

**XXIX^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie
Besançon-Lausanne du mercredi 6 au samedi 9 juillet 2016**

ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DES SÉRIES PLUVIOMÉTRIQUES DANS DES STATIONS DE PLAINES INTÉRIEURES DE LA TUNISIE

Par : Noômène FEHRI* et Zouhair HLAOUI**

** Université de la Manouba ; Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de Manouba - UR. BiCADE Email : fehri_n@yahoo.fr*

***Université de Tunis ; Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis- UR. GREVACHOT ; E mail : zouhaierhlaoui@yahoo.fr*

Plan de l'exposé

I- Données

I-1- Les stations d'étude

I-2- À propos de la qualité des séries pluviométriques

I-3- Critères de choix des périodes étudiées

I-4- Les variables étudiées

II- Méthodes statistiques utilisées

III- Résultats

2.1- Évolution de la pluviométrie annuelle

2.2- L'évolution à l'échelle saisonnière

2.3- Qu'en est-il de l'évolution des pluies journalières ?

INTRODUCTION

- ❖ L'inventaire des inondations ayant entraîné des dégâts matériels et/ou humains en Tunisie laisse voir une nette aggravation du risque hydrologique lié aux pluies et ce notamment depuis le milieu du siècle passé (N. FEHRI, 2014).
- ❖ Plusieurs villes intérieures de la Tunisie ayant été touchées par de graves inondations (Kairouan et Sidi Bouzid...en 1969 ; Jendouba, Bousalem, Mejez El-Bab en 1973 et 2003, Sidi Bouzid, Meknassi, Gafsa... en 1990 ; Tataouine en 1995 ; Redayef en 2009...), n'échappent pas à ce constat.
- ❖ Pour comprendre les causes de cette aggravation, on est amené d'abord à examiner les tendances pluviométriques →→→ ***Avons-nous affaire à des épisodes de précipitations de plus en plus importants et intenses au cours des cinq dernières décennies !?***

I- DONNÉES

I-1- Les stations d'étude

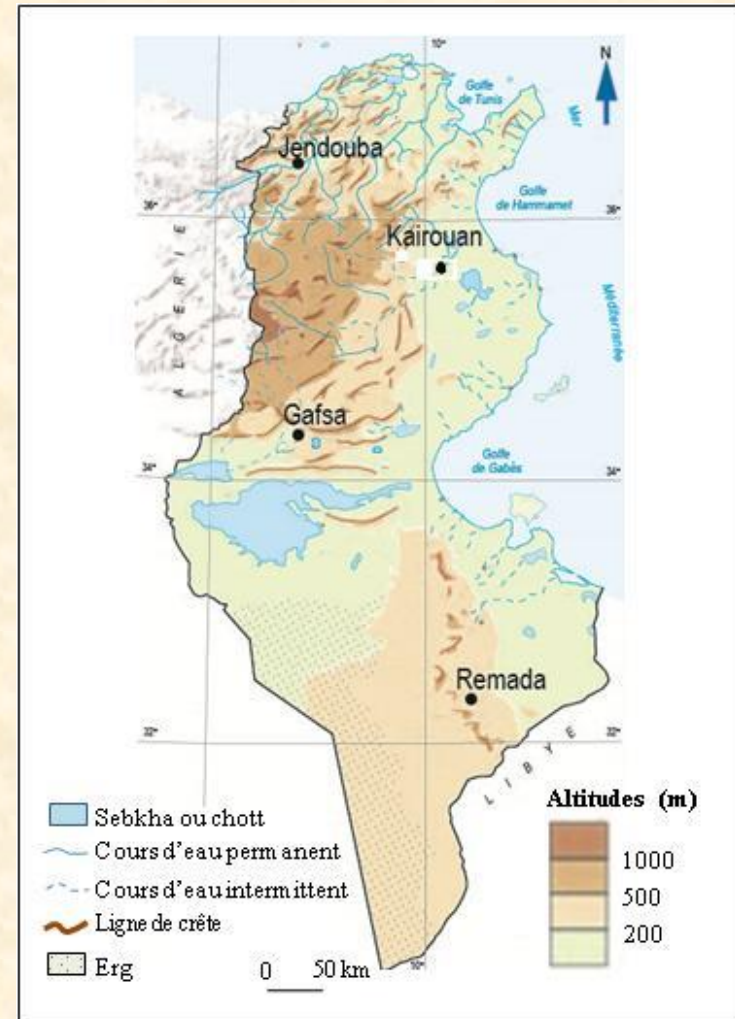
Pour l'étude de l'évolution des séries pluviométriques dans les plaines intérieures de la Tunisie, notre choix s'est porté sur 4 stations appartenant à différents étages bioclimatiques

1- La station de Jendouba située au nord de la Dorsale dans la moyenne vallée de la Mejerda (Tunisie septentrionale semi-aride supérieur à sub-humide)

2- La station de Kairouan au sud de la Dorsale et à l'est de l'axe nord-sud pouvant être exposée aux situations de retour d'est (Tunisie centrale semi-aride)

3- La station de Gafsa au Sud-Ouest du pays au nord des chotts (Tunisie aride)

4- La station de Remada au Sud (Tunisie saharienne)



I-2- À propos de la qualité des séries pluviométriques

- ❑ Les enregistrements traités couvrent des périodes variables selon les stations. Elles sont comprises entre 1950/1951 à 2006/2007
- ❑ Dans les quatre stations retenues, les enregistrements traités couvrent des périodes d'observation supérieures ou égales à **45 ans**

Caractéristiques des séries pluviométriques des stations étudiées

	Coordonnées : Latitude/Longitude/ Altitude	Observations			
		Période	N ^{bre} d'années complètes	Tx d'exhaustivité	Lacune(s)
Jendouba	36°.48N/8°.8E/143m	1950/1951- 2006/2007	57 sur 57	100 %	/
Kairouan	35.66N/10.1E/60 m	1950/1951- 2006/2007	56 sur 57	98.2 %	1 année : 1958/59
Gafsa	34.41N/8.81E/313m	1950/1951- 2006/2007	54 sur 57	94.7 %	3 années : 1958/59, 1959/60, 1961/62
Remada	32.31N/10.4E/300m	1950/1951- 2006/2007	45 sur 57	78.9%	12 années : 1953/54, 1954/55, 1956/57, [1957/58- 1965/66]

I-3- Critères de choix des périodes étudiées

Ce dépouillement préliminaire nous a permis ensuite de déterminer pour chaque station la séquence la plus longue possible durant laquelle nous disposons, sans interruption, d'enregistrements exhaustifs

→→ Les séquences lacunaires sont exclues.

Les séquences non lacunaires, continues, les plus longues

Station	Période	Nombre d'années
Jendouba	1950/51 - 2006/07	57
Kairouan	1959/60 - 2006/07	48
Gafsa	1962/63 - 2006/07	45
Remada	1966/67 - 2006/07	41

I-4 - Les variables étudiées

À partir des pluies journalières de chaque station, nous avons calculé **16 variables**:

- la pluie annuelle (P mm),
- les pluies saisonnières et leur contribution au total annuel,
- le nombre de jours de pluies (NJP) supérieures ou égales aux seuils suivants : 0 mm, 5 mm, 10 mm, 30 mm et 100 mm
- le cumul des pluies supérieures ou égales à 30 mm et leur contribution au total annuel.

Caractéristiques pluviométriques des stations d'étude

	Jendouba	Kairouan	Gafsa	Remada
P (mm)	480.9	308.4	169.8	88.2
P_a (mm)	137	119.2	57.9	26.1
P_a/P (%)	27.6	37.5	34	30.5
P_h (mm)	177.2	77.3	52	30.1
P_h/p (%)	37	24.7	29	35.3
P_p (mm)	127.7	85.8	47.5	29.8
P_p/P (%)	26.9	28.7	28.7	31.1
P_e (mm)	39	26.1	12.3	2.2
P_e/P (%)	8.3	9	8	3
NMJP > 0 mm	100	63	42	27
NMJP ≥ 5 mm	29	16	10	4.8
NMJP ≥ 10 (mm)	14	9	5	2.1
NMJP ≥ 30 (mm)	2	2	1	1.1
NJP ≥ 100 mm	0 cas	1 cas	3 cas	0 cas
Cum. P ≥ 30 mm/j	96.9	89.4	73.8	42.6
Cum. P ≥ 30 mm_j/P (%)	20	26	33	36
Régime saisonnier	HAPE	APHE	AHPE	HPAE

Avec

P : Précipitations annuelles moyennes,

P_a : Précipitations automnales moyennes,

P_h : Précipitations hivernales moyennes,

P_p : Précipitations printanières moyennes,

P_e : Précipitations estivales moyennes,

NMJP : Nombre moyen de jours de pluie,

NJP : Nombre de jours de pluie,

Cum. P ≥ 30 mm/j : Moyenne des pluies cumulées ≥ 30 mm/j.

II- MÉTHODES STATISTIQUES UTILISÉES

□ Pour l'étude de l'évolution de la pluviométrie annuelle par rapport à la moyenne de la période considérée dans chaque station, nous avons opté pour la méthode de la variable centrée réduite.

□ Pour la détection d'éventuelles ruptures de stationnarité des séries retenues, deux méthodes sont appliquées :

- ❖ le test de Pettitt

- ❖ la procédure de segmentation des séries pluviométriques de Pierre

Hubert (traitements effectués à l'aide du logiciel KhronoStat 1.01 développé à la Maison des Sciences de l'Eau (MSE) de Montpellier).

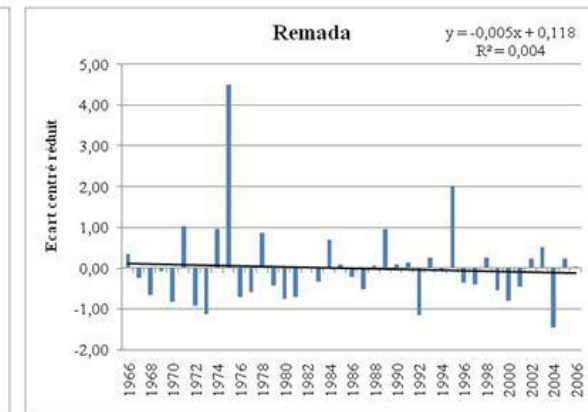
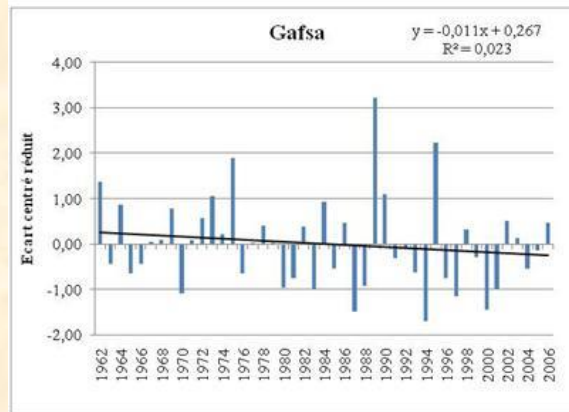
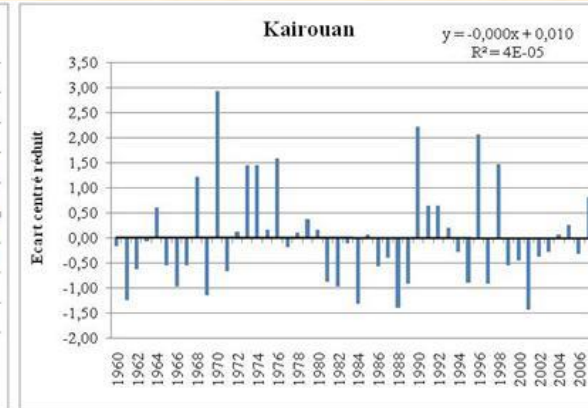
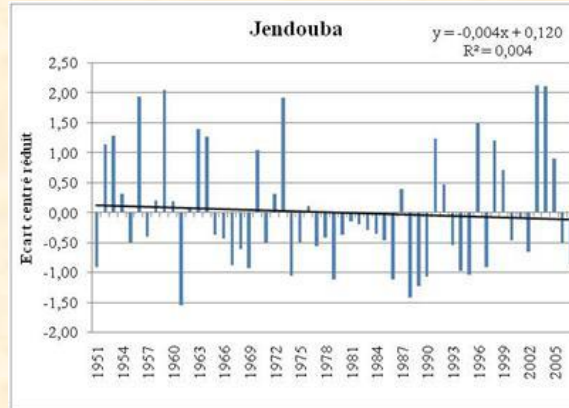
III- RÉSULTATS

II-1- Évolution de la pluviométrie annuelle

❑ Le premier fait marquant en ce qui concerne l'évolution de la pluviométrie annuelle, c'est **l'absence de tendances significatives**.

❖ Une très légère tendance à la baisse à Jendouba, Gafsa et Remada.

❑ Ce constat corrobore des résultats déjà publiés concernant des stations tunisiennes ou encore d'autres stations du pourtour méditerranéen



Écarts centrés réduits des pluies annuelles dans quatre stations de plaines intérieures de la Tunisie

Dans toutes les stations, l'hypothèse H_0 du **test de Pettitt** est acceptée aux trois seuils de confiance de 99%, 95% et 90% mettant en évidence **l'absence de rupture de stationnarité des séries traitées.**

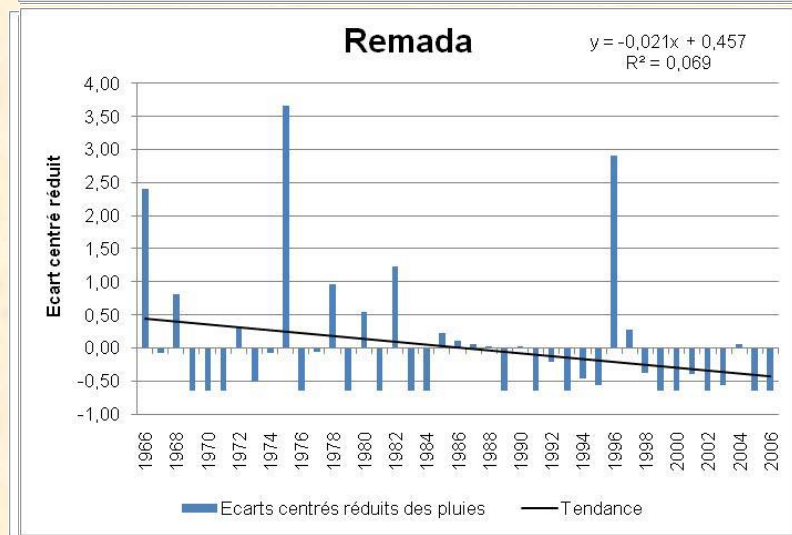
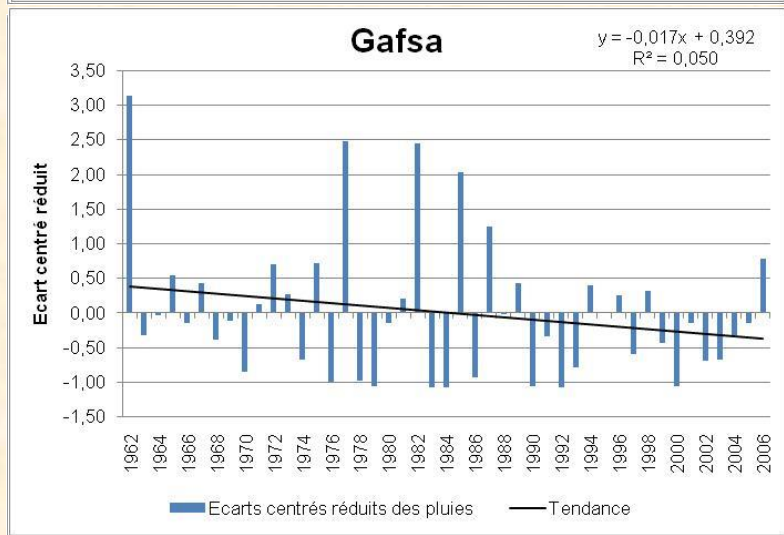
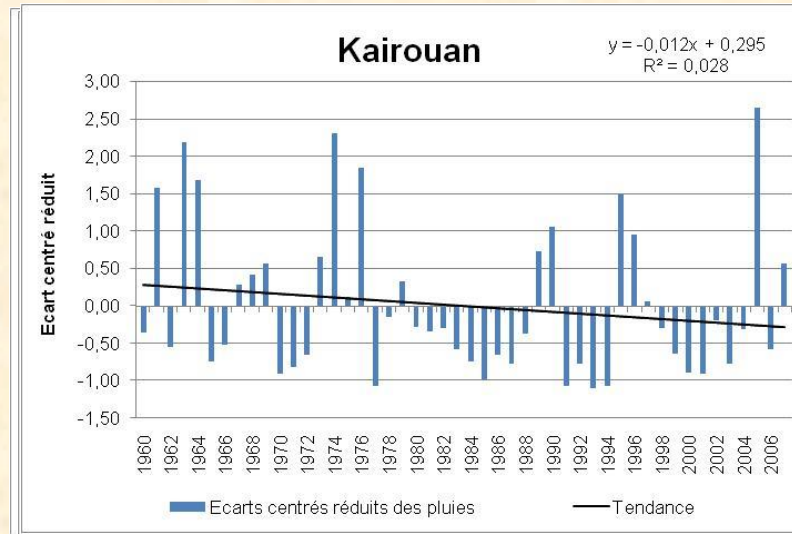
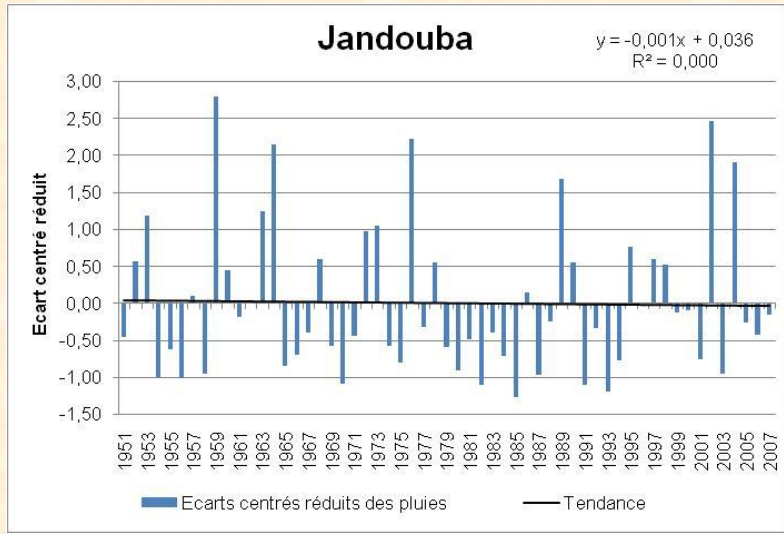
Résultats de l'application du test de Pettitt et de la segmentation d'Hubert à la pluviométrie annuelle

	Test de Pettitt Hypothèse H_0 (absence de rupture)	Segmentation d'Hubert (Niveau de signification du test de Scheffé = 1%)	P (mm)	σ
Jendouba	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	481.0	128.4
Kairouan	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	306.8	108.8
Gafsa	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1962/63-2006/07	173.7	67.1
Remada	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1966/67-2006/07	89.6	51.7

II-2- L'évolution à l'échelle saisonnière

- L'évolution des pluies saisonnières est marquée par l'absence de tendance significative (4 saisons, 4 stations)

Pluies hivernales



Résultats de l'application du test de Pettitt et de la segmentation d'Hubert à la pluviométrie saisonnière

□ L'application du test de Pettitt aux séries pluviométriques saisonnières, nous permet de conclure sur l'absence de ruptures.

□ Dans toutes les stations et pour les quatre saisons l'hypothèse H_0 est systématiquement acceptée aux 3 seuils de confiance

□ Il en va de même pour les contributions relatives des pluies saisonnières dans les totaux pluviométriques annuels.

		Test de Pettitt Hypothèse H_0 (absence de rupture)	Segmentation d'Hubert (Niveau de signification du test de Scheffé = 1%)	\bar{X} (mm)	σ
Jendouba	P_a	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-1959/60 1960/61-2006/07	189.6 125.9	67.3 63.9
	P_a/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	27.6	10.3
	P_h	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2001/02 2002/03-2006/07	168.6 266.4	58.6 113.3
	P_h/p (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	37	11.4
	P_p	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	127.7	49.8
	P_p/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	26.8	9.33
	P_e	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	39.7	30.8
	P_e/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1950/51-2006/07	9.3	6.4
Kairouan	P_a	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	115.8	88.9
	P_a/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	36.7	17.7
	P_h	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	81.9	58.4
	P_h/p (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	26.3	15.1
	P_p	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	83.3	40.1
	P_p/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	28.2	11.8
	P_e	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-2006/07	25.8	22.7
	P_e/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1959/60-1963/64 1964/65-2006/07	19 8.7	12.8 6.6
Gafsa	P_a	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	56.8	38
	P_a/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	33.4	17.3
	P_h	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	55.6	48
	P_h/p (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	30.8	18.4
	P_p	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	47.4	30.2
	P_p/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	27.6	15.4
	P_e	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-1961/62 1962/63-1999/00	8 13.4	0 9.6
	P_e/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1961/62-2006/07	9.1	8
Remada	P_a	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	27.2	23.8
	P_a/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	31.1	21
	P_h	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	30.3	22.3
	P_h/p (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	34.8	19.1
	P_p	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	29.7	33.7
	P_p/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	30.6	19.4
	P_e	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	4.3	3.9
	P_e/P (%)	Acceptée aux 3 seuils de confiance	1965/66-2006/07	4.2	4.6

- ❑ En revanche, l'application de la procédure de segmentation de Pierre Hubert aux données saisonnières permet de détecter quelques ruptures
 - ❑ On constate qu'il n'y a pas de tendances systématiques ni communes aux différentes stations
 - ❑ En somme, l'application de la procédure d'Hubert corrobore les résultats obtenus par le test de Pettitt.
- L'on serait donc dans une logique tout à fait aléatoire...?!

Les ruptures décelées par la méthode d'Hubert à l'échelle saisonnière

	Variables	Périodes	Moyennes
Jendouba	Pluies automnales moyennes	1950/51-1959/60	189.6 mm
		1960/61-2006/07	126 mm
	Pluies hivernales moyennes	1950/51-2001/02	168.7 mm
		2002/03-2006/07	266.4 mm
Kairouan	$P_{\text{été}}/P$ (%)	1959/60-1963/64	19%
		1964/65-2006/07	8.7%

II-3 - Qu'en est-il de l'évolution des pluies journalières?

- L'hypothèse H_0 de Pettitt est acceptée aux trois seuils de confiance (99%, 95% et 90%) dans la plupart des stations

Résultats de l'application du test de Pettitt et de la segmentation d'Hubert aux pluies journalières

		Test de Pettitt Hypothèse H_0 (absence de rupture)	Segmentation d'HUBERT
Jendouba	NJP >0 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1950/2006
	NJP >= 5 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1950/2006
	NJP >= 10 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1950/2006
	NJP >= 30 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1950/2006
	Pluie >= 30 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1950/2006
	Cont P >=30mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1950/2006
Kairouan	NJP >0 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1959/2006
	NJP >= 5 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1959/2006
	NJP >= 10 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1959/2006
	NJP >= 30 mm	acceptée au seuil de confiance de 99%	1959/2006
	Pluie >= 30 mm	Rejetée au seuil de confiance de 95% (Année 1988)	1959/2006
	Cont P >=30mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1959/2006
Gafsa	NJP >0 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1962/2006
	NJP >= 5 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1962/2006
	NJP >= 10 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1962/2006
	NJP >= 30 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1962/2006
	Pluie >= 30 mm	Rejetée au seuil de confiance de 95% (Année 2004)	1962/1988- 1989/1989- 1990/2013- 2014/2015- 2016/2018
	Cont P >=30mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1962/2006
Remada	NJP >0 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1966/2006
	NJP >= 5 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1966/2006
	NJP >= 10 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1966/2006
	NJP >= 30 mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1966/2006
	Pluie >= 30 mm	Rejetée au seuil de confiance de 90% (Année 2004)	1966/2012- 2013/2017- 2018/2019 – 2020/2022
	Cont P >=30mm	Acceptée au seuil de confiance de 99%	1966/2006

Conclusion

❖ L'étude des séries pluviométriques des stations de plaines intérieures par le test de Pettitt et la procédure de segmentation d'Hubert nous a permis de conclure sur **l'absence de rupture dans les séries à l'échelle annuelle.**

❖ **À l'échelle saisonnière**, on note **l'absence de tendances** systématiques ou communes aux quatre stations

❖ **À l'échelle journalière**, les ruptures de stationnarité les plus marquantes déterminées essentiellement grâce à la *procédure d'Hubert*, concernent surtout le **cumul de pluies supérieures à 30 mm** et **sa contribution dans le total annuel** dans les stations Kairouan Gafsa et Remada

Augmentation du risque d'inondation : rôle décisif des changements hydrologiques!

- **Diminution de la débitance des cours d'eau : cas de l'Oued Mejerda**
- **Empiètement des cours d'eau et construction en zones inondables**
- **Impact de l'imperméabilisation des terrains sur le ruissellement : cas du Grand Tunis + augmentation des vitesses d'écoulement et la diminution du temps de réponse**
- **Des écoulements perturbés par des obstacles de plus en plus nombreux**

Merci de votre attention