	36,9
s	4,3	5,5	6,0	6,2	6,5	7,0	7,8	8,6	9,0	10,3	10,6	10,7	11,4	11,9	12,5	13,3	15,3
Cv	0,79	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46	0,47	0,46	0,44	0,45	0,43	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,42
Cs	1,76	1,14	0,80	0,72	0,44	0,30	0,51	0,75	0,86	1,03	1,20	1,30	0,96	0,82	0,83	0,80	0,76
Intensité (mm/h)																	
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Min	7,2	6,6	6,8	6,6	6,6	6,7	6,1	4,7	4,2	3,0	2,2	1,5	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4
Max	247,2	132,6	98,8	80,4	54,6	40,5	33,5	25,1	20,3	15,7	13,3	9,4	6,7	5,4	4,4	3,8	3,1
X _{5%}	13,8	14,4	12,0	10,4	9,4	7,1	6,8	5,5	4,9	3,9	3,3	2,8	2,1	1,7	1,4	1,1	0,9
X _{10%}	18,0	18,6	14,8	12,9	10,2	8,4	7,4	6,0	5,5	4,2	3,6	3,2	2,2	1,8	1,4	1,2	0,9
X _{25%}	30,6	26,1	23,0	21,0	15,7	13,3	11,7	8,3	6,9	5,1	4,5	3,5	2,5	2,0	1,7	1,5	1,1
X _{50%}	51,0	46,2	34,8	31,0	23,8	18,7	14,0	11,2	9,1	6,7	5,4	4,0	2,9	2,4	1,9	1,6	1,3
X _{75%}	83,8	63,3	53,0	42,9	35,0	27,7	21,7	15,4	12,2	8,9	6,9	4,8	4,0	3,3	2,7	2,3	1,9
X _{90%}	130,3	100,6	82,4	62,1	41,6	30,5	28,5	20,5	17,0	12,3	9,5	7,2	4,8	3,9	3,2	3,0	2,5
X _{95%}	140,7	121,8	85,8	67,3	48,5	35,3	29,8	23,9	19,0	14,7	11,5	8,3	5,7	4,4	3,7	3,2	2,7
$\bar{x}$	64,9	50,1	41,1	33,8	25,8	20,2	16,7	12,5	10,1	7,6	6,1	4,6	3,3	2,7	2,2	1,9	1,5
s	51,4	32,8	24,0	18,7	12,9	9,3	7,8	5,7	4,5	3,4	2,6	1,8	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6
Cv	0,79	0,66	0,59	0,55	0,50	0,46	0,47	0,46	0,44	0,45	0,43	0,39	0,38	0,37	0,38	0,39	0,42
Cs	1,76	1,14	0,80	0,72	0,44	0,30	0,51	0,75	0,86	1,03	1,22	1,30	0,96	0,82	0,83	0,79	0,76

**Tableau 57. Résumé statistique des pluies intenses à la station de Foug Toub
(Zone semi-aride)**

Statistique	Durée (min)						Durée (h)										
	5	10	15	20	30	45	1	1.5	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Hauteur (mm)																	
N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Min	0,5	0,7	1,1	1,4	2,2	3,1	3,3	3,9	4,5	5,8	6,9	10,0	11,9	11,9	12,0	12,0	14,6
Max	26,0	26,1	26,1	26,2	30,5	43,6	54,7	57,6	57,6	57,6	58,6	61,7	66,1	76,2	80,1	82,9	102,3
X _{5%}	0,7	1,4	2,2	2,9	4,3	6,0	7,4	8,3	9,6	11,7	12,3	12,5	16,8	19,0	19,9	19,9	19,9
X _{10%}	1,1	2,1	2,7	3,6	5,4	6,8	7,8	9,4	10,2	12,2	15,1	16,3	19,8	20,2	21,1	21,5	22,5
X _{25%}	2,1	3,9	5,4	6,1	7,3	8,7	10,2	11,8	13,7	16,2	19,0	22,8	26,5	26,5	27,8	29,0	29,2
X _{50%}	4,3	8,7	10,6	11,1	14,2	14,5	16,6	16,7	17,0	21,7	23,7	29,2	33,9	38,4	38,7	40,9	45,4
X _{75%}	8,0	11,6	14,0	14,8	19,5	22,1	23,6	27,0	28,1	28,2	30,1	34,8	40,3	48,5	55,1	55,1	60,8
X _{90%}	11,0	14,2	20,2	24,7	26,3	26,8	26,8	30,9	32,2	36,7	40,6	51,2	51,3	54,9	60,3	62,6	70,3
X _{95%}	18,1	19,5	22,8	25,2	27,5	29,4	29,9	31,9	34,2	47,4	55,0	57,8	60,1	60,1	62,9	68,6	77,2
$\bar{x}$	6,2	8,8	10,8	12,3	14,1	16,1	17,9	20,2	21,4	24,3	26,9	30,6	34,1	37,4	40,1	41,9	45,7
s	5,9	6,1	6,7	7,4	7,9	9,1	10,4	11,0	11,0	11,7	12,5	13,2	13,2	14,9	16,4	17,5	20,9
Cv	0,95	0,69	0,62	0,60	0,56	0,57	0,58	0,54	0,51	0,48	0,47	0,43	0,39	0,40	0,41	0,42	0,46
Cs	1,93	0,99	0,56	0,45	0,48	1,04	1,55	1,34	1,23	1,13	1,16	0,86	0,69	0,55	0,44	0,40	0,71
Intensité (mm/h)																	
N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Min	6,0	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	3,3	2,6	2,2	1,9	1,7	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6
Max	312,5	156,5	104,5	78,5	61,0	58,1	54,7	38,4	28,8	19,2	14,7	10,3	7,3	6,3	5,3	4,6	4,3
X _{5%}	8,7	8,7	8,7	8,7	8,6	7,9	7,4	5,5	4,8	3,9	3,1	2,1	1,9	1,6	1,3	1,1	0,8
X _{10%}	12,7	12,7	10,8	10,8	10,7	9,1	7,8	6,3	5,1	4,1	3,8	2,7	2,2	1,7	1,4	1,2	0,9
X _{25%}	25,0	23,4	21,4	18,4	14,6	11,5	10,2	7,9	6,8	5,4	4,7	3,8	2,9	2,2	1,9	1,6	1,2
X _{50%}	52,2	52,2	42,3	33,4	28,4	19,3	16,6	11,1	8,5	7,2	5,9	4,9	3,8	3,2	2,6	2,3	1,9
X _{75%}	96,3	69,6	55,8	44,3	39,1	29,5	23,6	18,0	14,1	9,4	7,5	5,8	4,5	4,0	3,7	3,1	2,5
X _{90%}	132,0	85,4	80,6	74,1	52,6	35,7	26,8	20,6	16,1	12,2	10,1	8,5	5,7	4,6	4,0	3,5	2,9
X _{95%}	216,8	116,9	91,3	75,5	55,0	39,2	29,9	21,3	17,1	15,8	13,8	9,6	6,7	5,0	4,2	3,8	3,2
$\bar{x}$	74,8	52,9	43,3	37,0	28,3	21,4	17,9	13,5	10,7	8,1	6,7	5,1	3,8	3,1	2,7	2,3	1,9
s	70,7	36,7	27,0	22,1	15,8	12,2	10,4	7,3	5,5	3,9	3,1	2,2	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9
Cv	0,95	0,69	0,62	0,60	0,56	0,57	0,58	0,54	0,51	0,48	0,47	0,43	0,39	0,40	0,41	0,42	0,46
Cs	1,93	0,99	0,56	0,45	0,48	1,04	1,55	1,34	1,23	1,13	1,16	0,86	0,69	0,56	0,44	0,40	0,71

Les intervalles inter-quartile et inter-décile, étant très larges, traduisent les grandes fluctuations des événements pluviométriques extrêmes à une échelle fine de temps. De plus,

la variation de l'intensité de la pluie, traduite par le changement de pente de la courbe des pluies cumulées, au sein d'un même événement pluvieux est également très marquée. Les figures 36 à 39, relatives à quelques cas pris au hasard, rendent compte de ces irrégularités.

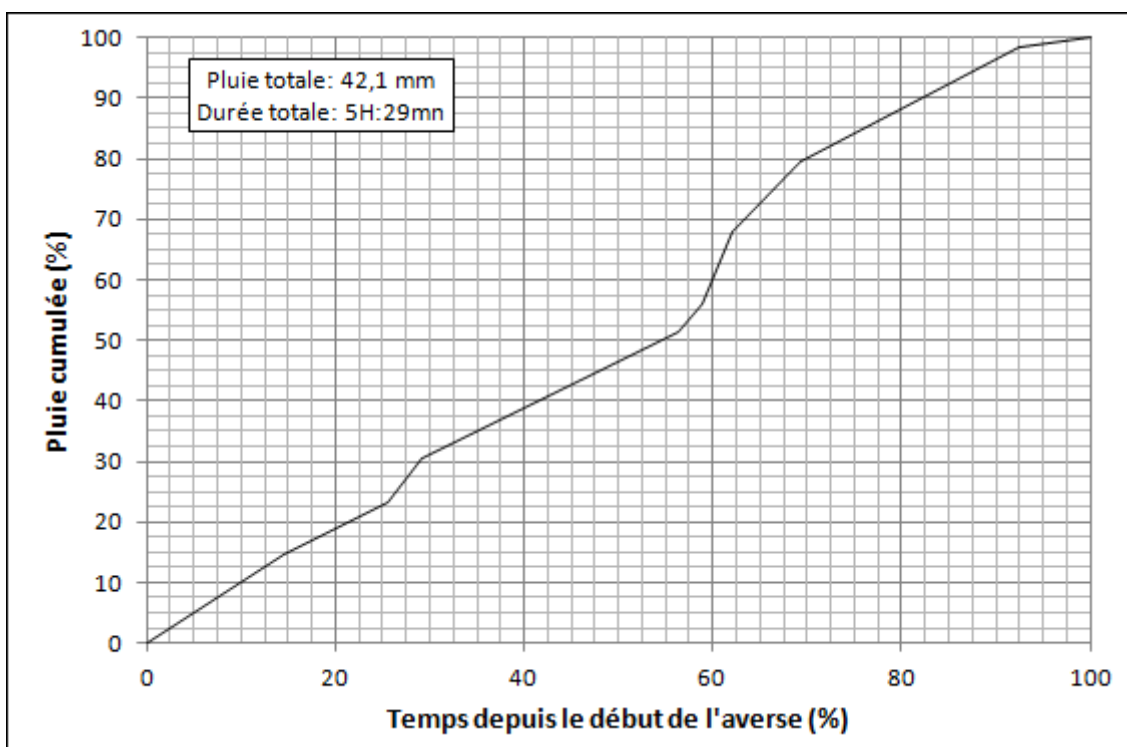


Fig. 36. Structure de l'épisode pluvieux du 10 Janvier 1972 à Ain Assel

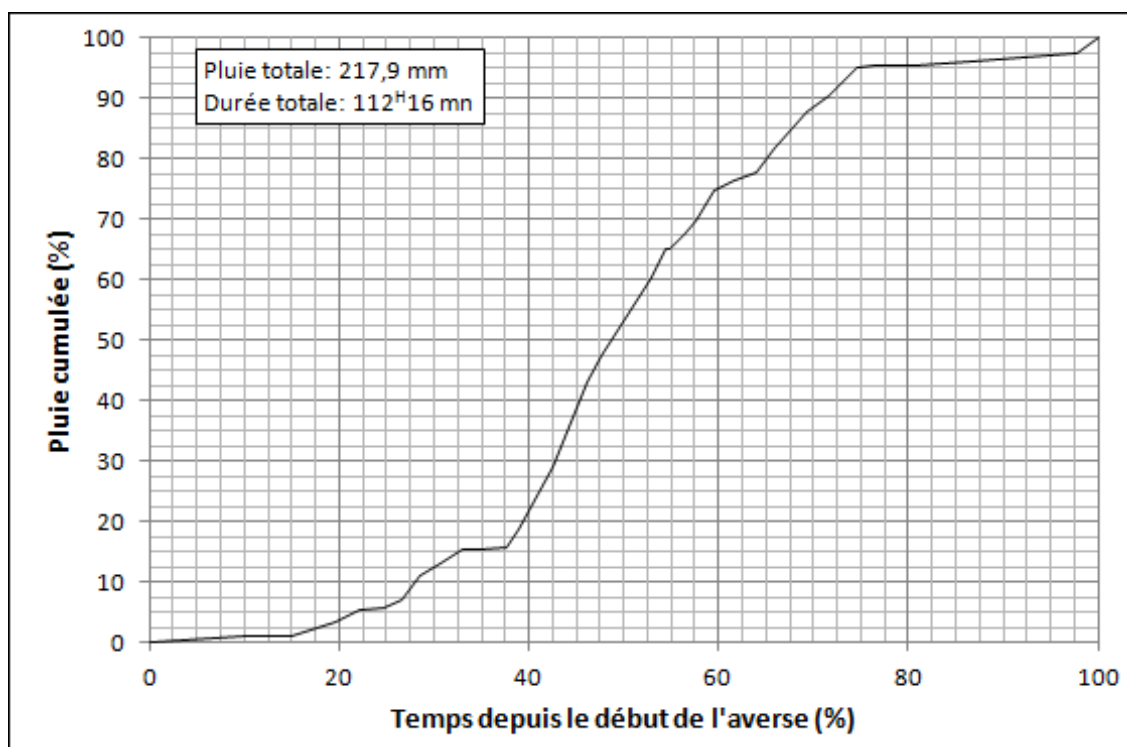


Fig. 37. Structure de l'épisode pluvieux du 27 Décembre au 1^{er} Janvier 1985 à Ouled Rahmoun.

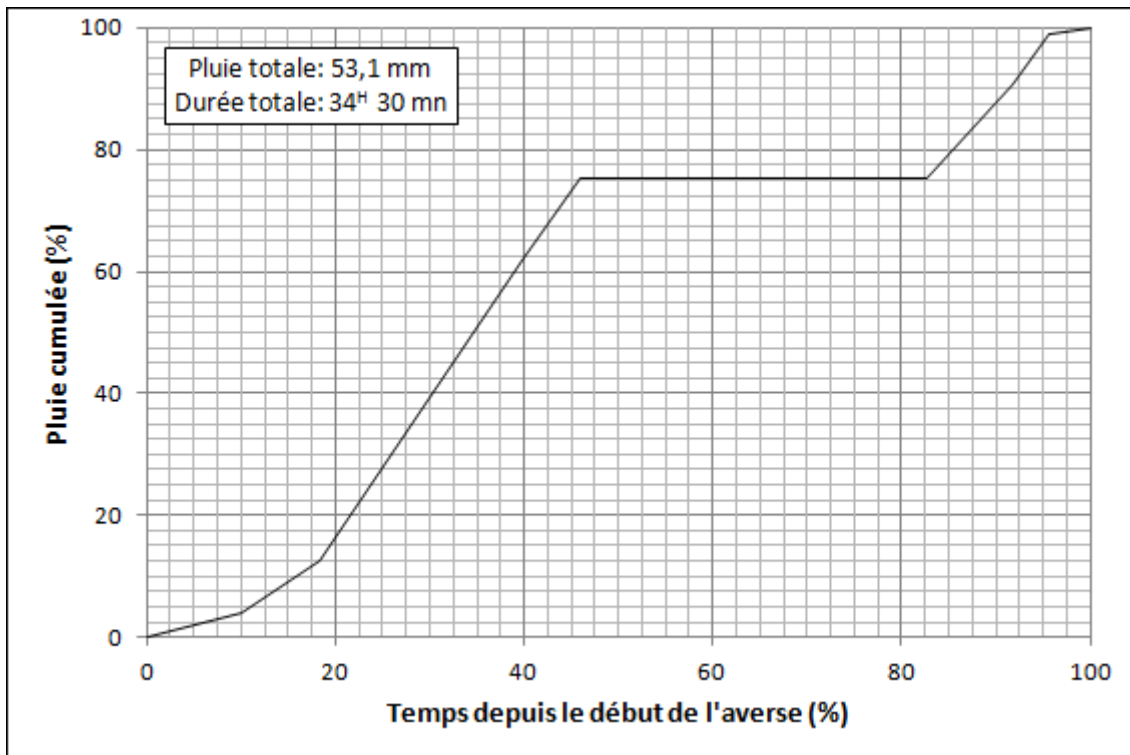


Fig. 38. Structure de l'épisode pluvieux du 6 au 8 Octobre 1972 à Aioun Settara

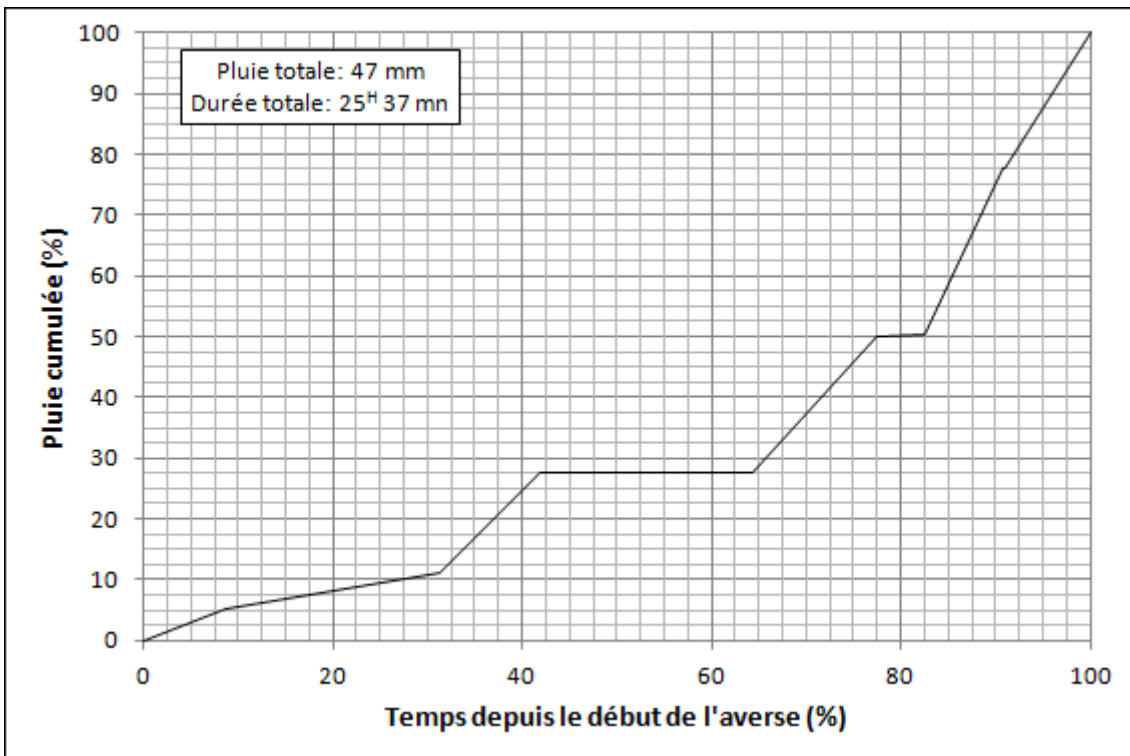


Fig. 39. Structure de l'épisode pluvieux du 4 au 5 Décembre 2004 à Foum Toub

Enfin, il est notoire que cette variabilité tient, en partie, pour le Nord-est algérien, à la diversité des régimes pluviométriques rencontrés. Mais, dans le cadre de cette étude, l'hétérogénéité spatiale de la distribution des fortes averses n'est pas seule à intervenir, le nombre d'années d'observations (taille de l'échantillon) peut être insuffisant.

4.2. Analyse fréquentielle des averses

L'analyse fréquentielle des pluies de courte durée a pour but la construction des courbes HDF et/ou IDF d'une station donnée. Ces courbes sont élaborées en déterminant les quantiles correspondants aux différentes périodes de retour pour chacune des durées de référence. Les résultats peuvent être synthétisés par une famille de courbes en portant en abscisses la durée de référence et en ordonnées la hauteur ou l'intensité de la pluie correspondante. Chacune des courbes obtenues s'attache à une période de récurrence donnée.

Une fois le contrôle de fiabilité des séries annuelles des hauteurs et des intensités maximales annuelles est achevé et l'analyse descriptive est réalisée, on procède au calcul des pluies extrêmes espérées en moyenne au moins une fois tous les 2, 5, 10, 20, 25, 50 et 100 ans pour toutes les 18 stations instrumentées retenues en usant des modèles probabilistes appliqués dans l'analyse fréquentielle des pluies journalières maximales dans la mesure où la quasi-totalité des distributions empiriques sont asymétriques (tableaux 54 à 57). Les quantiles obtenus pour les stations d'Ain Assel, Settara, Aioun Settara et Tébessa, prises comme exemples, sont reproduits aux tableaux 58 à 61.

Ces résultats permettent de conclure que globalement:

- A égalité des fréquences, la hauteur de la pluie est d'autant plus grande que sa durée est longue. Néanmoins, cette règle peut être altérée en pratique si la dispersion de la distribution empirique est élevée (cas des stations d'Ain Assel et Aioun Settara, à titre d'exemple).
- A égalité des durées de référence, la hauteur de la pluie est d'autant plus grande que sa période de récurrence est également grande.
- Pour une même fréquence d'apparition, (donc un même temps de retour), l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.
- A durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc que sa période de récurrence sera grande).

Tableau 58. Ain Assel – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses

Durée¹⁰ (mm)	Intervalle de récurrence en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Hauteur en mm (Moyenne - 5 lois de distributions)							
15	9,0	15,5	20,3	25,0	26,8	31,5	36,8
30	13,0	21,8	28,5	35,3	37,8	45,3	53,3
60	18,3	29,0	38,5	48,8	52,5	65,0	79,5
120	23,3	31,3	37,0	42,8	44,5	50,5	56,8
180	28,0	35,8	41,0	46,3	47,8	52,8	58,0
360	36,0	47,0	54,0	60,5	62,5	68,8	74,5
720	43,8	58,8	68,5	78,0	81,3	90,8	100,3
1440	53,5	78,3	96,3	114,5	120,8	140,8	161,3
Intensité en mm/h (GEV)							
15	35,1	56,7	73,1	90,6	96,5	116,1	137,7
30	24,9	39,2	50,2	62,2	66,3	80,0	95,3
60	16,1	24,1	30,9	38,6	41,3	50,8	62,1
120	11,0	14,8	17,9	21,3	22,5	26,5	31,2
180	8,8	11,6	13,6	15,8	16,5	19,0	21,6
360	6,1	8,0	9,1	10,2	10,5	11,5	12,4
720	3,9	5,2	6,1	6,9	7,2	8,0	8,8
1440	2,4	3,2	3,7	4,2	4,4	4,8	5,3

Tableau 59. Settara – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses

Durée (mm)	Intervalle de récurrence en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Hauteur en mm (Moyenne - 5 lois de distributions)							
15	5,0	8,0	11,0	13,8	15,0	17,8	21,3
30	8,0	12,0	15,0	17,8	18,5	21,3	24,0
60	13,0	18,0	21,0	24,0	25,0	28,0	30,5
120	17,3	25,5	32,0	39,0	41,3	49,0	57,0
180	22,0	31,8	39,3	46,5	49,3	57,5	66,3
360	31,0	43,0	50,8	58,3	60,3	67,0	73,8
720	41,3	57,8	68,0	77,5	80,5	89,0	97,3
1440	53,0	72,0	82,0	90,3	92,5	99,3	105,3
Intensité en mm/h (GEV)							
15	19,3	32,4	42,2	52,4	55,8	66,9	78,9
30	15,9	24,1	29,4	34,4	36,0	40,8	45,5
60	12,8	17,8	20,8	23,5	24,2	26,6	28,7
120	9,0	13,0	15,9	18,9	19,9	23,0	26,3
180	7,2	10,5	12,9	15,4	16,2	18,8	21,6
360	5,1	7,1	8,5	9,8	10,1	11,3	12,5
720	3,5	4,9	5,7	6,4	6,6	7,3	7,9
1440	2,3	3,0	3,4	3,7	3,8	4,0	4,2

¹⁰ Le dépouillement est réalisé par le service hydrologique de l'ANRH.

Tableau 60. Aioun Settara – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses

Durée (mn)	Intervalle de récurrence en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Hauteur en mm (LP3)							
5	3,0	5,0	8,0	10,0	10,0	13,0	15,0
10	5,0	9,0	11,0	13,0	14,0	16,0	18,0
15	8,0	13,0	17,0	20,0	21,0	25,0	28,0
20	9,0	15,0	20,0	25,0	26,0	31,0	35,0
30	11,0	20,0	26,0	33,0	35,0	42,0	50,0
45	13,0	23,0	29,0	36,0	38,0	46,0	53,0
60	15,0	25,0	32,0	39,0	41,0	49,0	57,0
90	16,0	26,0	34,0	43,0	46,0	55,0	65,0
120	18,0	28,0	37,0	45,0	48,0	58,0	69,0
180	21,0	31,0	38,0	46,0	48,0	56,0	65,0
240	22,0	33,0	40,0	48,0	51,0	58,0	67,0
360	26,0	37,0	45,0	51,0	53,0	59,0	64,0
540	28,0	40,0	47,0	52,0	54,0	59,0	63,0
720	30,0	43,0	50,0	56,0	58,0	63,0	68,0
900	32,0	45,0	52,0	59,0	61,0	66,0	71,0
1080	32,0	47,0	56,0	64,0	66,0	73,0	79,0
1440	35,0	51,0	60,0	68,0	70,0	77,0	83,0
Intensité en mm/h (GEV)							
5	33,1	61,2	84,5	111,0	120,4	152,9	190,9
10	29,7	49,5	63,5	77,5	82,1	96,8	112,0
15	30,5	49,1	63,5	79,3	84,8	102,9	123,3
20	26,7	43,4	57,6	74,2	80,2	101,1	126,2
30	21,2	36,1	49,1	64,7	70,4	90,6	115,4
45	17,2	27,2	36,4	47,9	52,1	67,8	87,7
60	14,3	22,3	29,6	38,8	42,2	54,7	70,5
90	10,3	15,0	19,1	24,0	25,8	32,2	39,9
120	8,6	13,3	17,4	22,3	24,1	30,5	38,3
180	6,6	9,6	12,2	15,1	16,2	19,9	24,2
240	5,4	7,8	9,7	11,9	12,7	15,3	18,3
360	4,3	6,0	7,2	8,3	8,7	9,8	10,9
540	3,1	4,3	5,0	5,6	5,8	6,4	6,9
720	2,6	3,5	4,0	4,4	4,6	4,9	5,2
900	2,2	2,9	3,3	3,7	3,8	4,0	4,2
1080	1,9	2,6	3,0	3,3	3,4	3,6	3,9
1440	1,5	2,1	2,4	2,7	2,8	3,0	3,2

Tableau 61. Tébessa – Résultats de l'analyse fréquentielle des averses

Durée (mn)	Intervalle de récurrence en années						
	2	5	10	20	25	50	100
Hauteur en mm (Moyenne - 5 lois de distributions)							
5	7,8	11,0	13,3	15,8	16,7	19,5	22,2
10	9,3	13,2	15,9	19,0	20,1	23,3	26,6
15	10,4	14,7	17,7	21,1	22,3	25,9	29,6
20	11,2	15,8	19,1	22,7	24,0	28,0	31,9
30	12,4	17,5	21,2	25,2	26,7	31,1	35,5
45	13,8	19,5	23,6	28,0	29,6	34,5	39,4
60	14,9	21,0	25,4	30,2	31,9	37,2	42,5
90	16,5	23,3	28,2	33,6	35,5	41,3	47,2
120	17,8	25,2	30,4	36,2	38,3	44,5	50,8
180	19,8	28,0	33,8	40,2	42,5	49,5	56,5
240	21,3	30,1	36,4	43,3	45,8	53,3	60,9
360	23,7	33,5	40,4	48,1	50,9	59,3	67,6
540	26,3	37,2	44,9	53,5	56,6	65,9	75,2
720	28,4	40,1	48,4	57,6	61,0	71,0	81,0
900	30,1	42,5	51,3	61,1	64,6	75,2	85,8
1080	31,5	44,5	53,8	64,0	67,7	78,9	90,0
1440	34,0	48,0	58,0	69,0	73,0	85,0	97,0
Intensité en mm/h (GEV)							
5	50,8	92,4	126,4	164,8	178,3	224,6	278,4
10	43,5	71,7	93,2	116,2	124,0	149,8	178,3
15	36,7	58,8	73,8	88,3	93,0	107,5	122,1
20	30,8	48,1	59,3	70,0	73,3	83,6	93,6
30	24,4	36,5	43,7	50,1	52,0	57,6	62,8
45	19,5	28,1	33,0	37,1	38,3	41,8	44,9
60	15,6	22,9	27,5	31,8	33,1	37,1	40,9
90	11,4	16,7	20,4	23,9	25,1	28,7	32,3
120	9,2	13,3	16,2	19,2	20,2	23,3	26,6
180	6,7	9,8	12,1	14,5	15,3	18,0	20,9
240	5,5	7,7	9,5	11,4	12,0	14,1	16,5
360	4,1	5,5	6,7	8,1	8,6	10,4	12,5
540	3,1	4,2	5,0	5,9	6,2	7,2	8,3
720	2,5	3,4	4,0	4,6	4,9	5,6	6,4
900	2,1	2,8	3,3	3,9	4,0	4,7	5,3
1080	1,8	2,4	2,9	3,4	3,6	4,1	4,8
1440	1,4	2,0	2,4	2,8	3,0	3,4	3,9

Ces lois fondamentales de la pluviosité permettent d'établir les relations entre les hauteurs (et/ou intensités), la durée et la fréquence d'apparition des pluies sous forme de courbes HDF et/ou IDF (Fig. 40).

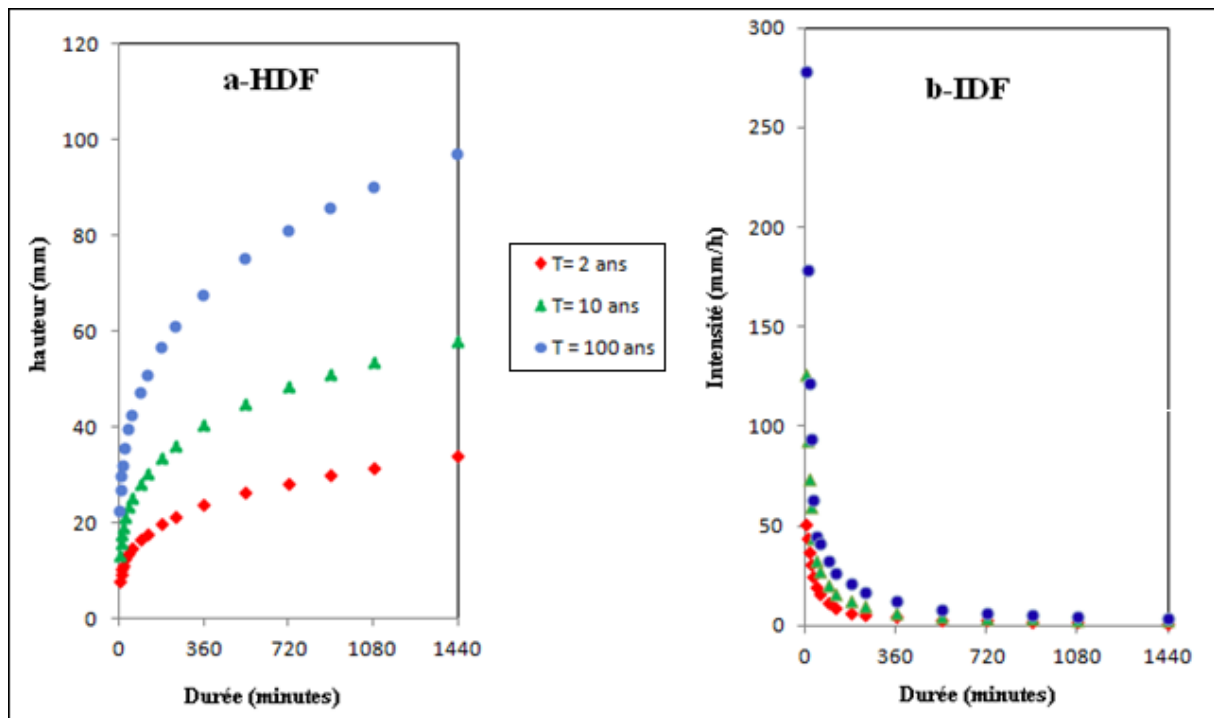


Fig. 40. Station de Tébessa - Diagrammes de dispersion des relations HDF et IDF

Ces observations empiriques constituent les éléments de base de toute la suite du travail, notamment la modélisation de ces courbes.

4.3. Modélisation des courbes HDF et IDF

La modélisation des précipitations extrêmes peut être fort utile dans la planification de la ressource en eau, le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques ou tout autre projet nécessitant des connaissances sur les événements pluvieux. Dans ce travail, il s'agit d'exprimer les relations HDF et IDF par des modèles analytiques et donner une évaluation objective de la performance de ces modèles en se basant sur leur capacité de générer des relations Hauteur ou Intensité-Durée-Fréquence réalistes permettant de synthétiser les renseignements relatifs aux caractéristiques des pluies extrêmes dans la zone d'étude. Plusieurs modèles de régression, implémentés dans le logiciel *STATGRAPHICS CENTURION XV*, vont être testés dans ce qui suit.

4.3.1. Modélisation des HDF

Le diagramme de dispersion de la variation de la hauteur de la pluie avec la durée, pour une fréquence donnée (fig. 40-a), suggère l'utilisation de modèles curvilignes croissants dont les paramètres sont à déterminer par la méthode des moindres carrés. On obtient alors des résultats ponctuels ou par station. Pour des fins de régionalisation, les données adimensionnelles sont préférables. Au lieu de calculer la relation $H = f(D, T)$, on a travaillé sur la forme réduite décrite par l'équation :

$$\frac{H(D, T)}{P_{24}} = f\left(\frac{D}{24}\right) \quad (51)$$

où $H(D, T)$ est la hauteur de pluie de durée D et de période de retour T et $P_{24}(T)$ est la pluie maximale de même fréquence enregistrée en 24 heures. Les séries ainsi réduites ont fait l'objet d'une analyse corrélatrice en usant des modèles ci-dessous intégrés dans *STATGRAPHICS*; y étant la variable expliquée $\left[\frac{H(D, T)}{P_{24}}\right]$, x la variable explicative $\left[\frac{D}{24}\right]$, β_0 et β_1 sont les paramètres du modèle :

$$\begin{array}{ll} \text{- Linéaire} & y = \beta_0 + \beta_1 x \end{array} \quad (52)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Racine carré Y :} & y = (\beta_0 + \beta_1 x)^2 \end{array} \quad (53)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Exponentiel :} & y = e^{(\beta_0 + \beta_1 x)} \end{array} \quad (54)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Y carré :} & y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x} \end{array} \quad (55)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Racine carré X :} & y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x} \end{array} \quad (56)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Double racine carré :} & y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^2 \end{array} \quad (57)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Log Y- Racine carré X :} & y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})} \end{array} \quad (58)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Y carré-Racine carré X :} & y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}} \end{array} \quad (59)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Logarithmique X :} & y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) \end{array} \quad (60)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Racine carré Y- Log X :} & y = (\beta_0 + \beta_1 \ln(x))^2 \end{array} \quad (61)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Multiplicatif :} & y = \beta_0 x^{\beta_1} \end{array} \quad (62)$$

$$\begin{array}{ll} \text{- Y carré- Log X :} & y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \ln(x)} \end{array} \quad (63)$$

$$\text{- Double réciproque :} \quad y = \left[\beta_0 + \frac{\beta_1}{x} \right]^{-1} \quad (64)$$

$$\text{- Carré X :} \quad y = \beta_0 + \beta_1 x^2 \quad (65)$$

$$\text{- Racine carré Y-Carré X :} \quad y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^2 \quad (66)$$

$$\text{- Log Y-Carré X :} \quad y = e^{(\beta_0 + \beta_1 x^2)} \quad (67)$$

$$\text{- Double carré :} \quad y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^2} \quad (68)$$

$$\text{- Réciproque X :} \quad y = \beta_0 + \frac{\beta_1}{x} \quad (69)$$

Ces modèles peuvent être linéarisés en transformant soit x , soit y , soit les deux. Lors de l'ajustement d'un modèle non linéaire, *STATGRAPHICS* transforme d'abord les données, puis ajuste le modèle et enfin inverse la transformation pour afficher les résultats. A titre d'exemple, le tableau 62 ci-après résume les résultats des paramètres de quelques modèles décrivant la relation HDF sans dimension exprimée par l'équation (51) ci-dessus à la station de Tébéssa pour une période de récurrence de 10 ans.

Tableau 62. Comparaison des modèles alternatifs (classement *STATGRAPHICS*)

Modèle	Equation	a	b	Corrélation (R)	R ² (%)	EAM
Racine carrée Y, log X	61	0,981	0,093	0,9982	99,64	0,007
Y carré, racine carrée X	59	0,016	0,963	0,9968	99,36	0,019
Log X	60	0,925	0,136	0,9934	98,68	0,021
Multiplicatif	62	1,03	0,264	0,9897	97,96	0,048
Racine carrée X	56	0,277	0,777	0,9717	94,41	0,047
Double réciproque	64	1,462	0,015	0,9626	92,66	0,257
Log Y, racine carrée X	58	-0,184	1,398	0,8986	80,75	0,158
Linéaire	52	0,412	0,709	0,8977	80,59	0,089
:	:	:	:	:	:	:
Exponentiel	54	-0,926	1,215	0,7906	62,50	0,227
Réciproque X	69	0,689	0,002	-0,7428	55,18	0,138

Dans ce tableau, les constantes a et b sont, respectivement, les estimateurs de β_0 et β_1 , R^2 est le coefficient de détermination et EAM correspond à l'erreur absolue moyenne entre les valeurs observées et celles prédites par le modèle. Si on se réfère aux résultats des différentes corrélations fournis par *STATGRAPHICS*, on s'aperçoit que les modèles sont classés en fonction du coefficient de détermination R^2 , une mesure du pourcentage de la variance expliquée par le modèle par rapport à la variance totale. Ce qui a permis de procéder à un premier tri. La majorité des modèles dont le R^2 est inférieur à 70 % ont été a priori écartés bien que la force

de liaison entre les variables soit bonne. Ainsi, dans le cas de Tébessa, les modèles *Exponentiel* et *Réciproque X* (tableau 62) ont été rejetés.

Plus finement, l'examen de l'ensemble des résultats de l'analyse par régression (toute station et toute période de récurrence confondue) montre que certains modèles ne s'appliquent pas à un certain niveau de probabilité (cas du modèle *Exponentiel* pour la station de Redjas Ferada où le R^2 est inférieur à 65% pour les périodes de récurrence de 10 à 100 ans) ou bien ils fournissent des valeurs prévues négatives, notamment pour les averses de courtes durées (5 min à 15 min (cas du modèle *Carré Y-Log X* pour les stations de Jijel, Pont Bouchet, Guelma, Aioun Settara et Tébessa) ou excessivement grandes (cas du modèle Double racine carrée pour les stations de Jijel et Aioun Settara). Ces modèles ont été également exclus de la phase de calibration. Seuls les modèles logarithmique (Eq. 60) et géométrique ou multiplicatif (Eq. 62) sont présents à tous les niveaux de probabilité avec des coefficients de détermination et des résidus moyens pratiquement acceptables (tableaux 63 à 67).

Tableau 63. Bassin versant des côtiers constantinois- Résultats des modèles adoptés.

Paramètres	Multiplicatif : $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = a \times \left(\frac{D}{24}\right)^b$					Semi-logarithmique: $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = \left[a + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right]$				
	Intervalle de récurrence en années					Intervalle de récurrence en années				
	2	10	25	50	100	2	10	25	50	100
Jijel										
a	1,12	1,02	0,98	0,96	0,95	0,89	0,87	0,86	0,85	0,85
b	0,414	0,323	0,290	0,269	0,248	0,160	0,139	0,130	0,124	0,117
R² (%)	97	94	91	87	81	97	96	93	90	86
EAM	0,11	0,11	0,12	0,14	0,16	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07
Bousnib										
a	1,11	1,03	1,01	1,01	1,00	0,97	0,93	0,92	0,91	0,90
b	0,354	0,349	0,359	0,373	0,384	0,180	0,175	0,176	0,178	0,180
R² (%)	98	100	100	100	92	98	95	94	93	92
EAM	0,06	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,06	0,06	0,07	0,07
Cheffia Barrage										
a	1,00	0,92	0,89	0,89	0,86	0,85	0,83	0,83	0,83	0,83
b	0,365	0,343	0,334	0,328	0,321	0,147	0,145	0,146	0,148	0,147
R² (%)	97	97	95	93	89	94	85	81	78	75
EAM	0,08	0,10	0,11	0,13	0,16	0,05	0,09	0,11	0,12	0,13
Ain Assel										
a	1,09	0,91	0,88	0,89	0,91	0,94	0,85	0,84	0,83	0,85
b	0,389	0,304	0,273	0,263	0,255	0,182	0,152	0,139	0,133	0,130
R² (%)	99	96	92	87	83	98	89	85	82	81
EAM	0,06	0,08	0,10	0,13	0,14	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07

Tableau 64. Bassin versant des Hauts Plateaux constantinois- Résultats des modèles adoptés.

Multiplicatif : $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = a \times \left(\frac{D}{24}\right)^b$						Semi-logarithmique: $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = \left[a + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right]$				
Paramètres	Intervalle de récurrence en années					Intervalle de récurrence en années				
	2	10	25	50	100	2	10	25	50	100
Foum Toub										
a	1,09	0,98	0,95	0,94	0,93	0,93	0,88	0,87	0,87	0,87
b	0,353	0,284	0,263	0,249	0,233	0,158	0,137	0,131	0,126	0,122
R² (%)	97	99	99	98	97	96	96	96	96	95
EAM	0,07	0,03	0,03	0,05	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04
Foum El Gueis										
a	0,91	0,79	0,74	0,72	0,70	0,87	0,77	0,74	0,72	0,71
b	0,258	0,255	0,258	0,260	0,263	0,135	0,123	0,119	0,117	0,116
R² (%)	95	88	86	85	84	87	77	73	70	67
EAM	0,10	0,13	0,14	0,15	0,15	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11

Tableau 65. Bassin versant du Kébir-Rhumel- Résultats des modèles adoptés.

Multiplicatif : $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = a \times \left(\frac{D}{24}\right)^b$						Semi-logarithmique: $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = \left[a + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right]$				
Paramètres	Intervalle de récurrence en années					Intervalle de récurrence en années				
	2	10	25	50	100	2	10	25	50	100
Redjas Frada										
a	0,92	1,02	1,14	1,27	0,84	0,98	1,08	1,17	0,84	0,89
b	0,336	0,316	0,316	0,316	0,147	0,154	0,165	0,175	0,147	0,147
R² (%)	98	98	92	86	89	96	91	83	89	96
EAM	0,07	0,07	0,14	0,19	0,08	0,05	0,07	0,12	0,08	0,04
Chelghoum Laid										
a	1,07	1,14	1,17	1,22	1,25	0,98	1,03	1,05	1,09	1,11
b	0,329	0,307	0,295	0,288	0,289	0,180	0,177	0,174	0,175	0,176
R² (%)	95	97	96	92	90	92	97	96	95	94
EAM	0,10	0,06	0,07	0,10	0,12	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05
Ouled Rahmoun										
a	1,32	1,00	0,82	0,69	0,58	1,06	0,87	0,76	0,69	0,62
b	0,371	0,367	0,362	0,354	0,313	0,175	0,157	0,142	0,131	0,115
R² (%)	92	99	94	86	75	98	92	81	72	62
EAM	0,15	0,04	0,13	0,21	0,27	0,03	0,07	0,10	0,12	0,13
Settara										
a	1,12	1,14	1,16	1,18	1,12	0,90	0,93	0,96	0,98	1,01
b	0,456	0,406	0,409	0,390	0,456	0,197	0,195	0,194	0,194	0,193
R² (%)	99	98	97	95	99	95	96	97	97	97
EAM	0,06	0,08	0,09	0,11	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04

Tableau 66. Bassin versant de Medjerda-Mellegue - Résultats des modèles adoptés.

Multiplicatif : $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = a \times \left(\frac{D}{24}\right)^b$						Semi-logarithmique: $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = \left[a + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right]$				
Paramètres	Intervalle de récurrence en années					Intervalle de récurrence en années				
	2	10	25	50	100	2	10	25	50	100
Cheikh Abdallah										
a	1,07	1,01	0,97	0,95	0,93	0,99	0,95	0,93	0,92	0,90
b	0,389	0,362	0,345	0,333	0,319	0,230	0,215	0,207	0,200	0,194
R² (%)	99	99	99	98	97	98	97	95	93	91
EAM	0,05	0,03	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Tébessa										
a	1,14	1,03	1,01	0,99	1,02	0,97	0,93	0,91	0,91	0,90
b	0,333	0,264	0,255	0,252	0,250	0,157	0,136	0,133	0,132	0,131
R² (%)	96	98	99	99	99	99	99	98	98	97
EAM	0,09	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
Ain Zerga										
a	0,99	1,04	1,06	1,08	1,10	0,96	1,00	1,02	1,03	1,05
b	0,258	0,269	0,279	0,287	0,294	0,174	0,184	0,192	0,197	0,203
R² (%)	97	98	97	97	96	97	99	98	97	96
EAM	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04

Tableau 67. Bassin versant de la Seybouse - Résultats des modèles adoptés.

Multiplicatif : $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = a \times \left(\frac{D}{24}\right)^b$						Semi-logarithmique: $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = \left[a + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right]$				
Paramètres	Intervalle de récurrence en années					Intervalle de récurrence en années				
	2	10	25	50	100	2	10	25	50	100
Aïoun Settara										
a	1,20	1,14	1,15	1,14	1,19	0,96	0,96	0,98	0,98	1,02
b	0,386	0,308	0,288	0,264	0,257	0,154	0,146	0,140	0,133	0,133
R² (%)	94	90	85	81	77	99	99	96	92	87
EAM	0,14	0,14	0,17	0,19	0,21	0,02	0,02	0,04	0,06	0,08
Tamlouka										
a	1,06	1,04	1,03	1,02	1,02	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
b	0,320	0,200	0,155	0,118	0,086	0,320	0,162	0,121	0,103	0,100
R² (%)	97	97	90	87	84	97	92	98	94	90
EAM	0,08	0,05	0,07	0,07	0,05	0,08	0,07	0,03	0,04	0,04
Guelma										
a	1,02	1,01	1,01	1,03	1,05	1,02	0,87	0,91	0,93	0,96
b	0,354	0,308	0,301	0,299	0,298	0,354	0,150	0,151	0,155	0,159
R² (%)	97	98	95	94	92	97	94	91	90	89
EAM	0,06	0,07	0,10	0,12	0,13	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08

Tableau 67. Suite

Multiplicatif : $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = a \times \left(\frac{D}{24}\right)^b$						Semi-logarithmique: $\frac{H(D,T)}{P_{24}(T)} = \left[a + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right]$				
Paramètres	Intervalle de récurrence en années					Intervalle de récurrence en années				
	2	10	25	50	100	2	10	25	50	100
Ain Berda										
a	1,02	1,05	1,10	1,13	1,17	0,85	0,87	0,90	0,92	0,94
b	0,396	0,402	0,405	0,405	0,407	0,155	0,158	0,162	0,164	0,168
R² (%)	98	98	98	97	96	93	94	95	96	97
EAM	0,07	0,07	0,09	0,11	0,12	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
Pont Bouchet										
a	1,07	1,01	1,00	1,01	1,02	0,88	0,84	0,83	0,82	0,81
b	0,384	0,411	0,437	0,445	0,468	0,154	0,155	0,158	0,160	0,162
R² (%)	96	99	99	99	99	96	92	90	89	87
EAM	0,09	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09

Faut-il encore ajouter que les deux modèles, communément appelés logarithmique et semi-logarithmique, s'approprient bien à une généralisation dans la mesure où la constante a est proche de l'unité et seul le paramètre b varie d'une station à l'autre (tableaux ci-dessus). Par conséquent, les modèles retenus peuvent enfin être décrits par les équations suivantes :

- **Modèle géométrique :**
$$H(D, T) = P_{24}(T) \times \left(\frac{D}{24}\right)^b \quad (70)$$

- **Modèle logarithmique :**
$$H(D, T) = P_{24}(T) \times \left[1 + b \times \ln\left(\frac{D}{24}\right) \right] \quad (71)$$

Ces deux modèles feront l'objet de validation ultérieurement.

4.3.2. Modélisation des IDF

Comme il a été mentionné plus haut, la représentation graphique sous forme de courbes IDF montre que statistiquement, plus une pluie est longue, plus l'intensité moyenne est faible, pour une fréquence donnée. De même, l'intensité de l'averse augmente avec l'intervalle de récurrence pour une même durée d'aggrégation (Fig. 40-b). Ce qui signifie que la relation $I(D, T)$ doit être représentée par une fonction curviligne décroissante.

Dans ce travail, les courbes IDF, les plus répandues dans la pratique, sont établies pour 18 stations pluviométriques du Nord-est algérien contenant au moins 7 années d'observations fiables. Pour obtenir un bon lissage, les courbes empiriques sont construites pour 16 périodes de retour allant de 2 à 100 ans. Ces dernières peuvent également être synthétisées par un modèle analytique. Différentes formules d'ajustements statistiques sont proposées dans la littérature pour représenter mathématiquement l'évolution de l'intensité de la pluie en fonction de sa durée (Grisollet, 1948 ; Bell, 1969; Chen, 1983; Aron et al. 1987; Kouthyari et Garde, 1992, Rashid et al., 2012), on cite à titre d'exemple, les modèles suivants:

$$\text{Sherman (1931) :} \quad I = \frac{cT^m}{(D + f)^{b'}} \quad (72)$$

$$\text{Bernard (1932):} \quad I = \frac{cT^m}{D^{b'}} \quad (73)$$

$$\text{Horner (1936):} \quad I = \frac{a}{(D + f)^{b'}} \quad (74)$$

$$\text{Talbot (in Grisollet, 1948) :} \quad I = \frac{a}{D + b'} \quad (75)$$

$$\text{Wenzel (1982) :} \quad I = \frac{a}{D^{b'} + f} \quad (76)$$

$$\text{Talbot (modifié, in Chow et al., 1988) :} \quad I = \frac{cT^m}{D + f} \quad (77)$$

$$\text{Montana (in Laborde, 2009):} \quad I = \frac{a}{D^{b'}} \quad (78)$$

dans lesquels I est l'intensité (en mm/h), D est la durée d'agrégation (ou durée de reference en minutes), T est la période de récurrence (en années), a , b' , c , f et m sont des constantes de calibration du modèle appelées communement constantes régionales.

Dans la présente étude, on a commencé par le modèle géométrique le plus simple; celui de Montana (Eq. 78). Pour une même période de recurrence (T en années), on a ajusté un modèle multiplicatif pour exprimer la relation de l'intensité maximale probable $I(T)$, variable à expliquer, en fonction de la durée de référence D (variable explicative) à l'aide du logiciel *STATGRAPHICS*. Les premiers résultats de la méthode des moindres carrés sont présentés dans les tableaux 68 à 72.

Tableau 68. Bassin des Côtiers constantinois - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement

T (années)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Station: Jijel (030301)																
a	227,46	376,08	507,48	587,10	649,47	699,20	744,22	774,64	814,55	847,75	869,93	915,49	969,10	1015,01	1040,79	1068,14
b'	0,59	0,64	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
R²	98,35	98,64	98,51	98,39	98,28	98,18	98,08	98,01	97,95	97,86	97,80	97,69	97,55	97,44	97,39	97,31
EAM	0,11	0,104	0,116	0,122	0,127	0,131	0,135	0,137	0,14	0,142	0,144	0,147	0,151	0,154	0,156	0,158
Station: Bousnib (030905)																
a	158,44	256,22	292,54	302,17	308,3	313,11	314,54	314,11	313,67	315,88	315,66	315,31	312,6	312,05	310,9	308,37
b'	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,6	0,6	0,6	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56
R²	99,47	99,79	99,91	99,91	99,91	99,88	99,84	99,82	99,77	99,74	99,7	99,63	99,53	99,45	99,39	99,32
EAM	0,057	0,036	0,024	0,022	0,024	0,027	0,031	0,032	0,037	0,039	0,041	0,046	0,05	0,053	0,055	0,058
Station: Chaffia (031501)																
a	241,83	352,83	433,62	481,81	518	544,45	571,22	588,47	608,51	625,81	638,99	661,79	689,45	712,19	725,14	739,73
b'	0,63	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
R²	99,1	99,28	99	98,67	98,33	97,91	97,7	97,46	97,18	96,91	96,7	96,33	95,85	95,44	95,2	94,93
EAM	0,076	0,072	0,080	0,088	0,096	0,121	0,120	0,127	0,136	0,144	0,15	0,16	0,171	0,181	0,186	0,192
Station: Ain Assel (031601)																
a	153,12	281,50	395,58	470,15	531,32	579,50	625,26	657,67	695,55	728,84	756,76	805,47	866,43	916,75	943,48	974,23
b'	0,56	0,61	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72
R²	99,54	99,71	99,69	99,65	99,63	99,59	99,57	99,54	99,52	99,49	99,47	99,44	99,39	99,36	99,32	99,30
EAM	0,049	0,039	0,046	0,051	0,053	0,056	0,059	0,06	0,063	0,064	0,066	0,068	0,071	0,073	0,075	0,076

Tableau 69. Bassin des Hauts Plateaux constantinois - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement

T (années)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Station: Foug Toub (070406)																
a	215,18	406,97	551,21	637,22	702,21	752,82	797,63	828,27	864,32	895,18	919,07	959,58	1009,32	1050,04	1072,95	1098,5
b'	0,65	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76
R²	99,17	99,72	99,88	99,91	99,91	99,9	99,88	99,87	99,84	99,82	99,8	99,76	99,71	99,66	99,63	99,59
EAM	0,066	0,044	0,034	0,03	0,03	0,032	0,036	0,040	0,045	0,049	0,052	0,057	0,063	0,068	0,071	0,074
Station: Foug el Gueis (070720)																
a	302,27	375,29	418,17	440,75	456,34	467,17	476,29	480,79	487,18	490,89	495,42	499,7	509,83	515,69	516,71	521,03
b'	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72
R²	99,31	98,62	98,11	97,79	97,51	97,33	97,08	96,97	96,74	96,61	96,45	96,31	96,09	95,82	95,71	95,57
EAM	0,1	0,12	0,136	0,148	0,156	0,162	0,171	0,176	0,179	0,184	0,188	0,190	0,198	0,204	0,206	0,208

Tableau 70. Bassin du Kébir-Rhumel - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement

T (années)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Station: Redjas Ferada (100201)																
a	184,85	285,95	362,34	409,15	445,15	473,30	498,45	516,12	536,48	554,41	568,21	592,40	621,83	637,84	659,68	675,30
b'	0,66	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
R²	99,5	99,8	99,5	99	98,5	97,9	97,4	97	96,4	96	95,6	94,9	94	94	92,8	92,3
EAM	0,067	0,036	0,069	0,103	0,131	0,150	0,170	0,183	0,197	0,213	0,221	0,238	0,258	0,263	0,283	0,294
Station: Chelgoum Laid (100312)																
a	252,16	334,62	383,23	408,86	423,48	432,2	446,89	447,13	460,58	469,21	475,52	480,62	484,6	491,46	495,11	498,83
b'	0,68	0,69	0,69	0,7	0,7	0,69	0,69	0,69	0,7	0,7	0,69	0,7	0,69	0,7	0,69	0,69
R²	99,54	99,66	99,71	99,68	99,66	99,65	99,54	99,55	99,47	99,37	99,31	99,3	99,22	99,08	99,08	99,01
EAM	0,06	0,052	0,044	0,047	0,048	0,051	0,061	0,061	0,066	0,073	0,070	0,076	0,080	0,088	0,085	0,088
Station: Ouled Rahmoun (100508)																
a	187,91	268,77	337,48	382,77	417,43	444,50	472,68	487,72	509,81	530,81	546,69	570,30	603,04	632,50	644,70	662,72
b'	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,70
R²	97,15	99,03	98,77	98,12	97,47	96,90	96,33	95,95	95,41	94,98	94,61	94,07	93,24	92,65	92,33	91,93
EAM	0,152	0,085	0,092	0,116	0,134	0,149	0,166	0,176	0,190	0,202	0,212	0,226	0,247	0,262	0,269	0,269
Station: Settara (100711)																
a	80,25	142,06	190,43	220,48	244,43	262,58	281,46	291,11	305,42	314,77	324,81	343,03	359,68	378,10	387,04	393,05
b'	0,47	0,51	0,53	0,54	0,55	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,59
R²	98,65	99,27	99,20	99,08	98,86	98,76	98,55	98,54	98,32	98,32	98,22	97,99	97,90	97,69	97,58	97,57
EAM	0,101	0,063	0,087	0,052	0,073	0,073	0,079	0,084	0,090	0,093	0,093	0,107	0,118	0,123	0,124	0,130

Tableau 71. Bassin de la Medjerda-Mellegue - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement

T (années)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Station: Cheikh Abdallah (120113)																
a	148,77	254,32	339,37	390,54	446,58	479,35	508,76	535,62	549,35	576,39	591,38	613,49	603,69	680,55	693,45	713,08
b'	0,61	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,68
R²	99,46	99,68	99,76	99,73	99,74	99,72	99,67	99,64	99,58	99,54	99,52	99,43	99,41	99,34	99,31	99,23
EAM	0,045	0,035	0,029	0,029	0,029	0,030	0,033	0,036	0,041	0,044	0,046	0,051	0,052	0,056	0,057	0,061
Station: Tébessa (120301)																
a	216,90	389,30	511,40	581,19	631,12	666,67	701,79	724,02	746,77	770,40	787,63	814,78	846,87	870,89	889,36	904,84
b'	0,67	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
R²	98,95	99,45	99,69	99,78	99,82	99,84	99,85	99,84	99,84	99,83	99,82	99,79	99,75	99,72	99,68	99,65
EAM	0,084	0,068	0,054	0,044	0,042	0,042	0,043	0,044	0,044	0,046	0,047	0,049	0,052	0,054	0,059	0,061
Station: Ain Zerga (120510)																
a	316,65	413,35	468,72	517,39	532,74	541,75	543,21	562,62	588,40	582,66	594,31	587,81	611,43	608,81	617,70	632,70
b'	0,74	0,74	0,73	0,74	0,73	0,73	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,73	0,72	0,72	0,72
R²	99,6	99,7	99,7	99,6	99,5	99,5	99,5	99,4	99,3	99,4	99,3	99,3	99,1	99,2	99,1	99,0
EAM	0,043	0,036	0,036	0,044	0,050	0,052	0,051	0,058	0,063	0,058	0,064	0,063	0,071	0,068	0,072	0,075

Tableau 72. Bassin de la Seybouse - Constantes du modèle IDF de Montana et qualité de l'ajustement

T (années)	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
Station: Aioun Settara (140105)																
a	139,50	266,05	391,20	480,66	555,91	619,70	679,64	722,68	775,08	824,82	860,24	927,48	1013,97	1087,90	1131,77	1181,72
b'	0,60	0,65	0,68	0,70	0,72	0,73	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79
R²	97,54	98,09	97,82	97,54	97,29	97,10	96,86	96,72	96,54	96,36	96,26	96,04	95,77	95,55	95,42	95,28
EAM	0,128	0,122	0,141	0,155	0,168	0,180	0,190	0,197	0,206	0,215	0,219	0,229	0,242	0,252	0,257	0,264
Station: Tamlouka (140204)																
a	287,95	533,03	710,00	817,86	898,20	959,57	1008,88	1043,42	1087,88	1123,30	1155,43	1195,64	1257,66	1296,85	1320,12	1351,09
b'	0,70	0,76	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85
R²	99,56	99,82	99,74	99,62	99,52	99,40	99,32	99,24	99,14	99,08	99,00	98,88	98,71	98,59	98,53	98,42
EAM	0,064	0,047	0,059	0,077	0,089	0,098	0,104	0,109	0,115	0,119	0,123	0,130	0,141	0,146	0,149	0,156
Station: Guelma Lycée (140412)																
a	194,14	329,41	417,56	465,77	500,93	524,96	548,17	561,45	579,58	590,85	604,55	618,86	639,51	657,18	667,18	676,59
b'	0,65	0,69	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
R²	99,35	99,58	99,46	99,28	99,10	98,90	98,78	98,64	98,50	98,33	98,25	97,99	97,73	97,51	97,39	97,23
EAM	0,055	0,065	0,082	0,093	0,105	0,116	0,123	0,130	0,136	0,143	0,145	0,155	0,164	0,171	0,174	0,179
Station: Ain Berda (140606)																
a	178,77	232,91	273,25	294,93	313,97	327,3	339,31	346,23	355,97	365,55	370,17	382,17	395,04	404,99	411,49	416,48
b'	0,61	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,61	0,6	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
R²	98,99	99,1	98,99	98,88	98,77	98,67	98,59	98,52	98,45	98,35	98,31	98,2	98,04	97,91	97,85	97,8
EAM	0,073	0,069	0,080	0,087	0,093	0,098	0,101	0,104	0,108	0,113	0,115	0,120	0,126	0,130	0,133	0,135
Station: Pont Bouchet (140631)																
a	176,69	244,09	279,20	294,23	303,61	311,38	315,16	318,79	321,94	325,75	327,21	330,55	333,69	335,75	337,71	333,22
b'	0,61	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53
R²	98,10	98,68	98,97	99,13	99,20	99,24	99,28	99,30	99,31	99,32	99,32	99,33	99,31	99,30	99,28	99,09
EAM	0,108	0,083	0,072	0,066	0,066	0,066	0,067	0,066	0,066	0,066	0,66	0,066	0,065	0,064	0,065	0,072

Ces résultats permettent de constater, à première vue, que :

- la relation $I(D, T)$ est fortement significative pour toutes les durées de récurrence ($R^2 > 90\%$),
- le coefficient a croît avec la période de récurrence (T),
- le paramètre b varie faiblement, en valeur absolue d'une période de retour à l'autre.

Ces constatations incitent à étudier davantage la relation $a(T)$. Selon l'allure des diagrammes de dispersion (Fig. 41), une relation géométrique croissante peut être raisonnable. Cette liaison prend la forme :

$$a = cT^m \quad (79)$$

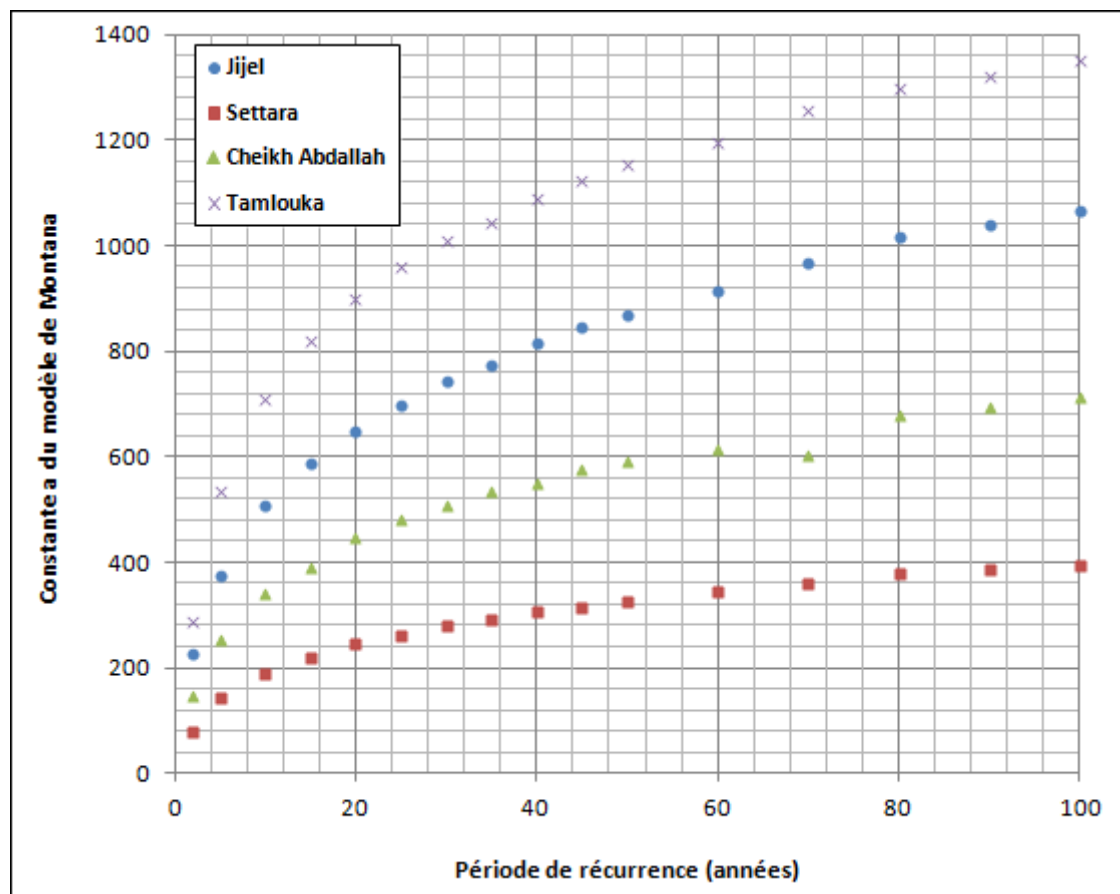


Fig. 41. Evolution de la constante a de Montana avec la période de retour

Etant donné que la relation $a(T)$ est également fortement significative, on passe alors du modèle à deux paramètres (a et b') de Montana (Eq. 78) à un modèle plus général à trois paramètres de type Bernard (Eq. 73) dans lequel la constante b' correspond à la moyenne arithmétique calculée pour toutes les périodes de retour (tableau 73).

Tableau 73. Paramètres du modèle de Bernard

Identification de la Station		Coordonnées			Paramètres du modèle de Bernard			
Nom	Code	Latitude	Longitude	Z(m)	c	m	$\bar{b}'$	R ²
Bassin des Côtiers Constantinois								
Jijel	030301	36.82°N	5.77°E	5	199.78	0.377	0.70	0.985
Bousnib	030905	36.50°N	6.96°E	900	192.2	0.126	0.60	0.634
Chaffia	031501	36.61°N	8.04°E	170	221.9	0.27	0.65	0.983
Ain Assel	031601	36.77°N	8.36°E	32	130.52	0.450	0.67	0.986
Bassin des Hauts Plateaux Constantinois								
Foum Toub	070406	35.41°N	6.55°E	1102	206.5	0.382	0.74	0.961
Foum el Gueis	070720	35.50°N	6.94°E	945	301.0	0.127	0.73	0.946
Bassin du Kébir-Rhumel								
Redjas Ferada	100201	36.42°N	6.12°E	360	167,24	0.313	0.69	0.984
Chelgoum Laid	100312	36.16°N	6.16°E	768	252.7	0.158	0.69	0.940
Ouled Rahmoun	100508	36.18°N	6.70°E	700	159.46	0.315	0.67	0.996
Settara	100711	36.72°N	6.34°E	280	73.20	0.38	0.56	0.976
Bassin de la Medjerda-Mellegue								
Cheikh Abdallah	120113	36.25°N	7.78°E	700	134.3	0.377	0.66	0.975
Tebessa	120301	35.40°N	8.12°E	890	215.68	0.331	0.74	0.948
Ain Zerga	120510	35.64°N	8.26°E	850	314	0,160	0.73	0,943
Bassin de la Seybouse								
Aioun Settara	140105	36.07°N	7.39°E	741	109.60	0.528	0.73	0.993
Tamlouka	140204	36.16°N	7.14°E	740	280.32	0.362	0.82	0.956
Guelma.Lycée	140412	36.46°N	7.44°E	260	196.29	0.287	0.69	0.939
Ain Berda	140606	36.66°N	7.61°E	100	164.2	0.208	0.60	0.99
Pont Bouchet	140631	36.82°N	7.74°E	3	187.52	0.142	0.57	0.99

A titre d'exemple, les relations obtenues avant la validation du modèle pour Jijel au Nord et Ain Zerga, plus au Sud de la zone d'étude, s'écrivent

$$\text{- Jijel : } I = \frac{200T^{0,377}}{D^{0,70}} \quad (80)$$

$$\text{- Ain Zerga : } I = \frac{216T^{0,160}}{D^{0,73}} \quad (81)$$

où D et I sont respectivement exprimées en minutes et mm/h. Ainsi pour une durée de 60 minutes, l'intensité de la pluie décennale serait de l'ordre de 24 et 16 mm/h à Jijel et Ain Zerga.

Faut-il enfin noter que les performances au calage sont moins révélatrices des réelles capacités de simulation des modèles. Celles-ci sont mieux exprimées par la validation.

3.3.3. Validation des modèles HDF et IDF

Pour apprécier l'efficacité d'un modèle, les calculs sont généralement effectués sur des données qui n'ont pas été utilisées dans son étalonnage. Il existe, dans la littérature, un très grand nombre de métriques pour évaluer la sensibilité d'un modèle (Servat et Dezetter, 1990 ; Hingray et al., 2009 ; Biondi et al., 2012). Parmi les plus utilisés en hydrologie, on cite, entre autres, le coefficient de corrélation (R), le coefficient de détermination (R^2), l'écart absolu moyen (EAM), l'erreur quadratique moyenne (EQM) et les critères d'efficacité, plus robustes, de Nash-Sutcliffe (NSE), Willmott (d) et Kling-Gupta (KGE).

Une étude exhaustive de ces critères sort du cadre de cet exposé mais les expressions mathématiques de base sont données ci-dessous. La nomenclature des termes est commune aux différentes expressions : O_i et P_i correspondent aux valeurs observées et prévues (ou simulées) au pas de temps i , N est le nombre d'observations, $\bar{O}$ et $\bar{P}$ sont les moyennes des N valeurs observées et simulées par le modèle.

Le coefficient de détermination est le carré du coefficient de corrélation de Pearson. Il exprime la proportion de la variance expliquée par le modèle. Il varie de 0,0 à 1,0, avec des valeurs plus élevées indiquant une meilleure concordance entre les données observées et simulées ou prévues. Il est donnée par:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}) \times (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \right] \quad (82)$$

Le coefficient d'efficacité NSE , proposé par Nash (1969) et repris par Nash et Sutcliffe (1970), a été largement utilisé pour évaluer la performance des modèles hydrologiques. Ce coefficient, variable de moins l'infini à 1,0, avec des valeurs plus élevées ($NSE \geq 0,6$) indiquant un meilleur accord, a pour formulation :

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (83)$$

Physiquement NSE , est la différence entre 1 et le rapport de l'erreur quadratique moyenne, à la variance des données observées exprimée par (Legates et McCabe, 1999) :

$$EQM = N^{-1} \times \sum_1^N (O_i - P_i)^2 \quad (84)$$

Par exemple, si le carré des différences entre les simulations du modèle et les observations est aussi large que la variabilité dans les données observées, alors NSE vaut 0,0 indiquant que la moyenne observée $\bar{O}$ est le meilleur prédicteur (Wilcox et al., 1990).

L'Indicateur d'Agreement de Willmott (d_r), est un autre critère, sans dimension, largement utilisé pour l'évaluation de la performance de l'ajustement d'un modèle. Sous sa forme modifiée, il est donné par les expressions ci-dessous:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N |P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|^2} \quad (85)$$

$$d_1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (86)$$

$$d'_1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}|} \quad (87)$$

Cet indice varie de $-\infty$ à 1 avec des valeurs plus élevées indiquant que le modèle prédit des valeurs s'accordant mieux avec les observations.

Pour améliorer la performance des modèles *Pluie-Débit*, Gupta et al. (2009) ont proposé une modification du critère de Nash-Sutcliffe telle que :

$$NSE = -\beta_n - \alpha^2 + 2.R.\alpha \quad (88)$$

où R est le coefficient de corrélation (racine carrée de R^2 défini plus haut) entre les valeurs observées et estimées, α est la racine carrée du rapport des variances des données simulées (σ_P^2) et observées (σ_O^2), β_n est l'erreur de bilan normée définie par :

$$\beta_n = \frac{(\bar{O} - \bar{P})^2}{\sigma_O^2} \quad (89)$$

Ils proposent ensuite d'utiliser un critère de type *distance euclidienne* entre les valeurs prises par les trois composantes et leurs valeurs optimales. Ils introduisent alors le critère de Kling-Gupta (KGE), qui est la différence entre 1 et cette distance euclidienne. L'objectif étant d'atteindre les valeurs optimales des composantes, la distance euclidienne doit tendre vers zéro et on cherche ainsi à maximiser le KGE , comme le montrent les équations ci-dessous :

$$KGE = 1 - ED \quad (90)$$

$$ED = \sqrt{(R - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (92)$$

$$\beta = \frac{\bar{P}}{\bar{O}} \quad (93)$$

où β est une mesure du biais du modèle. La valeur idéale de KGE est donc égale à 1.

Dans la pratique, la recherche des jeux de paramètres optimaux pour le modèle considéré vis-à-vis d'un critère d'appréciation donné revient à trouver le jeu de paramètres qui donne la meilleure valeur du critère.

Faciles à mettre en œuvre manuellement ou automatiquement, les critères de performance de Nash-Sutcliffe, Willmott et le coefficient de détermination sont utilisés dans la présente étude. Dans le cas des modèles HDF retenus (équations 70 et 71), le jeu de paramètres porte uniquement sur la constante b , la pente des courbes représentatives. D'une façon générale, les courbes correspondant aux averses décennales, cinquantennales et centennales se superposent ou montrent un nuage de points ayant une tendance bien déterminée (figures 42 à 45).

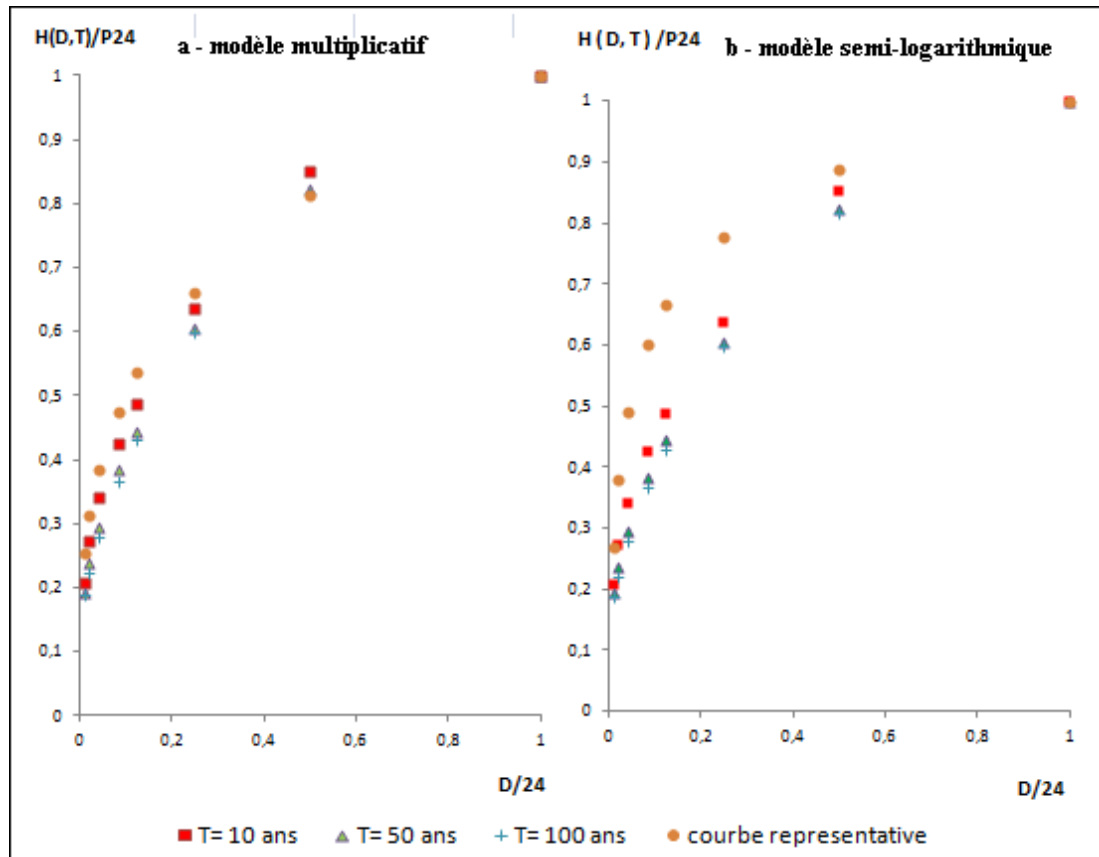


Fig. 42. Station de Bousnib -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus

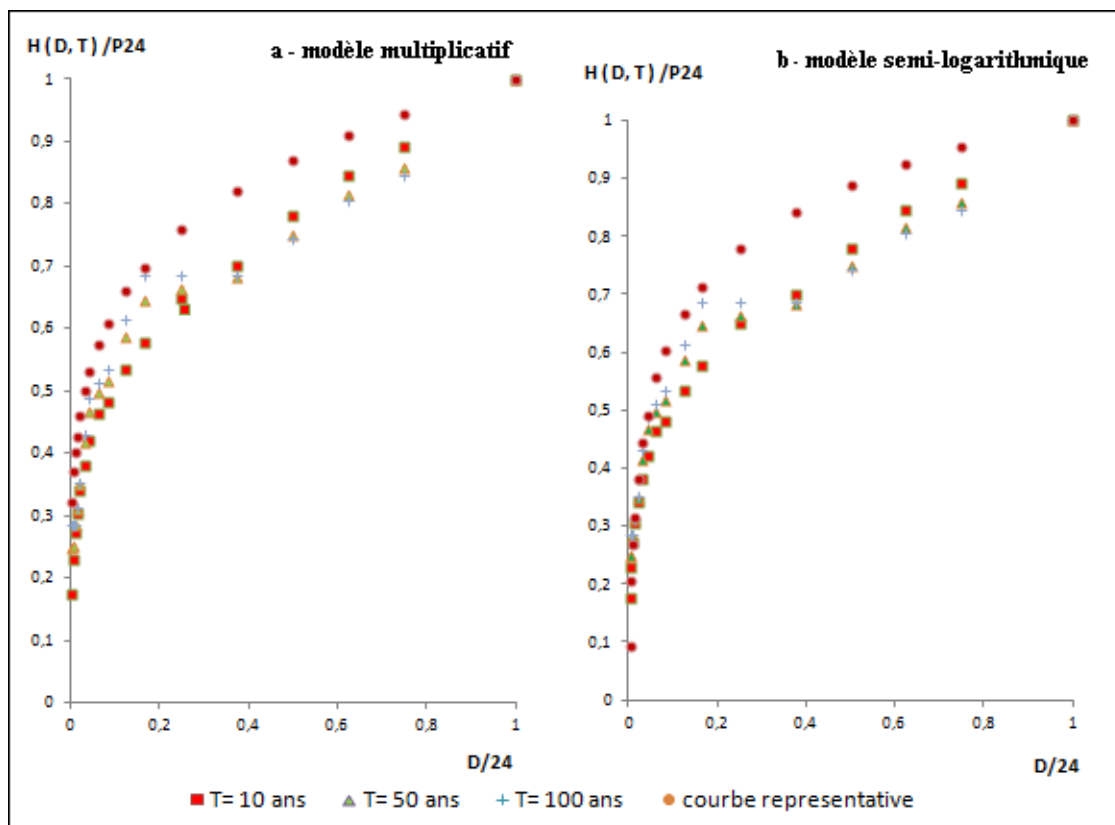


Fig. 43. Station de Foug Toub -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus

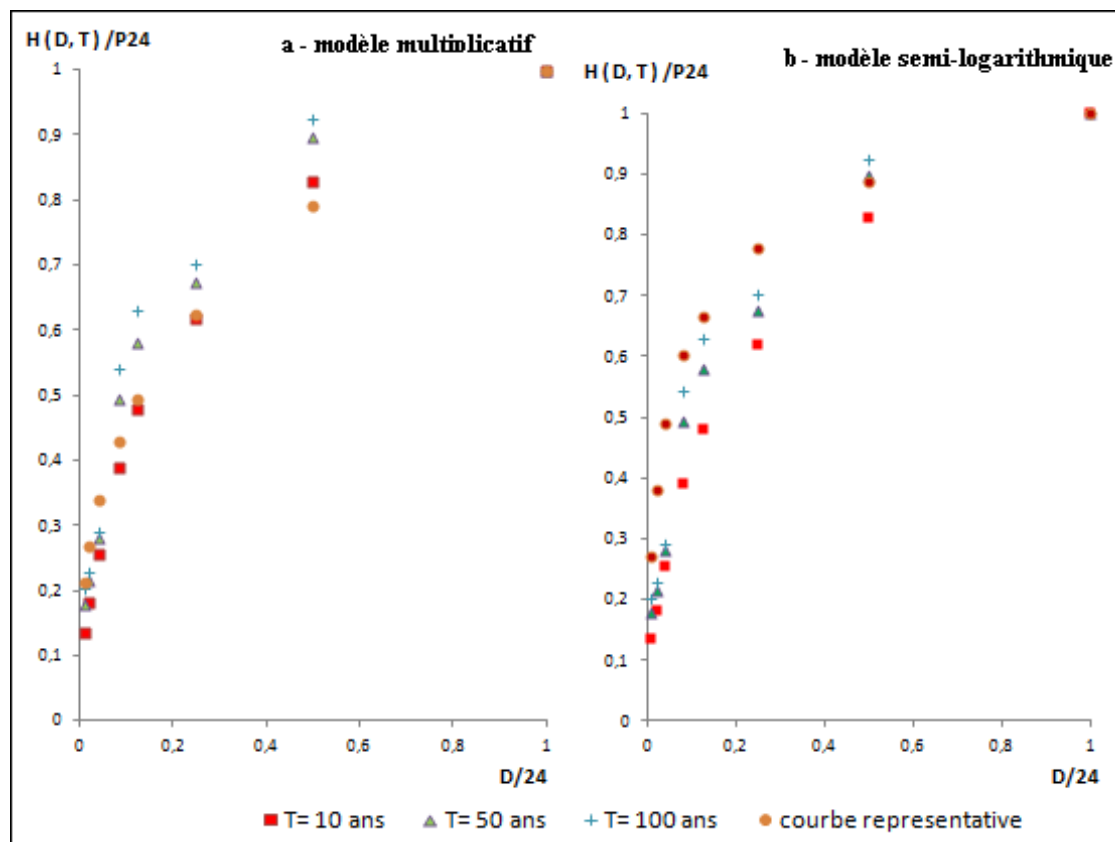


Fig. 44. Station de Settara -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus

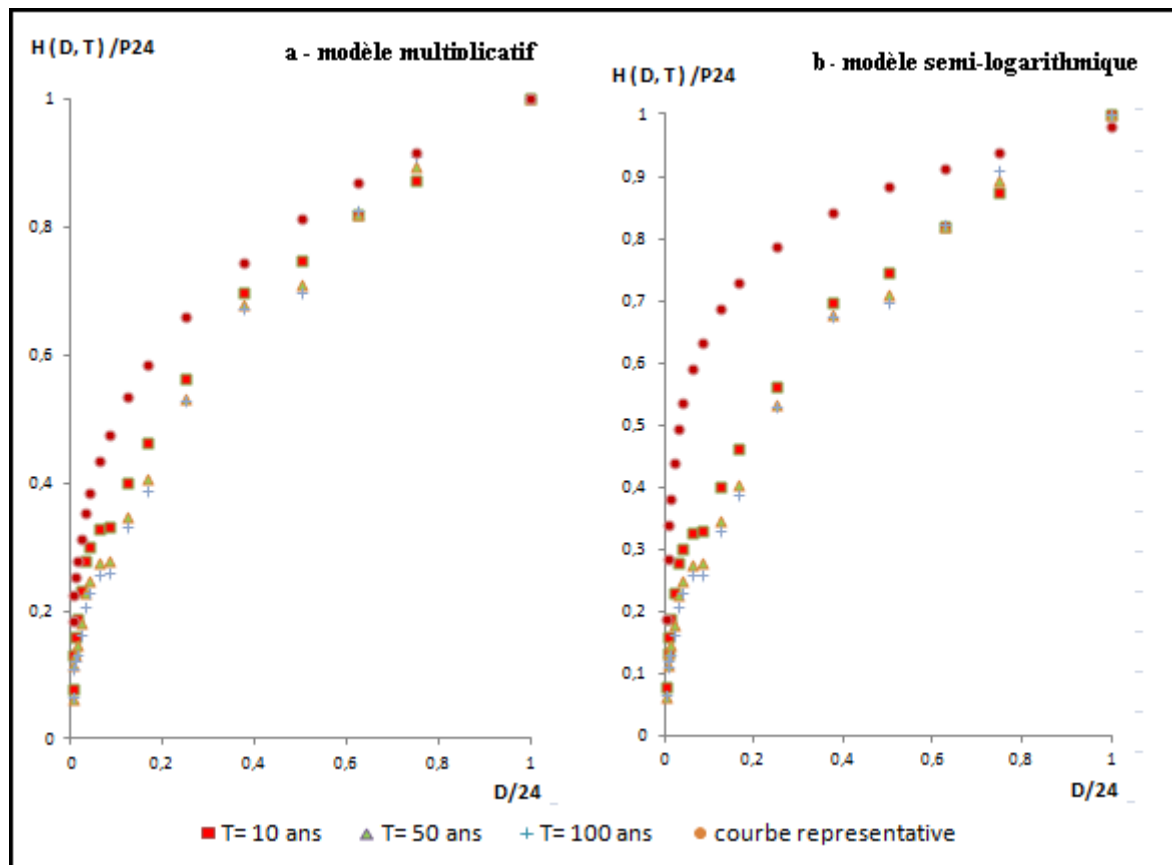


Fig. 45. Station de Pont Bouchet -Tracé des courbes représentatives des modèles retenus

Ce qui laisse supposer que, pour une même station, les averses de fortes intensités se répartissent de façon uniforme dans le temps. Ainsi une courbe représentative du nuage des points est tracée en faisant varier la constante b de façon à obtenir la meilleure valeur du critère de validation. Les tableaux ci-dessous résument les résultats ainsi trouvés.

Une fois les modèles de régression sont calibrés et validés on peut établir les courbes HDF pour toutes les stations. Les courbes ci-dessous en sont des exemples représentatifs des bassins hydrographiques du Nord-est algérien (figures 46 à 50).

Dans le cas des courbes IDF, les données prédites par le modèle à 3-paramètres de Bernard pour une période de retour égale ou proche au double de la taille de l'échantillon ($T \approx 2N$) sont comparées aux données observées sur les plus fortes précipitations enregistrées durant toute la période d'observation N (intensité maximale absolue) de chaque station. Le jeu de paramètres qui donnent le critère optimal porte sur les trois paramètres c , m et b' du modèle de Bernard tout en restant proche des constantes trouvées lors de la phase de calibration.

Tableau 74- Résultats de la validation du modèle multiplicatif

Station	Paramètres du modèle		Willmott			Nash-Sutcliffe	R ² (%)
	a	b	d	d _I	d _I ’	NSE	
Bassin des Côtiers constantinois							
Jijel	1	0,31	0,97	0,88	0,88	0,89	93
Bousnib	1	0,3	0,98	0,89	0,89	0,91	93
Chaffia Bge	1	0,3	0,98	0,89	0,89	0,91	93
Ain Assel	1	0,3	0,98	0,89	0,89	0,91	93
Bassin des Hauts plateaux constantinois							
Foum EL toub	1	0,2	0,96	0,80	0,8	0,85	95
Foum Gueis	1	0,26	0,98	0,89	0,90	0,94	94
Bassin du Kébir-Rhumel							
Redjas Ferada	1	0,2	0,96	0,80	0,82	0,85	95
Chelghoum Laid	1	0,26	0,98	0,89	0,90	0,94	94
Ouled Rahmoun	1	0,2	0,96	0,80	0,82	0,85	95
Settara	1	0,34	0,96	0,84	0,84	0,83	92
Bassin de la Medjerda-Mellegue							
Cheikh Abdallah	1	0,36	0,95	0,82	0,8	0,79	92
Tébessa	1	0,26	0,98	0,89	0,90	0,94	94
Ain Zerga	1	0,26	0,98	0,89	0,90	0,94	94
Bassin de la Seybouse							
Aioun Settara	1	0,24	0,98	0,87	0,88	0,93	94
Tamlouka	1	0,2	0,96	0,80	0,82	0,85	95
Guelma	1	0,3	0,98	0,89	0,89	0,91	93
Ain Berda	1	0,3	0,98	0,89	0,89	0,91	93
Pont Bouchet	1	0,3	0,98	0,89	0,89	0,91	93

Tableau 75- Résultats de la validation du modèle semi-logarithmique

Station	Paramètres du modèle		Willmott			Nash-Sutcliffe	R ² (%)
	a	b	d	d ₁	d ₁ '	NSE	
Bassin des Côtiers constantinois							
Jijel	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Bousnib	1	0,16	0,96	0,82	0,80	0,82	95
Chaffia Bge	1	0,15	0,98	0,87	0,87	0,92	96
Ain Assel	1	0,16	0,96	0,82	0,80	0,82	95
Bassin des Hauts plateaux constantinois							
Foum EL toub	1	0,16	0,96	0,82	0,80	0,82	95
Foum Gueis	1	0,15	0,98	0,87	0,87	0,92	96
Bassin du Kébir-Rhumel							
Redjas Ferada	1	0,15	0,98	0,87	0,87	0,92	96
Chelghoum Laid	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Ouled Rahmoun	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Settara	1	0,16	0,96	0,82	0,80	0,82	95
Bassin de la Medjerda-Mellegue							
Cheikh Abdallah	1	0,16	0,96	0,82	0,80	0,82	95
Tébessa	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Ain Zerga	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Bassin de la Seybouse							
Aioun Settara	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Tamlouka	1	0,15	0,98	0,87	0,87	0,92	96
Guelma	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96
Ain Berda	1	0,16	0,96	0,82	0,80	0,82	95
Pont Bouchet	1	0,14	0,96	0,82	0,82	0,86	96

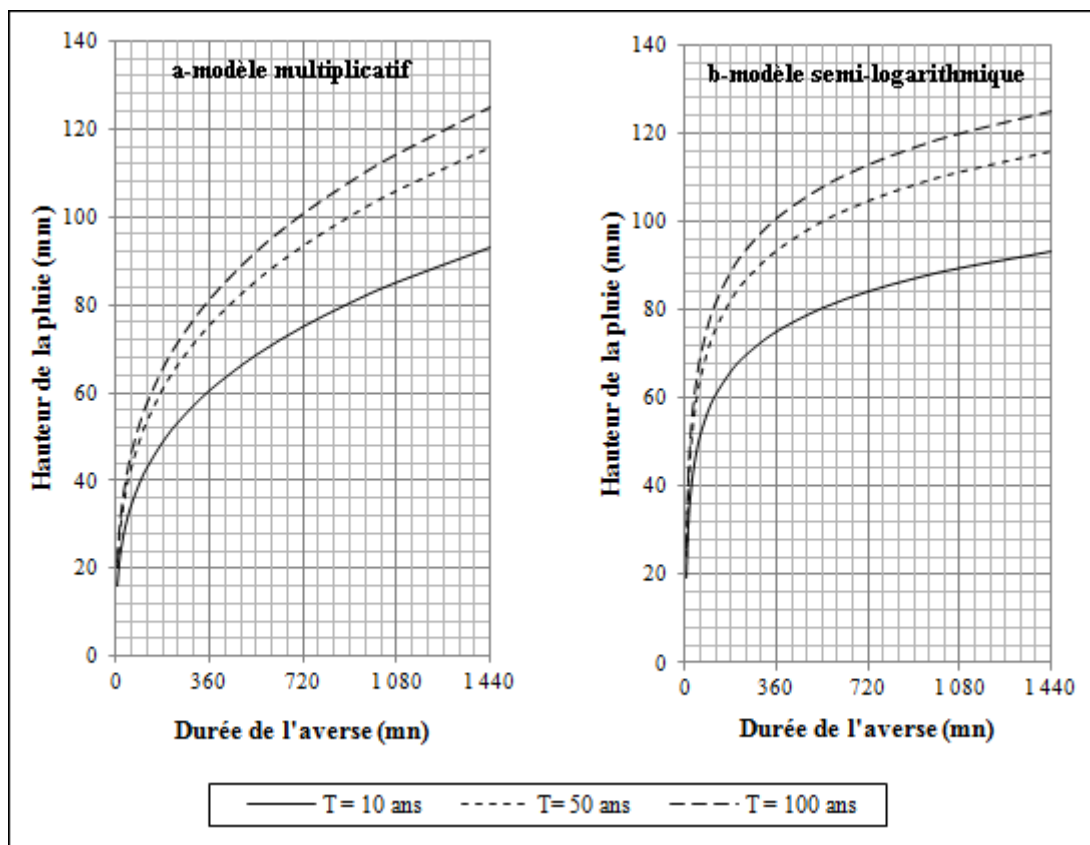


Fig. 46. Station de Jijel - Courbes HDF

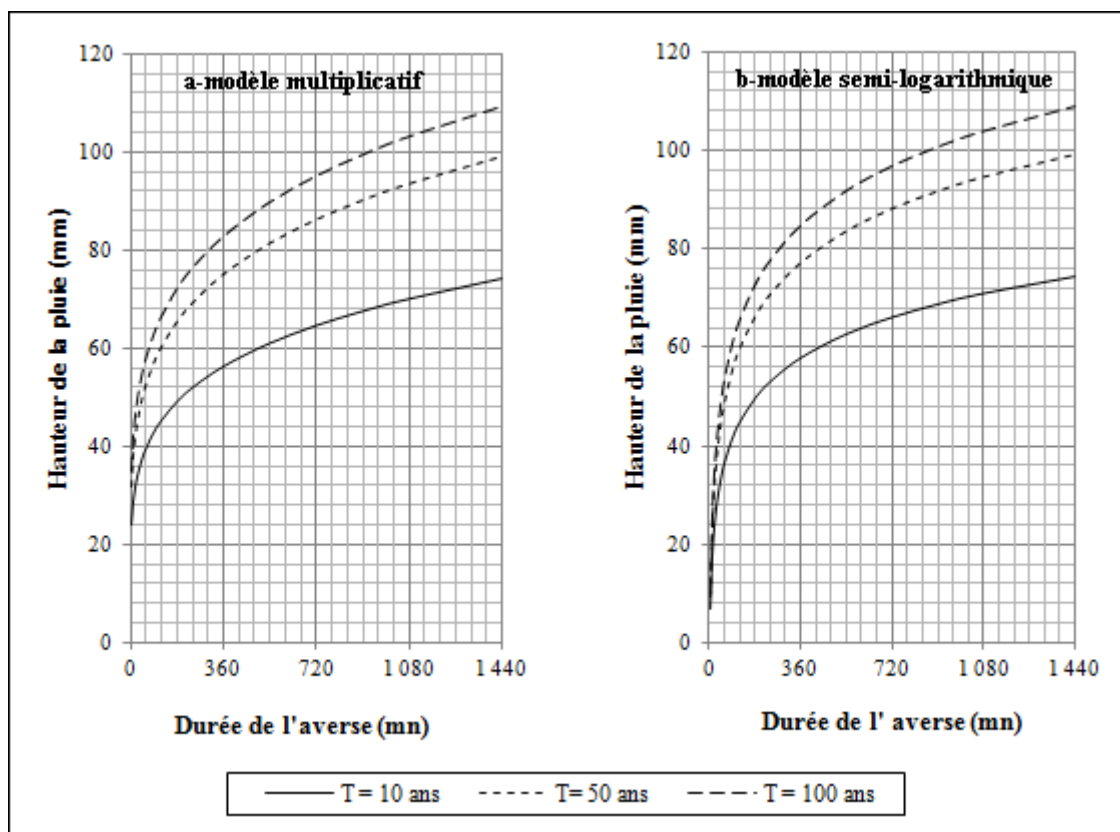


Fig. 47. Station de Foug Toub - Courbes HDF

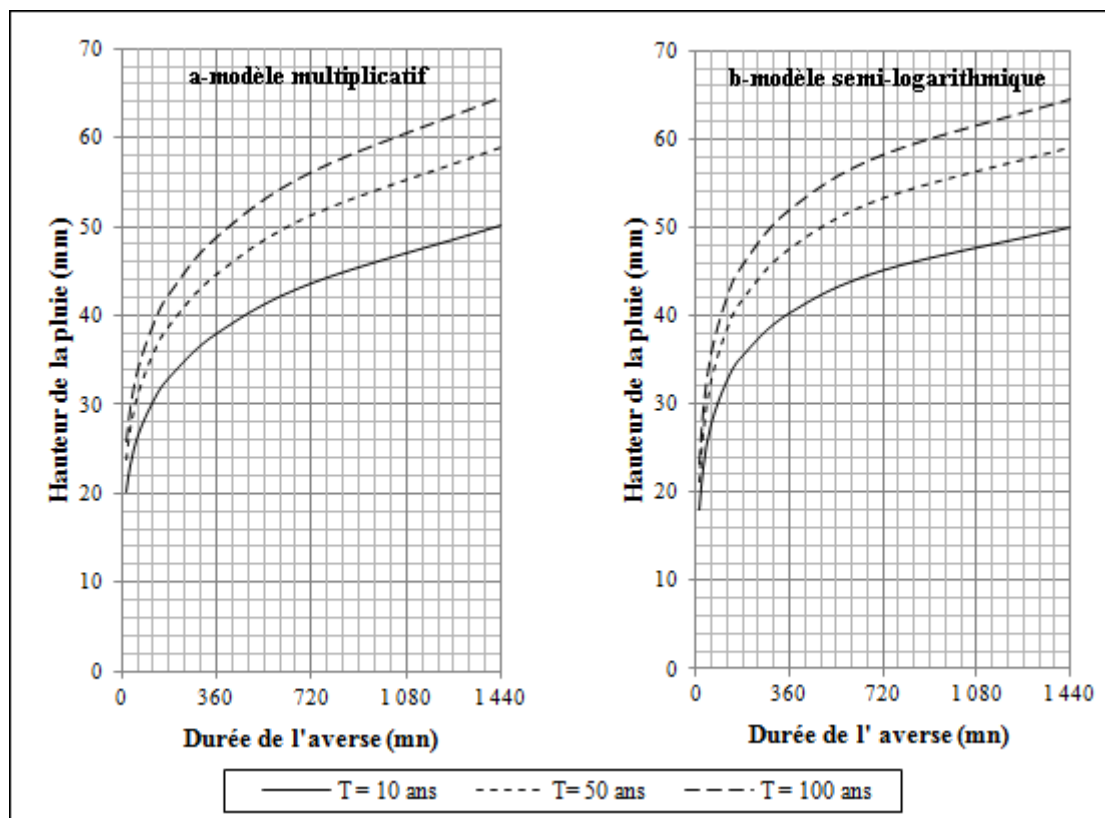


Fig. 48. Station de Chelghoum Laid - Courbes HDF

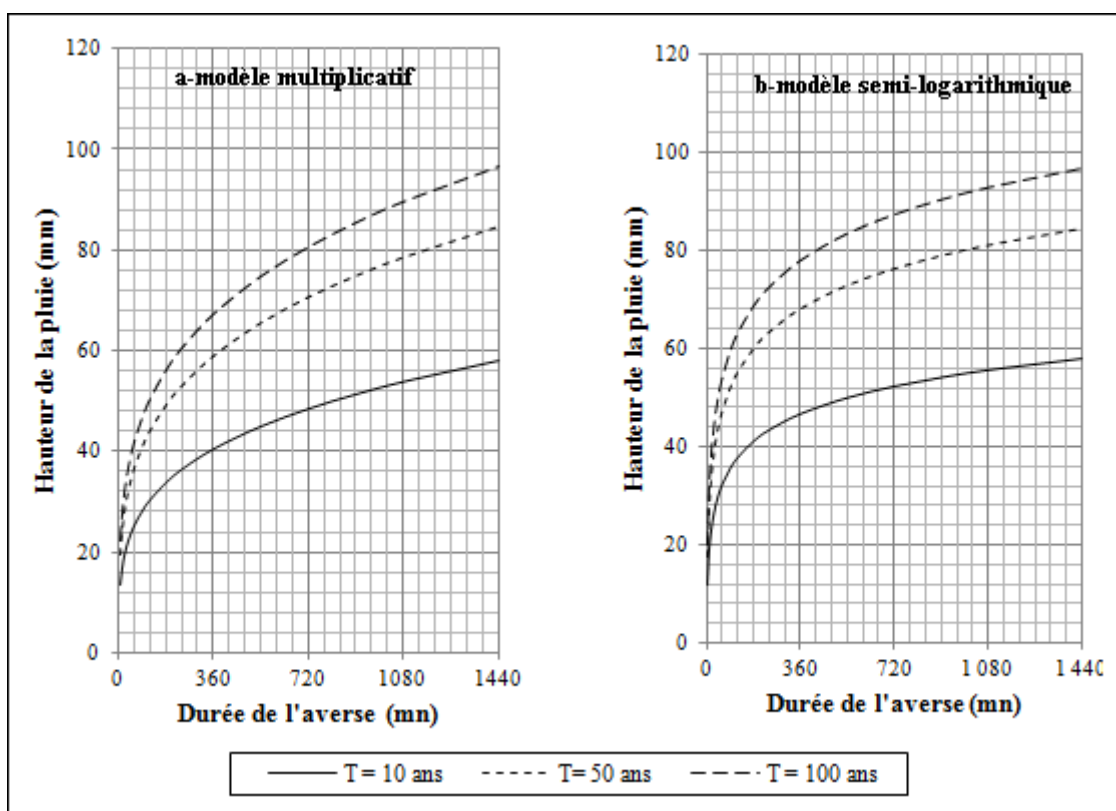


Fig. 49. Station de Tébessa - Courbes HDF

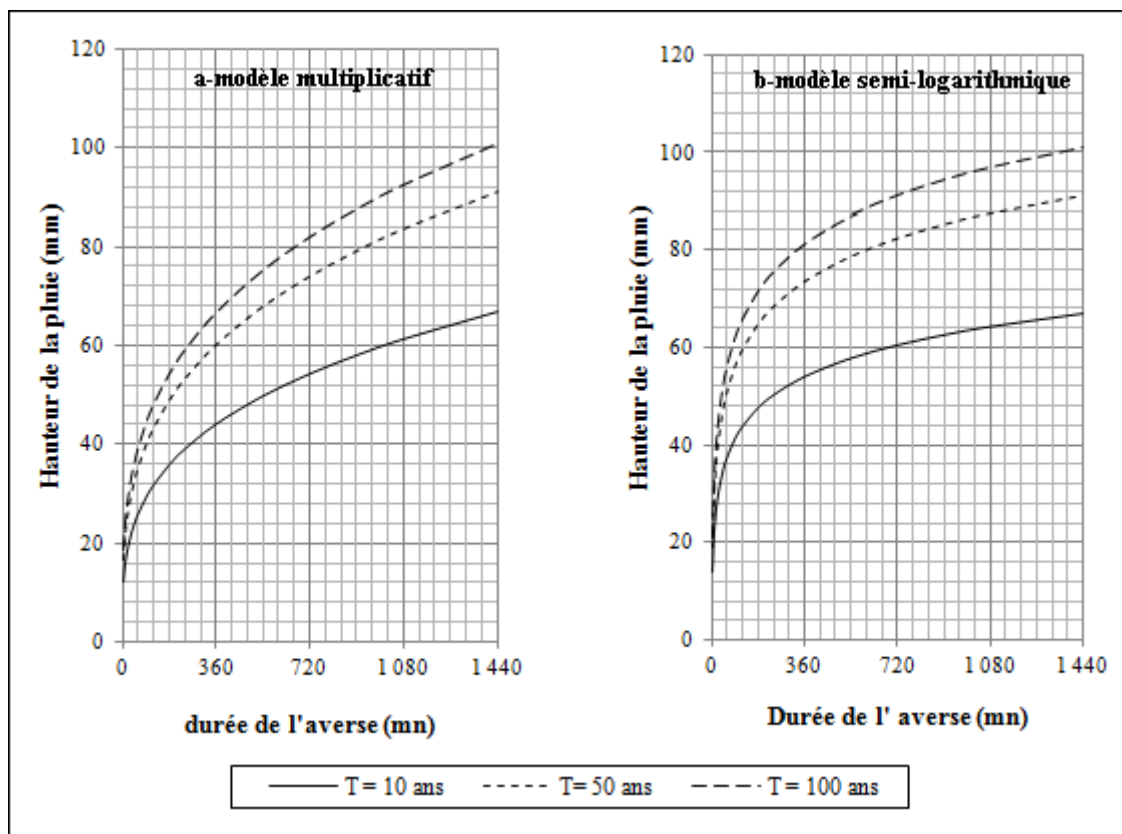


Fig. 50. Station de Guelma - Courbes HDF

Les résultats de la validation du modèle de Bernard sont consignés au tableau ci-dessous.

Tableau 76. Résultats de la validation du modèle de Bernard pour l'ajustement des pluies intenses dans le Nord-est algérien

Identification de la Station		Paramètres du modèle			Critère de validation du modèle				
Nom	Code	c	m	b'	d	d ₁	d ₁ '	NSE	R ² (%)
Bassin des Côtiers constantinois									
Jijel	30301	200	0,32	0,70	0,94	0,82	0,83	0,76	80
Bousnib	30905	192	0,13	0,60	0,96	0,93	0,93	0,98	100
Chaffia	31501	222	0,30	0,65	1,00	0,95	0,95	0,99	99
Ain Assel	31601	130	0,45	0,66	0,99	0,94	0,94	0,99	99
Bassin des Hauts Plateaux constantinois									
Foum Toub	70406	206	0,38	0,73	0,99	0,92	0,92	0,97	98
Foum El Gueis	70720	300	0,13	0,73	0,98	0,91	0,92	0,94	98
Bassin du Kébir-Rhumel									
Redjas Ferada	100201	170	0,32	0,69	0,99	0,92	0,92	0,97	97
Chelghoum Laid	100312	253	0,16	0,69	1,00	0,97	0,97	0,99	99
Ouled Rahmoun	100508	160	0,32	0,66	0,99	0,93	0,94	0,96	98
Settara	100711	70	0,38	0,60	0,99	0,89	0,88	0,94	97

Tableau 76. Suite

Identification de la Station		Paramètres du modèle			Critère de validation du modèle				
Nom	Code	c	m	b'	d	d ₁	d ₁ '	NSE	R ² (%)
Bassin de la Medjerda-Mellegue									
Cheikh Abdallah	120113	134	0,37	0,66	0,99	0,93	0,93	0,98	99
Tebessa	120301	215	0,33	0,74	1,00	0,94	0,94	0,99	99
Ain Zerga	120510	314	0,16	0,73	0,98	0,88	0,88	0,91	94
Bassin de la Seybouse									
Aioun Settara	140105	110	0,38	0,73	0,94	0,80	0,81	0,77	86
Tamlouka	140204	280	0,36	0,80	1,00	0,94	0,94	0,98	99
Guelma Lycée	140412	196	0,30	0,69	0,99	0,93	0,93	0,98	99
Ain Berda	140606	165	0,20	0,62	0,99	0,91	0,91	0,95	96
Pont Bouchet	140631	185	0,13	0,57	0,98	0,93	0,93	0,93	95

Enfin, les courbes IDF peuvent ainsi être tracées pour l'ensemble des stations. Les figures 51 à 59 en sont des exemples représentatifs.

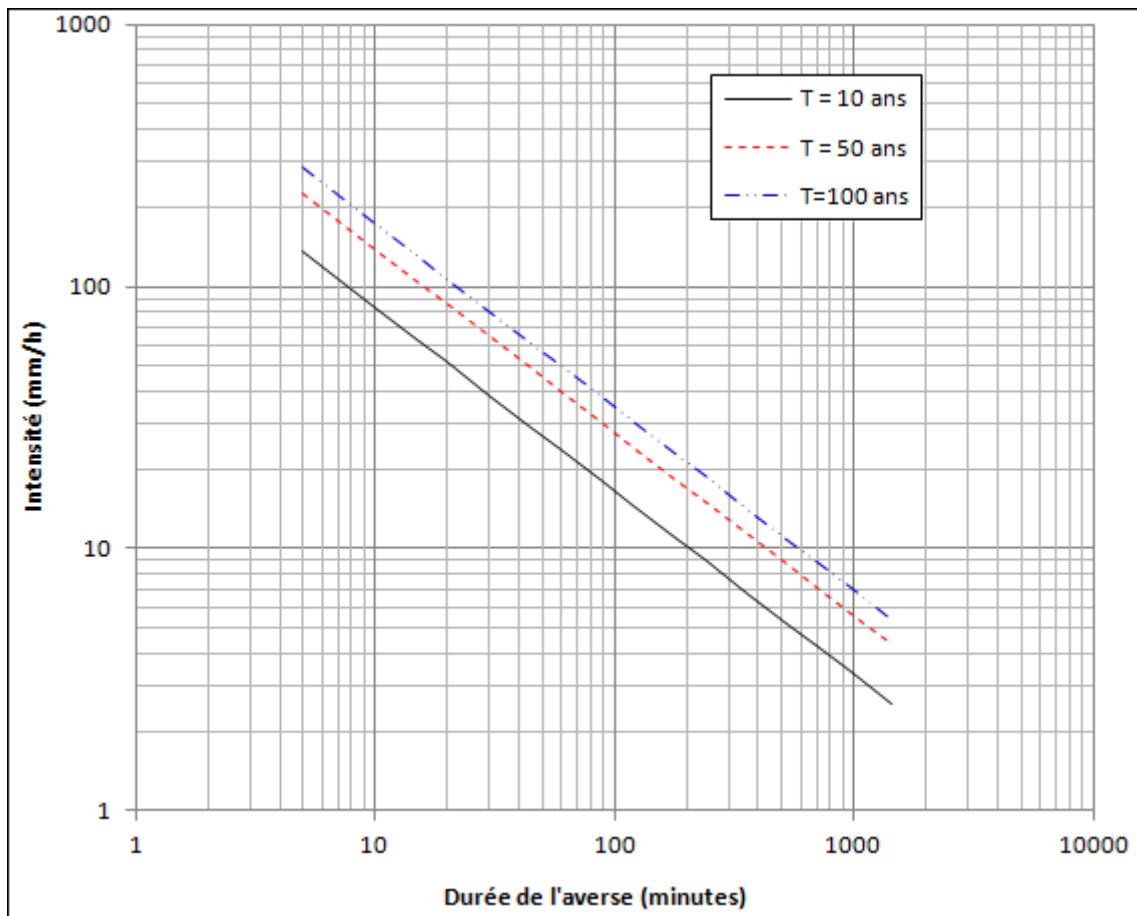


Fig. 51. Station de Jijel – Courbes IDF

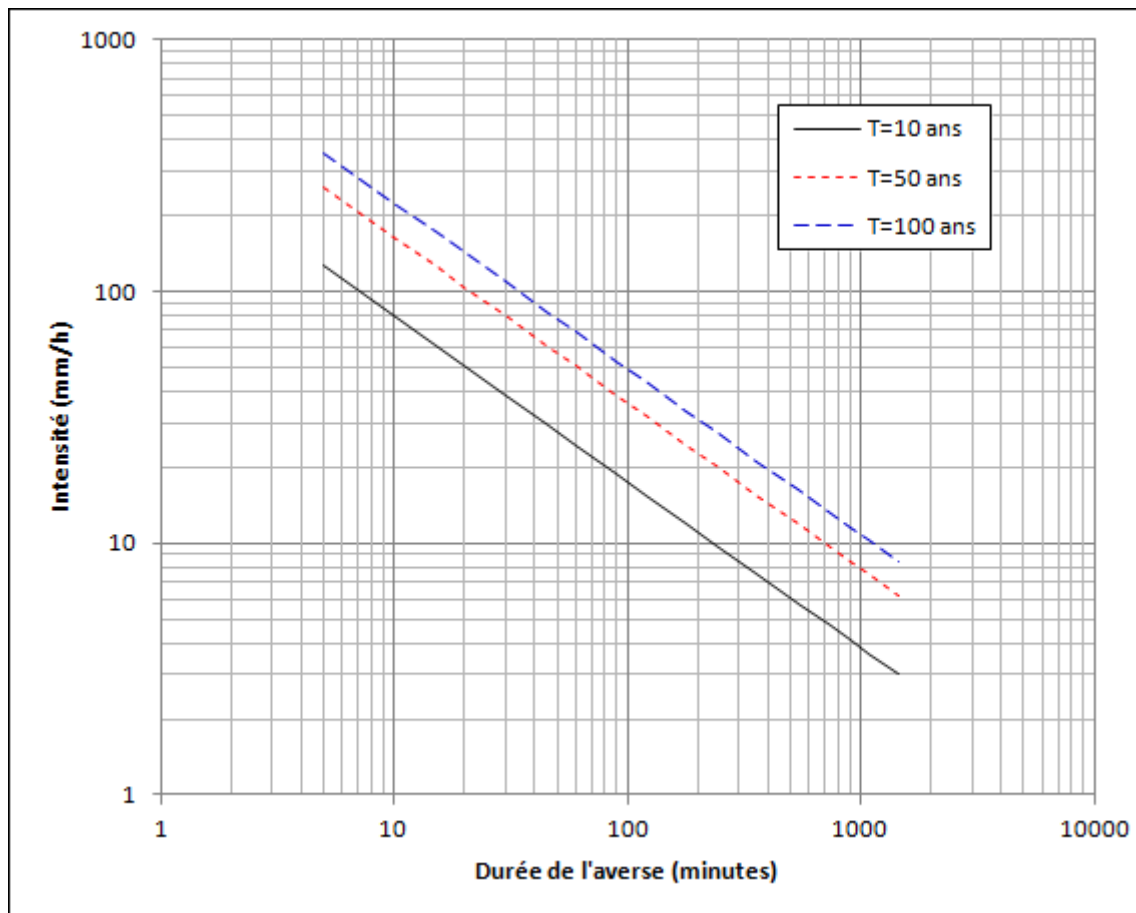


Fig. 52. Station d'Ain Assel – Courbes IDF

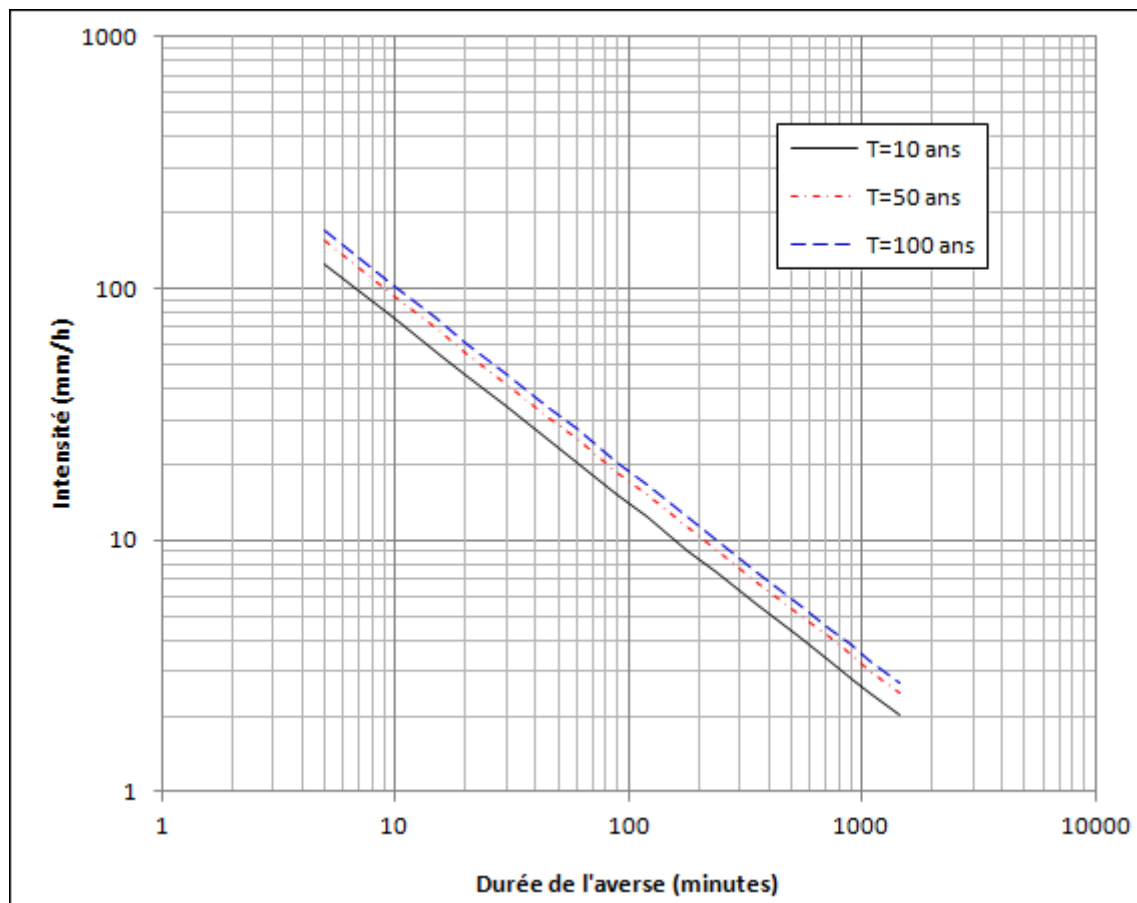


Fig. 53. Station de Foug El Gueis – Courbes IDF

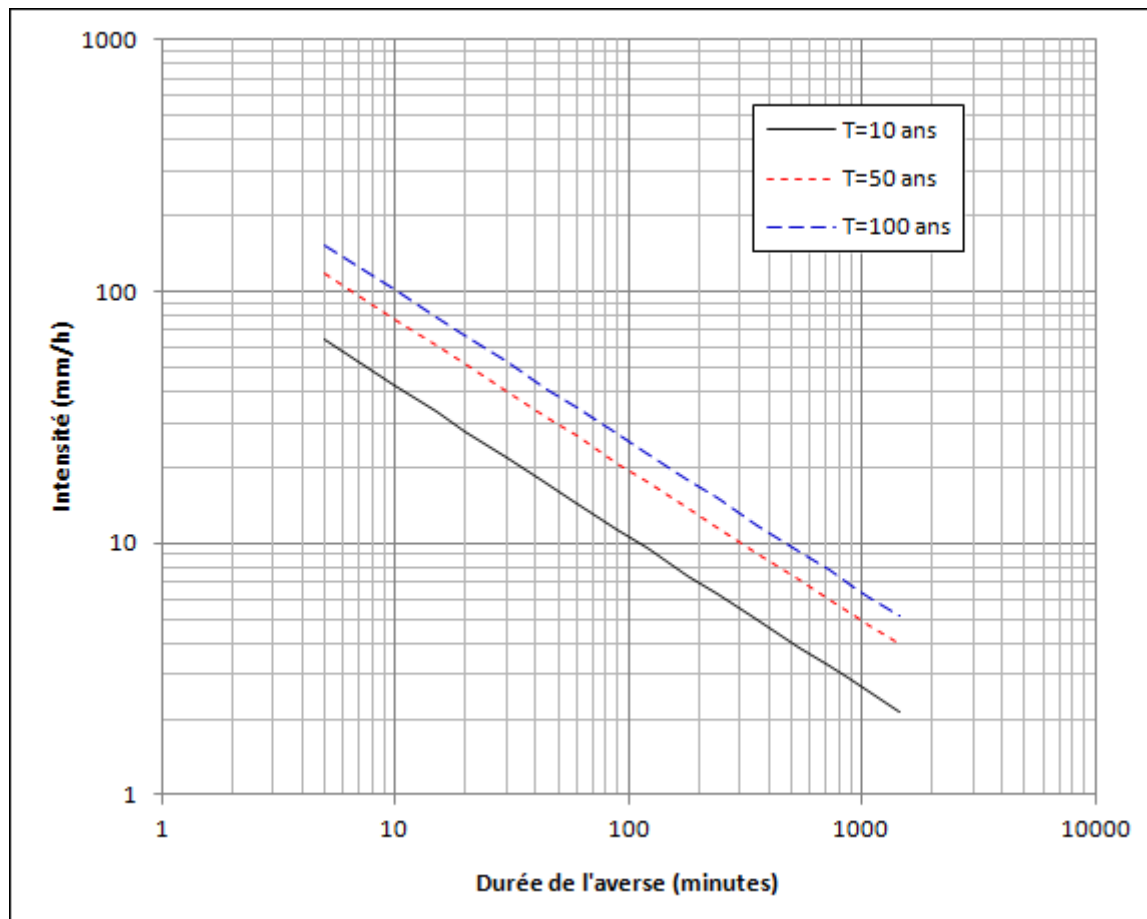


Fig. 54. Station de Settara – Courbes IDF

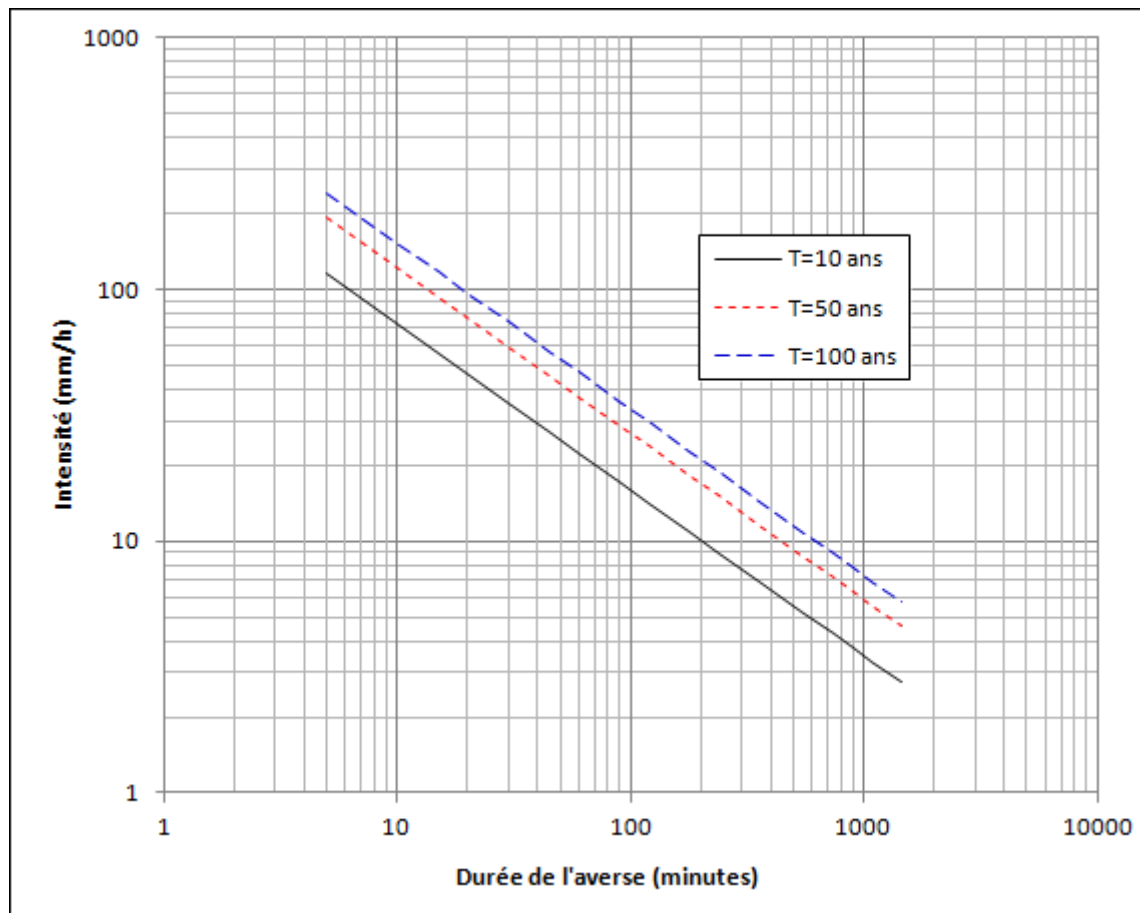


Fig. 55. Station de Ouled Rahmoun – Courbes IDF

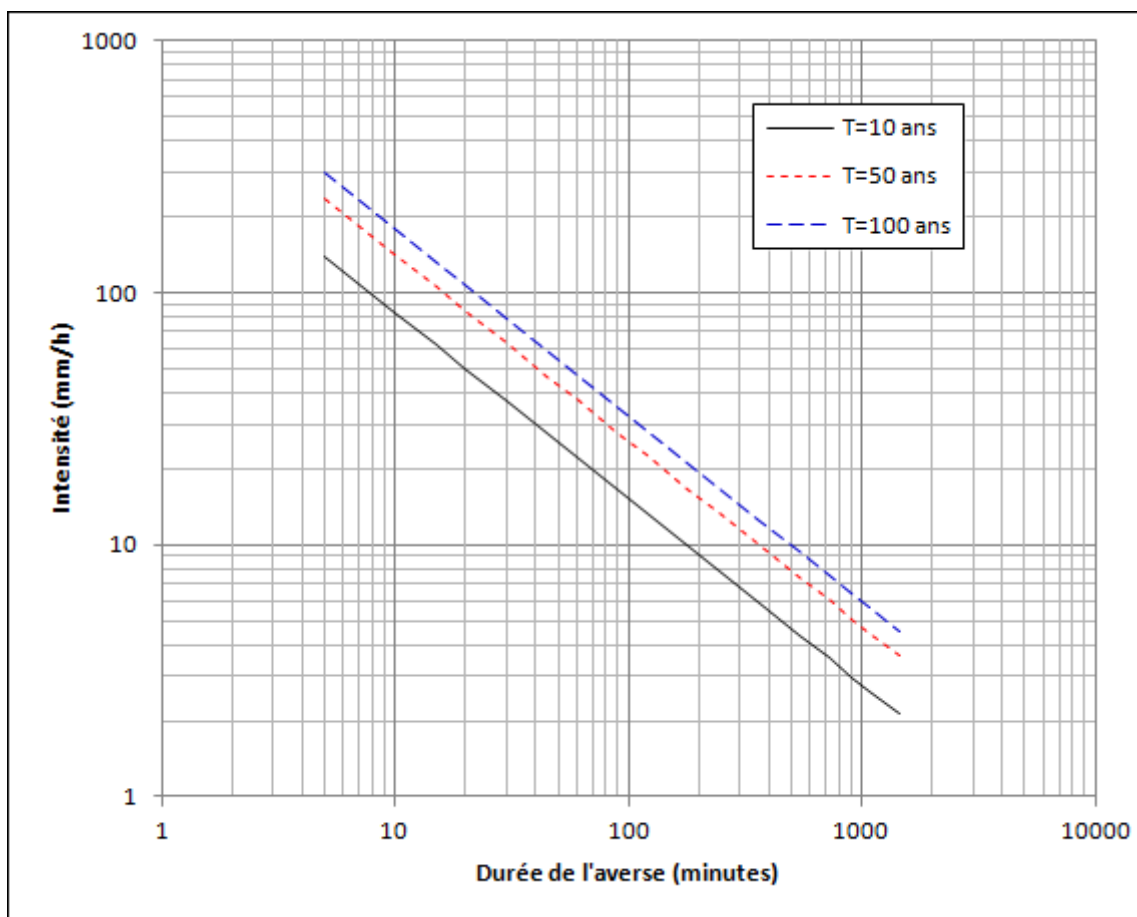


Fig.56. Station de Tébessa – Courbes IDF

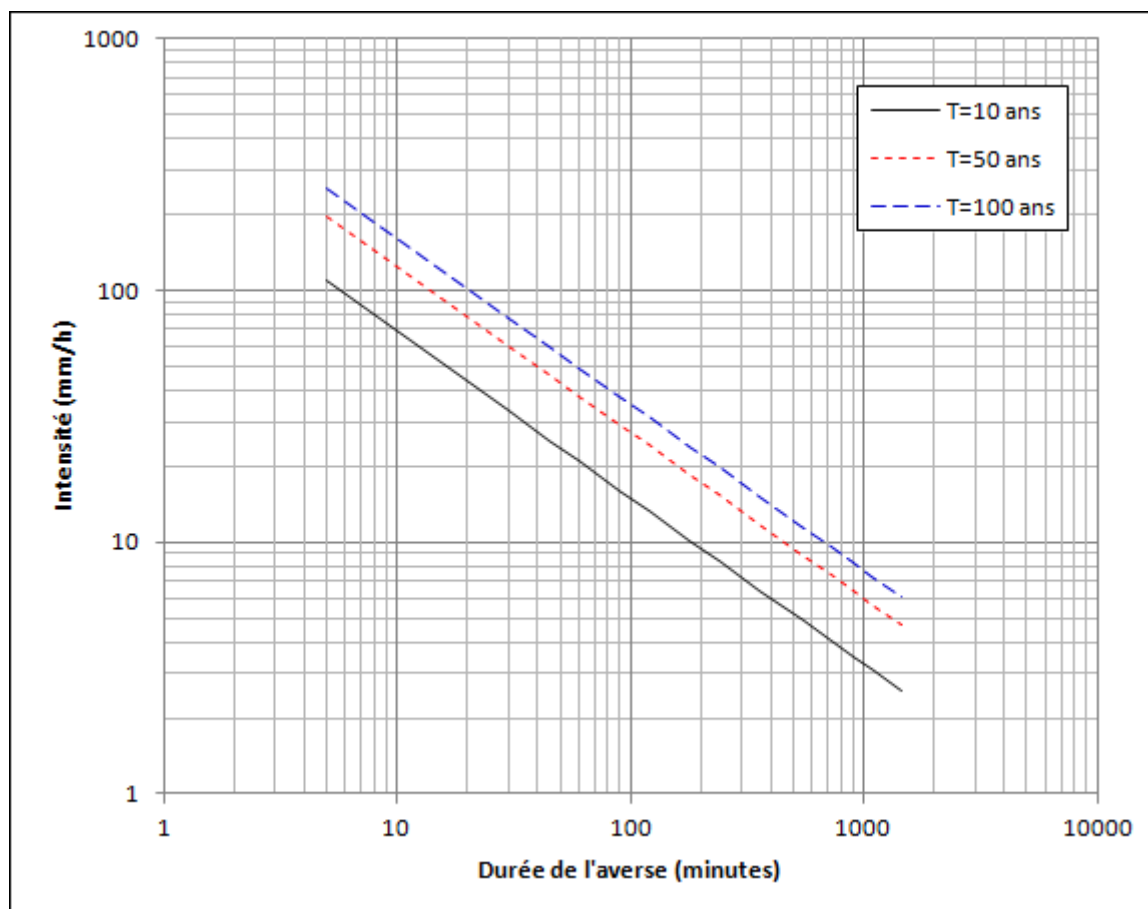


Fig.57. Station de Cheikh Abdallah - Courbes IDF

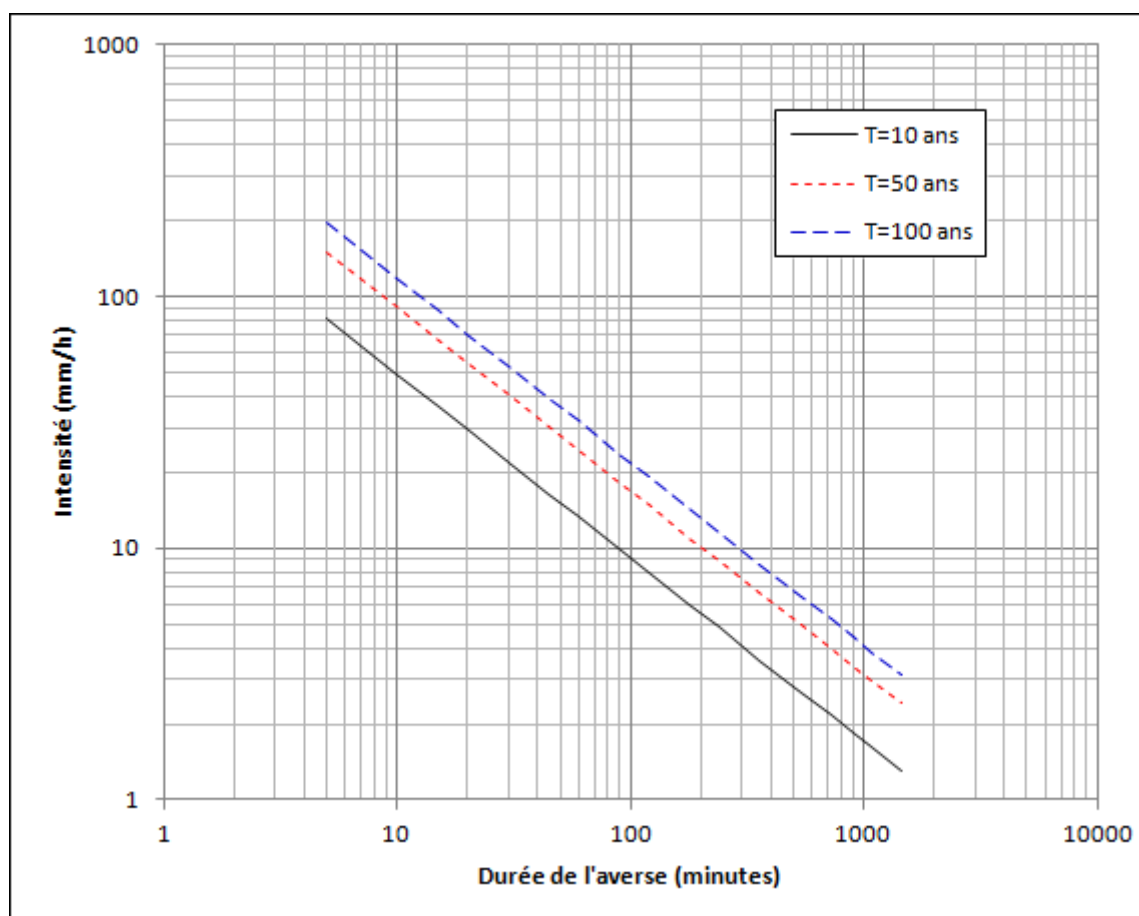


Fig. 58. Station de Aioun Settara – Courbes IDF

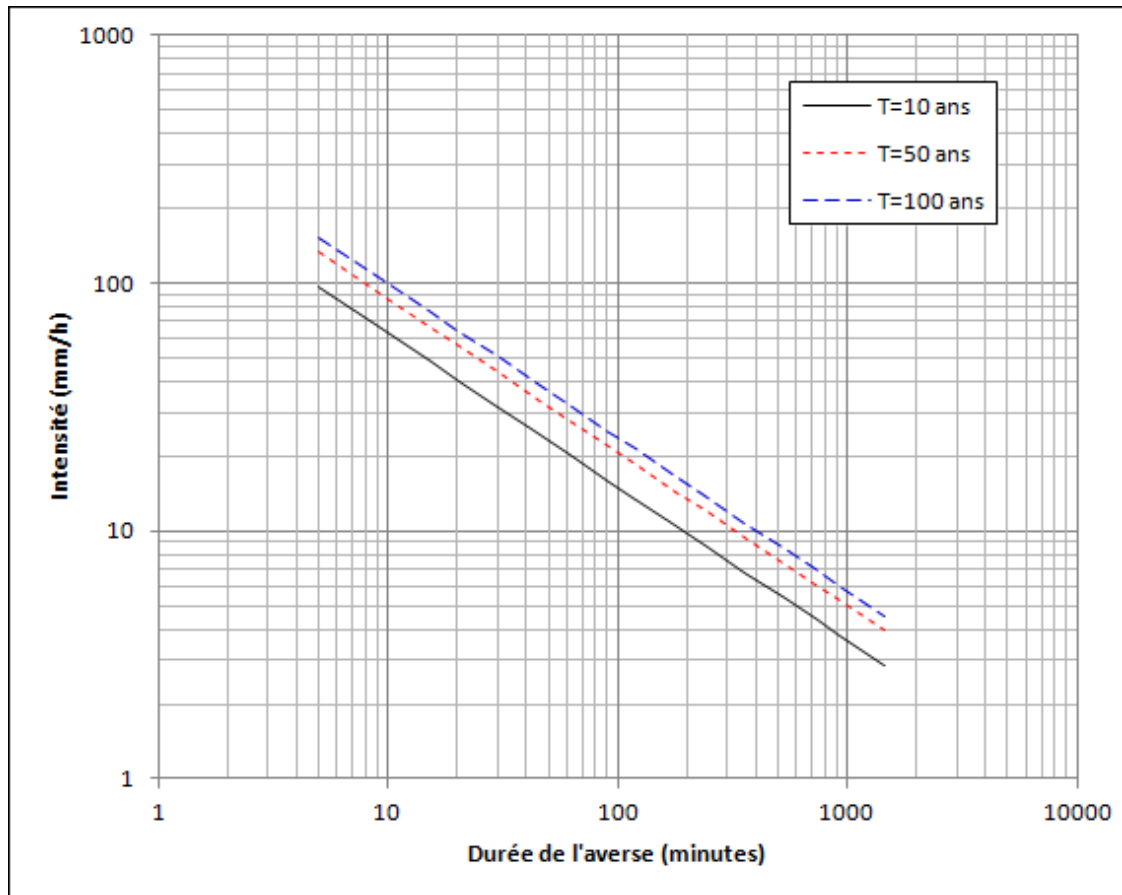


Fig. 59. Station d'Ain Berda – Courbes IDF

5. Conclusion

L'intérêt principal de ce chapitre est de trouver un modèle capable de rendre compte des caractéristiques des pluies intenses de courtes durées ($D \leq 24$ heures) à partir de séries chronologiques de pluviographes pour 18 stations dans le Nord-est de l'Algérie en adoptant une démarche scientifique bien déterminée. D'une manière générale, la détermination du meilleur ajustement a toujours été délicate et le choix du modèle peut être crucial pour l'estimation des pluies de projet. Bien que les séries chronologiques soient très courtes pour certaines stations, l'accord entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales a permis de développer deux modèles empiriques de réduction des pluies (modèles multiplicatif et semi-logarithmique) pour estimer les précipitations de courte durée à partir des données quotidiennes et un modèle de type Bernard décrivant de façon satisfaisante les relations Intensité-Durée-Fréquence des pluies intenses dans la zone d'étude. Moyennant certaines précautions, ces outils peuvent être utilisés pour une transposition de l'information pluviométrique afin de réaliser des cartes isohyétales dans le Nord-est de l'Algérie. Ce qui en augmenterait la rentabilité et permettrait de résoudre beaucoup de problèmes hydrotechniques.

CHAPITRE V

CARTOGRAPHIE DES PLUIES INTENSES

1. Introduction

Les paramètres pluviométriques s'expliquent en grande partie par des facteurs géographiques (position spatiale : altitude, site du poste, distance à la mer, etc.). De plus les caractéristiques statistiques de la pluie ont une certaine structure spatiale. Ainsi avoir une vue d'ensemble sur la variabilité spatiale et temporelle de la pluie est très importante en hydrologie ce qui demande une représentation cartographique de l'aléa pluviométrique. Plusieurs auteurs ont proposé de cartographier les paramètres statistiques des précipitations parmi lesquels on cite Laborde (1982), Kieffer Weisse (1998) et Djerboua (2001). Cette cartographie est une forme de régionalisation des pluies extrêmes.

La présente étude consiste à dresser des cartes isohyètes relatives aux épisodes pluvieux ayant fourni des hauteurs pluviométriques importantes. Ces cartes représentatives sont établies pour des durées de référence de 15, 30, 60 et 1440 minutes et des intervalles de récurrence de 10 et 100 ans. Ces cartes mettent en évidence la variabilité spatiale et temporelle des pluies intenses à grande échelle (c'est-à-dire au niveau de la zone d'étude). Cette forme de régionalisation facilite la localisation des zones d'intensités maximales de pluie et de visualiser l'extension géographique des différents épisodes pluvieux d'une durée et une fréquence données. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître les hauteurs maximales des pluies décennales et centennales relatives aux durées sus indiquées pour le maximum de postes pluviométriques afin d'affiner l'interpolation.

2. Estimation de la hauteur des averses (relevés aux pluviomètres)

Les observations aux pluviographes (18 postes uniquement) sont insuffisantes pour dresser une cartographie plus ou moins correcte de la hauteur des pluies pour des durées de référence inférieures à 24 heures. De plus, les valeurs de la constante b varient dans l'espace, sans qu'il soit pour autant aisé de mettre en évidence une organisation spatiale précise. La matrice et le cercle de corrélation (tableau 77 et figure 60) montrent que l'altitude (relief), la latitude (l'éloignement de la mer) et la nature de la loi de distribution des probabilités semblent jouer

un rôle important dans la variabilité des paramètres des modèles HDF et IDF. Autrement dit, les principaux descripteurs statistiques des séries temporelles ponctuelles varient dans l'espace, à l'échelle annuelle comme à l'échelle événementielle. La distribution des intensités maximales et des cumuls d'averses, sont influencés par différents gradients, l'un lié à l'altitude et l'autre, à la position Sud Nord.

Tableau 77. Matrice de corrélation des principaux descripteurs des averses

Variables	Latitude	Longitude	Altitude	Paramètre des modèle HDF et IDF			
				b	c	m	b'
Latitude	1						
Longitude	-0,0944	1					
Altitude	-0,8678	-0,0718	1				
b	0,5244	0,2587	-0,4809	1			
c	-0,5186	0,0785	0,4043	-0,3613	1		
m	0,0728	0,0138	-0,1310	-0,0731	-0,5516	1	
b'	-0,6809	-0,0355	0,5311	-0,6038	0,5389	0,2678	1

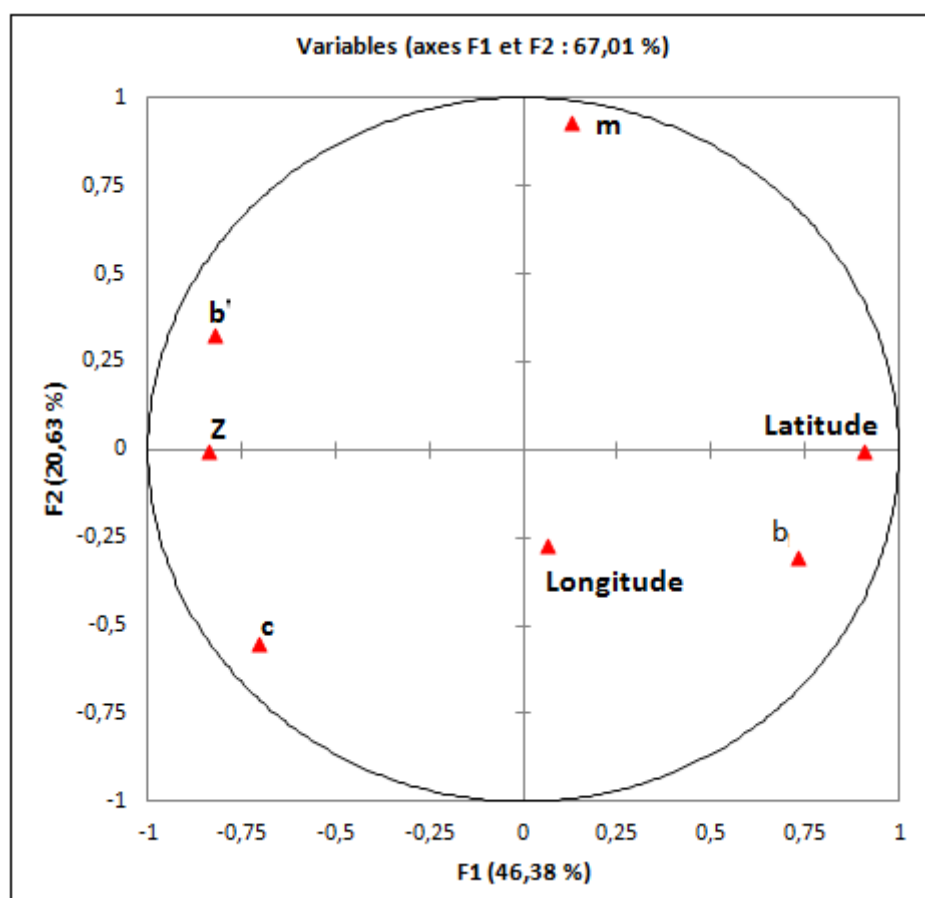


Fig. 60. Cercle corrélation des principaux descripteurs des averses

Pour des fins de régionalisation, il faut ainsi faire recours aux modèles empiriques pour prédire les hauteurs des pluies probables de courtes durées.

Dans la présente étude, les pluies maximales de courtes durées sont obtenues à l'aide des équations de réduction de la pluie (70 et 71) développées au chapitre précédent.

Compte tenu des valeurs, quelque peu différentes, des constantes régionales on a procédé à un zonage basé essentiellement sur le bon sens, le rapprochement géographique et les affinités hydro-climatiques entre les postes pluviométriques de référence (pluviographes) et les stations cibles (pluviomètres). Le tableau 78 montre la répartition des stations cibles et des stations de référence correspondantes.

Tableau 78. Répartition des stations cibles et des stations de référence

Station cible	Code	Station de référence	Station cible	Code	Station de référence
Bassin des côtières constantinois					
Domaine Dehas	30104	Jijel (30302)	Bousnib	30905	Bousnib (30905)
Amoucha	30204		Ramdan Djamel	30909	
Jijel	30301		Bekkouche Lakhdar	31102	
Texana	30302		Skikda	Ski	
Harma	30319		Ain Cherchar	31201	Ain Berda(140606)
Erraguene	30401		Berrahal	31302	Pont Bouchet (140631)
Col de Fdouls	30403		Bouati Mahmoud	31105	Guelma (140412)
Taher	30504		Ain Kerma	31604	Chaffia Bge (31501)
Zardezas	30903	Bousnib (30905)			
Bassin des hauts plateaux constantinois					
Batna	70316	Foum Toub (70406)			
Bassin du Kébir-Rhumel					
Belaa	100302	Chelghoum Laid (100312)	Bir Drimil	100411	Ouled Rahmoun (100508)
Bir El Arch	100306		Ain Fakroun	100503	
Fourchi	100511		Ouled Rahmoun	100508	
Constantine ANRH	100410	Ouled Rahmoune (100508)	Hamala	100703	Settara (100711)
Constantine ONM	Const		Ouled Messaouda	100708	
Ouled Nacer	100527		El Milia	100706	

Tableau 78. Suite

Station cible	Code	Station de référence	Station cible	Code	Station de référence
Bassin de la Medjerda-Mellegue					
Souk Ahras	120101	Cheikh Abdallah (120113)	Bekkaria	120307	Tébessa (120301)
Souk Ahras ONM	Skahr		Oueled Hamza	120317	
Ain Seynour	120103		Ras El Aioun	120501	
Khemissa	120104		El Kouif	120504	
Boukhadra	120302	Ain Zerga (120510)	Saf Saf	120517	
Ain Dalia	120125	Tebessa (120301)	Ouenza	120401	Aioun Settera (140105)
Meskiana	120201		El Aouinet	120402	
Ain Dhala	120202		Mdaourouche	120403	
Tébessa ONM	Teb		Mesloula	120405	
Bassin de la Seybouse					
Ksar Sbahi	140104	Aioun Settera (140105)	Hammam N'bails	140503	Guelma (140412)
Berriche	140103		Bouchehouf	140505	
Ain Babouche	140109		Medjez Amar	140313	
Terraguelt	140115		Guelma ONM	Guel	
Ain Makhoulf	140205	Tamlouka (140204)	Annaba ONM	Ann	Pont Bouchet (140631)
Tamlouka	140204		Kef Mourad	140611	
Héliopolis	140403	Guelma (140412)	Nechmaya	140605	Ain Berda (140606)
Ras El Akba	140309		Boukhamouza	140607	

En effet, les modèles empiriques facilitent l'estimation de la hauteur des pluies de courtes durées au niveau des postes pluviométriques non dotées de pluviographes.

Les tableaux 79 et 80 à 84 récapitulent la méthode de calcul et les résultats obtenus pour l'ensemble des stations. Il faut noter que la valeur retenue correspond à la moyenne des estimations prévues par les deux modèles (géométrique et semi-logarithmique). Cette nouvelle base de données est nécessaire pour l'établissement des cartes en courbes isohyètes.

3. Etablissement et interprétation des cartes isohyètes

Selon Blöschl et Sivapalan (1995), la régionalisation implique le transfert d'informations d'un lieu à l'autre. Elle consiste à déterminer des procédés qui permettent de synthétiser le mieux possible l'information pluviométrique collectée de façon ponctuelle (Descroix et al., 2001). Il s'agit d'estimer les cumuls pluviométriques, et par conséquent les intensités, en tout point d'une région définie comme étant une zone au sein de laquelle le comportement statistique de la pluviométrie est supposé homogène (Hingray et al., 2009). Un des objectifs de la régionalisation est la cartographie (Lebel et Slimani, 1987).

Tableau 79. Exemple de calcul de la pluie de courte durée

Méthode de calcul	Semi-logarithmique		Multiplicatif		Moyenne	
Station d'Ain Kerma (Bassin de Côtiers constantinois)						
D (minutes)	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans
15	31	45	25	36	28	41
30	42	60	31	45	36	52
60	52	75	38	55	45	65
360	78	113	65	94	72	104
1440	99	143	99	143	99	143
Station de Batna (Bassin des Hauts Plateaux constantinois)						
D (minutes)	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans
15	15	20	22	29	18	24
30	21	28	25	34	23	31
60	27	36	29	39	28	37
360	43	57	42	55	42	56
1440	55	73	55	73	55	73
Station d'El Milia (Bassin du Kébir-Rhumel)						
D (minutes)	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans
15	33	60	26	47	30	53
30	47	84	33	60	40	72
60	61	109	42	75	52	92
360	96	173	77	139	87	156
1440	124	222	124	222	124	222
Station d'El Kouif (Bassin de la Medjerda-Mellegue)						
D (minutes)	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans
15	22	37	19	31	20	34
30	28	47	22	38	25	42
60	34	57	27	45	30	51
1440	61	103	61	103	61	103
Station de Kef Mourad (Bassin de la Seybouse)						
D (minutes)	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans	T=10 ans	T=100 ans
15	32	51	22	36	27	43
30	40	65	28	44	34	54
60	49	78	34	54	41	66
360	71	114	58	93	64	103
1440	88	141	88	141	88	141

Tableau 80. Bassin des Côtiers constantinois – Calcul des HDF (mm)

Identification de la station		Coordonnées			Durée de l'averse (minutes)			
Code (03)	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	15	30	60	1440
T = 10 ans								
0104	Domaine Dehas	36,65	5,09	7	28	35	43	93
0204	Amoucha	36,43	5,42	800	24	30	37	80
0301	Jijel	36,82	5,77	5	23	32	40	93
0302	Texana	36,66	5,79	700	41	52	63	136
0319	Harma	36,69	5,81	400	34	43	52	113
0401	Erraguene	36,58	5,58	680	43	55	67	144
0403	Col de Fdelous	36,63	5,90	920	36	45	55	119
0504	Taher	36,77	5,90	56	34	43	52	112
0903	Zardezaz	36,60	6,89	200	25	33	42	96
0905	Bousnib	36,49	6,96	900	14	19	24	69
0909	Ramdane Djamel	36,74	6,90	50	21	28	36	81
1102	Bekkouche Lakhdar	36,69	7,17	80	24	32	41	93
1105	Bouati Mahmoud	36,59	7,33	150	29	36	44	94
1201	Ain Charchar	36,76	7,24	34	20	27	34	77
1302	Berrahal	36,84	7,45	33	23	29	35	75
1501	Chaffia Bge	36,61	8,04	170	12	25	34	97
1601	Ain Assel	36,77	8,36	32	26	34	43	98
1604	Ain Kerma	36,59	8,20	235	28	36	45	99
Ski	Skikda ONM	36,88	6,90	5	26	32	40	84
T=100 ans								
0104	Domaine Dehas	36,65	5,09	7	42	53	65	139
0204	Amoucha	36,43	5,42	800	37	47	57	123
0301	Jijel	36,82	5,77	5	45	60	65	125
0302	Texana	36,66	5,79	700	55	69	85	183
0319	Harma	36,69	5,81	400	44	55	67	145
0401	Erraguene	36,58	5,58	680	62	78	95	205
0403	Col de Fdelous	36,63	5,90	920	51	64	78	169
0504	Taher	36,77	5,90	56	50	63	77	166
0903	Zardezaz	36,60	6,89	200	46	61	78	177
0905	Bousnib	36,49	6,96	900	22	26	32	115
0909	Ramdane Djamel	36,74	6,90	50	38	50	63	144
1102	Bekkouche Lakhdar	36,69	7,17	80	37	49	62	142
1105	Bouati Mahmoud	36,59	7,33	150	47	59	72	153
1201	Ain Charchar	36,76	7,24	34	27	36	46	104
1302	Berrahal	36,84	7,45	33	39	49	59	126
1501	Chaffia Bge	36,61	8,04	170	28	31	56	155
1601	Ain Assel	36,77	8,36	32	43	57	72	165
1604	Ain Kerma	36,59	8,20	235	41	52	65	143
Ski	Skikda ONM	36,88	6,90	5	37	46	56	119

Tableau 81. Bassin des Hauts Plateaux constantinois – Calcul des HDF (mm)

Identification de la station		Coordonnées			Durée de l'averse (minutes)			
Code (07)	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	15	30	60	1440
T = 10 ans								
0406	Foum Toub	35,41	6,55	1102	20	25	31	74
0720	Foum el Gueis	35,47	6,94	945	16	18	19	59
0316	Batna	35,56	6,17	1040	18	23	28	55
T=100 ans								
0406	Foum Toub	35,41	6,55	1102	31	38	53	109
0720	Foum el Gueis	35,47	6,94	945	19	27	27	94
0316	Batna	35,56	6,17	1040	24	31	37	73

Tableau 82. Bassin du Kébir-Rhumel– Calcul des HDF (mm)

Identification de la station		Coordonnées			Durée de l'averse (minutes)			
Code (10)	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	15	30	60	1440
T = 10 ans								
0302	Belaa	36,20	5,85	990	22	26	31	57
0306	Bir El Arch	36,13	5,84	952	19	24	29	56
0312	Chelghoum Laid	36,16	6,16	768	14	16	21	50
0511	Fourchi	36,36	6,60	775	20	26	33	76
0410	Constantine ANRH	36,34	6,60	595	18	24	30	68
Const	Constantine ONM	36,28	6,62	-	43	53	63	124
0703	Hamala	36,57	6,34	660	22	29	37	85
0708	Ouled Messaouda	36,71	6,08	585	31	42	54	130
0706	El Milia	36,76	6,28	100	30	40	52	124
0527	Ouled Nacer	36,11	6,89	839	14	17	20	37
0508	Ouled Rahmoun	36,18	6,70	700	29	34	41	75
0411	Bir Drimil	36,04	6,42	854	15	18	21	39
0503	Ain Fakroun	35,98	6,88	920	24	28	34	62
0711	Settara	36,72	6,34	280	11	15	21	82
0201	Redjas Ferada	36,42	6,12	360	13	17	22	59
T=100 ans								
0302	Belaa	36,20	5,85	990	39	45	50	83
0306	Bir El Arch	36,13	5,84	952	32	40	48	94
0312	Chelghoum Laid	36,16	6,16	768	18	26	26	65
0511	Fourchi	36,36	6,60	775	39	51	65	148
0410	Constantine ANRH	36,34	6,60	595	29	38	49	111
Const	Constantine ONM	36,28	6,62	-	74	90	108	212
0703	Hamala	36,57	6,34	660	29	38	48	110
0708	Ouled Messaouda	36,71	6,08	585	42	56	72	173
0706	El Milia	36,76	6,28	100	53	72	92	222
0527	Ouled Nacer	36,11	6,89	839	24	29	35	64
0508	Ouled Rahmoun	36,18	6,70	700	61	74	87	161
0411	Bir Drimil	36,04	6,42	854	19	23	28	51
0503	Ain Fakroun	35,98	6,88	920	37	45	53	97
0711	Settara	36,72	6,34	280	21	24	31	105
0201	Redjas Ferada	36,42	6,12	360	15	29	58	80

Tableau 83. Bassin de la Medjerda-Mellegue – Calcul des HDF (mm)

Identification de la station		Coordonnées			Durée de l'averse (minutes)			
Code (12)	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	15	30	60	1440
T = 10 ans								
0101	Souk Ahras	36,27	7,90	790	17	23	29	72
Skahr	Souk Ahras ONM	36,28	7,97	-	21	26	31	62
0103	Ain Seynour	36,32	7,87	904	24	32	41	102
0104	Khemissa	36,19	7,65	900	15	25	32	79
0113	Cheikh Abdallah	36,25	7,78	700	18	25	25	79
0125	Ain Dalia	36,26	7,86	717	29	35	43	86
0201	Meskiana	35,63	7,67	845	18	22	27	54
0202	Ain Dhala	35,45	7,56	980	19	24	29	58
0301	Tébessa	35,40	8,12	890	16	22	29	58
0302	Boukhadra	35,75	8,03	900	21	26	32	64
Teb	Tébessa ONM	35,42	8,12	-	21	26	31	62
0307	Bekkaria	35,37	8,23	895	23	28	34	69
0317	Oueled Hamza	35,55	8,16	1220	25	30	37	74
0401	Ouenza	35,95	8,14	520	18	22	27	52
0402	El Aouinet	35,86	7,88	650	20	24	29	57
0403	Mdaourouche	36,07	7,84	870	18	22	26	51
0405	Mesloula	35,87	7,84	700	16	20	24	47
0501	Ras El Aioun	35,52	8,29	995	20	24	29	59
0504	El Kouif	35,50	8,32	1100	20	25	30	61
0517	Saf-Saf	35,28	8,30	1000	18	23	27	55
0510	Ain Zerga	35,64	8,26	850	17	23	23	52
T=100 ans								
0101	Souk Ahras	36,27	7,90	790	22	30	38	94
Skahr	Souk Ahras ONM	36,28	7,97	-	24	33	43	105
0103	Ain Seynour	36,32	7,87	904	35	47	60	149
0104	Khemissa	36,19	7,65	900	28	39	50	123
0113	Cheikh Abdallah	36,25	7,78	700	31	41	46	132
0125	Ain Dalia	36,26	7,86	717	39	48	58	116
0201	Meskiana	35,63	7,67	845	36	42	48	86
0202	Ain Dhala	35,45	7,56	980	30	37	44	89
0301	Tébessa	35,40	8,12	890	31	34	46	97
0302	Boukhadra	35,75	8,03	900	31	39	47	94
Teb	Tébessa ONM	35,42	8,12	-	31	38	46	93
0307	Bekkaria	35,37	8,23	895	45	55	67	134
0317	Oueled Hamza	35,55	8,16	1220	40	49	59	119
0401	Ouenza	35,95	8,14	520	24	29	35	68
0402	El Aouinet	35,86	7,88	650	29	36	43	84
0403	Mdaourouche	36,07	7,84	870	23	29	34	67
0405	Mesloula	35,87	7,84	700	22	27	33	64
0501	Ras El Aioun	35,52	8,29	995	30	37	44	89
0504	El Kouif	35,50	8,32	1100	34	42	51	103
0517	Saf-Saf	35,28	8,30	1000	39	48	58	116
0510	Ain Zerga	35,64	8,26	850	24	30	31	72

Tableau 84. Bassin de la Seybouse – Calcul des HDF (mm)

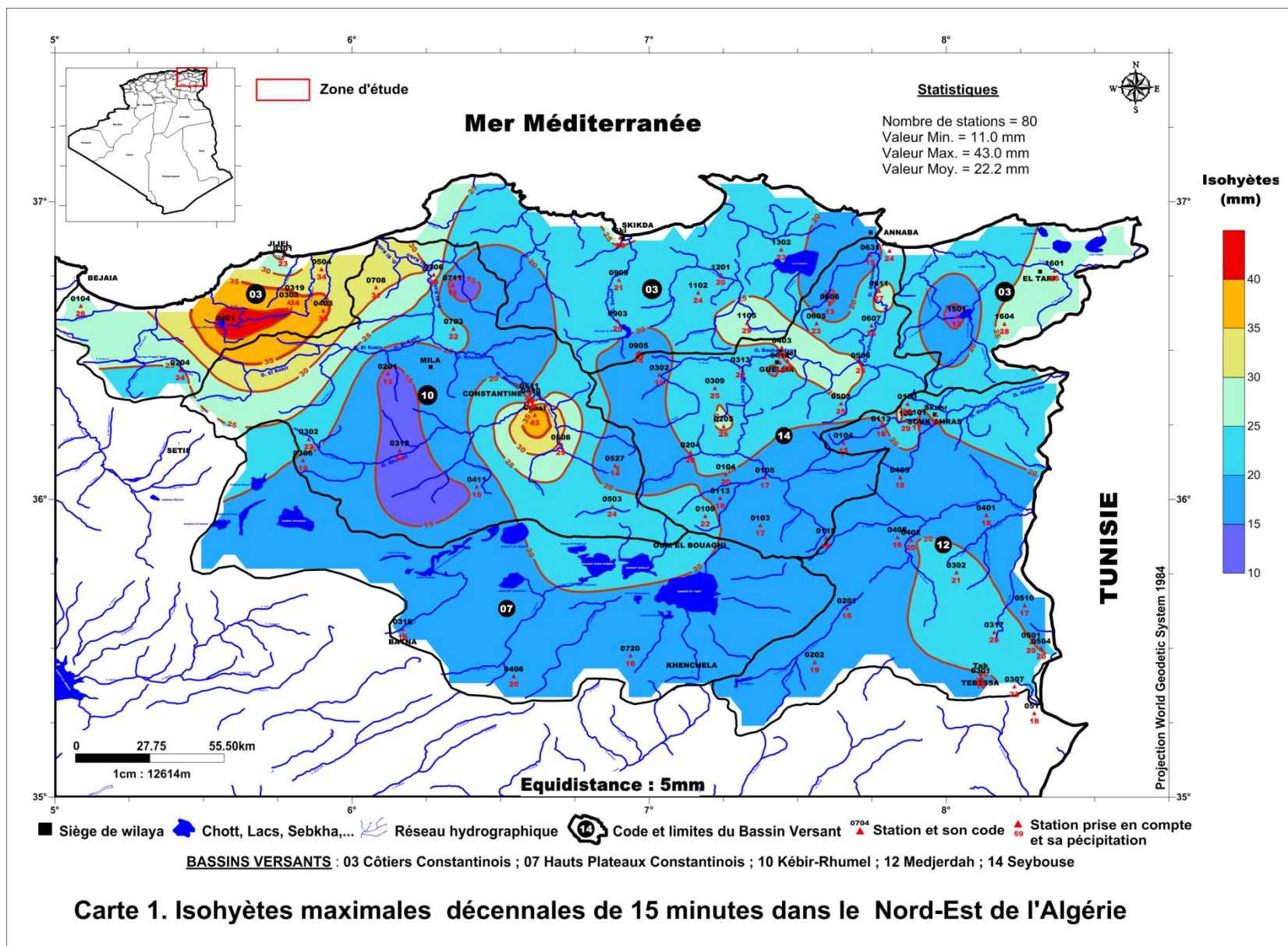
Identification de la station		Coordonnées			Durée de l'averse (minutes)			
Code (14)	Nom	Latitude	Longitude	Altitude	15	30	60	1440
T = 10 ans								
Ann	Annaba ONM	36,83	7,81	3	24	30	36	77
0104	Ksar Sbahi	36,08	7,26	850	20	25	30	58
0105	Ain Settara	36,07	7,39	741	17	26	32	60
0205	Ain Makhlouf	36,25	7,25	834	26	32	38	73
0403	Héliopolis	36,51	7,45	-	27	34	41	87
0412	Guelma Lycée	36,46	7,44	260	18	21	22	67
0503	Hammam N'bails	36,32	7,65	478	25	32	39	82
0505	Boucheouf	36,46	7,71	800	25	31	38	80
0606	Ain Berda	36,66	7,61	100	13	20	27	80
0103	Berriche	35,91	7,37	800	17	20	25	48
0109	Ain Babouche	35,94	7,19	860	22	26	32	62
0309	Ras El Akba	36,37	7,22	740	25	32	39	82
0611	Kef Mourad	36,70	7,77	17	27	34	41	88
0313	Medjez Amar	36,44	7,31	275	22	27	33	71
0115	Terraguelt	35,87	7,60	868	16	19	23	45
0631	Pont Bouchet	36,82	7,74	3	15	20	27	91
0302	Bordj Sabat	36,42	7,03	525	19	26	32	74
0113	Cheikh Rabah	36,00	7,24	865	18	22	26	51
0605	Nechmaya	36,59	7,56	265	23	30	38	87
0607	Boukhamouza	36,58	7,75	40	25	33	41	94
Guel	Guelma ONM	36,47	7,47	-	28	35	43	92
0204	Tamlouka	36,16	7,14	740	20	27	27	54
T=100 ans								
Ann	Annaba ONM	36,83	7,81	3	34	42	52	110
0104	Ksar Sbahi	36,08	7,26	850	31	38	46	90
0105	Ain Settara	36,07	7,39	741	28	50	57	83
0205	Ain Makhlouf	36,25	7,25	834	35	43	52	98
0403	Héliopolis	36,51	7,45	-	42	52	63	135
0412	Guelma Lycée	36,46	7,44	260	31	31	31	102
0503	Hammam N'bails	36,32	7,65	478	37	46	56	120
0505	Boucheouf	36,46	7,71	800	40	51	62	131
0606	Ain Berda	36,66	7,61	100	15	29	43	108
0103	Berriche	35,91	7,37	800	24	29	35	69
0109	Ain Babouche	35,94	7,19	860	29	36	43	84
0309	Ras El Akba	36,37	7,22	740	35	44	54	114
0611	Kef Mourad	36,70	7,77	17	43	54	66	141
0313	Medjez Amar	36,44	7,31	275	30	37	46	97
0115	Terraguelt	35,87	7,60	868	21	26	31	61
0631	Pont Bouchet	36,82	7,74	3	21	28	39	169
0302	Bordj Sabat	36,42	7,03	525	30	40	50	115
0113	Cheikh Rabah	36,00	7,24	865	27	33	40	78
0605	Nechmaya	36,59	7,56	265	31	42	53	120
0607	Boukhamouza	36,58	7,75	40	42	55	70	159
Guel	Guelma ONM	36,47	7,47	-	55	69	85	180
0204	Tamlouka	36,16	7,14	740	27	51	51	63

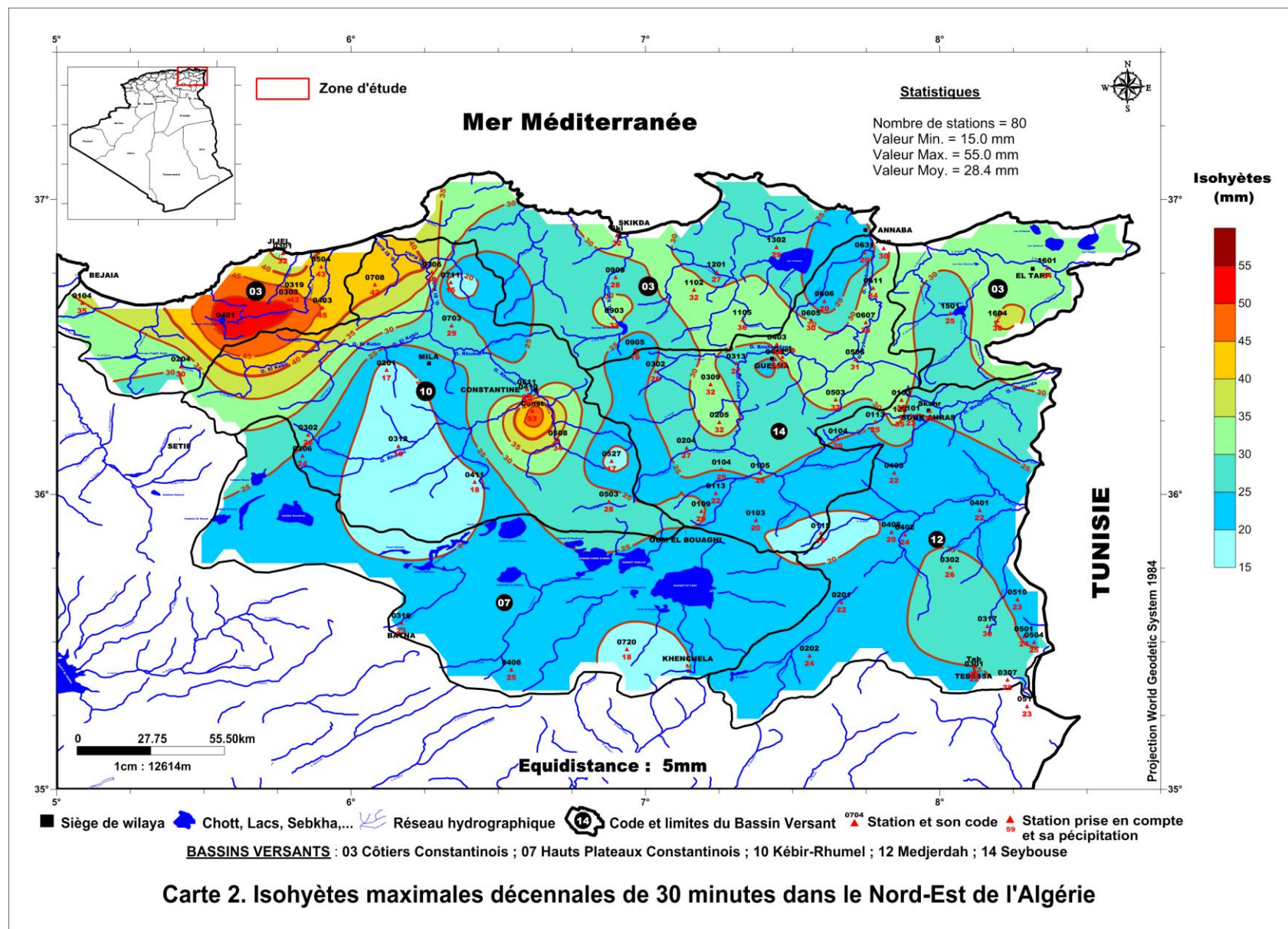
Puisque les HDF et les IDF varient d'un point à l'autre de la zone d'étude, la régionalisation directe des quantiles des averses nécessite une cartographie pour chaque durée de pluie et pour chaque période de retour, à moins de travailler avec des lois multi-durées (Ghanemi, 2015). Ainsi, les données des tableaux 80 et 84 seront traduites sur des cartes, ce qui permettra d'avoir une estimation des caractéristiques (Hauteur-Durée-Fréquence) de l'averse en tout point de la zone d'étude.

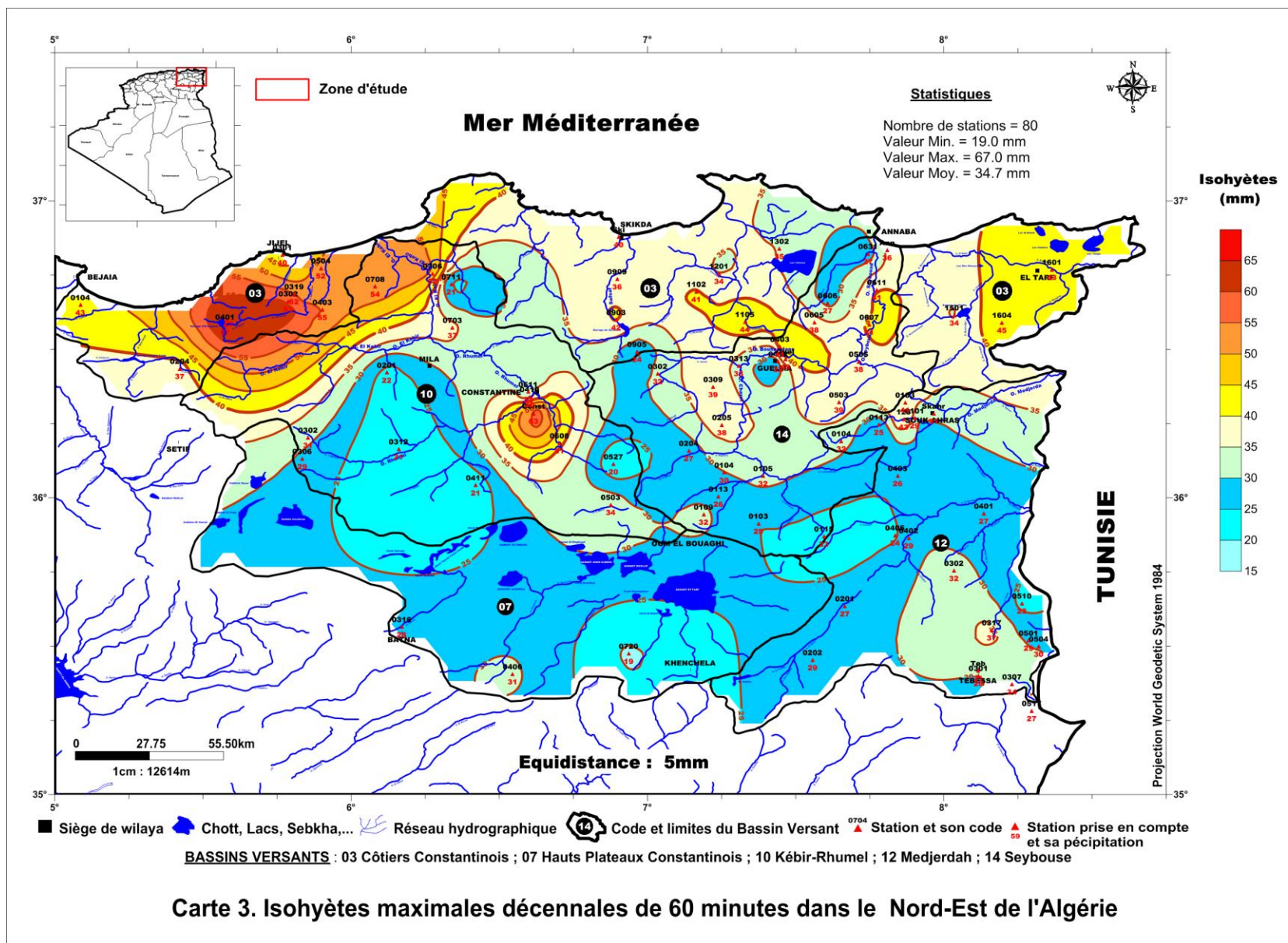
Après le calcul des pluies maximales de courtes durées selon le zonage appliqué, on a établi les cartes isohyètes relatives à des durées de référence de 15, 30, 60 minutes et 24 heures correspondant à des périodes de récurrence de 10 et 100 ans. Ces cartes ont été construites par interpolation ; la méthode utilisée étant le krigeage simple intégré au logiciel *SURFER 11* de Golden Software LLC.

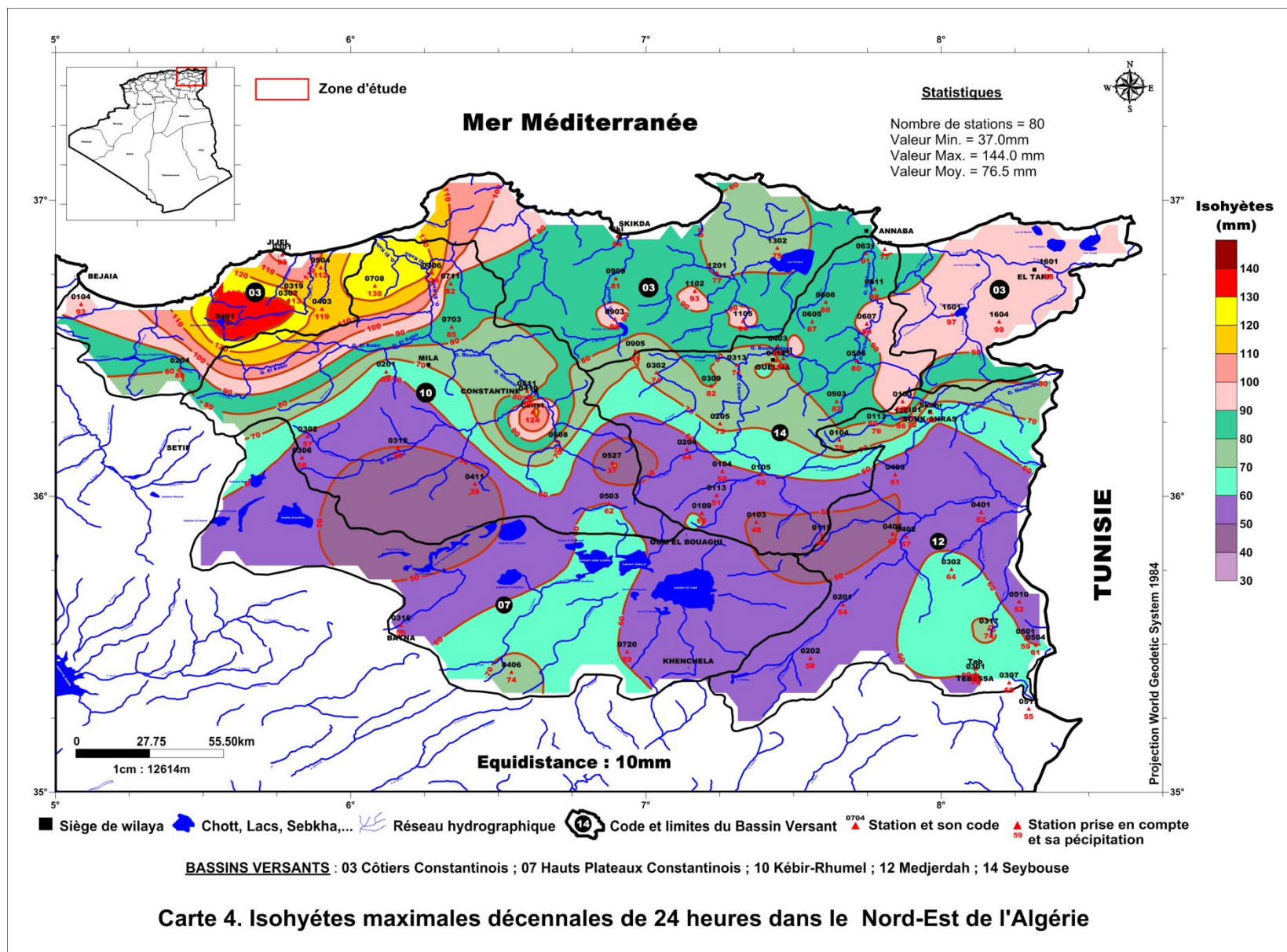
Quel que soit l'intervalle de récurrence et la durée de référence, l'examen minutieux des différentes cartes en courbes isohyètes permet de tirer les enseignements suivants :

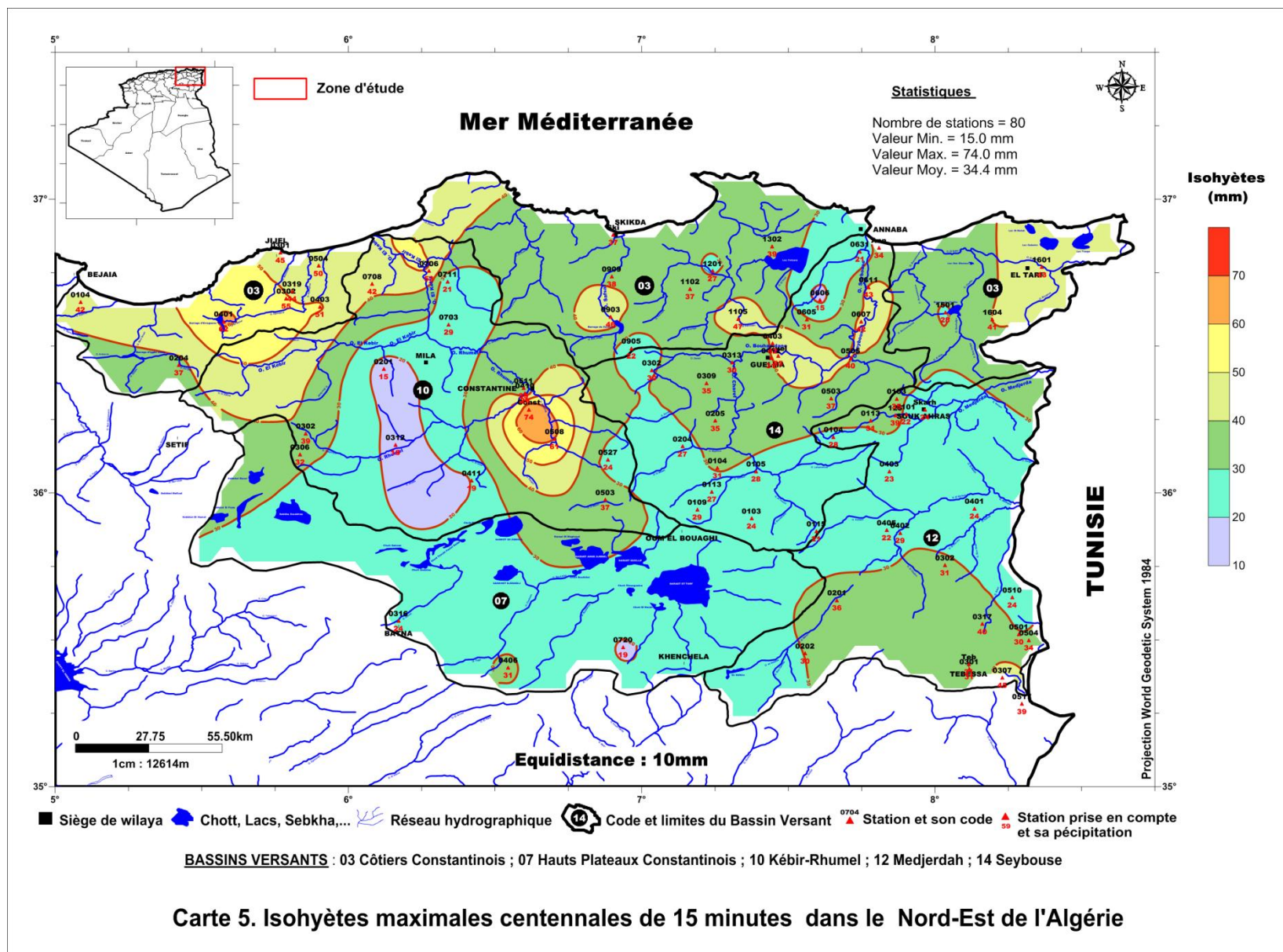
- les pluies les plus intenses s'abattent sur le bassin des Côtiers constantinois Ouest (région de Jijel-Collo), la région de Constantine (Aéroport) et le bassin des Côtiers constantinois Est (région d'El Tarf, Ain Assel et les monts de la Chaffia). Dans ces zones les isohyètes décennales et centennales atteignent ou dépassent les 90 et les 150 mm en 24 heures, respectivement. Dans ces mêmes zones, les pluies horaires de mêmes fréquences varient de 40 à 70 mm et de 60 à 90 mm, respectivement. Des pluies de telles intensités s'observent également le long l'axe Zardezas-Boukhamouza mais de façon discontinue dans l'espace.
- les pluies suivent grossièrement un gradient décroissant du Nord vers le Sud. Les isohyètes décennales de 24 heures décroissent de 140 mm à Erraguene à moins de 60 mm dans les zones semi-arides et la région des chotts. Les pluies les plus sévères (isohyètes centennales) diminuent de plus 200 mm à El Milia au Nord à moins de 90 mm plus au Sud. Il se peut que des averses d'intensité plus grande puissent être rencontrées dans le bassin des Hauts Plateaux constantinois suivant l'axe Fougues-Toub-Khenchela-Tebessa. Faut-il noter que les pluies de courtes durées (inférieures à 60 minutes) suivent à peu près la même répartition spatiale. Ces disparités sont étroitement liées aux différentes caractéristiques géomorphologiques et climatiques, très variable dans le Nord-est algérien.

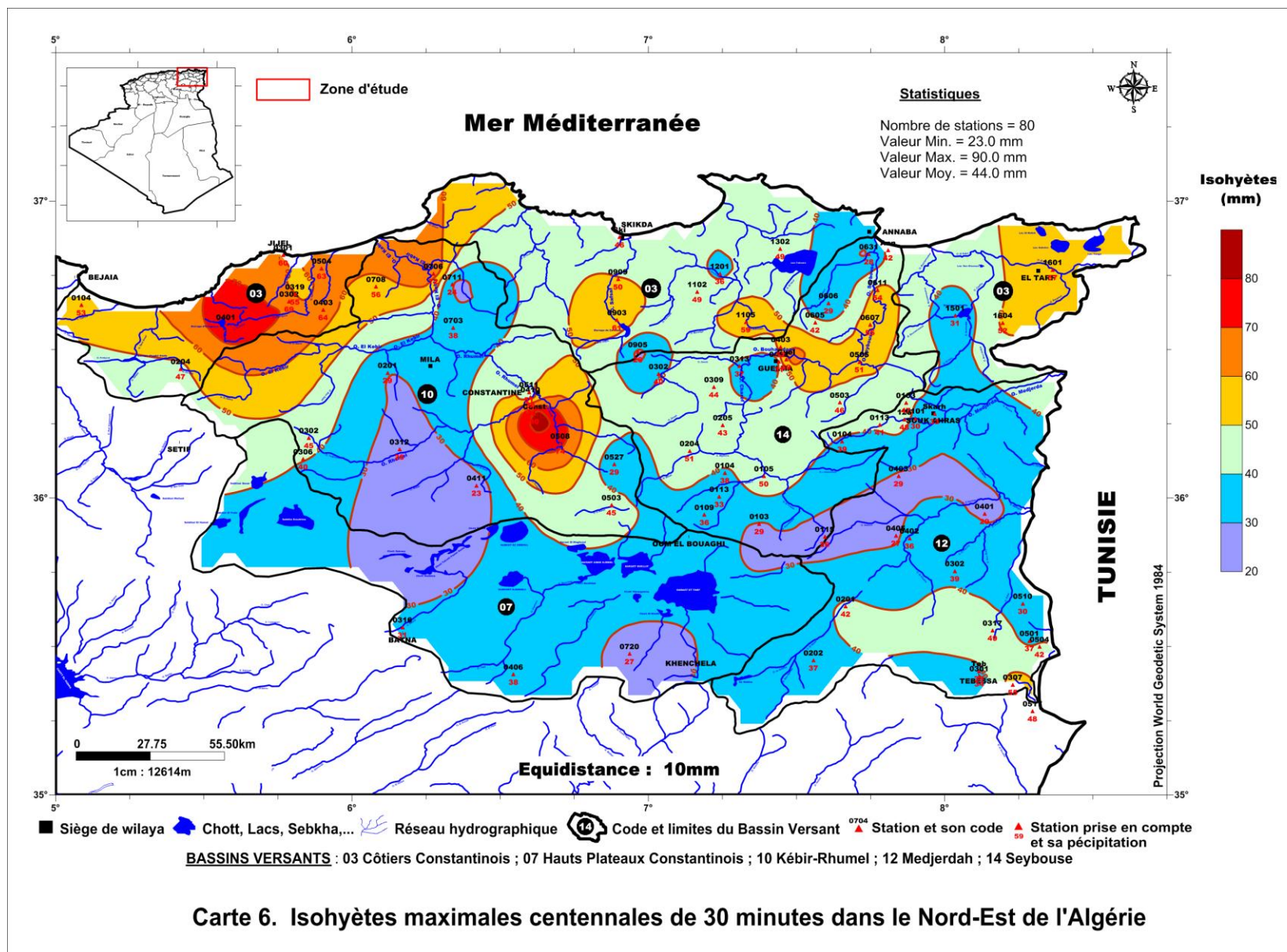




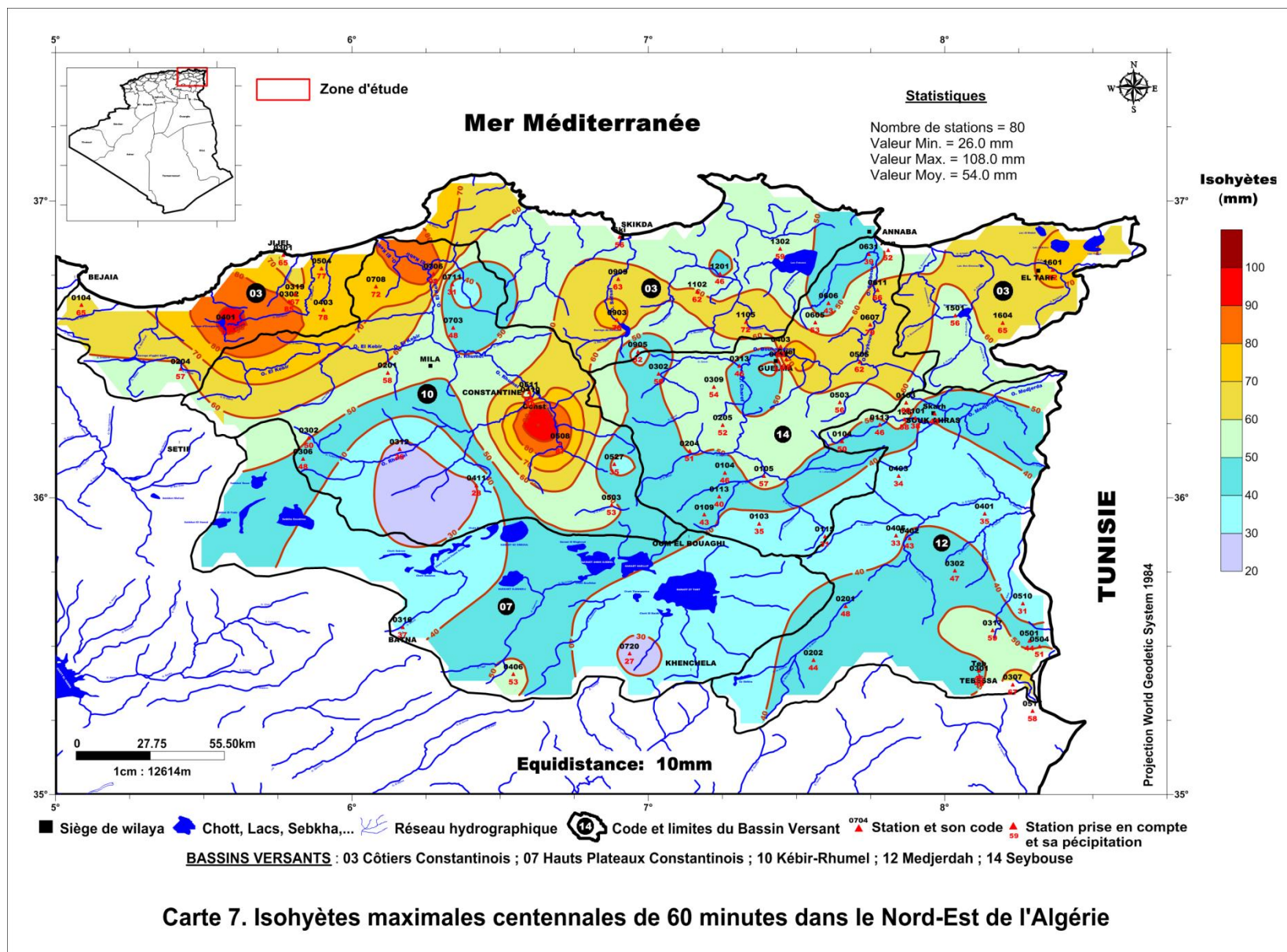


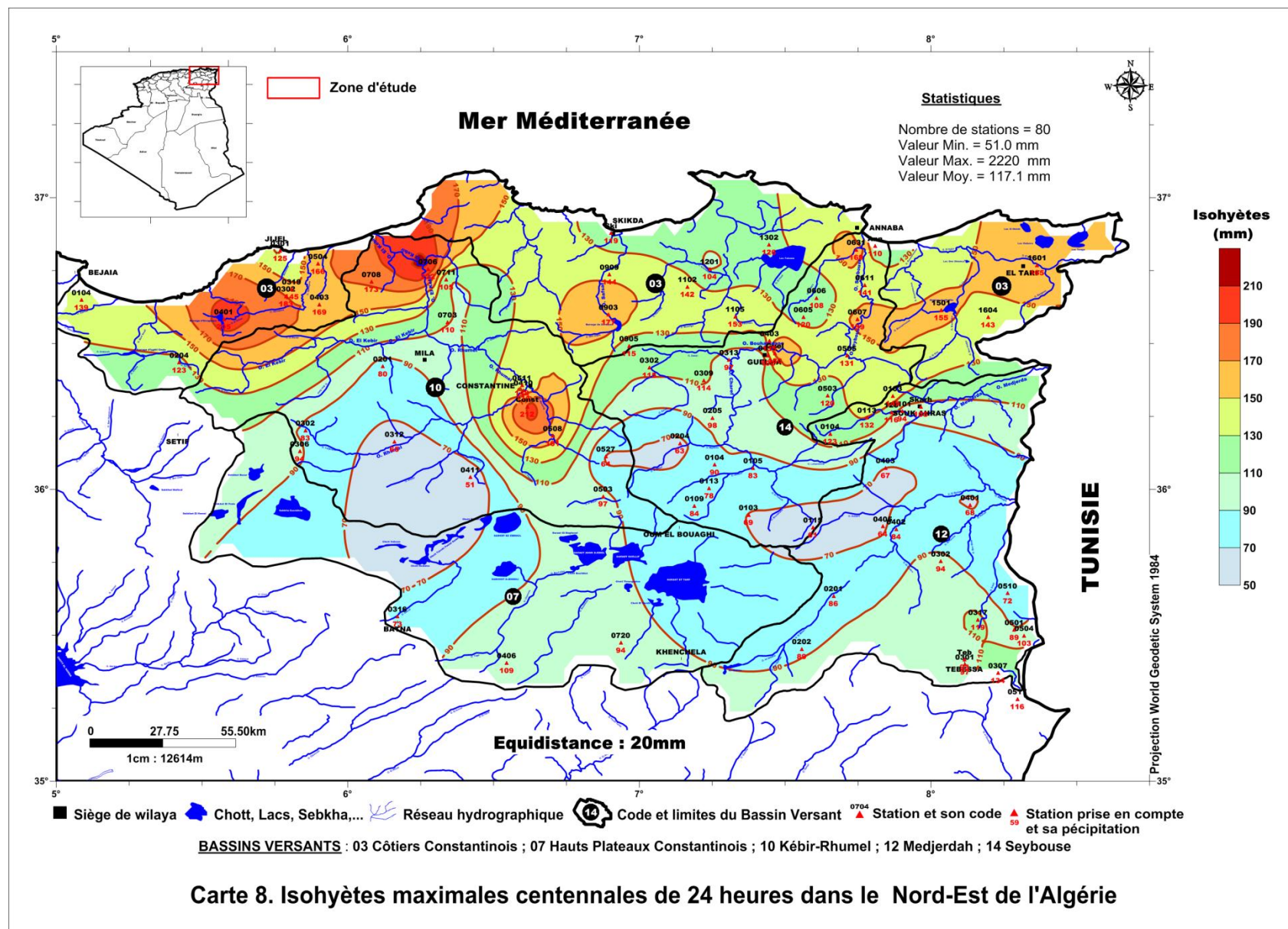






Carte 6. Isohyètes maximales centennales de 30 minutes dans le Nord-Est de l'Algérie





4. Aperçu sur l'extension géographique et abattement des averses

Ce genre d'analyse a pour objet l'établissement de courbes dites *Hauteur des précipitations-Durée-Surface (HDS)*. Ces dernières donnent l'évolution de la hauteur moyenne de la lame d'eau précipitée en fonction de la surface du bassin dans l'emprise de l'averse, pour des durées de référence déterminées. Ces courbes, utilisées couramment pour l'analyse des averses de type généralisée ou de grande étendue et de longue durée, sont établies à partir des cartes donnant les isohyètes relatives aux hauteurs totales de précipitation tombée au cours d'un épisode pluvieux donné. On planimètre successivement l'aire à l'intérieure de chacune des isohyètes et on calcule la hauteur de la lame d'eau moyenne tombée sur ladite surface par cubature "du relief pluviométrique" correspondant (Réménieras, 1980). Les résultats obtenus sont ensuite synthétisés sur un graphique en portant en abscisses la surface développée à partir du centre de gravité (maximum) de l'averse et en ordonnées la hauteur moyenne de la lame d'eau précipitée sur la dite surface. Les observations ont montré que la hauteur moyenne des pluies diminue dans toutes les directions de façon exponentielle au fur et à mesure que l'on s'éloigne du ou des centres de l'averse. Pratiquement, pour estimer le taux de décroissance (ou le coefficient d'abattement), ce graphique est souvent modifié ; il s'agit de porter en ordonnées le rapport de la pluie moyenne à la pluie maximale H_0 correspondante ($\bar{H}_i/H_0$) et en abscisses la surface cumulée relative (A_i/A). Cette surface croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne du maximum ponctuelle jusqu'à la plus petite isohyète tandis que la pluie moyenne décroît. Mathématiquement, cette relation se traduit par une fonction du type :

$$\frac{\bar{H}_i}{H_0} = f\left(\frac{A_i}{A}\right) \quad (94)$$

Pour se fixer les idées, on a repris les résultats des travaux de Sitour et al., (1997) où l'analyse porte particulièrement sur quatre épisodes pluvieux journaliers de grande extension géographique, enregistrés au cours de l'année hydrologique 1991-1992, choisis à partir des images Radar de l'ONM (site de Séraïdi) et pour lesquelles les relevés journaliers sont disponibles pour un nombre suffisant de postes pluviométriques. Chaque épisode pluvieux est en réalité choisi de façon à caractériser une saison donnée. Il s'agit des épisodes pluvieux du 16 Octobre 1991 (pluie d'automne), du 20 Février 1992 (pluie d'hiver), du 25 Mai 1992 (pluie de printemps) et du 15 Août 1992 (pluie d'été).

L'examen des graphiques d'abattement des pluies (Fig. 61) montre que les averses d'été dont le centre de gravité se situe, dans le cas de l'averse du 15/08/92, au niveau du versant sud de l'Atlas Tellien (région d'Aioun Settara), ont un caractère relativement local.

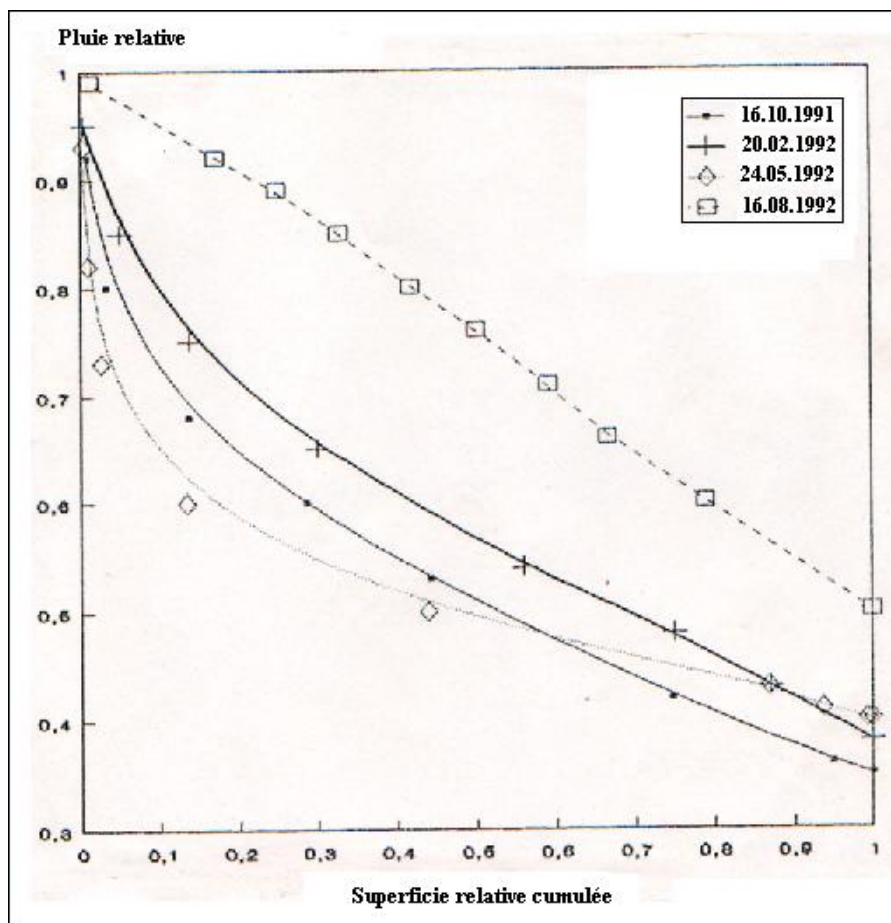


Fig. 61. Abattement des pluies-Quelques exemples (Sitour et al., 1997)

On retient également que les pluies saisonnières s'abattent de façons relativement différentes sur la superficie couverte par l'averse. En effet, l'épisode pluvieux du 15/08/92, ayant un aspect plus ou moins local, se distingue par une décroissance rapide (90 % de la pluie s'est abattue sur un peu moins de 20% de la superficie. Les pluies des autres saisons montrent, par contre, une diminution relativement plus rapide de la hauteur moyenne des précipitations au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre de l'averse. Si on considère l'épisode pluvieux du 24/05/92, par exemple, on s'aperçoit que la lame d'eau précipitée diminue de 90 % sur un peu moins de 10 % de la surface totale. Il faut enfin signaler que ces conclusions ne peuvent en aucun cas être généralisées. Un nombre d'averses, suffisamment représentatif, devrait être étudié pour faire des généralisations sur la zone étudiée.

5. Gradex des pluies: estimation et cartographie

Bien que la distribution des valeurs extrêmes de Type I de Gumbel ne soit bien cotée pour ajuster la distribution des probabilités des pluies quotidiennes intenses au niveau du Nord-est algérien, on s'est aussi intéressé au calcul et à la cartographie du Gradex des pluies

journalières maximales, un paramètre pertinent dans la modélisation *Pluie-Débit* (Ahattab, 2014). Etant défini par le paramètre de dispersion σ de la fonction de distribution des valeurs extrêmes de Gumbel (Type I), les valeurs ponctuelles de ce dernier sont reportées aux tableaux suivants (cf Annexe 4).

Tableau 85. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin des Côtiers constantinois (03)

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0104	Domaine Dehas	36,65	5,09	7	17
0204	Amoucha	36,43	5,42	800	16
0301	Jijel	36,82	5,77	5	19
0302	Texana	36,66	5,79	700	26
0319	Harma	36,69	5,81	400	20
0401	Erraguene	36,58	5,58	680	26
0403	Col de Fdelous	36,63	5,9	920	22
0504	Taher	36,77	5,9	56	21
0903	Zardezas	36,6	6,89	200	23
0905	Bousnib	36,49	6,96	900	17
0909	Ramdane Djamel	36,74	6,9	50	18
1102	Bekkouche Lakhdar	36,69	7,17	80	17
1105	Bouati Mahmoud	36,59	7,33	150	21
1201	Ain Charchar	36,76	7,24	34	13
1302	Berrahal	36,84	7,45	33	15
1501	Cheffia Bge	36,61	8,04	170	18
1601	Ain Assel	36,77	8,36	32	21
1604	Ain Kerma	36,59	8,2	235	21
Ski	Skikda ONM	36,88	6,9	5	15

Tableau 86. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin des Hauts Plateaux constantinois (07)

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0406	Foum Toub	35,41	6,55	1102	16
0720	Foum el Gueis	35,47	6,94	945	11
0316	Batna	35,56	6,17	1040	10

Tableau 87. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin du Kébir-Rhumel (10)

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0302	Belaa	36,2	5,85	990	11
0306	Bir El Arch	36,13	5,84	952	13
0312	Chelghoum Laid	36,16	6,16	768	7
0511	Fourchi	36,36	6,6	775	19
0410	Constantine ANRH	36,34	6,6	595	14
Const	Constantine ONM	36,28	6,62	-	16
0703	Hamala	36,57	6,34	660	14
0708	Ouled Messaouda	36,71	6,08	585	20
0706	El Milia	36,76	6,28	100	28
0527	Ouled Nacer	36,11	6,89	839	9
0508	Ouled Rahmoun	36,18	6,7	700	24
0411	Bir Drimil	36,04	6,42	854	6
0503	Ain Fakroun	35,98	6,88	920	14
0711	Settara	36,72	6,34	280	17
0201	Redjas Ferada	36,42	6,12	360	11

Tableau 88. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin de la Medjerda-Mellegue (12)

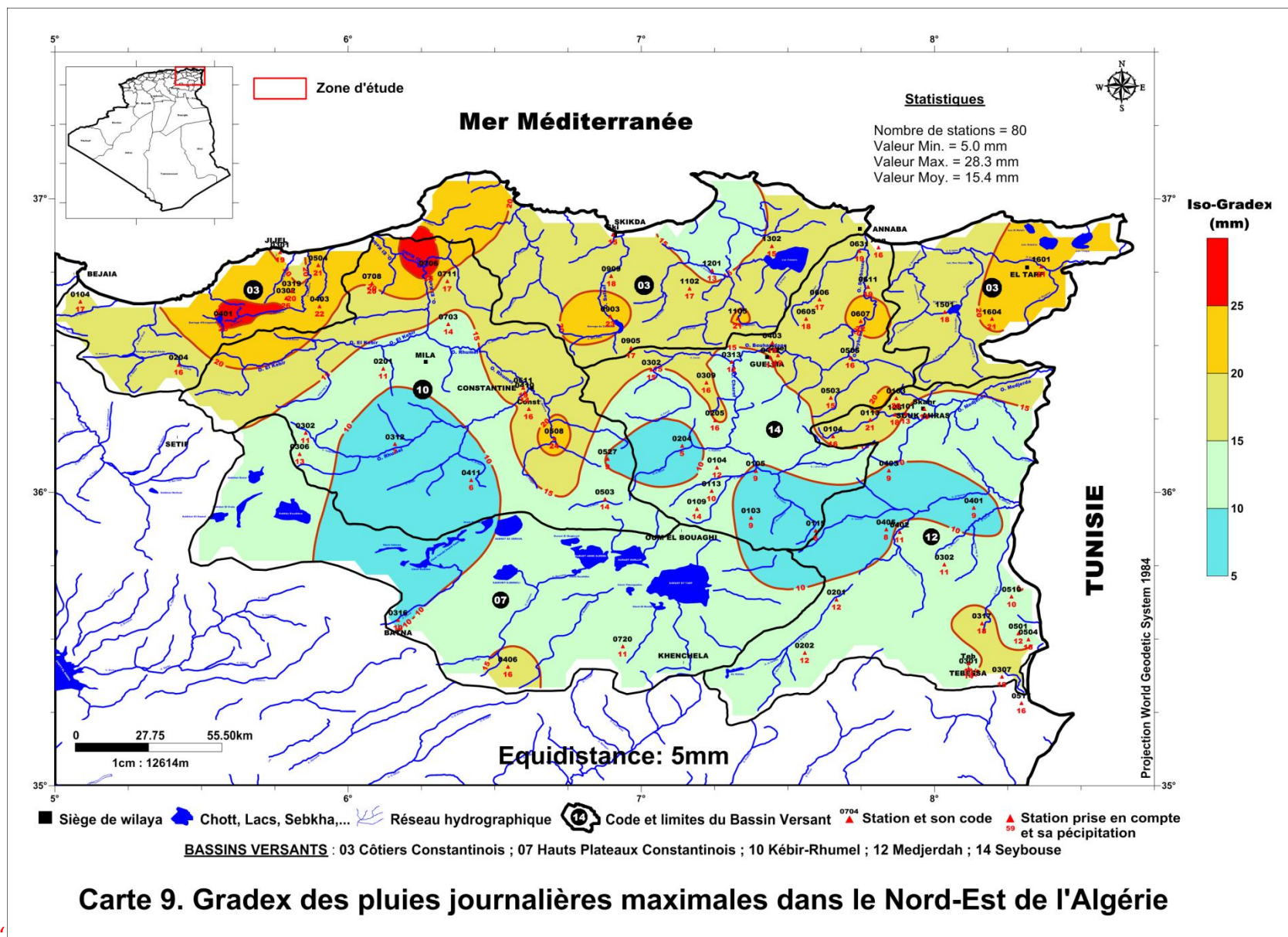
Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
0101	Souk Ahras	36,27	7,9	790	13
Skahr	Souk Ahras ONM	36,28	7,97	-	13
0103	Ain Seynour	36,32	7,87	904	20
0104	Khemissa	36,19	7,65	900	16
0113	Cheikh Abdallah	36,25	7,78	700	21
0125	Ain Dalia	36,26	7,86	717	18
0201	Meskiana	35,63	7,67	845	12
0202	Ain Dhala	35,45	7,56	980	12
0301	Tébessa	35,4	8,12	890	14
0302	Boukhadra	35,75	8,03	900	11
Teb	Tébessa ONM	35,42	8,12	-	13
0307	Bekkaria	35,37	8,23	895	19
0317	Oueled Hamza	35,55	8,16	1220	18
0401	Ouenza	35,95	8,14	520	9
0402	El Aouinet	35,86	7,88	650	11
0403	Mdaourouche	36,07	7,84	870	9
0405	Mesloula	35,87	7,84	700	8
0501	Ras El Aioun	35,52	8,29	995	12
0504	El Kouif	35,5	8,32	1100	15
0517	Saf-Saf	35,28	8,3	1000	16
0510	Ain Zerga	35,64	8,26	850	10

Tableau 89. Gradex des pluies quotidiennes maximales dans le bassin de la Seybouse (14)

Identification de la station		Coordonnées			Gradex (mm)
Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	
Ann	Annaba ONM	36,83	7,81	3	16
0104	Ksar Sbahi	36,08	7,26	850	12
0105	Ain Settara	36,07	7,39	741	9
0205	Ain Makhlouf	36,25	7,25	834	16
0403	Héliopolis	36,51	7,45	-	19
0412	Guelma Lycée	36,46	7,44	260	13
0503	Hammam N'bails	36,32	7,65	478	15
0505	Boucheouf	36,46	7,71	800	16
0606	Ain Berda	36,66	7,61	100	17
0103	Berriche	35,91	7,37	800	9
0109	Ain Babouche	35,94	7,19	860	14
0309	Ras El Akba	36,37	7,22	740	16
0611	Kef Mourad	36,7	7,77	17	19
0313	Medjez Amar	36,44	7,31	275	12
0115	Terraguel	35,87	7,6	868	6
0631	Pont Bouchet	36,82	7,74	3	19
0302	Bordj Sabat	36,42	7,03	525	15
0113	Cheikh Rabah	36	7,24	865	10
0605	Nechmaya	36,59	7,56	265	18
0607	Boukhamouza	36,58	7,75	40	22
Guel	Guelma ONM	36,47	7,47	-	19
0204	Tamlouka	36,16	7,14	740	5

Pour rendre beaucoup plus parlantes les données des tableaux 83 à 87, on a élaboré la carte dite du *Gradex* des pluies journalières maximales. Les courbes iso-Gradex peuvent être exploitées par les partisans de *la méthode du Gradex* pour évaluer les crues de faibles fréquences (supérieures ou égales aux crues décennales) dans les bassins du Nord-est algérien.

En effet, l'examen de la carte des Gradex montre que la répartition spatiale de cette grandeur est plus ou moins comparable à celles des pluies rares et de courtes durées. Plus précisément le Gradex augmente du Sud vers le Nord dont les plus grandes valeurs ($\text{Gradex} \geq 25 \text{ mm}$) sont particulièrement observées dans les bassins des Côtiers constantinois Ouest et Est (carte 9).



Faut-il enfin noter que l'estimation des pluies relatives à d'autres périodes de retour à partir des cartes isohyètes élaborées est possible. Pour une durée de référence donnée, il suffit de reporter sur un graphique semi logarithmique les valeurs des isohyètes décennale et centennale en ordonnée arithmétique et les périodes de retour correspondantes en abscisse logarithmique et tracer une droite. Les hauteurs de pluie recherchées peuvent être obtenues par interpolation.

6. Conclusion

Au terme de ce chapitre, on doit reconnaître que les aléas pluviométriques sont des phénomènes aléatoires à la structure complexe et difficilement reproductible. Ainsi l'établissement des cartes isohyètes pour différentes durées et fréquences est une opération délicate et doit, par conséquent, obéir à une démarche rigoureuse et bien définie (sélection des épisodes pluvieux, analyse fréquentielle, modélisation des relations HDF et IDF, techniques d'interpolation). La cartographie des averses à différentes échelles de temps et de fréquence d'apparition permet de passer d'une connaissance ponctuelle à une connaissance spatiale du phénomène permettant l'estimation, non seulement des lames mais aussi des volumes d'eau précipités pour le calcul de la pluie de projet dans le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques. Les cartes élaborées dans cette étude ont permis de mettre le point sur la variabilité spatiale et temporelle de l'intensité des pluies extrêmes dans le Nord-est algérien. Hormis certaines restrictions, ces cartes montrent que la torrencialité des averses, définie par les plus grandes isohyètes, est plus importante sur la bande littorale, notamment dans les parties Ouest et Est de la zone d'étude et à un degré moindre sur les parties sommitales des zones internes (monts de Constantine et de Souk Ahras). Sur le plan pratique, ces cartes doivent enfin être utilisées avec prudence, notamment quand il s'agit d'estimer les valeurs centennales ; les quantiles permettant d'établir ces cartes étant déterminées à partir d'échantillons de taille limitée (inférieur à 50 ans d'observations).

CONCLUSION GENERALE

Faisant partie du Nord-est algérien, la région étudiée représente une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au Nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud. Les disparités géomorphologiques, façonnées par un empilement de nappes de charriage anormalement superposées, confèrent à la zone étudiée des conditions climatiques extrêmement variables dans le temps et dans l'espace ; l'orientation et l'encaissement des versants, l'altitude et l'éloignement de la mer étant les facteurs les plus déterminants. En effet, l'action conjuguée de la topographie, de la géologie et du climat font que le Nord-est algérien jouit de possibilités hydriques très importantes dont le renouvellement est, en grande partie, assuré par les pluies. Si les hauteurs de pluies annuelles et saisonnières assurent la pérennité des écoulements souterrains et superficiels dans les cinq grands bassins hydrographiques, elles ne peuvent expliquer à elles seules le caractère imprévisible des pluies les plus intenses car elles ont tendance à lisser les variabilités dans le temps de la pluviosité, et à masquer de ce fait les caractéristiques énergétiques des averses. Les pluies, plus clémentes au nord qu'au Sud de l'aire d'étude (1600 mm/an dans le massif de Collo au Nord et moins de 300 mm/an à Tébessa et Batna, plus au Sud), tombent sous forme d'averses de courte durée, parfois violentes, dues à des perturbations météorologiques locales ou généralisées. La brutalité des pluies extrêmes provoquent parfois des inondations dont les dégâts matériels et humains ne cessent de s'accroître aussi bien en Algérie qu'ailleurs.

Les données relatives aux averses dont la durée varie entre 5 minutes et 24 heures relevées dans 18 postes pluviographiques et 74 stations pluviométriques ont fait l'objet d'une analyse exploratoire (contrôle de fiabilité) et d'une analyse fréquentielle afin de trouver un modèle fréquentiel capable de rendre compte de la probabilité d'occurrence des pluies de courtes durées dans le Nord-est algérien. Sachant que la détermination de la meilleure loi d'ajustement a toujours été délicate et le choix du modèle probabiliste peut être crucial pour l'estimation des précipitations de différentes périodes de retour, plusieurs tests d'appréciation de la qualité de l'ajustement ont été utilisés. Les résultats ont montré qu'aucune loi ne peut être exclusivement utilisée sur l'ensemble du territoire d'étude. Etayées par les différents tests d'adéquation de l'ajustement, cinq lois de distribution des probabilités, choisies parmi les 9 modèles classiquement utilisés en hydrologie, notamment la GEV, la LN-3p, la LP3, la Ga-3p

et la Fr-3p, ont été retenues pour l'estimation des quantiles. Les résultats étant plus ou moins comparables, il est difficile de se prononcer sur une loi générale pour décrire le régime pluviométrique à l'échelle événementielle au niveau du Nord-est algérien. Par conséquent, pour la majorité des stations, les grandeurs des pluies maximales annuelles de courtes durées correspondant à des périodes de récurrence de 2 à 100 ans ont été estimées par la moyenne arithmétique des résultats de ces cinq lois. L'usage d'un modèle probabiliste particulier pour l'estimation des quantiles ne concerne que très peu de stations.

Sachant que la détermination du meilleur modèle pour décrire de façon analytique les lois HDF et IDF a toujours été délicate et le choix de ce modèle peut être crucial pour l'estimation des pluies de projet, l'accord entre les valeurs calculées et les valeurs expérimentales a permis de développer deux modèles empiriques de réduction des pluies (modèles multiplicatif et semi-logarithmique) pour estimer les précipitations de courte durée à partir des données quotidiennes maximales et un modèle de type Bernard décrivant de façon satisfaisante les relations Intensité-Durée-Fréquence des pluies intenses pour 18 points dans la zone d'étude. Ces outils peuvent être utilisés avec plus de précaution pour une transposition de l'information pluviométrique afin de réaliser des cartes isohyètes dans le Nord-est de l'Algérie. Ce qui en augmenterait la rentabilité et permettrait de résoudre beaucoup de problèmes hydrotechniques.

Afin de pouvoir restituer les grandes disparités en quantités et durées des épisodes pluvieux entre les différents bassins du NE algérien, on a procédé à une cartographie en usant, des résultats d'anciens travaux et ceux produits dans le cadre de cette thèse (modélisation des courbes HDF et des IDF). La combinaison des résultats a permis d'élaborer des cartes des isohyètes décennales et centennales relatives à des durées de référence de 15, 30, 60 minutes et 24 heures et une carte du Gradex des pluies quotidiennes extrêmes.

Bien que l'établissement de ces cartes soit une opération délicate (sélection des épisodes pluvieux, analyse fréquentielle, modélisation des relations HDF et IDF, techniques d'interpolation), elles ont permis de passer d'une évaluation ponctuelle à une connaissance spatiale du phénomène. Ces cartes permettent l'estimation, non seulement des lames mais aussi des volumes d'eau précipités pour le calcul de la pluie de projet dans le dimensionnement des ouvrages hydrotechniques. Les cartes élaborées dans cette étude ont également permis de mettre le point sur la variabilité spatiale et temporelle de l'intensité des pluies extrêmes dans le Nord-est algérien. Hormis certaines restrictions, ces cartes montrent

que la torrencialité des averses, définie par les plus grandes isohyètes, est plus importante sur la bande littorale, notamment dans les parties Ouest et Est de la zone d'étude et à un degré moindre sur les parties sommitales des zones internes (monts de Constantine et de Souk Ahras).

Sur le plan des applications, cette étude doit permettre de répondre à de nombreuses questions dans le génie de l'eau : calcul de la pluie de projet dans les études hydrotechniques (assainissement urbain et agricole, dimensionnements des ouvrages routiers tels que les ponceaux et les ponts,), dans la modélisation *Pluie-Débit* (méthode rationnelle, méthode du NRCS, méthode de Caquot, méthode du Gradex, etc.) et *Pluie-Erosion* (équation universelle des pertes en sol,...). Moyennant certaines précautions, les résultats sont valables pour les intervalles de récurrence inférieurs ou égaux à 50 ans. Pour les plus petites fréquences d'apparition, ces résultats sont à manipuler avec plus de précaution.

Il faut enfin signaler que le réseau pluviométrique actuellement en place est manifestement insuffisant tant par la faible densité spatiale des instruments de mesure que par la courte durée d'enregistrement pour obtenir des résultats plus précis. Les lacunes d'observations constatées au niveau de certaines stations, malgré le nombre relativement assez représentatif de postes pluviométriques, est un signe d'une mauvaise prise en charge de ce réseau.

Enfin, cette étude n'a pas la prétention d'être tout à fait complète et d'épuiser toutes les questions relatives aux problèmes liés aux pluies intenses de courte durée. Il s'agit d'une modeste contribution à la compréhension des phénomènes pluviométriques extrêmes dans le Nord-est algérien afin d'apporter une aide à la décision aux pouvoirs publics et aux bureaux d'études chargés des études hydrauliques.

LISTE DES REFERENCES

- Adamowski K., Bougadis J., 2003. Detection of trends in annual extreme rainfall. *Hydrol. Process.* 17: 3547–3560.
- Ahattab J., Serhir N., LAKHAL E. K., 2014. Mapping Gradex values on the Tensift basin (Morocco). *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 5 (4-part1): 1-7.
- A.N.R.H., 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.), Ministère de l'Equipement, Alger, Ed. I.N.C.
- Aron G., Wall D. J., White E. L., Dunn C. N., 1987. Regional rainfall intensity-duration- frequency curves for Pennsylvania. *Water Resources Bulletin.* 23(3): 479-485.
- Bell F. C., 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationship. *Amer. Soc. Civ.Eng., J. Hydraulic Eng.* 95: 311–327.
- Belloula M., 2008. Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens). Mémoire de Magister, Université de Batna, 168 p.
- Beloulou L., 2008. Vulnérabilité aux inondations en milieu urbain. Cas de la ville de Annaba (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat d'Etat, Université Badji Mokhtar, Annaba, 320 p.
- Beloulou L., Guechi S., Moguedet G., 2015. The assessment of heavy rains in the region of Annaba (NE Algeria) to improve extreme flood forecasting-Use of the Depth-Duration-Frequency curves. *Journal of Earth Science And Engineering*, 5(7): 449-156.
- Benabdesselam T., Amarchi H., 2013. Approche régionale pour l'estimation des précipitations journalières extrêmes du Nord-est algérien. *Courrier du Savoir – N°17* : 175-184.
- Benkaci A T., Dechemi N., 2004. Modélisation pluie- débit journalière par des modèles conceptuels et “boîte noire”; test d'un modèle neuroflou. *Journal des Sciences Hydrologiques* 49 : 919-930
- Benkhaled A., 2007. Distributions statistiques des pluies maximales annuelles dans la région du Cheliff Comparaison des techniques et des résultats. *Courrier du Savoir – N°08*: 83-91
- Benzarti Z., 2003. L'intensité horaire de la pluie à Tunis Manubia. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 15 : 287-294
- Bernard M.M., (1932). Formulas for rainfall intensities of long durations. *Trans. ASCE*, 96: 592-624
- Bhakar S.R., Bansal, A.K., Chhajed, N., Purohit R.C., 2006. Frequency analysis of consecutive days maximum rainfall at Banswara, Rajasthan, India. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, pp 64-67..
- Bilkova D., 2014. Robust parameter estimations using L-moments, TL-moments and the order statistics. *American Journal of Applied Mathematics*, Vol. 2(2): 36-53
- Biondi D., Freni G., Lacobellis V., Mascaro G., Montanari A., 2012. Validation of hydrological models: Conceptual basis, methodological approaches and a proposal for a code of practice. *Physics and Chemistry of the Earth*, pp 42–44.
- Bloschl G., Sivapalan M., 1995. Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrological processes* 9: 251-290.

- Body K., 1981. Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie - Synthèse régionale : Détermination des paramètres principaux par station et répartition spatiale, ANRH-Antenne de Constantine, Algérie, 46 p.
- Bouillin, J.P., Raoult, J.F., 1971. Présence sur le socle kabyle du Constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs ; le Numidien peut-il être un néo-autochtone?. *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. XIII, pp 338-362
- Boukhelifa M., Touaibia B., Hubert P., 2011. Prévention du risque pluvial par l'élaboration des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF): application à la ville de Tipasa dans le Nord-Ouest Algérien. *IAHS Publication* 347:36-42.
- Buzzi, A., Tartaglione N., Malguzzi P., 1998. Numerical simulations of the 1994 Piedmont flood : Role of the orography and moist processes. *Mon. Weather Rev.*126: 2369–2383.
- Chaumont M., Paquin C., 1971, Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500 000 (4 feuilles avec notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger
- Chen C. I., 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*. 109(12): 1603-1621.
- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, 588 p.
- Conseil International de la Langue Française, 1978. Vocabulaire de l'hydrologie et de la météorologie. Ed. La maison de dictionnaire-CILF, Paris, 246 p.
- Cote M., 1998a, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, *Rhumel*, n° 6 :57-71.
- Chrominski et Tkacz, 2010. Comparison of outlier detection methods in biomedical data. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, Vol. 16: 89-94
- Djeboua A., 2001. Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les alpes franco-italiennes. Prévision quantitative des pluies journalières par la méthode des analogues. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, LTHE-INPG, 422 p.
- Delrieu, G., Nicol J., Yates E., Kirstetter P., 2005. The catastrophic flash-flood event of 8–9 September 2002 in the Gard region, France: A first case study for the Cévennes–Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory. *J. Hydrometeorology* 6:34-52.
- Demarée G., 1985. Intensity–duration–frequency relationship of point precipitation at Uccle, Reference period 1934–1983. N° 116, Publications de l'Institut Royal Meteorologique de Belgique, 52 p.
- Descroix L., Nouvelot J.F., Estrada J., Lebel T., 2001. Complémentarités et convergences de méthodes de régionalisation des précipitations : application à une région endoréique du Nord-Mexique. *Revue des sciences de l'eau* 14, n° 3: 281-305.
- Durand-Delga M., 1972. La courbature de Gibraltar, extrémité occidentale des chaines alpines, unit l'europe et l'afrique. Ed. geol. Helv, 65/2 : 267-278
- Durand-Delga, M., Fontboté, J.M., 1980. Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. In : J. Auboin, J. Debelmas et M. Latreille (Ed.), *Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. Mémoire du B.R.G.M.* n°115 : 67-85.

- Elamir E.A.H, 2001. Probability distribution theory, generalisations and applications of L-moments, Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online : <http://etheses.dur.ac.uk/3987/>
- Fallot J.M., Hertig J.A., 2013. Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques et augmentation des valeurs extrêmes durant le 20ème siècle. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 23-34.
- Frei C., Davies H.C., Gurtz J., Schär C., 2000. Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. *Integrated Assessment*, 1: 281-299.
- Gautier E. F., 1911. Profils en long de cours d'eau en Algérie-Tunisie. *Annales de Géographie* 20(112) : 351-366
- Gelard J. P., 1979. Géologie du Nord-Est de la grande Kabylie (Un segment interne de l'orogène littoral nord- africain). Thèse S C. Dijon. 326 p, 98 Fig, 19 PL. 1 carte h.t .couleur
- Ghachi A., 1986. Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin de la Seybouse, O.P.U., Alger, 508 p
- Ghanmi H., 2014. Estimation des courbes Intensité-Durée-Aire-Fréquence (IDAF) de la région de Tunis dans un contexte multifractal. Thèse de doctorat en météorologie, océanographie physique et physique de, l'environnement, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines; Université Tunis El Manar, 133 p.
- Goldfarb B., Pardoux C., 2005. Méthodes d'ajustements graphiques : Diagramme Quantile – Quantile. *Revue MODULAD* N°33 : 1- 6.
- Grisollet H. , 1948. Etude des averses orageuses de la région parisienne. *La Météorologie*, N° 11 : 175-195.
- Guilmet B., 1963. Intensités des fortes précipitations en fonction de leur durée. Direction de la Météorologie nationale, Paris, 12 p.
- Gupta H. V., Kling H., Yilmaz K. K., Martinez G. F., 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology* 377(1-2) : 80-91.
- Habibi B., Meddi M., Boucefiane A., 2012. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui. *Nature & Technologie*, pp 41-48
- Hamadache B., Terchi A., Brachemi, O., 2002. Study of the meteorological situation which affected the west and the center of Algeria in general and Bab-El-Oued in particular on the 10 th November 2001. In *Mediterranean Storms : Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference, published on CD-ROM (ISBN 84-7632-792-7)*
- Hingray B., Picouet C., Musy A., 2009. Hydrologie: Une science pour l'ingénieur. PPUR presses polytechniques, 600 p
- Horner, W., Flynt, F., 1936. Relation between rainfall and runoff from small urban areas. *Trans. ASCE*, 101: 104–183.
- Hosking J. R. M., Wallis J. R., 2005. Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-Moments. Cambridge University Press, 244 p.
- Hosking, J. R. M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of statistics. *Journal of the Royal Statistical Society B* 52: 105-124.

Hosking, J. R., M. and Wallis J., 1995. A comparison of unbiased and plotting-position estimators of L-moments. *Water Resources Research*, 31: 2019-2025.

Huet P., Martin X., Prime J.L., Laurain C., Cannard P., 2003. Retour d'expérience des crues de septembre 2002 dans les départements du Gard, de L'Hérault, du Vaucluse, des Bouches- du- Rhône, de l'Ardèche et de la Drôme. Rapport consolidé après phase contradictoire. La Documentation française. Ministère de l'Ecologie et du Développement durable. 133 p.

IPCC, 2007. Climate Change 2007. The physical science basis. Working Group I Contribution to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 p.

Kieffer Weisse A., 1998. Étude des précipitations exceptionnelles de pas de temps court en relief accidenté (Alpes françaises). Méthode de cartographie des précipitations extrêmes. Relation avec le contexte topographique. Utilisation de l'information au pas de temps de la journée. Thèse de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, LTHE-INPG, 314 p.

Kiingumbi A., Mailhot A., 2010. Courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF): comparaison des estimateurs des durées partielles et des maximums annuels. *Hydrological Sciences Journal*, 55(2): 162-176

Kothyari, U.C., Grade, R.J., 1992. Rainfall intensity duration frequency formula for India. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, 118(2): 323-336.

Koutsoyiannis D., Kozonis, D., Manetas, A., 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal .of Hydrology*, 206 : 118–135.

Laborde J.P., 1982. Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques : prise en compte des relations pluviométrie-morphométrie, *Houille. Blanche*, 4 : 331- 338.

Laghouag M.Y., 2014. Etude des lamproïtes du Nord-Est algérien. Mémoire de Magister, Université de Setif, 194 p.

Lahlah S., 2004. Les inondations en Algérie. *Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels : Inondation, Prévision, Protection*, /Batna 15/16/décembre.

Lam K.H., Milton J., Nadeau M., Vescovi L., 2004. Mise à jour des courbes d'Intensité Durée Fréquence des pluies de courte durée du climat récent au Québec. 57ème Congrès annuel de l'association canadienne des ressources hydriques-Eau et changement climatique: comprendre pour mieux s'adapter, 16-18 Juin, Montréal, Qc, Canada.

Lebel T., Slimani M., 1987. Estimation, régionalisation et moyenne spatiale de la distribution fréquentielle des pluies. In: *Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier*. (FRA): ORSTOM. pp 263-288.

Lee C., 2005. Application of rainfall frequency analysis on studying rainfall distribution characteristics of Chia-Nan plain area in Southern Taiwan. *Journal of Crop, Environment & Bioinformatics*, 2:31-38

Legates D. R., McCabe G.J., 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, *Water Resour.Res.*, 35(1): 233–241.

Marre A., 1992. Le Tell oriental algérien : de Collo à la frontière tunisienne. Etude géomorphologique. OPU, Alger, 624 p.

Mann H.B., Whitney D.R., 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Ann .of Math. Stat*. Volume 18: 52-60.

- Mathlouti M., Ghali A., Lebdi F., 2011. Impact de pluies extrêmes sur la genèse et l'amplification des glissements de terrain dans le Nord de la Tunisie. *Revue scientifique et technique, LJEE* N° 19 : 76-89.
- Mebarki A., 1999a, Approche hydrologique des bassins de l'Est algérien, Actes des Journées d'information et d'étude : *La nouvelle politique de l'Eau, les Agences de bassins hydrographiques et le Bassin Constantinois-Seybouse-Mellegue*, Constantine 20-21 oct. 1998, A.B.H.-C.S.M, pp. 22-30.
- Mebarki A., 1999b, Les bassins exoréiques de l'Est algérien et leurs apports d'étiage à la mer Méditerranée : écoulements, rejets et protection des eaux du littoral. Actes des Journées d'étude: *Protection des eaux du littoral de l'Est algérien*, Constantine, A.B.H.-C.S.M, pp. 24-41.
- Mebarki A., 2009, Ressources en eau et aménagement en Algérie –Les bassins hydrographiques de l'Est , O.P.U., Alger, 389 p.
- Mebarki A., 2010. La région du Maghreb face à la rareté de l'eau. L'exemple du défi algérien : mobilisation et gestion durable des ressources. ICID+18 2nd International Conference « *Climate, Sustainability and Development in semi-arid regions*» August 16-20, Fortaleza - Ceará, Brazil
- Meddi M., Toumi S., 2015. Spatial variability and cartography of maximum annual daily rainfall under different return periods in the North of Algeria. *Journal of Mountain Science* 12(6): 1403-1421
- Mohymont B., Demarrée G.R., 2006. Courbes intensité–durée–fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 51(2) : 239-253
- Nash J.E., 1969. A course of lectures on parametric or analytical hydrology. Great Lakes Institute, University of Toronto Pr 38: Lecture 12.
- Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Vol. 27, N°3: 282-290.
- Nedjraoui D., 2003. Profil fourrager. Algérie. FAO, 30 p.
<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/algeria/algerie.htm> (consulté le 12 Juillet 2017)
- Ogunlela A.O., 2001. Stochastic analysis of rainfall events in Ilorin, Nigeria. *Journal of Agricultural Research and Development*. Vol. 1: 39 -50.
- Olofintoye O.O., Sule B.F., Salami, A.W., 2009. Best-fit Probability distribution model for peak daily rainfall of selected Cities in Nigeria. *New York Science Journal*, 2(3) : 1-12.
- OMM, 2012. Glossaire international d'hydrologie, Publication N° 385, Organisation météorologique mondiale, Genève, 469 p.
- Phien H.N., Jirajah T.J., 1984. Applications of the log-Pearson Type-3 distribution in hydrology. *Journal of hydrology*, 73: 359-372.
- Rashid M. M., Faruque S. B., Alam J. B., 2012. Modeling of Short Duration Rainfall Intensity Duration Frequency (SDR-IDF) Equation for Sylhet City in Bangladesh, *ARPJN Journal of Science and Technology*, 2 (2): 92-95.
- Raoult, J.F., 1969c. Relations entre la Dorsale kabyle et les flyschs sur la transversale du Djebel Rhedir ; phases tangentielles éocènes, paléogéographie (Nord du Constantinois, Algérie). *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. XI, p. 523-543.
- Réménieras G., 1980. L'Hydrologie de l'Ingénieur (Sixième éd.), Eyrolles, Paris, 456 p.
- Riad S., 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc . Thèse doctorat, Université Ibnou Zohr D'Agadir, 154 p.

- Rodier J.A., Colambani J., Claude J., Kallel R., 1981. *Monographies hydrologiques: Le bassin de la Medjerdah*. ORSTOM, Paris.
- Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie. Carbonnel, Alger, 219 p.
- Servat E., Dezetter A., 1990. Sélection de critères numériques de calage dans le cadre d'une modélisation pluie-débit en zone de savane soudanaise. *Hydrol .continent.*, vol. 5(2): 147-165
- Sherman C.W., 1931. Frequency and Intensity of Excessive Rainfall at Boston, Mass. *Trans. ASCE*, 95: 951-960.
- Tao D.Q., Nguyen, V.T., Bourque A., 2002. On selection of probability distributions for representing extreme precipitations in Southern Quebec. Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. 5th -8th June, pp 1-8.
- Topaloglu F., 2002. Determining suitable probability distribution models for flow and precipitation series of the Seyhan River Basin". *Turk Journal of Agric.* 26: 189 - 194.
- Trömel S., Schönwiese C.D., 2007. Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, 87: 29-39
- Vila, J.M., 1980. La chaîne Alpine d'Algérie Orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat ès Science, Paris VI, 3 Volumes, 655 p
- Vogel, R. Fennessey N., 1993. L-moment diagram should replace product moment diagram. *Water Resource Research*, 29 : 1745-1752.
- Rao A.R., Hamed K.H., 2000. Flood frequency analysis. CRC Press LLC, 356 p.
- Wenzel H.G., 1982. Rainfall for urban storm water design. In *Urban Storm Water Hydrology*. Kibler, D.F. (editor). Water Resources Monograph, 7, AGU, Washington, DC.
- Wald A., Wolfowitz J., 1943. An exact test for randomness in the non parametric case based on serial correlation", *Ann. Math. Stat.* Volume 14: 378-388.
- Wilcox, B. P., Rawiw W. J., Brakensiek D. L., Wight J. R., 1990. Predicting runoff from range land catchments : A comparison of two models, *Water Resour. Res.*, 26 : 2401-2410.
- Wildi, W., 1983. La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique*, vol. 24(3) : 201-297.
- Willmott C.J., Robeson S.M., Katsuura K., 2012. A refined index of model performance, *International Journal of Climatology* 32: 2088–2094
- Zahar Y., Laborde J.P., 2007. Modélisation statistique et synthèse cartographique des précipitations journalières extrêmes de Tunisie. *Revue des sciences de l'eau*, 20(4) : 409-424.
- Zalina M.D., M. Desa M.N., Nguyen V.T.V., M. Kassim A.H., 2002. Selecting a probability distribution for extreme rainfall series in Malaysia. *Water Science and Technology*, Vol. 45(2) : 63–68

Autres ressources documentaires

A.B.H.-C.S.M., 1999-2004. *Les Cahiers de l'Agence*, Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois-Seybouse-Mellegue, Constantine.

ANRH., *Annuaire hydrologiques de l'Algérie* (de 1946-47 à 1960-61), Alger, Gouvernement général de l'Algérie, Direction du Service de la Colonisation et de l'Hydraulique, DSCH-SCEGGT, Service des Etudes Scientifiques, Alger,

Brakenridge G.R., Global Active Archive of Large Flood Events, Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html> (consulté le 20 Mars 2017) .

Centre de Marseille pour l'intégration en méditerranée, Juin 2011. L'adaptation au changement climatique et la résilience aux désastres naturels dans les villes côtières d'Afrique du Nord. Sommaire de l'étude régionale. http://mc3.lped.fr/IMG/pdf/coastal_cities.pdf

Fédération Française des Sociétés d'Assurances. Prévention et assurance contre les catastrophes naturelles. Direction des Assurances de Biens et de Responsabilité. Février 2011. http://www.ffsa.fr/sites/upload/docs/application/pdf/2011-02/ffsa_prevention_et_assurance_catnat.pdf

Groupe d'Experts Intergouvernementaux, 2004. Changement Climatique 2001 : Rapport de synthèse - Résumé à l'intention des décideurs.

Accessible le 15 février 2005 à www.ipcc.ch/pub/un/syrfrench/spm.pdf

Musy A., Cours d'hydrologie générale.

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/main.html> (consulté le 13.06.2017)

Ressources Naturelles Canada. (2004c). Inondations. Accessible le 28 mars 2005 à http://gsc.nrcan.gc.ca/floods/index_f.php

A N N E X E S

Annexe 1 - Statistiques des pluies journalières maximales dans le NE algérien

Annexe 2 - Identification des pluviomètres au niveau de la zone d'étude

Annexe 3 - Tables statistiques

**Annexe 4 – Résultats des tests d'adéquation des ajustements des modèles
Probabilistes.**

Annexe 5 – Traitement des averses

ANNEXE 1. Statistiques des pluies journalières maximales dans le NE algérien

Bassin des Côtiers constantinois

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s	NJP
Domaine Dehas	39	364,9	1085,9	449,3	476,6	535,3	689,8	774,8	919,7	1036,4	676,1	170,9	0,3	0,5	67
Amoucha	38	293,9	1015,5	387,6	397,4	471,5	564,6	726,4	876,5	924,5	604,8	171,4	0,3	0,5	68
Jijel- Secteur	39	398,5	1347,3	512,3	630,2	767,1	890,0	996,9	1122,7	1253,5	884,4	199,0	0,2	-0,2	93
Texena	38	445,8	1934,9	486,1	685,7	857,7	1129,2	1362,9	1547,8	1714,7	1101,8	334,5	0,3	0,2	74
Harma	37	240,7	1722,2	284,4	357,8	718,2	1019,6	1224,6	1309,0	1640,9	953,2	347,8	0,4	-0,1	67
Erraguene	39	712,4	2107,4	731,8	782,7	976,7	1248,3	1477,9	1850,4	2087,4	1259,3	369,4	0,3	0,6	95
Col de Fdelous	36	383,5	1557,0	465,5	537,5	725,4	1008,4	1161,3	1457,8	1552,3	977,9	305,4	0,3	0,1	
Taher	36	582,3	1410,9	588,5	681,4	829,1	978,5	1099,4	1260,8	1349,7	970,6	207,7	0,2	0,1	
Zardezas- Barrage	38	373,0	1039,4	419,4	464,7	522,6	604,1	750,3	849,8	943,5	629,8	152,6	0,2	0,8	102
Bousnib	38	331,2	1181,8	350,0	430,0	526,0	635,0	727,0	869,5	1021,1	647,7	175,7	0,3	0,8	87
Ramdane Djamel	39	378,8	1028,0	392,1	400,7	464,8	546,6	647,1	825,9	868,8	575,7	144,5	0,3	1,1	86
Bekouche Lakhdar	38	187,1	989,4	345,3	405,4	485,7	567,7	722,1	937,6	981,0	608,2	186,7	0,3	0,4	80
Bouati Mahmoud	38	380,4	986,4	400,3	443,2	534,7	623,7	837,9	947,7	971,4	677,2	179,8	0,3	0,3	102
Ain Charchar	38	325,4	1171,3	364,7	476,7	540,6	619,5	771,2	1030,9	1120,9	680,4	208,4	0,3	0,9	91
Berrahal	38	377,5	1028,5	444,9	472,7	553,2	625,1	728,9	905,2	1016,1	652,5	152,8	0,2	0,9	80
Cheffia Barrage	37	401,0	1240,6	415,7	464,9	575,9	727,0	847,0	1123,7	1149,3	737,9	209,1	0,3	0,6	92
Ain Assel	36	396,1	1708,0	475,8	543,6	676,8	848,5	940,9	1076,0	1297,4	834,2	235,7	0,3	1,3	95
Ain El Kerma	36	202,4	1176,1	369,1	405,3	562,8	723,3	843,2	1052,0	1174,4	712,5	227,3	0,3	0,1	65
Skikda- ONM	38	491,6	1148,9	491,7	511,9	614,1	727,2	847,6	921,6	1016,4	727,7	157,3	0,2	0,4	

ANNEXE 1. Suite

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s	NJP
Batna	36	185.8	603.8	190.9	249.7	307.0	374.8	451.2	502.6	530.4	374.8	96.75	0.3	0.1	100

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s	NJP
Belaa	39	136,5	653,1	192,6	226,8	275,8	372,6	469,7	534,2	636,7	377,3	123,6	0,3	0,3	
Ouled Rahmoune	36	75,4	721,4	93,5	195,6	260,5	376,1	508,6	640,2	665,0	384,8	156,9	0,4	0,2	52
Hamala	38	458,2	1400,8	474,2	533,8	684,4	784,0	950,5	1086,0	1212,9	811,5	211,0	0,3	0,6	67
Constantine- ANRH	26	307,2	888,9	314,4	371,1	466,5	566,5	641,4	729,7	843,1	560,4	132,8	0,2	0,2	54
Bir El Arch	37	122,4	485,6	140,9	182,4	248,6	331,7	420,3	485,6	523,7	339,6	111,8	0,3	-0,1	106
Bir Drimil	23	213,3	616,4	220,8	253,3	324,4	374,6	421,9	484,8	590,9	373,8	92,2	0,3	0,5	50
Fourchi	38	175,5	822,5	186,4	209,9	274,7	412,3	537,4	667,7	793,2	426,2	164,3	0,4	0,6	59
El Milia	35	500,8	1314,7	578,0	620,0	751,1	840,0	1015,9	1199,1	1314,4	871,3	204,9	0,2	0,5	58
Contantine- ONM	39	253,3	868,2	325,5	342,7	445,9	506,9	641,2	756,8	861,9	530,9	147,7	0,3	0,6	70
Chelghoum Laid	32	156,4	603,1	193,2	231,0	298,1	364,0	451,8	530,2	564,2	369,7	107,0	0,3	0,3	69
Ain Fakroun	39	150,2	873,7	157,4	206,8	301,7	345,8	462,8	604,8	741,6	383,3	152,5	0,4	1,2	77
Ouled Naceur	23	64,5	529,0	69,3	104,1	197,1	272,9	321,6	392,9	506,6	260,3	106,5	0,4	0,3	56
Ouled Messaouda	36	791,0	2107,7	829,9	896,3	1050,4	1243,0	1413,6	1673,7	2043,4	1258,4	305,7	0,2	1,0	100
Hamma	38	295,2	834,0	297,3	334,1	416,6	512,6	579,7	670,4	693,6	506,7	120,7	0,2	0,2	
Kheneg	30	302,5	955,3	331,7	357,7	469,7	603,2	701,1	807,4	921,6	598,1	160,0	0,3	0,1	
Settara	37	541.3	1462.6	558.4	628.9	736.1	869.7	1048.1	1101.8	1391.6	886.7	208.9	0.2	0.7	71

ANNEXE 1. Suite

Bassin de la Medjerda - Mellègue

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s	NJP
Souk Ahras	39,0	220,1	1111,6	276,7	345,4	483,6	577,3	713,1	844,6	885,9	593,3	186,1	0,3	0,3	64
Ain Seynour	38,0	271,6	1486,0	369,4	508,3	640,0	811,2	1162,3	1334,3	1394,5	884,5	307,6	0,4	0,2	73
Khemissa	39,0	289,9	1082,4	299,7	310,8	376,5	529,6	634,0	877,1	1045,1	559,8	209,7	0,4	0,9	67
Ain Dalia	20,0	174,1	1033,3	176,9	232,6	318,7	453,6	811,8	927,0	1028,4	536,6	268,8	0,5	0,4	83
Meskiana	38,0	88,6	531,4	127,3	166,7	210,3	256,5	343,8	441,6	528,7	281,8	106,0	0,4	0,7	39
Ain Dhalaa	39,0	99,8	521,6	104,5	180,5	231,4	295,6	368,7	432,2	520,9	299,4	101,6	0,3	0,3	42
Tebessa- APC	39,0	185,0	624,0	192,3	198,1	274,5	335,1	421,0	591,8	601,7	360,7	126,8	0,4	0,6	67
Boukhadra	39,0	166,1	574,9	166,5	181,3	237,2	290,2	411,3	540,0	560,8	336,3	123,9	0,4	0,5	41
Bekkaria	37,0	72,4	468,0	101,4	114,2	179,5	259,5	353,2	429,3	449,3	268,4	106,7	0,4	0,1	25
Mchtet Ouled Hamza	35,0	123,6	1145,4	147,2	168,1	227,2	335,6	709,1	902,4	958,0	452,0	276,3	0,6	0,8	43
El Ounza	39,0	136,0	528,7	149,2	162,3	205,6	263,2	348,6	413,7	498,7	279,1	96,9	0,4	0,7	48
El Aouinet	39,0	139,1	495,5	178,9	196,5	240,2	276,9	341,5	399,0	481,1	293,0	80,3	0,3	0,6	54
M'Daourouch	39,0	135,2	700,0	178,4	223,5	256,2	340,8	427,7	546,4	598,7	357,0	123,3	0,3	0,7	36
Mesloula	37,0	70,1	492,2	110,6	135,5	204,0	234,6	281,2	403,4	465,8	249,5	89,1	0,4	0,8	18
Ras el Aioun	35,0	155,8	840,6	171,3	211,5	256,2	298,4	401,2	546,2	739,4	344,8	147,3	0,4	1,7	44
El Kouif	39,0	70,9	766,4	164,2	182,8	251,9	304,4	419,4	515,3	628,8	332,5	131,4	0,4	1,2	67
Saf-Saf	39,0	68,8	516,8	100,0	134,0	154,3	254,8	304,6	435,6	509,2	256,0	111,3	0,4	0,6	45
Souk Ahras- ONM	23,0	389,6	972,3	390,3	406,1	590,6	655,0	696,7	873,8	964,6	643,4	146,8	0,2	0,2	
Tebessa- ONM	37,0	199,0	646,6	215,5	234,1	268,5	352,7	428,4	515,4	578,1	364,8	104,6	0,3	0,6	

ANNEXE 1. Suite

Bassin de la Seybouse

Station	N	X _{min}	X _{max}	X _{5%}	X _{10%}	X _{25%}	X _{50%}	X _{75%}	X _{90%}	X _{95%}	$\bar{x}$	s	Cv	C _s	NJP
Annaba- ONM	39,0	409,5	1126,6	434,1	468,8	538,2	614,6	747,9	830,4	980,2	648,8	153,9	0,2	0,9	
Ain Babouche	35,0	45,9	508,5	61,8	123,3	164,3	271,3	343,8	406,5	464,5	262,8	111,1	0,4	0,1	22
Ain Berda	38,0	368,2	973,0	381,4	391,8	521,3	587,2	720,6	844,5	868,5	616,0	151,6	0,3	0,4	94
Ain Makhoulf	38,0	256,9	884,4	258,0	330,1	398,2	489,0	621,3	710,0	764,0	502,3	147,4	0,3	0,5	59
Aioun Settera	35,0	152,3	562,3	169,6	178,4	219,8	270,1	366,4	445,4	528,3	296,4	101,7	0,3	0,8	55
Bordj Sabath	34,0	309,1	1611,2	352,5	388,3	452,1	541,8	675,7	838,9	1099,2	594,9	233,3	0,4	2,6	76
Bouchegouf	38,0	279,3	884,0	293,3	356,1	435,4	544,0	635,9	810,1	828,0	551,9	151,6	0,3	0,4	87
Boukhamouza	38,0	380,5	978,7	398,7	412,3	495,3	579,7	804,8	852,2	946,3	623,9	169,3	0,3	0,5	73
Guelma- Lycée	36,0	222,6	848,4	241,9	354,3	449,8	534,0	665,6	797,3	824,7	550,2	155,3	0,3	0,0	84
Guelma- ONM	21,0	405,3	938,5	409,7	450,2	462,6	575,3	707,3	892,3	936,1	595,9	154,8	0,3	0,9	
Hammam N'bails	38,0	253,3	1004,3	310,3	371,2	458,2	610,1	732,4	879,5	938,8	611,8	181,2	0,3	0,2	64
Heliopolis	38,0	257,3	904,7	291,5	378,3	479,3	601,2	729,6	828,2	873,0	593,1	165,0	0,3	0,0	86
Kef Mourad	37,0	273,7	976,6	306,3	389,9	478,8	603,0	720,8	819,3	862,7	596,8	160,4	0,3	0,1	67
Ksar Sbahi	35,0	186,6	594,6	194,8	202,2	244,7	335,0	456,3	528,9	565,3	346,8	115,6	0,3	0,4	52
Mcht Cheikh Rabah	35,0	113,3	544,4	139,4	155,6	212,2	252,5	345,0	475,7	520,5	283,9	110,5	0,4	0,9	
Medjez Amar	30,0	316,1	946,4	336,5	365,5	470,5	550,2	692,6	811,4	899,9	581,3	157,5	0,3	0,5	65
Nechmaya	38,0	186,3	973,6	275,0	361,5	458,1	591,1	728,5	831,0	846,4	591,0	177,3	0,3	-0,1	950
Pont Bouchet	32,0	366,1	933,6	381,3	418,2	489,0	606,1	734,8	847,2	911,9	614,6	151,6	0,3	0,4	92
Ras el Akba	37,0	313,0	795,1	330,6	364,0	437,6	524,8	664,5	747,7	794,1	542,6	134,6	0,3	0,3	71
Terraguelt	35,0	93,1	797,7	94,2	132,6	182,0	271,6	319,6	378,2	509,9	273,6	125,8	0,5	2,0	24
Berriche	35,0	98,5	463,3	129,0	136,9	209,9	267,2	340,2	424,7	459,1	272,7	93,9	0,3	0,3	38

Annexe 2. Identification des pluviomètres au niveau de la zone d'étude

Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Série
Bassin des Côtiers constantinois (03)					
0104	Domaine Dehas	36,65	5,09	7	1970-2008
0204	Amoucha	36,43	5,42	800	1970-2007
0301	Jijel	36,82	5,77	5	1970-2008
0302	Texana	36,66	5,79	700	1971-2008
0319	Harma	36,69	5,81	400	1972-2008
0401	Erraguene	36,58	5,58	680	1970-2008
0403	Col de Fdelous	36,63	5,90	920	1973-2008
0504	Taher	36,77	5,90	56	1973-2009
0705	Bouhaloufa	36,68	6,69	165	
0706	Oum Toub	36,69	6,57	240	1970-2008
0710	Tamalous	36,82	6,65	60	1970-2008
0903	Zardezas	36,60	6,89	200	1970-2007
0905	Bousnib	36,49	6,96	900	1970-2007
0909	Ramdane Djamel	36,74	6,90	50	1970-2008
1102	Bekkouche Lakhdar	36,69	7,17	80	1970-2007
1105	Bouati Mahmoud	36,59	7,33	150	1970-2007
1201	Ain Cherchar	36,76	7,24	34	1970-2008
1302	Berrahal	36,84	7,45	33	1970-2007
1501	Cheffia	36,61	8,04	170	1970-2007
1601	Ain Assel	36,77	8,36	32	1970-2005
1604	Ain Kerma	36,59	8,20	235	1970-2005
1717	Lac des oiseaux	36,78	8,12	6	
1719	Lac des oiseaux-village	36,78	8,13	6	
1106	Azzaba	36,74	7,09	96	
0313	Souk Larbaa	36,77	5,78	110	
1301	Lac Fetzara	36,79	7,59	15	
1801	El Kala- ONM	36,90	8,45	10	
Ski	Skikda- ONM	36,89	6,91	42	1970-2010
0801	Skikda	36,88	6,90	5	
0911	Bouchtata	36,79	6,80	90	
0908	Emjez Edchiche	36,71	6,80	104	
0910	Bissy	36,78	6,68	275	
0904	Ain El Kelb	36,53	7,04	750	
1402	Séraïdi	36,91	7,67	840	
0907	Sidi Mezghich	36,68	6,72	220	
0712	Afflassane	36,93	6,53	35	
0706	Guenitra-Barrage	36,71	6,63		
1102	Zit Emba	36,68	7,30	50	
0602	Zitouna	36,99	6,46	548	
0906	El Harrouch	36,65	6,84	137	
0603	Collo	37,01	6,57	10	
0604	Bounoghra	36,99	6,34		
0601	Cap Bougaroun	37,08	6,48	196	
1401	Cap de Garde	36,97	7,78	131	
1403	Chetaïbi	37,07	7,38	30	

ANNEXE 2. Suite

Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Série
Bassin des Côtiers constantinois (03)					
1404	Cap de Fer	37,07	7,24	55	
1207	Cherka	36,92	7,29	10	
1301	Lac Fetzara	36,79	7,59	15	
1405	Edough	36,90	7,66	728	
0101	Boukhelifa	36,61	5,12	167	
0102	Cap Aokas	36,63	5,25	19	
0104	Tichy	36,66	5,17	15	
0201	Ighil EMDA- Barrage	36,48	5,27	446	
0220	Kherrata	36,49	5,28	485	
0208	AM Slimane Babor	36,48	5,44	1000	
0207	Souk Et Tnine	36,60	5,35	40	
0218	Tizi N'Bechar	36,43	5,35	900	
0215	Darguina	36,57	5,32	83	
1602	Roum El Souk	36,79	8,54	150	
Bassin des Hauts plateaux constantinois (07)					
0406	Foum Toub	35,41	6,55	1102	1969-2004
0720	Foum el Gueiss	35,47	6,94	945	1987-1997
0316	Batna	35,56	6,17	1040	1972-2007
Bassin du Kébir-Rhumel (10)					
0302	Belaa	36,20	5,85	990	1970-2008
0306	Bir El Arch	36,13	5,84	952	1972-2007
0312	Chelghoum Laid	36,16	6,16	768	1977-2007
0511	Fourchi	36,36	6,60	775	1970-2007
0410	Constantine- ANRH	36,34	6,60	595	1970-2009
Const	Constantine- ONM	36,28	6,62		1970-2008
0619	Zighoud Youcef	36,53	6,71	570	
0620	El Kheneg	36,46	6,48	300	
0603	Hamma	36,41	6,59	460	
0703	Hamala	36,57	6,34	660	1970-2008
0708	Ouled Messaouda	36,71	6,08	585	1973-2008
0706	El Milia	36,76	6,28	100	1973-2008
0527	Ouled Nacer	36,11	6,89	839	1972-1995
0508	Ouled Rahmoune	36,18	6,70	700	1972-2007
0411	Bir Drimil	36,04	6,42	854	1985-2007
0503	Ain Fakroun	35,98	6,88	920	
0704	Sidi Maarouf	36,64	6,27	70	
0711	Settara	36,72	6,34	280	1972-2008
0705	Ain Kechra	36,75	6,44	290	
0103	Djemila	36,32	5,73	902	
0201	Redjas Ferada	36,42	6,12	360	
0203	Fedj Mzala	36,40	5,95	580	
3015	Hammam Grouze- Barrage	36,23	6,28	770	

ANNEXE 2. Suite

Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Série
Bassin de la Medjerda-Mellegue (12)					
0101	Souk Ahras	36,27	7,90	790	1970-2008
Skahr	Souk Ahras- ONM	36,28	7,97		1986-2008
0103	Ain Seynour	36,32	7,87	904	1971-2008
0104	Khemissa	36,19	7,65	900	1971-2008
0113	Cheikh Abdallah	36,25	7,78	700	1998-2008
125	Ain Dalia	36,26	7,86	717	1989-2008
0201	Meskiana	35,63	7,67	845	1970-2008
0202	Ain Dhala	35,45	7,56	980	1970-2008
0301	Tebessa- APC	35,40	8,12	890	1970-2008
Teb	Tebessa- ONM	35,42	8,12		1970-2008
0302	Boukhadra	35,75	8,03	900	1970-2008
0307	Bekkaria	35,37	8,23	895	1972-2008
0317	Oueled Hamza	35,55	8,16	1220	1970-2008
0401	Ouenza	35,95	8,14	520	1970-2008
0402	El Aouinet	35,86	7,88	650	1970-2008
0403	M'Daourouche	36,07	7,84	870	1970-2008
0405	Mesloula	35,87	7,84	700	1972-2008
0501	Ras El Aioun	35,52	8,29	995	1974-2008
0504	El Kouif	35,50	8,32	1100	1970-2008
0517	Saf Saf	35,28	8,30	1000	1972-2008
0105	Taoura	36,17	8,04	850	
0303	Morsott	35,67	8,01	742	
0304	Hamammet	35,45	7,95	875	
0306	Ain Kissa	35,49	8,12	985	
0311	Ain Kebira	35,51	8,15	1300	
0510	Ain Zerga	35,64	8,26	850	
0503	Sakiet Sidi Youcef	36,23	8,34	780	
0514	Ain Erkel	35,56	8,19	1080	

ANNEXE 2. Suite

Code	Nom	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Série
Bassin de la Seybouse (14)					
ANN	Annaba- ONM	36,83	7,81	3	1970-2008
1415	Annaba- Ville	36,90	7,76	50	
0104	Ksar Sbahi	36,08	7,26	850	1973-2007
0105	Ain Settara	36,07	7,39	741	1973-2007
0205	Ain Makhlouf	36,25	7,25	834	1970-2007
0403	Heliopolis	36,51	7,45		1970-2007
0412	Guelma- Lycée	36,46	7,44	260	1972-2007
0502	Mechroha	36,36	7,84	748	
0503	Hammam N'bails	36,32	7,65	478	1970-2007
0505	Boucheouf	36,46	7,71	800	1970-2007
0606	Ain Berda	36,66	7,61	100	1970-2007
0614	El Hadjar- CFPA	36,81	7,74	12	
0103	Berriche	35,91	7,37	800	1974-2007
0109	Ain Babouche	35,94	7,19	860	1974-2007
0309	Ras El Akba	36,37	7,22	740	1971-2007
0611	Kef Mourad	36,70	7,77	17	1971-2007
0313	Medjez Amar	36,44	7,31	275	1978-2007
0115	Terraguelt	35,87	7,60	868	1974-2007
0631	Pont Bouchet	36,82	7,74		1976-2007
0302	Bordj Sabat	36,42	7,03	525	1974-2007
0113	Cheikh Rabah	36,00	7,24	865	1973-2007
0105	Foum El Khenga	36,08	7,39	740	
0609	El Kerma	36,76	7,68	14	
0605	Nechmaya	36,59	7,56	265	1970-2007
0607	Boukhamouza	36,58	7,75	40	1970-2007
Guel	Guelma- ONM	36,47	7,47		1986-2007
Bouch	Boucheouf- ONM	36,50	7,72		1970-2007
0101	Sedrata	36,13	7,53	796	
0108	Ain Snob	36,04	7,30	879	
0203	Abdi Mabrouk	36,27	7,40	900	
0204	Tamlouka	36,16	7,14	740	1971-1979

ANNEXE 3 – Tables statistiques

Valeurs critiques du test du signe (Runs Test) au niveau de signification de 5%.

Cette table donne les limites supérieures et inférieures critiques du nombre de suites U . On rejette l'hypothèse nulle (H_0 : données indépendantes) au seuil de signification $\alpha = 5\%$ si U_{obs} , le nombre de suites, est inférieur ou égal à la plus petite valeur tabulée ou supérieur ou égal à la plus grande valeur.

N_1	N_2																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2											2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3					2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4				2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	
5		2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	
6		-	9	10	10	11	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7		2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	
8		-	9	10	11	12	12	13	13	13	13	-	-	-	-	-	-	-	-	
9		2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6	6	
10		-	-	11	12	13	13	14	14	14	14	15	15	15	-	-	-	-	-	
11		2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	
12		-	-	11	12	13	13	14	14	15	15	16	16	16	17	17	17	17	17	
13		2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	
14		-	-	11	12	13	13	14	14	15	16	16	17	17	18	18	18	18	18	
15		2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	9	9	
16		-	-	11	12	13	13	14	14	15	16	16	17	17	18	19	19	19	19	
17		2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	10	10	
18		-	-	11	12	13	14	14	15	16	17	17	18	18	19	19	20	20	20	
19		2	3	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	12	
20		-	-	11	12	13	14	15	16	17	17	18	19	19	20	20	21	21	21	

Exemple: si $N_1 = N_2 = 11$ et $U_{obs} = 8$, on lit dans la table les nombres 7 et 17. Puisque 8 est compris dans cet intervalle, on accepte l'hypothèse nulle au niveau de 5%.

Valeurs critiques du test d'homogénéité U de Mann-Whitney

(Niveau de signification: 5 %)

Taille du plus grand échantillon (N₂)

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Taille du plus petit échantillon (N ₁)	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	13	13
4	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23
5	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	25	27	28	29	30	32	33
6		5	6	8	10	11	13	14	16	17	19	21	22	24	25	27	29	30	32	33	35	37	38	40	42	43
7			8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
8				13	15	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41	43	45	48	50	53	55	57	60	62	65
9					17	20	23	26	28	31	34	37	39	42	45	48	50	53	56	59	62	64	67	70	73	76
10						23	26	29	33	36	39	42	45	48	52	55	58	61	64	67	71	74	77	80	83	87
11							30	33	37	40	44	47	51	55	58	62	65	69	73	76	80	83	87	90	94	98
12								37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93	97	101	105	109
13									45	50	54	59	63	67	72	76	80	85	89	94	98	102	107	111	116	120
14										55	59	64	67	74	78	83	88	93	98	102	107	112	118	122	127	131
15											64	70	75	80	85	90	96	101	106	111	117	122	125	132	138	143
16												75	81	86	92	98	103	109	115	120	126	132	138	143	149	154
17													87	93	99	105	111	117	123	129	135	141	147	154	160	166
18														99	106	112	119	125	132	138	145	151	158	164	171	177
19															113	119	126	133	140	147	154	161	168	175	182	189
20																127	134	141	149	156	163	171	178	186	193	200
21																	142	150	157	165	173	181	188	196	204	212
22																		158	166	174	182	191	199	207	215	223
23																			175	183	192	200	209	218	226	235
24																				192	201	210	219	228	238	247
25																					211	220	230	239	249	258
26																						230	240	250	260	270
27																							250	261	271	282
28																								272	282	293
29																									294	305
30																										317

Accepter l'hypothèse d'homogénéité des données si la valeur calculée de U est supérieure à la valeur donnée par la table.

TEST DE GRUBBS et BECK

(Valeurs de K_N, α au seuil de signification de 10 %)

$X_{sup} = \exp[\bar{y} + K_{N, \alpha} \times s_y]$	$X_{sup} : \text{limite supérieure}$
$X_{inf} = \exp[\bar{y} - K_{N, \alpha} \times s_y]$	$X_{inf} : \text{limite inférieure}$
où	$\bar{y} : \overline{\ln X} : \text{moyenne des logarithmes des } x_i$
	$s_y : s_{\ln X} : \text{écart type des logarithmes des } x_i$

■ Pilon et al., 1985:

$$K_{N, 10\%} = -3.62201 + 6.28446 \times N^{1/4} - 2.49835 \times N^{1/2} + 0.491436 \times N^{3/4} - 0.037911 \times N$$

N	$K_{N, 10\%}$	N	$K_{N, 10\%}$	N	$K_{N, 10\%}$	N	$K_{N, 10\%}$	N	$K_{N, 10\%}$
1	0,6176	21	2,4070	41	2,6914	61	2,8424	81	2,9442
2	1,0690	22	2,4282	42	2,7009	62	2,8484	82	2,9485
3	1,3280	23	2,4483	43	2,7101	63	2,8542	83	2,9528
4	1,5072	24	2,4673	44	2,7191	64	2,8600	84	2,9570
5	1,6426	25	2,4854	45	2,7278	65	2,8656	85	2,9611
6	1,7506	26	2,5026	46	2,7363	66	2,8711	86	2,9652
7	1,8397	27	2,5190	47	2,7446	67	2,8766	87	2,9692
8	1,9151	28	2,5346	48	2,7527	68	2,8819	88	2,9732
9	1,9803	29	2,5496	49	2,7605	69	2,8872	89	2,9771
10	2,0375	30	2,5640	50	2,7682	70	2,8923	90	2,9810
11	2,0882	31	2,5778	51	2,7757	71	2,8974	91	2,9848
12	2,1337	32	2,5910	52	2,7831	72	2,9024	92	2,9886
13	2,1749	33	2,6038	53	2,7902	73	2,9074	93	2,9923
14	2,2124	34	2,6161	54	2,7972	74	2,9122	94	2,9960
15	2,2467	35	2,6280	55	2,8041	75	2,9170	95	2,9996
16	2,2784	36	2,6394	56	2,8108	76	2,9217	96	3,0032
17	2,3078	37	2,6505	57	2,8174	77	2,9263	97	3,0068
18	2,3351	38	2,6612	58	2,8238	78	2,9309	98	3,0103
19	2,3606	39	2,6716	59	2,8301	79	2,9354	99	3,0137
20	2,3845	40	2,6817	60	2,8363	80	2,9398	100	3,0172

■ Stedinger et al., 1993 :

Pour $5 \leq N \leq 150$:

$$K_{N, 10\%} \approx -0.9043 + 3.345 \times \sqrt{\log(N)} - 0.4046 \times \log(N)$$

Toute valeur x_i dans la série d'observations inférieure à X_{inf} ou supérieure à X_{sup} est considérée comme un horsain (en anglais outlier).

Table des valeurs critiques du test D de Kolmogorov-Smirnov

$$D = \max |F_{obs}(x) - F_{th}(x)|$$

Taille (N)	<i>Seuil de signification α</i>				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
> 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Règle de décision :

Si la valeur calculée de D est supérieure ou égale à la valeur critique $D_{\alpha,N}$, on rejette l'hypothèse H_0 au seuil de signification α indiqué.

Table des valeurs critiques de la loi du χ^2 en fonction du seuil α et du degré de liberté v .

$$\alpha = P(\chi_v^2 > \chi_{\alpha,v}^2)$$

v	0,999	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
1	0,0000	0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	3,841	5,024	6,635	7,879	10,828
2	0,0020	0,0100	0,0201	0,0506	0,1026	5,991	7,378	9,210	10,597	13,816
3	0,0243	0,0717	0,1148	0,2158	0,3518	7,815	9,348	11,345	12,838	16,266
4	0,0908	0,2070	0,2971	0,4844	0,7107	9,488	11,143	13,277	14,860	18,467
5	0,2102	0,4117	0,5543	0,8312	1,1455	11,070	12,833	15,086	16,750	20,515
6	0,3811	0,6757	0,8721	1,2373	1,6354	12,592	14,449	16,812	18,548	22,458
7	0,5985	0,9893	1,2390	1,6899	2,1673	14,067	16,013	18,475	20,278	24,322
8	0,8571	1,3444	1,6465	2,1797	2,7326	15,507	17,535	20,090	21,955	26,124
9	1,1519	1,7349	2,0879	2,7004	3,3251	16,919	19,023	21,666	23,589	27,877
10	1,4787	2,1559	2,5582	3,2470	3,9403	18,307	20,483	23,209	25,188	29,588
11	1,8339	2,6032	3,0535	3,8157	4,5748	19,675	21,920	24,725	26,757	31,264
12	2,2142	3,0738	3,5706	4,4038	5,2260	21,026	23,337	26,217	28,300	32,909
13	2,6172	3,5650	4,1069	5,0088	5,8919	22,362	24,736	27,688	29,819	34,528
14	3,0407	4,0747	4,6604	5,6287	6,5706	23,685	26,119	29,141	31,319	36,123
15	3,4827	4,6009	5,2293	6,2621	7,2609	24,996	27,488	30,578	32,801	37,697
16	3,9416	5,1422	5,8122	6,9077	7,9616	26,296	28,845	32,000	34,267	39,252
17	4,4161	5,6972	6,4078	7,5642	8,6718	27,587	30,191	33,409	35,718	40,790
18	4,9048	6,2648	7,0149	8,2307	9,3905	28,869	31,526	34,805	37,156	42,312
19	5,4068	6,8440	7,6327	8,9065	10,1170	30,144	32,852	36,191	38,582	43,820
20	5,9210	7,4338	8,2604	9,5908	10,8508	31,410	34,170	37,566	39,997	45,315
21	6,4467	8,0337	8,8972	10,2829	11,5913	32,671	35,479	38,932	41,401	46,797
22	6,9830	8,6427	9,5425	10,9823	12,3380	33,924	36,781	40,289	42,796	48,268
23	7,5292	9,2604	10,1957	11,6886	13,0905	35,172	38,076	41,638	44,181	49,728
24	8,0849	9,8862	10,8564	12,4012	13,8484	36,415	39,364	42,980	45,559	51,179
25	8,6493	10,5197	11,5240	13,1197	14,6114	37,652	40,646	44,314	46,928	52,620
26	9,2221	11,1602	12,1981	13,8439	15,3792	38,885	41,923	45,642	48,290	54,052
27	9,8028	11,8076	12,8785	14,5734	16,1514	40,113	43,195	46,963	49,645	55,476
28	10,3909	12,4613	13,5647	15,3079	16,9279	41,337	44,461	48,278	50,993	56,892
29	10,9861	13,1211	14,2565	16,0471	17,7084	42,557	45,722	49,588	52,336	58,301
30	11,5880	13,7867	14,9535	16,7908	18,4927	43,773	46,979	50,892	53,672	59,703
31	12,1963	14,4578	15,6555	17,5387	19,2806	44,985	48,232	52,191	55,003	61,098
32	12,8107	15,1340	16,3622	18,2908	20,0719	46,194	49,480	53,486	56,328	62,487
33	13,4309	15,8153	17,0735	19,0467	20,8665	47,400	50,725	54,776	57,648	63,870
34	14,0567	16,5013	17,7891	19,8063	21,6643	48,602	51,966	56,061	58,964	65,247
35	14,6878	17,1918	18,5089	20,5694	22,4650	49,802	53,203	57,342	60,275	66,619
36	15,3241	17,8867	19,2327	21,3359	23,2686	50,998	54,437	58,619	61,581	67,985
37	15,9653	18,5858	19,9602	22,1056	24,0749	52,192	55,668	59,893	62,883	69,346
38	16,6112	19,2889	20,6914	22,8785	24,8839	53,384	56,896	61,162	64,181	70,703
39	17,2616	19,9959	21,4262	23,6543	25,6954	54,572	58,120	62,428	65,476	72,055
40	17,9164	20,7065	22,1643	24,4330	26,5093	55,758	59,342	63,691	66,766	73,402
50	24,6739	27,9907	29,7067	32,3574	34,7643	67,505	71,420	76,154	79,490	86,661
60	31,7383	35,5345	37,4849	40,4817	43,1880	79,082	83,298	88,379	91,952	99,607
70	39,0364	43,2752	45,4417	48,7576	51,7393	90,531	95,023	100,425	104,215	112,317
80	46,5199	51,1719	53,5401	57,1532	60,3915	101,879	106,629	112,329	116,321	124,839
90	54,1552	59,1963	61,7541	65,6466	69,1260	113,145	118,136	124,116	128,299	137,208
100	61,9179	67,3276	70,0649	74,2219	77,9295	124,342	129,561	135,807	140,169	149,449

Pour $v > 100$: on a : $\chi_{\alpha}^2(v) = v + z_{\alpha} \times \sqrt{2v - 1}$ où z_{α} est le quantile correspondant de la loi normale standard $N(0, 1)$.

Tables du test d'Andeson-Darling

Critical Values of the Anderson-Darling Goodness-of-Fit Test

Critical Values of c_α at Significance Level α of the A-D Test for the Normal Distribution (μ and σ Estimated from Sample Size n)

Significance Level α	a_α	b_0	b_1
0.2	0.5091	-0.756	-0.39
0.1	0.6305	-0.75	-0.8
0.05	0.7514	-0.795	-0.89
0.025	0.8728	-0.881	-0.94
0.01	1.0348	-1.013	-0.93
0.005	1.1578	-1.063	-1.34

Excerpted from D'Agostino and Stephens, 1986

Critical Values of c_α at Significance Level α of the A-D Test for the Gumbel and Weibull Distribution (Parameters Estimated from Sample Size n)

Significance Level α	c_α
0.25	0.474
0.10	0.637
0.05	0.757
0.025	0.877
0.01	1.038

Excerpted from Stephens, 1977

Critical Values of c_α at Significance Level α of the A-D Test for the Exponential Distribution (Parameter λ Estimated from Sample Size n)

Significance Level α	c_α
0.25	0.736
0.20	0.816
0.15	0.916
0.10	0.162
0.05	1.321
0.025	1.591
0.01	1.959
0.005	2.244
0.0025	2.534

Excerpted from Pearson and Hartley, 1972, and D'Agostino and Stephens, 1986

Critical Values of c_α at Significance Level α of the A-D Test for the Gamma Distribution (Parameters Estimated from Sample Data)

k	Significance Level α					
	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.486	0.657	0.786	0.917	1.092	1.227
2	0.477	0.643	0.768	0.894	1.062	1.190
3	0.475	0.639	0.762	0.886	1.052	1.178
4	0.473	0.637	0.759	0.883	1.048	1.173
5	0.472	0.635	0.758	0.881	1.045	1.170
6	0.472	0.635	0.757	0.880	1.043	1.168
8	0.471	0.634	0.755	0.878	1.041	1.165
10	0.471	0.633	0.754	0.877	1.040	1.164
12	0.471	0.633	0.754	0.876	1.038	1.162
15	0.470	0.632	0.754	0.876	1.038	1.162
20	0.470	0.632	0.753	0.875	1.037	1.161
∞	0.470	0.631	0.752	0.873	1.035	1.159

Excerpted from Lockhart and Stephens, 1985

ANNEXE 4

Résultats des tests d'adéquation des ajustements des modèles probabilistes.

A – Tests d'hypothèses

1. Loi de Frechet-2p

Bassin des Côtiers constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Statistique du test		
							D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	3,581	50,427	0,112	0,495	0,737
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	3,242	41,104	0,151	0,663	0,688
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	3,896	55,91	0,087	0,267	1,79
Texenna	38	91,0	33,0	0,4	2,859	69,016	0,15	1,354	1,61
Harma	35	79,5	25,1	0,5	3,337	63,119	0,158	1,588	4,087
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	3,436	77,75	0,107	0,669	0,562
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	3,532	65,379	0,095	0,484	0,578
Taher	37	76,2	26,4	0,9	3,59	60,714	0,104	0,434	1,082
Zardezas	38	57,6	29,1	1,1	2,475	40,211	0,131	0,609	6,404
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	2,986	41,479	0,158	0,896	1,302
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	3,082	38,528	0,08	0,276	0,776
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	3,581	50,427	0,112	0,495	0,737
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	2,522	40,479	0,138	0,81	1,905
Ain Cherchar	38	54,4	16,5	0,5	3,717	44,409	0,134	0,832	3,108
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	3,989	41,165	0,099	0,211	1,204
Cheffia-Barrage	37	59,9	23,0	0,7	3,038	45,805	0,157	0,779	2,717
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	2,964	46,011	0,127	0,482	5,423
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,4	2,356	43,975	0,161	1,028	2,749
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	3,316	44,639	0,102	0,626	1,508

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Batna	38	37.7	12.3	0.4	3.451	30.087	0.142	0.851	3.133

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	2,940	28,528	0,139	0,805	2,017
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	1,765	23,424	0,188	1,401	8,644
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	3,792	49,665	0,174	0,956	5,25
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	3,497	35,795	0,106	0,288	0,155
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	3,029	26,432	0,116	0,567	1,453
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	5,078	25,717	0,24	0,967	2,499
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	2,313	28,597	0,125	0,712	1,598
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	3,230	59,740	0,109	0,221	0,209
Constantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	3,073	33,789	0,12	0,53	1,053
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	3,349	24,841	0,149	0,527	3,006
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	2,313	25,958	0,227	1,755	0,329
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	2,322	14,724	0,127	0,506	1,279
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	4,299	79,005	0,112	0,678	2,419
Settara	33	70,3	23,9	0,8	3,551	56,021	0,112	0,515	0,822

Bassin de la Medjerda- Mellègue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	13,276	41,501	0,091	0,488	0,220
Ain Seynour	38	66,6	25,9	0,3	20,168	54,927	0,157	0,690	3,380
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	16,479	39,745	0,105	0,416	0,818
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	17,833	44,011	0,180	0,563	1,325
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	11,601	27,004	0,089	0,304	2,244
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	12,253	29,458	0,068	0,213	1,350
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	13,968	32,027	0,144	0,520	2,703
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	11,312	37,268	0,085	0,347	0,437
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	18,582	30,572	0,156	1,075	6,159
Mecht Ouled Hamza	35	41,8	23,4	1,0	18,247	31,239	0,087	0,221	4,493
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	9,355	30,263	0,110	0,421	2,389
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	10,953	33,291	0,097	0,332	0,506
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	8,738	31,025	0,122	0,854	1,703
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	8,421	28,103	0,081	0,178	1,438
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	11,564	31,851	0,060	0,166	1,959
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	14,618	27,283	0,088	0,216	0,707
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	16,113	17,629	0,133	0,789	2,017
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	12,991	45,245	0,104	0,288	0,668
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	12,774	32,529	0,075	0,152	0,916

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	49,5	20,3	0,9	2,705	36,480	0,162	1,487	1,219
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	3,494	25,894	0,149	0,755	1,201
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	2,753	26,998	0,118	0,690	1,493
Aioun Seterra	35	34,7	11,8	0,2	3,049	26,818	0,132	1,058	2,725
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	1,906	25,559	0,169	2,053	3,200
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	5,080	29,576	0,111	0,389	0,536
Ain Makhoulouf	37	47,7	20,1	0,9	2,656	34,817	0,147	0,972	1,681
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	3,516	39,393	0,126	0,663	4,372
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	2,996	41,928	0,149	0,546	2,889
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	4,051	42,228	0,146	0,659	0,726
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	2,593	39,040	0,105	0,668	1,110
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	3,553	38,211	0,098	0,452	0,504
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	3,491	44,487	0,147	1,008	3,512
Bouchehouf	38	52,3	20,8	1,2	3,292	40,369	0,084	0,279	0,826
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	2,564	41,223	0,219	1,749	7,667
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	2,805	38,138	0,112	0,577	0,921
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	2,758	41,995	0,100	0,413	0,770
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	3,030	42,333	0,122	0,596	0,612
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	2,868	40,152	0,147	0,485	6,623
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	3,003	24,975	0,149	0,664	3,907
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	2,773	35,854	0,111	0,261	0,452

2. Loi de Gumbel

Bassin des côtières constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,92	17,034	53,283	0,061	0,165	0,732
Amoucha	38	53,1	20,7	1,20	16,130	43,758	0,098	0,339	2,023
Jijel	39	68,2	24,6	1,50	19,162	58,150	0,113	0,435	2,013
Texenna	38	91,0	33,0	0,37	25,759	76,142	0,082	0,360	3,318
Harma	35	79,5	25,1	0,47	19,555	68,255	0,084	0,429	0,692
Erraguène	39	97,8	33,4	0,65	26,036	82,813	0,096	0,379	0,493
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,77	21,507	69,736	0,070	0,207	0,735
Taher	37	76,2	26,4	0,94	20,582	64,285	0,068	0,152	0,547
Zardez (Bge)	38	57,6	29,1	1,10	22,686	44,477	0,100	0,537	1,437
Bousnib	38	54,6	21,6	0,89	16,861	44,905	0,086	0,254	0,665
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,50	18,130	40,771	0,096	0,627	1,235
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,02	17,034	53,283	0,061	0,165	0,732
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,10	21,392	44,792	0,102	0,245	0,196
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,49	12,874	47,024	0,131	0,565	5,768
Berrahal	36	51,3	19,6	2,02	15,341	42,442	0,109	0,612	1,999
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,74	17,937	49,579	0,085	0,326	2,250
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,20	21,128	49,424	0,089	0,350	0,504
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,43	20,897	50,288	0,100	0,523	1,873
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,56	15,287	47,871	0,087	0,336	5,208

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Statistique du test		
							D	A ²	χ^2
Batna	38	37,7	12,3	0,4	9,554	32,175	0,100	0,560	3,015

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Statistique du test		
							D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	11,293	31,089	0,089	0,302	1,403
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	23,877	27,415	0,138	0,929	5,429
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	13,850	52,692	0,094	0,353	0,469
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	13,874	37,579	0,080	0,378	1,120
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	12,906	28,076	0,101	0,520	3,076
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	5,612	26,724	0,170	0,600	0,727
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	19,444	31,648	0,109	0,548	1,996
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	28,333	62,675	0,121	0,675	3,838
Contantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	16,246	35,664	0,138	1,327	12,276
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	9,199	26,535	0,067	0,144	0,669
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	14,192	29,647	0,116	0,410	0,332
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	8,804	16,656	0,159	0,479	2,815
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	19,946	82,713	0,083	0,300	1,717
Settara	33	70,3	23,9	0,8	18,660	59,547	0,063	0,170	0,169

Bassin de la Medjerda-Mellègue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	13,276	41,501	0,091	0,488	0,220
Ain Seymour	38	66,6	25,9	0,3	20,168	54,927	0,157	0,690	3,380
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	16,479	39,745	0,105	0,416	0,818
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	17,833	44,011	0,180	0,563	1,325
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	11,601	27,004	0,089	0,304	2,244
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	12,253	29,458	0,068	0,213	1,350
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	13,968	32,027	0,144	0,520	2,703
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	11,312	37,268	0,085	0,347	0,437
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	18,582	30,572	0,156	1,075	6,159
Mecht Ouled Hamza	35	41,8	23,4	1,0	18,247	31,239	0,087	0,221	4,493
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	9,355	30,263	0,110	0,421	2,389
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	10,953	33,291	0,097	0,332	0,506
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	8,738	31,025	0,122	0,854	1,703
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	8,421	28,103	0,081	0,178	1,438
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	11,564	31,851	0,060	0,166	1,959
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	14,618	27,283	0,088	0,216	0,707
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	16,113	17,629	0,133	0,789	2,017
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	12,991	45,245	0,104	0,288	0,668
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	12,774	32,529	0,075	0,152	0,916

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	15,797	40,512	0,085	0,362	0,220
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	8,668	27,635	0,076	0,236	3,188
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	12,308	29,696	0,101	0,258	2,574
Aioun Seterra	35	34,7	11,8	0,2	9,205	29,338	0,140	0,646	4,189
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	13,606	31,193	0,079	0,275	1,630
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	6,340	30,580	0,114	0,294	4,141
Ain Makhoulf	37	47,7	20,1	0,9	15,671	38,690	0,104	0,324	6,643
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	14,853	41,485	0,110	0,404	0,619
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	15,996	45,762	0,065	0,235	0,601
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	11,547	44,459	0,087	0,265	0,147
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	18,622	43,249	0,103	0,383	1,926
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	13,300	40,492	0,062	0,124	2,584
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	15,395	47,195	0,096	0,292	0,351
Boucheouf	38	52,3	20,8	1,2	16,249	42,868	0,088	0,395	2,030
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	17,721	46,458	0,116	0,465	4,113
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	17,443	41,531	0,097	0,299	1,156
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	21,892	45,471	0,094	0,361	0,853
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	19,432	45,286	0,103	0,402	1,429
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	18,555	43,418	0,109	0,329	3,140
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	10,379	27,026	0,098	0,237	2,122
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	19,027	38,798	0,140	0,583	2,119

3. Loi des valeurs extrêmes généralisées

Bassin des Côtiers constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	k	σ	μ	Statistique du test		
								D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,92	0,042	16,846	52,664	0,053	0,142	0,351
Amoucha	38	53,1	20,7	1,20	0,090	14,690	43,151	0,104	0,276	0,227
Jijel	39	68,2	24,6	1,50	0,171	15,524	57,111	0,066	0,150	0,379
Texenna	38	91,0	33,0	0,37	0,127	30,382	76,911	0,067	0,182	0,546
Harma	35	79,5	25,1	0,47	0,145	22,910	69,229	0,073	0,214	0,625
Erraguène	39	97,8	33,4	0,65	0,016	27,714	82,282	0,086	0,309	0,248
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,77	0,027	21,729	69,000	0,064	0,183	0,478
Taher	37	76,2	26,4	0,94	0,037	20,470	63,571	0,058	0,128	0,522
Zardezas	38	57,6	29,1	1,10	0,142	19,659	43,024	0,082	0,369	1,147
Bousnib	38	54,6	21,6	0,89	0,053	16,398	44,273	0,091	0,237	0,672
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,50	0,214	13,786	39,621	0,083	0,199	0,948
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,02	0,042	16,846	52,664	0,053	0,142	0,351
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,10	0,084	19,751	43,947	0,085	0,185	0,335
Ain Cherchar	38	54,4	16,5	0,49	0,039	13,994	46,905	0,132	0,504	4,147
Berrahal	36	51,3	19,6	2,02	0,221	11,187	41,745	0,074	0,138	1,130
Cheffia- Barrage	37	59,9	23,0	0,74	0,021	19,101	49,308	0,079	0,257	2,020
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,20	0,135	18,297	48,253	0,071	0,230	2,633
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,43	0,105	24,374	50,594	0,080	0,327	0,824
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,56	0,038	16,706	47,660	0,079	0,255	6,378

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	k	σ	μ	Statistique du test		
								D	A ²	χ^2
Batna	39	63,1	21,8	0,92	0,042	16,846	52,664	0,053	0,142	0,351

Bassin du Kébir - Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	K	σ	μ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	0,035	12,193	30,981	0,076	0,237	0,829
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	0,236	16,119	27,046	0,095	0,228	0,127
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	0,085	15,644	52,884	0,096	0,280	0,818
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	0,155	11,616	36,788	0,074	0,180	0,813
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	0,188	9,906	27,555	0,081	0,183	0,492
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	0,005	5,566	26,726	0,171	0,604	0,730
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	0,195	14,906	30,660	0,079	0,257	1,252
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	0,245	20,128	61,025	0,080	0,151	0,557
Constantine ONM	39	45,0	20s8	1,5	0,294	10,858	34,372	0,106	0,538	1,133
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	0,042	9,091	26,206	0,079	0,137	0,049
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	0,009	14,079	29,585	0,118	0,418	0,232
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	0,160	7,500	16,004	0,132	0,354	1,768
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	0,086	22,703	82,908	0,055	0,153	0,320
Settara	33	70,3	23,9	0,8	0,008	19,292	59,021	0,057	0,144	0,198

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	K	σ	μ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	0,139	15,492	42,117	0,065	0,234	0,948
Ain Seynour	38	66,6	25,9	0,3	0,031	21,827	54,630	0,152	0,581	2,742
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	0,017	16,908	39,190	0,092	0,353	0,693
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	0,214	22,695	45,253	0,146	0,394	0,969
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	0,082	10,830	26,490	0,083	0,255	0,374
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	0,036	12,188	29,050	0,065	0,184	0,550
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	0,144	12,085	31,126	0,106	0,324	2,798
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	0,006	11,729	37,105	0,078	0,311	0,255
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	0,243	12,686	29,999	0,096	0,313	1,103
Mecht ouled hamza	35	41,8	23,4	1,0	0,017	18,340	30,866	0,090	0,212	4,502
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	0,148	11,183	30,655	0,079	0,179	0,718
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	0,056	10,114	32,186	0,093	0,286	0,034
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	0,126	10,051	31,397	0,104	0,462	0,424
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	0,030	8,703	28,182	0,073	0,573	1,429
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	0,013	11,803	31,559	0,067	0,151	1,493
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	0,084	13,624	26,627	0,088	0,159	1,962
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	0,203	12,673	16,464	0,127	0,620	3,698
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	0,025	13,290	44,733	0,102	0,267	0,607
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	0,027	12,829	32,144	0,064	0,137	0,774

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	K	σ	μ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	0,098	17,575	41,051	0,065	0,261	0,154
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	0,043	9,372	27,616	0,068	0,175	1,579
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	0,020	12,394	29,390	0,092	0,238	2,608
Aioun Seterra	35	34,7	11,8	0,2	0,189	11,432	29,885	0,103	0,284	1,206
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	0,092	15,549	31,386	0,069	0,197	0,358
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	0,007	6,708	30,412	0,104	0,243	2,471
Ain Makhlouf	37	47,7	20,1	0,9	0,007	16,214	38,495	0,098	0,304	6,700
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	0,107	12,928	41,074	0,084	0,309	0,730
Ras eL Akba	37	55,0	20,5	1,0	0,038	16,765	45,930	0,066	0,214	0,991
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	0,034	12,459	44,343	0,095	0,219	0,192
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	0,046	18,453	42,460	0,091	0,310	1,225
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	0,057	12,827	39,990	0,058	0,103	1,404
Hammam N'bails	38	56,1	19,7	1,0	0,031	15,073	46,904	0,091	0,299	1,000
Bouchegouf	38	52,3	20,8	1,2	0,125	14,357	41,948	0,080	0,225	0,544
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	0,123	20,363	47,162	0,095	0,241	0,765
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	0,092	16,207	40,638	0,074	0,216	0,815
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	0,147	18,365	44,407	0,081	0,169	0,290
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	0,128	16,510	44,578	0,085	0,264	0,798
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	0,107	16,664	42,539	0,092	0,245	0,568
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	0,026	10,370	26,753	0,090	0,225	2,173
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	0,265	13,649	37,119	0,078	0,249	0,178

4. Loi de Frechet-3p

Bassin des Côtiers constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	13,782	219,68	166,990	0,053	0,169	1,015
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	12,013	173,39	131	0,097	0,279	1,863
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	7,146	112,69	55,065	0,074	0,154	1,305
Texenna	38	91,0	33,0	0,4	2,783*10 ⁵	7,851*10 ⁶	7,851*10 ⁶	0,064	0,218	2,740
Harma	35	79,5	25,1	0,5	9,570*10 ⁷	2,113*10 ⁹	2,113*10 ⁹	0,084	0,347	0,895
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	63,903	1661,5	1579,200	0,097	0,353	0,503
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	2,247*10 ⁷	4,837*10 ⁸	4,837*10 ⁸	0,070	0,205	0,732
Taher	37	76,2	26,4	0,9	15,745	305,19	241,530	0,067	0,146	0,525
Zardezas (Bge)	38	57,6	29,1	1,1	3,757	66,468	24,285	0,095	0,424	1,910
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	48,844	802,19	757,440	0,081	0,245	0,669
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	3,495	45,235	5,825	0,080	0,213	3,345
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	13,782	219,680	166,990	0,053	0,169	1,015
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	9,645	183,370	139,310	0,079	0,196	0,700
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,5	1,557*10 ⁸	2,097*10 ⁹	2,097*10 ⁹	0,125	0,494	4,084
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	3,854	41,306	0,469	0,079	0,140	1,081
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,7	38,850	688,230	639,070	0,093	0,326	2,648
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	5,029	86,066	38,051	0,079	0,270	3,623
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,4	9,576*10 ⁷	2,139*10 ⁹	2,139*10 ⁹	0,092	0,358	1,068
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	6,937*10 ⁷	1,089*10 ⁹	1,089*10 ⁹	0,080	0,280	4,373

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Batna	38	37,7	12,3	0,4	5.779*10 ⁷	5.807*10 ⁸	5.807*10 ⁸	0.084	0.394	3.167

Bassin du Kébir- Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	4,559*10 ⁷	5,258*10 ⁸	5,258*10 ⁸	0,086	0,265	1,345
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	5,056	83,704	56,108	0,083	0,196	0,105
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	6,995*10 ⁷	1,054*10 ⁹	1,054*10 ⁹	0,101	0,282	1,173
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	4,258	45,771	9,213	0,087	0,208	1,296
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	6,589	66,900	39,004	0,071	0,161	0,378
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	5,058*10 ⁷	2,829*10 ⁸	2,829*10 ⁸	0,168	0,601	0,728
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	3,604	50,314	19,989	0,095	0,342	1,036
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	3,168	60,064	0,751	0,088	0,167	0,273
Constantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	2,641	26,993	7,162	0,104	0,464	1,344
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	12,754	108,650	82,427	0,087	0,176	0,501
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	87,024	1203,600	1173,900	0,114	0,430	0,211
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	5,293	38,044	21,955	0,136	0,358	3,094
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	5,061*10 ⁷	1,056*10 ⁹	1,056*10 ⁹	0,068	0,214	1,564
Settara	33	70,3	23,9	0,8	28,742	521,630	462,500	0,065	0,175	0,153

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	3,016*10 ⁵	4,547*10 ⁶	4,547* 10 ⁶	0,076	0,393	1,120
Ain Seynour	38	66,6	25,9	0,3	5,148*10 ⁷	1,062*10 ⁹	1,062*10 ⁹	0,150	0,623	2,767
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	14,456	227,220	188,200	0,105	0,405	1,046
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	9,055*10 ⁷	1,779*10 ⁹	1,779*10 ⁹	0,160	0,397	1,062
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	7,269	73,559	47,183	0,088	0,289	0,496
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	16,078	185,780	156,690	0,069	0,207	1,495
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	4,040	44,376	13,635	0,087	0,301	1,873
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	27,328	300,360	263,350	0,089	0,373	1,146
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	3,897	48,642	18,545	0,096	0,315	1,112
Mecht Ouled Hamza	35	41,8	23,4	1,0	19,121	330,280	299,440	0,101	0,241	3,986
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	1,269*10 ⁵	1,308*10 ⁶	1,308*10 ⁶	0,088	0,244	0,748
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	16,013	158,600	126,340	0,094	0,288	1,598
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	2,110*10 ⁸	1,854*10 ⁹	1,854*10 ⁹	0,146	0,899	2,692
Mesloula	37	34,7	14,9	2,3	3,133*10 ⁷	2,678*10 ⁸	2,678*10 ⁸	0,076	0,178	1,448
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	25,972	289,890	258,280	0,066	0,179	0,572
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	7,868	100,940	74,364	0,097	0,178	1,328
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	1,708	16,658	2,142	0,150	0,760	4,147
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	6,616*10 ⁵	8,692*10 ⁶	8,692*10 ⁶	0,102	0,280	0,651
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	45,570	567,900	535,510	0,070	0,150	0,973

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A2	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	$1,254 \cdot 10^8$	$2,042 \cdot 10^9$	$2,042 \cdot 10^9$	0,079	0,322	0,187
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	$2,34 \cdot 10^8$	$2,05 \cdot 10^9$	$2,05 \cdot 10^9$	0,077	0,222	3,161
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	18,215	212,140	183,05	0,097	0,263	3,343
Aiun Seterra	35	34,7	11,8	0,2	$2,034 \cdot 10^{-8}$	$2,114 \cdot 10^{+9}$	$2,114 \cdot 10^{+9}$	0,112	0,349	2,066
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	$6,756 \cdot 10^7$	$1,007 \cdot 10^9$	$1,007 \cdot 10^9$	0,075	0,199	0,333
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	$1,455 \cdot 10^7$	$9,320 \cdot 10^7$	$9,320 \cdot 10^7$	0,109	0,275	2,349
Ain Makhoulf	37	47,7	20,1	0,9	$2,493 \cdot 10^7$	$3,923 \cdot 10^8$	$3,923 \cdot 10^8$	0,102	0,319	6,649
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	8,865	112,270	71,075	0,082	0,315	0,587
Ras EL Akba	37	55,0	20,5	1,0	$6,221 \cdot 10^7$	$1,038 \cdot 10^9$	$1,038 \cdot 10^9$	0,067	0,24	0,516
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	$4,181 \cdot 10^7$	$4,954 \cdot 10^8$	$4,954 \cdot 10^8$	0,088	0,238	0,165
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	15,867	280,410	237,83	0,087	0,318	1,161
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	19,709	246,740	206,49	0,056	0,107	1,343
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	56,485	844,540	797,4	0,09	0,297	0,346
Boucheouf	38	52,3	20,8	1,2	4,664	61,133	19,533	0,082	0,207	0,384
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	$9,264 \cdot 10^7$	$1,777 \cdot 10^9$	$1,777 \cdot 10^9$	0,118	0,358	4,265
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	10,958	173,600	132,700	0,077	0,225	0,775
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	5,437	95,070	50,650	0,086	0,175	0,309
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	8,113	132,34	87,462	0,085	0,268	0,332
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	6,212	96,926	54,519	0,104	0,267	0,787
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	15,794	154,03	127,290	0,099	0,262	4,034
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	2,019	23,005	13,196	0,104	0,235	0,993

5. Loi de log Pearson 3

Bassin des côtières constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	85,675	0,036	1,012	0,051	0,147	0,407
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	73,006	0,043	0,772	0,102	0,283	0,795
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	11,491	0,094	3,102	0,081	0,175	1,295
Texenna	38	91,0	33,0	0,4	17,253	0,094	6,058	0,064	0,164	0,473
Harma	35	79,5	25,1	0,5	13,420	0,091	5,546	0,077	0,232	0,938
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	901,020	0,011	5,615	0,089	0,319	0,517
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	2992,800	0,006	13,688	0,069	0,206	0,480
Taher	37	76,2	26,4	0,9	102,040	0,033	0,910	0,061	0,128	0,526
Zardez (Bge)	38	57,6	29,1	1,1	58,592	0,062	0,286	0,089	0,367	2,376
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	4249,100	0,006	29,345	0,086	0,256	0,339
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	10,961	0,121	2,529	0,088	0,199	0,935
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	85,675	0,036	1,012	0,051	0,147	0,407
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	3753,500	0,007	24,527	0,088	0,193	0,335
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,5	595,150	0,012	11,400	0,139	0,529	3,355
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	5,369	0,141	3,124	0,068	0,131	1,091
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,7	27734,000	0,002	59,618	0,088	0,280	2,312
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	32,722	0,071	1,710	0,067	0,230	2,787
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,4	20,389	0,103	6,146	0,080	0,295	1,323
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	1817,100	0,008	18,814	0,080	0,255	6,172

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Batna	38	37,7	12,3	0,4	630,86	0,013	11,89	0,084	0,335	2,087

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	170,720	0,030	8,664	0,078	0,233	1,363
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	143,630	0,055	11,479	0,094	0,289	1,517
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	56,347	0,040	6,311	0,105	0,304	1,789
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	13,857	0,095	2,442	0,067	0,175	0,937
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	21,191	0,089	1,596	0,081	0,195	0,834
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	42,415	0,035	1,877	0,166	0,594	0,722
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	40,405	0,082	0,303	0,086	0,274	0,624
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	7,260	0,145	3,231	0,070	0,146	0,446
Constantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	6,306	0,159	2,720	0,109	0,592	1,448
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	117,060	0,033	0,453	0,078	0,143	0,736
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	49,565	0,069	6,970	0,125	0,457	0,205
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	202,970	0,035	4,132	0,138	0,344	1,839
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	20544,000	0,002	34,241	0,065	0,171	0,440
Settara	33	70,3	23,9	0,8	242,270	0,021	0,969	0,059	0,151	0,162

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	39	49,2	17,0	0,4	8,300	0,130	4,915	0,078	0,284
Ain Seynour	38	38	66,6	25,9	0,3	192,710	0,028	9,642	0,149	0,559
Khemissa	37	37	49,2	21,1	0,7	2,792*10 ⁵	8,137* 10 ⁻⁴	231,020	0,100	0,357
Ain Dalia	20	20	54,3	22,8	0,1	9,777	0,153	5,391	0,148	0,355
Meskiana	39	39	33,7	14,9	1,1	135,290	0,036	1,475	0,086	0,248
Ain Dhalaa	39	39	36,5	15,7	0,9	43,255	0,002	91,764	0,064	0,175
Tebessa APC	39	39	40,1	17,9	1,2	30,156	0,076	1,321	0,110	0,308
Boukhadra	39	39	43,8	14,5	0,9	166,120	0,025	0,414	0,082	0,330
Bekkaria	37	37	41,3	23,8	2,1	12,438	0,136	1,897	0,104	0,328
Mecht Ouled Hamza	35	35	41,8	23,4	1,0	21,121	0,130	6,328	0,089	0,189
El Ounza	39	39	34,9	12,7	0,2	25,579	0,070	5,307	0,084	0,179
El Aouinet	39	39	38,6	14,1	1,5	45,340	0,049	1,335	0,094	0,293
M'daourouch	39	39	36,1	11,2	0,6	60,092	0,041	6,007	0,109	0,498
Mesloul	37	37	34,7	14,9	2,3	1125,300	0,009	14,165	0,075	0,175
Ras el Aioun	35	35	38,5	14,8	2,5	1494,700	0,009	11,010	0,067	0,155
El Kouif	37	37	35,8	19,0	1,1	1877,400	0,012	25,916	0,086	0,145
Saf-Saf	37	37	26,9	20,7	1,3	539,050	0,033	14,674	0,112	0,576
Souk Ahras ONM	23	23	52,7	16,7	0,7	32749,000	0,002	52,594	0,099	0,283
Tebessa ONM	37	37	39,9	16,4	2,7	534,420	0,017	13,037	0,068	0,134

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	44,339	0,063	6,618	0,069	0,286	0,161
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	6690,200	0,004	24,076	0,072	0,192	3,142
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	13548,000	0,004	52,779	0,091	0,228	2,709
Aiuon Seterra	35	34,7	11,8	0,2	27,692	0,069	5,392	0,113	0,303	1,333
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	2,270	0,358	4,360	0,096	0,606	1,283
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	73,285	0,027	1,525	0,114	0,267	6,675
Ain Makhoulouf	37	47,7	20,1	0,9	42,691	0,065	6,587	0,100	0,295	5,732
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	22,108	0,073	2,225	0,088	0,317	0,767
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	25,993	0,074	5,881	0,080	0,251	0,850
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	158,700	0,007	7,502	0,098	0,224	0,172
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	1293,900	0,012	19,838	0,094	0,300	0,499
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	112,500	0,032	0,227	0,055	0,104	1,876
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	344,240	0,018	2,320	0,096	0,307	0,261
Bouchegouf	38	52,3	20,8	1,2	23,181	0,076	2,110	0,089	0,219	0,515
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	12,944	0,120	5,509	0,101	0,266	2,744
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	552,390	0,012	6,007	0,082	0,223	1,094
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	44,285	0,066	1,026	0,084	0,157	0,313
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	47,599	0,058	1,176	0,077	0,264	0,963
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	53,805	0,056	0,884	0,091	0,242	1,155
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	678,150	0,015	6,794	0,094	0,226	2,097
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	8,184	0,150	2,580	0,092	0,250	0,224

6. Loi de Gamma

Bassin des côtières constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	B	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	8,346	7,562	0,082	0,270	0,889
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	6,58	8,064	0,103	0,506	2,453
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	7,931	8,726	0,137	0,752	2,968
Texena	38	91,0	33,0	0,4	7,588	11,993	0,068	0,194	0,528
Harma	35	79,5	25,1	0,5	10,059	7,908	0,071	0,230	0,629
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	8,585	11,397	0,089	0,373	4,882
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	8,869	9,262	0,083	0,319	0,467
Taher	37	76,2	26,4	0,9	8,325	9,148	0,087	0,247	0,795
Zardez (Bge)	38	57,6	29,1	1,1	3,915	14,704	0,102	0,556	1,397
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	6,384	8,559	0,105	0,352	1,239
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	4,855	10,553	0,103	0,806	4,446
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	8,346	7,562	0,082	0,270	0,889
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	4,337	13,174	0,113	0,308	1,476
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,5	10,877	5,006	0,149	0,596	3,850
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	6,797	7,547	0,125	0,896	1,509
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,7	6,787	8,83	0,070	0,261	2,279
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	5,171	11,916	0,101	0,467	0,369
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,4	5,412	11,521	0,089	0,370	1,303
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	8,362	6,78	0,089	0,302	2,898

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Batna	38	37.7	12.3	0.4	9.461	3.984	0.086	0.322	1.726

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	6,742	5,578	0,082	0,244	0,848
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	1,809	22,763	0,119	0,790	4,526
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	11,671	5,199	0,105	0,311	1,792
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	6,564	6,945	0,093	0,590	2,014
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	4,606	7,712	0,113	0,698	5,222
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	17,328	1,729	0,149	0,668	0,664
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	2,955	14,506	0,108	0,555	3,604
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	4,729	16,708	0,135	0,855	3,955
Constantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	4,673	9,638	0,143	1,473	18,311
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	7,285	4,371	0,065	0,192	0,838
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	4,321	8,756	0,122	0,419	0,906
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	3,706	5,866	0,150	0,461	2,840
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	13,567	6,945	0,056	0,169	0,275
Settara	33	70,3	23,9	0,8	8,633	8,145	0,070	0,205	1,944

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	8,337	5,896	0,066	0,286	0,746
Ain Seynour	38	66,6	25,9	0,3	6,623	10,051	0,161	0,609	3,624
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	5,432	9,068	0,089	0,382	0,659
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	5,637	9,633	0,169	0,456	1,279
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	5,130	6,569	0,082	0,355	0,812
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	5,404	6,760	0,071	0,230	0,856
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	5,007	8,005	0,149	0,592	3,138
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	9,113	4,806	0,091	0,345	3,589
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	3,003	13,753	0,158	1,136	5,112
Mecht ouled hamza	35	41,8	23,4	1,0	3,186	13,112	0,087	0,186	3,586
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	8,833	4,037	0,091	0,206	0,736
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	7,555	5,110	0,111	0,521	0,544
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	10,358	3,482	0,106	0,479	0,844
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	9,315	3,538	0,087	0,230	0,754
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	6,748	5,709	0,075	0,188	0,302
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	3,630	9,840	0,087	0,201	2,334
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	1,698	15,858	0,112	0,536	1,941
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	10,021	5,263	0,110	0,328	1,729
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	5,932	6,726	0,078	0,185	0,372

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	6,001	8,271	0,066	0,267	0,445
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	8,619	3,786	0,076	0,175	0,648
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	5,435	6,771	0,092	0,260	2,717
Aiuon Seterra	35	34,7	11,8	0,2	8,615	4,022	0,122	0,368	2,567
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	5,006	7,799	0,073	0,252	0,301
Terraguel	33	34,2	8,1	0,6	17,728	1,931	0,128	0,376	7,030
Ain Makhlouf	37	47,7	20,1	0,9	5,641	8,462	0,101	0,302	5,795
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	6,905	7,249	0,130	0,617	2,460
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	7,186	7,653	0,078	0,250	1,855
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	11,916	4,290	0,117	0,255	0,228
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	5,111	10,564	0,115	0,415	1,956
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	7,974	6,040	0,086	0,248	2,947
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	8,067	6,951	0,119	0,407	2,692
Bouhegouf	38	52,3	20,8	1,2	6,285	8,313	0,101	0,540	2,983
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	6,220	9,113	0,107	0,298	2,617
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	5,319	9,699	0,112	0,382	1,212
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	4,283	13,567	0,093	0,440	1,007
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	5,140	10,992	0,117	0,531	5,030
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	5,173	10,463	0,124	0,427	2,988
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	6,152	5,367	0,086	0,254	1,225
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	4,161	11,962	0,141	0,642	2,168

7. La loi de Gamma-3p

Bassin des côtières constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	1,876	17,014	31,200	0,083	0,203	0,123
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	2,552	12,860	20,252	0,114	0,335	0,880
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	2,658	14,278	31,257	0,102	0,293	2,598
Texenna	38	91,0	33,0	0,4	9,819	10,555	12,638	0,066	0,179	0,463
Harma	35	79,5	25,1	0,5	18,837	5,697	27,778	0,076	0,202	0,606
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	1,889	26,765	47,271	0,090	0,378	0,169
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	4,730	12,536	22,850	0,072	0,230	0,486
Taher	37	76,2	26,4	0,9	2,274	18,134	34,932	0,056	0,132	0,717
Zardez (Bge)	38	57,6	29,1	1,1	0,893	32,108	24,000	0,189	5,209	NA
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	3,321	11,898	15,117	0,093	0,292	0,526
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	1,266	21,090	24,535	0,091	0,249	2,296
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	1,876	17,014	31,200	0,082	0,203	0,123
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	1,939	20,310	17,742	0,093	0,256	0,899
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,5	5,678	6,970	14,876	0,135	0,526	4,205
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	1,483	15,461	28,365	0,070	0,199	1,408
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,7	1,869	18,366	25,596	0,111	0,317	3,599
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	1,485	23,182	27,198	0,092	0,234	4,426
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,4	4,719	12,657	2,622	0,086	0,331	1,356
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	3,479	10,816	19,062	0,074	0,230	2,447

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Batna	38	37,7	12,3	0,4	1,497	12,044	19,662	0,121	0,582	1,048

Bassin du Kébir- Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	4,116	7,205	7,945	0,078	0,230	1,113
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	1,633	21,833	5,530	0,107	0,429	2,141
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	10,581	5,423	3,308	0,103	0,309	1,782
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	1,345	16,124	22,897	0,071	0,206	0,012
Bir El Arch	36	35,5	16,5	1,8	2,049	10,961	13,058	0,092	0,311	1,487
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	4,005	3,547	15,757	0,169	0,628	0,718
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	0,919	29,892	16,200	0,115	4,279	NA
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	1,341	30,341	38,335	0,073	0,194	1,250
Contantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	1,417	16,360	21,429	0,117	0,676	1,168
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	1,575	10,311	15,603	0,109	0,247	0,268
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	2,172	12,969	9,667	0,152	0,629	0,293
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	2,067	7,776	5,661	0,137	0,360	1,962
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	2,935	15,806	47,840	0,068	0,247	0,812
Seterra	33	70,3	23,9	0,8	1,999	18,154	34,011	0,077	0,199	0,828

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	20,050	3,755	26,140	0,065	0,222	0,952
Ain Seynour	38	66,6	25,9	0,3	4,104	12,949	13,425	0,148	0,552	2,852
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	2,095	15,463	16,867	0,089	0,336	2,761
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	9,814	7,309	17,427	0,165	0,431	0,406
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	2,172	10,177	11,593	0,075	0,217	1,024
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	2,969	9,143	9,380	0,063	0,166	0,624
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	1,603	14,495	16,853	0,102	0,229	1,729
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	1,644	12,600	23,081	0,121	0,471	1,802
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	1,455	18,453	14,444	0,128	0,494	0,167
Mecht ouled hamza	35	41,8	23,4	1,0	2,489	15,135	4,097	0,094	0,199	4,700
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	9,747	3,846	1,821	0,090	0,200	0,734
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	3,250	7,477	14,308	0,095	0,323	1,479
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	7,113	4,223	6,029	0,114	0,547	1,769
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	6,241	4,192	6,800	0,077	0,181	0,720
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	2,158	10,641	15,563	0,094	0,202	1,684
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	1,857	14,246	9,256	0,082	0,156	0,163
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	0,921	22,418	5,400	0,122	4,220	NA
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	5,295	7,126	15,005	0,096	0,295	0,699
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	3,783	8,354	8,298	0,068	0,140	1,189

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	α	β	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	4,004	10,236	8,647	0,075	0,322	0,067
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	2,273	7,861	14,768	0,096	0,265	2,852
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	2,634	9,878	10,780	0,083	0,215	1,269
Aiuon Seterra	35	34,7	11,8	0,2	8,589	4,075	0,346	0,119	0,346	2,500
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	11,620	5,073	19,903	0,076	0,223	0,587
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	2,926	4,918	19,845	0,090	0,233	0,340
Ain Makhlouf	37	47,7	20,1	0,9	4,959	8,883	3,676	0,102	0,301	5,721
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	2,218	12,506	22,308	0,099	0,371	0,912
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	7,444	7,339	0,362	0,075	0,229	1,321
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	3,369	8,290	23,190	0,093	0,260	0,156
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	2,799	14,523	13,345	0,095	0,305	0,848
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	2,948	9,911	18,940	0,062	0,118	1,046
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	2,872	11,790	22,217	0,098	0,389	0,977
Bouchegouf	38	52,3	20,8	1,2	1,590	17,083	25,074	0,070	0,164	1,270
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	8,138	7,928	7,833	0,101	0,262	2,234
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	2,752	13,425	14,652	0,090	0,245	1,007
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	2,087	18,790	18,891	0,076	0,177	0,454
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	2,532	14,977	18,577	0,086	0,309	1,925
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	1,661	19,119	22,378	0,096	0,255	1,040
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	2,223	9,242	12,469	0,088	0,227	2,851
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	0,767	31,745	25,200	0,146	4,030	NA

8. La loi Log normale

Bassin des côtières constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	0,328	4,090	0,065	0,186	0,374
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	0,362	3,904	0,096	0,325	1,819
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	0,315	4,184	0,112	0,425	1,256
Texenna	38	91,0	33,0	0,4	0,384	4,441	0,069	0,276	2,363
Harma	35	79,5	25,1	0,5	0,328	4,325	0,082	0,349	0,777
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	0,333	4,527	0,091	0,346	0,178
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	0,325	4,355	0,073	0,221	0,733
Taher	37	76,2	26,4	0,9	0,328	4,278	0,072	0,170	0,224
Zardezas (Bge)	38	57,6	29,1	1,1	0,471	3,939	0,090	0,430	0,873
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	0,385	3,927	0,085	0,256	0,673
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	0,395	3,853	0,115	0,452	1,215
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	0,328	4,090	0,065	0,186	0,374
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	0,458	3,940	0,087	0,198	0,337
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,5	0,301	3,953	0,135	0,525	4,183
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	0,322	3,881	0,125	0,477	0,868
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,7	0,377	4,023	0,088	0,298	2,669
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	0,401	4,037	0,076	0,297	0,798
Ain El Karma	36	62,3	26,8	0,4	0,461	4,034	0,107	0,378	1,161
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	0,343	3,979	0,079	0,268	6,122

Bassin des Hauts Plateaux Constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Batna	38	37,7	12,3	0,4	0,327	3,577	0,085	0,375	2,633

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	S	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	0,386	3,554	0,085	0,252	1,164
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	0,655	3,507	0,102	0,303	1,125
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	0,295	4,063	0,092	0,283	1,134
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	0,348	3,755	0,088	0,360	1,231
Bir el Arch	36	35,5	16,5	1,8	0,404	3,484	0,079	0,256	0,810
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	0,225	3,374	0,145	0,606	0,637
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	0,515	3,620	0,082	0,280	0,645
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	0,386	4,288	0,109	0,436	2,720
Constantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	0,394	3,723	0,152	1,208	9,193
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	0,350	3,398	0,066	0,155	0,776
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	0,482	3,522	0,139	0,583	0,316
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	0,487	2,959	0,149	0,384	3,265
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	0,266	4,510	0,068	0,186	0,454
Settara	33	70,3	23,9	0,8	0,327	4,199	0,065	0,172	0,347

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Souk Ahras	39	49,2	17,0	0,4	0,371	3,831	0,085	0,496	0,762
Ain Seymour	38	66,6	25,9	0,3	0,392	4,123	0,142	0,564	2,674
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	0,424	3,808	0,103	0,378	1,089
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	0,466	3,896	0,159	0,435	1,005
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	0,420	3,429	0,093	0,278	1,108
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	0,418	3,511	0,067	0,186	0,577
Tebessa APC	39	40,1	17,9	1,2	0,410	3,604	0,135	0,457	2,974
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	0,317	3,728	0,086	0,337	0,207
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	0,475	3,597	0,114	0,456	0,877
Mecht Ouled Hamza	35	41,8	23,4	1,0	0,591	3,572	0,112	0,300	2,421
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	0,349	3,516	0,094	0,267	0,748
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	0,331	3,597	0,088	0,303	0,134
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	0,314	3,537	0,124	0,636	0,871
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	0,315	3,446	0,073	0,172	1,418
Ras El Aioun	35	38,5	14,8	2,5	0,372	3,582	0,063	0,165	1,474
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	0,512	3,447	0,091	0,157	1,313
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	0,752	3,018	0,118	0,602	5,696
Souk Ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	0,305	3,919	0,096	0,296	0,679
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	0,402	3,606	0,064	0,135	0,809

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	O	μ	Qualité		
							D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	0,414	3,822	0,084	0,396	1,525
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	0,331	3,431	0,071	0,203	3,141
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	0,417	3,519	0,093	0,241	3,314
Aioun Seterra	35	34,7	11,8	0,2	0,357	3,485	0,123	0,404	2,332
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	0,531	3,547	0,106	0,492	0,077
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	0,228	3,507	0,128	0,343	6,713
Ain Makhoulouf	37	47,7	20,1	0,9	0,424	3,779	0,086	0,311	4,344
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	0,341	3,852	0,101	0,360	0,323
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	0,375	3,939	0,071	0,301	0,489
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	0,281	3,894	0,101	0,236	0,160
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	0,437	3,894	0,089	0,301	0,484
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	0,333	3,818	0,064	0,137	2,496
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	0,334	3,970	0,097	0,306	0,356
Bouchehouf	38	52,3	20,8	1,2	0,364	3,887	0,080	0,394	2,251
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	0,427	3,953	0,137	0,506	6,530
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	0,414	3,857	0,085	0,247	1,057
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	0,435	3,964	0,097	0,223	0,729
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	0,396	3,953	0,085	0,307	0,414
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	0,405	3,906	0,095	0,289	2,056
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	0,386	3,422	0,098	0,236	2,056
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	0,420	3,812	0,139	0,496	1,980

9. Loi log-normale à 3p

Bassin des côtières constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Domaine Dehas	39	63,1	21,8	0,9	0,488	3,682	18,501	0,064	0,171	0,972
Amoucha	38	53,1	20,7	1,2	0,458	3,663	9,808	0,104	0,291	0,228
Jijel	39	68,2	24,6	1,5	0,049	3,702	23,329	0,084	0,189	2,326
Texenna	38	91,0	33,0	0,4	0,196	5,097	75,703	0,069	0,185	0,234
Harma	35	79,5	25,1	0,5	0,154	5,058	79,660	0,076	0,197	0,612
Erraguène	39	97,8	33,4	0,7	0,440	4,246	21,121	0,094	0,331	0,175
Col de Fdelous	36	82,1	27,6	0,8	0,345	4,294	4,378	0,069	0,207	0,481
Taher	37	76,2	26,4	0,9	0,461	3,932	19,589	0,063	0,130	0,535
Zardez (Bge)	38	57,6	29,1	1,1	0,766	3,425	17,381	0,105	0,446	3,479
Bousnib	38	54,6	21,6	0,9	0,386	3,923	0,176	0,085	0,255	0,673
Ramdane Djamel	39	51,2	23,2	1,5	0,721	3,196	19,895	0,070	0,210	1,651
Bekouche Lakhdar	38	50,5	17,6	0,0	0,488	3,682	18,501	0,064	0,171	0,972
Bouati Mahmoud	38	57,1	27,4	1,1	0,503	3,846	4,146	0,084	0,207	0,345
Ain Charchar	38	54,4	16,5	0,5	0,288	3,995	2,155	0,137	0,535	4,210
Berrahal	36	51,3	19,6	2,0	0,663	3,083	24,165	0,068	0,131	1,048
Cheffia (Bge)	37	59,9	23,0	0,7	0,468	3,803	10,089	0,104	0,333	3,996
Ain Assel	36	61,6	27,1	1,2	0,638	3,547	19,423	0,089	0,263	4,128
Ain el Karma	36	62,3	26,8	0,4	0,288	4,491	30,589	0,089	0,371	1,205
Skikda-ONM	39	56,7	19,6	0,6	0,365	3,919	2,963	0,078	0,260	3,810

Bassin des Hauts Plateaux Constantinois

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Batna	39	63,1	21,8	0,92	0,368	3,457	3,819	0,082	0,392	3,281

Bassin du Kébir-Rhumel

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Belaa	39	72,6	14,5	0,7	0,348	3,655	3,467	0,084	0,252	1,396
Ouled Rahmoune	36	41,2	30,6	2,5	0,591	3,607	2,883	0,090	0,250	1,184
Hamala	39	63,2	23,6	1,9	0,209	4,403	22,836	0,102	0,308	1,788
Constantine ANRH	40	45,6	17,8	1,4	0,663	3,065	19,126	0,081	0,176	0,500
Bir el Arch	36	35,5	16,5	1,8	0,532	3,196	7,334	0,079	0,206	1,237
Bir Drimil	23	29,2	7,8	1,6	0,328	2,987	9,032	0,165	0,603	0,706
Fourchi	38	42,9	24,9	1,7	0,786	3,172	11,103	0,095	0,422	0,665
El Milia	36	77,3	37,3	1,6	0,736	3,574	32,640	0,087	0,149	0,492
Constantine ONM	39	45,0	20,8	1,5	0,748	2,987	18,892	0,102	0,499	1,337
Chelghoum Laid	31	31,8	11,8	1,0	0,509	3,015	8,732	0,096	0,188	0,094
Ain Fakroun	33	37,8	18,2	1,2	0,384	3,745	7,682	0,121	0,455	0,202
Ouled Naceur	24	21,7	11,3	1,1	0,560	2,815	2,267	0,136	0,344	1,902
Ouled Messaouda	36	97,5	32,1	1,5	0,320	4,324	14,784	0,068	0,200	0,740
Settara	33	70,3	23,9	0,8	0,449	3,876	17,120	0,064	0,172	0,143

Bassin de La Medjerda-Mellegue

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	σ	μ	Υ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Souk ahras	39	49,2	17,0	0,4	0,149	4,706	62,702	0,064	0,216	0,790
Ain Seynour	38	66,6	25,9	0,3	0,364	4,197	4,418	0,148	0,583	2,739
Khemissa	37	49,2	21,1	0,7	0,500	3,640	6,265	0,102	0,383	1,453
Ain Dalia	20	54,3	22,8	0,1	0,144	5,037	101,320	0,165	0,468	1,067
Meskiana	39	33,7	14,9	1,1	0,538	3,165	6,428	0,085	0,252	0,573
Ain Dhalaa	39	36,5	15,7	0,9	0,442	3,456	1,637	0,066	0,182	0,250
Tebessa Pc	39	40,1	17,9	1,2	0,656	3,103	12,724	0,088	0,250	1,944
Boukhadra	39	43,8	14,5	0,9	0,466	3,336	12,561	0,100	0,392	1,773
Bekkaria	37	41,3	23,8	2,1	0,666	3,234	9,586	0,107	0,347	0,578
Mecht Ouled Hamza	35	41,8	23,4	1,0	0,445	3,843	9,686	0,099	0,222	4,549
El Ounza	39	34,9	12,7	0,2	0,198	4,073	24,222	0,091	0,208	0,732
El Aouinet	39	38,6	14,1	1,5	0,419	3,356	7,281	0,091	0,293	0,045
M'Daourouch	39	36,1	11,2	0,6	0,217	3,903	14,661	0,105	0,488	0,854
Mesloul	37	34,7	14,9	2,3	0,290	3,526	2,500	0,072	0,166	1,411
Ras el Aioun	35	38,5	14,8	2,5	0,443	3,404	5,390	0,076	0,178	1,606
El Kouif	37	35,8	19,0	1,1	0,538	3,396	1,349	0,093	0,161	0,619
Saf-Saf	37	26,9	20,7	1,3	1,033	2,672	4,132	0,142	0,591	4,116
Souk ahras ONM	23	52,7	16,7	0,7	0,319	3,875	2,068	0,097	0,290	0,674
Tebessa ONM	37	39,9	16,4	2,7	0,384	3,652	1,601	0,067	0,138	0,793

Bassin de la Seybouse

Station	N	$\bar{x}$	s	Cs	O	μ	γ	Qualité		
								D	A ²	χ^2
Annaba ONM	39	50,7	22,5	1,2	0,306	4,118	14,761	0,075	0,296	0,479
Berriche	34	32,6	11,1	0,8	0,393	3,258	4,589	0,083	0,227	2,271
Ksar Sbahi	35	36,8	15,8	1,0	0,445	3,454	1,938	0,089	0,238	1,509
Aiuon Seterra	35	34,7	11,8	0,2	0,176	4,181	31,813	0,119	0,361	1,345
Ain Babouche	34	39,1	17,5	0,4	0,200	4,429	46,547	0,077	0,223	0,139
Terraguelt	33	34,2	8,1	0,6	0,392	2,951	13,614	0,101	0,250	0,390
Ain Makhlouf	37	47,7	20,1	0,9	0,333	4,012	10,701	0,103	0,310	6,638
Bordj Sabath	34	50,1	19,1	1,5	0,500	3,450	14,343	0,087	0,333	0,822
Ras el Akba	37	55,0	20,5	1,0	0,259	4,298	21,146	0,071	0,205	1,332
Medjez Amar	29	51,1	14,8	0,7	0,334	3,718	7,563	0,091	0,238	0,154
Heliopolis	38	54,0	23,9	0,8	0,445	3,877	0,789	0,088	0,296	0,486
Guelma Lycée	35	48,2	17,1	1,1	0,422	3,578	9,064	0,053	0,105	1,305
Hammam N'Bails	38	56,1	19,7	1,0	0,387	3,821	6,869	0,093	0,319	1,003
Bouchegouf	38	52,3	20,8	1,2	0,627	3,309	19,186	0,076	0,171	0,706
Nechmaya	37	56,7	22,7	0,6	0,222	4,579	43,253	0,096	0,249	1,750
Ain Berda	38	51,6	22,4	1,0	0,464	3,741	4,716	0,078	0,221	0,748
Boukhamouza	38	58,1	28,1	1,5	0,566	3,691	11,173	0,079	0,153	0,337
Kef Mourad	37	56,5	24,9	1,6	0,488	3,737	9,165	0,076	0,268	0,930
Pont Bouchet	32	54,1	23,8	1,2	0,583	3,529	13,937	0,104	0,256	1,220
Mecht Cheikh Rabeh	35	33,0	13,3	1,0	0,467	3,230	4,883	0,091	0,245	5,650
Guelma ONM	21	49,8	24,4	1,4	0,950	2,885	22,934	0,111	0,200	0,231

B – Maximum des sommes de rangs

Bassin des Côtiers constantinois

Lois de distribution					
Station	GEV	LP3	LN-3P	G-3p	Fr-3P
Somme des rangs					
Domaine Dehas	13	12	6	7	7
Amoucha	12	10	9	4	10
Jijel	15	10	6	3	11
Texena	9	11	8	10	7
Harma	11	5	12	13	4
Erraguene	13	9	9	9	5
Col de Fdelous	15	10	9	4	7
Taher	14	10	7	8	6
Zardezas (Bge)	14	12	6	2	10
Bousnib	9	10	8	6	12
Ramdane Djamel	12	11	11	4	7
Bekouche Lakhdar	13	12	6	7	7
Bouati Mahmoud	13	10	9	3	10
Ain Charchar	11	8	4	8	14
Berrahal	7	11	15	5	7
Cheffia (Bge)	15	12	4	6	8
Ai Assel	13	14	6	5	7
Ain El Kerma	13	12	6	7	7
Skikda ONM	8	7	10	15	5

Bassin des Hauts Plateaux constantinois

Lois de distribution					
Station	GEV	LP3	LN-3P	G-3p	Fr-3P
Somme des rangs					
Batna	14	10	8	7	4

Bassin du Kébir-Rhumel

Lois de distribution					
Station	GEV	LP3	LN-3P	G-3p	Fr-3P
Somme des rangs					
Belaa	13	10	5	12	5
Ouled Rahmoune	10	7	10	3	15
Hamala	15	5	7	6	12
Constantine ANRH	9	12	10	11	3
Bir El Arch	11	8	8	3	15
Bir Drimil	6	9	11	12	7
Fourchi	12	13	10	2	8
El Milia	8	14	9	6	8
Constantine ONM	11	5	12	6	11
Chelghoum Laid	14	10	8	5	8
Ain Fakroun	11	8	11	3	12
Ouled Naceur	13	9	12	5	6
Ouled Messaouda	15	12	7	6	5
Settara	12	11	11	3	8

Bassin de la Medjerda-Mellegue

Lois de distribution					
Station	GEV	LP3	LN-3P	G-3p	Fr-3P
Somme des rangs					
Souk Ahras	9	8	14	10	4
Ain Seynour	8	10	11	11	5
khemissa	13	12	6	11	6
Ain Dalia	13	10	4	9	9
Meskiana	11	10	8	11	6
Ain Dhalaa	9	11	10	12	3
Tebessa APC	4	5	11	13	12
Boukhadra	15	12	6	3	9
Bekkaria	11	10	7	7	10
Mecht, Ouled Hamza	10	15	6	8	6
El Ounza	15	12	6	7	5
El Aouinet	14	9	11	4	7
M'Daourouch	15	9	12	6	3
Mesloula	10	10	13	7	5
Ras el Aioun	13	10	7	3	12
El Kouif	7	12	8	14	4
Saf-Saf	11	12	10	5	6
Souk Ahras ONM	11	10	9	6	9
Tebessa ONM	14	12	10	5	4

Bassin de la Seybouse

Lois de distribution					
Station	GEV	LP3	LN-3P	G-3p	Fr-3P
Somme des rangs					
Annaba ONM	14	11	6	9	5
Berriche	15	10	8	5	7
Ksar Sbahi	7	9	11	15	3
Aioun Settera	15	11	6	5	8
Ain Babouche	13	3	10	7	12
Terraguelt	9	4	11	15	6
Ain Makhoulouf	13	2	10	7	12
Bordj Sabath	13	8	7	3	14
Ras el Akba	12	6	9	7	11
Medjez Amar	8	7	12	8	10
Heliopolis	6	10	14	7	8
Guelma lycée	14	6	10	8	7
Hammam N'Bails	10	10	6	5	14
Bouchehouf	6	11	10	11	9
Nechmaya	15	6	12	9	3
Boukhamouza	11	9	11	7	7
Kef Mourad	11	10	10	3	11
Pont Bouchet	13	12	5	9	6
Mcht Cheikh Rabeh	13	11	6	11	4
Guelma ONM	11	10	12	3	9
Ain Berda	13	6	12	4	10

Annexe 5

Traitement des averses (Averse 2.0 - Outputs)

Identification de l'averse

Année Hydrologique: 1978 / 1979

Poste pluviométrique: AIOUN SETTERA

Service gestionnaire: ANRH

Date et heure de début de l'averse: 14/04/1979 à 16:14

Date et heure de fin de l'averse: 17/04/1979 à 05:18

Qualité de l'enregistrement: 7

Données de l'averse

Date	Heure Deb.	Heure Fin	Pluie (mm)
14/04/1979	16:14	17:36	13,60
14/04/1979	17:36	23:01	1,20
14/04/1979	23:01	24:07	4,80
15/04/1979	00:07	03:11	14,50
15/04/1979	03:11	06:30	4,80
15/04/1979	06:30	07:48	6,30
15/04/1979	11:32	13:37	4,80
15/04/1979	13:37	17:39	2,60
15/04/1979	17:39	24:53	2,30
16/04/1979	00:53	06:44	3,10
16/04/1979	06:44	07:48	2,50
16/04/1979	09:48	14:59	1,10
16/04/1979	14:59	18:32	3,10
16/04/1979	18:32	24:26	2,20
17/04/1979	00:26	05:18	4,00

Intensités maximales des pluies

Durée totale de l'averse (mn): 3664

Durée de référence maxi (mn) de l'averse (mn): 2880

T (mn)	Hmax (mm)	max (mm/h)
5	0.829	9.951
10	1.659	9.951
15	2.488	9.951
20	3.317	9.951
30	4.976	9.951
45	7.463	9.951
60	9.951	9.951
90	13.630	9.086
120	13.740	6.870
180	14.185	4.728
240	18.573	4.643
360	21.953	3.659
540	30.448	3.383
720	35.620	2.968
900	42.454	2.830
1080	45.200	2.511
1440	51.687	2.154
1800	54.057	1.802
2160	56.675	1.574
2520	60.592	1.443
2880	62.692	1.306

Dépouillement du pluviogramme

Durée totale de l'averse (mn): 3664

Pluie totale de l'averse (mm): 70.90

T (mn)	Pluie (mm)	int(mm/mn)	T Cum (mn)	P Cum (mm)	T Cum (%)	P Cum (%)
82	13.60	0.17	82	13.60	2.24	19.18
325	1.20	0.00	407	14.80	11.11	20.87
66	4.80	0.07	473	19.60	12.91	27.64
0	0.00	0.00	473	19.60	12.91	27.64
184	14.50	0.08	657	34.10	17.93	48.10
199	4.80	0.02	856	38.90	23.36	54.87
78	6.30	0.08	934	45.20	25.49	63.75
224	0.00	0.00	1158	45.20	31.60	63.75
125	4.80	0.04	1283	50.00	35.02	70.52
242	2.60	0.01	1525	52.60	41.62	74.19
434	2.30	0.01	1959	54.90	53.47	77.43
0	0.00	0.00	1959	54.90	53.47	77.43
351	3.10	0.01	2310	58.00	63.05	81.81
64	2.50	0.04	2374	60.50	64.79	85.33
120	0.00	0.00	2494	60.50	68.07	85.33
311	1.10	0.00	2805	61.60	76.56	86.88
213	3.10	0.01	3018	64.70	82.37	91.26
354	2.20	0.01	3372	66.90	92.03	94.36
0	0.00	0.00	3372	66.90	92.03	94.36
292	4.00	0.01	3664	70.90	100.00	100.00

Hyétogramme de l'averse

Durée de référence (mn): 240

Durée de référence			H (mm)	I (mm/h)
0	-	240	14.18	3.55
240	-	480	5.97	1.49
480	-	720	15.47	3.87
720	-	960	9.58	2.40
960	-	1200	1.61	0.40
1200	-	1440	4.87	1.22
1440	-	1680	1.73	0.43
1680	-	1920	1.27	0.32
1920	-	2160	1.98	0.50
2160	-	2400	3.82	0.96
2400	-	2640	0.52	0.13
2640	-	2880	1.68	0.42
2880	-	3120	2.64	0.66
3120	-	3360	1.49	0.37
3360	-	3600	3.20	0.80
3600	-	3664	0.88	0.22