

Homogénéisation des séries pluviométriques dans le cadre de l'évaluation de la Sécheresse 1982-2022 (Nord-Algérien)

Kheloufi Attou Ahmed¹; Baba-Hamed Kamila, Bouanani Abderrazak

^{1, 2,3} Laboratoire promotion des ressources hydriques, minières et pédologiques – Législation de l'environnement et choix technologiques – Université de Tlemcen - Algérie

Résumé

Dans le but de l'analyse de la fluctuation de la sécheresse dans le Nord algérien, deux méthodes d'homogénéisation des précipitations annuelles ont été utilisées, la première dite absolue est appliquée sur chaque série d'observation, en utilisant quatre tests statistiques paramétriques et non paramétriques respectivement, test de Buisband, test d'Alexandersson, test de Pettitt et le test de Von Neumann. Le test de Shapiro-Wilk pour tester la normalité de la distribution au niveau de signification 5%. La deuxième dite relative est appliquée en utilisant la méthode d'Alexandersson basée sur le degré de corrélation entre la série étudiée et la série de référence. Les données disponibles sont des observations journalières provenant de 32 stations pluviométriques à partir desquelles les précipitations annuelles ont été calculées. Les données couvrent quatre décennies, allant de 1982 à 2022. Le résultat d'homogénéisation absolue montre que trois stations sont présentées par des ruptures significatives, station de Jijel, Miliana et la station d'Arzew, tandis que la méthode relative ne dévoile que deux stations : station de Jijel et celle de Miliana. L'indice pluviométrique moyen calculé sur la période de référence montre la fluctuation de la sécheresse. L'analyse de l'évolution temporelle met en évidence les stations présentant un régime déficitaire. Nous constatons que 58% des stations étaient en déficit entre 1982 et 1991, et 60% entre la période 1992 et 2001. Le maximum a été observé en 1983 et en 2000 où 100% des stations étudiées sont en déficit. À partir de l'année 2000, Nous avons remarqué une tendance à la baisse pour le régime déficitaire avec un pourcentage moins de 33% dans la période 2002-2011, et inférieur à 57% sur la décennie 2012-2021.

Mots clés : Sécheresse, Homogénéisation, Tests statistiques, Ruptures, Nord algérien

Homogenization of rainfall series in the Context of the Drought Evaluation 1982-2022 (Northern Algeria)

Abstract

In the order to analyze the drought fluctuations in northern Algeria, two methods of homogeneity the annual rainfall are used. The first so-called absolute method is applied to each series of rainfall observation, using (04) four parametric and non-parametric statistical tests successively, Buisband test, Alexandersson test, Pettitt test and Von-Neumann test. A normality test was performed using Shapiro-Wilk tests for the distribution type at a 5% significance level. The second so-called relative method is applied using the Standard normal homogeneity test (SNHT) with a correlation coefficient greater than 80% between the studied series and the reference series. The data available are daily observations from 32 meteorological Stations, from which the annual rainfall was calculated. The data covers four decades from 1982 to 2022. The result of the absolute method showed that three stations are presented by significant breaks (Jijel Station, Milianna Station and Arzew Station), while the relative method revealed that only two stations (Jijel Station and Milianna Station). The average precipitation index calculated over the reference period shows drought variability. The analysis of the temporal evolution of drought shows the stations which have a rainfall deficit. We have noted that 58% of the stations were in deficit between the period 1982 and 1991, and 60% between the period 1992 and 2001. The maximum was observed in 1983 and in 2000 when 100% of stations studied were in deficit. The analysis revealed a decrease in the number of deficit stations from the year 2000, with a lower than 33% for the decade 2002-2011 and less than 57% for the decade 2012-2021.

Key Words: Drought, Homogeneity, Breaks, Statistical tests, Northern Algeria

¹ Corresponding author: ahmedgeoran2014@gmail.com

1. INTRODUCTION

Un défi actuel dans la lutte contre le changement climatique concerne la gestion rationnelle des ressources en eau. Cependant, cette gestion est étroitement liée à une bonne connaissance des facteurs climatiques, dans lesquels les précipitations jouent un rôle important. Malheureusement, la collecte de données climatiques est sujette aux erreurs, ce qui se reflète dans la quantité souvent incertaine de ces données d'une part, et leur couverture spatiale et temporelle limitée, d'autre part [1]. Les problèmes qui se présentent dans un réseau de surveillance des précipitations sont très divers, il existe des problèmes liés aux erreurs causées par des appareils tels que l'absence d'étalonnage, remplacement d'un appareil de mesure, problèmes liés au site de mesure, tels que les modifications dans l'environnement de la station de mesure, déplacement ou un changement de la hauteur de l'appareil de mesure [2] [3] [4]. Ces différents problèmes introduisent le plus souvent des ruptures artificielles au sein des séries pluviométriques [5] [6]. L'homogénéisation des données de précipitations est absolument nécessaire pour avoir une image claire de la variabilité de l'évolution des précipitations [7]. Plusieurs techniques ont été établies pour homogénéiser les séries climatiques afin de déterminer et corriger les ruptures d'origine non climatique [8]. Ces techniques, sont classées en deux catégories principales, 1- des approches subjectives où l'emplacement d'une rupture est détecté à l'œil nu sur un graphique tel que la méthode des doubles accumulations [9], 2- des approches objectives qui peuvent se classer en trois modèles selon la nature des ruptures dans la série de base à savoir : A- des modèles de régression linéaire avec un ou plusieurs changements de paramètre, tel que le changement de moyenne [10] [11] [12] [13]. B- Des modèles avec une forme paramétrique différente de la régression linéaire telle que la méthode qui a été développée par Thompson (1984) [14] basée sur un processus aléatoire de Poisson, ainsi que la méthode d'analyse des ondelettes [15]. C- Des modèles qui se basent sur l'application successive des tests statistiques paramétriques et non-paramétriques [16] [17] [18]. La présente étude vise à évaluer la sécheresse en homogénéisant trent-deux (32) séries pluviométriques dans le Nord algérien. Nous avons utilisé deux méthodes pour détecter les ruptures dans les séries pluviométriques. La première méthode consiste à appliquer des tests statistiques paramétriques (test de Buishand, et test d'Alexandersson) et des tests non-paramétriques (test de Pettitt et test de Von-Neumen). Ces tests ont été appliqués à chaque série de précipitations au seuil de signification de 1%. La deuxième se résume à utiliser des séries de références pour homogénéiser des séries de bases en appliquant le test Standard Normal Homogeneity (SNHT) [10] [12]. Caractérisé par un climat semi-aride à aride, le bassin méditerranéen est soumis à des fluctuations pluviométriques, entraînant souvent des régimes déficitaires dans la région [19] [20]. En Algérie, plusieurs études ont montré que le régime pluviométrique déficitaire s'est étendu sur le territoire algérien à partir de la moitié des années 70, et est plus remarquable dans la partie occidentale [21] [22] [23] [24]. Suite à ces études, nous avons calculé les indices pluviométriques qui permettent d'étudier la fluctuation pluviométrique [25] [26] et sa répartition spatio-temporelle afin d'identifier les zones de fortes précipitations et celles plus arides.

1.2. Zone d'étude

L'étude porte sur le nord de l'Algérie et couvre quatre (04) unités hydrologiques (fig. 1), il s'agit de la région Oranie Chott Chergui, la région de Chelif-Zahrez, la région d'Algerois-Hodna-Soummam et la région de Constantinois-Seybouse-Mellegue.

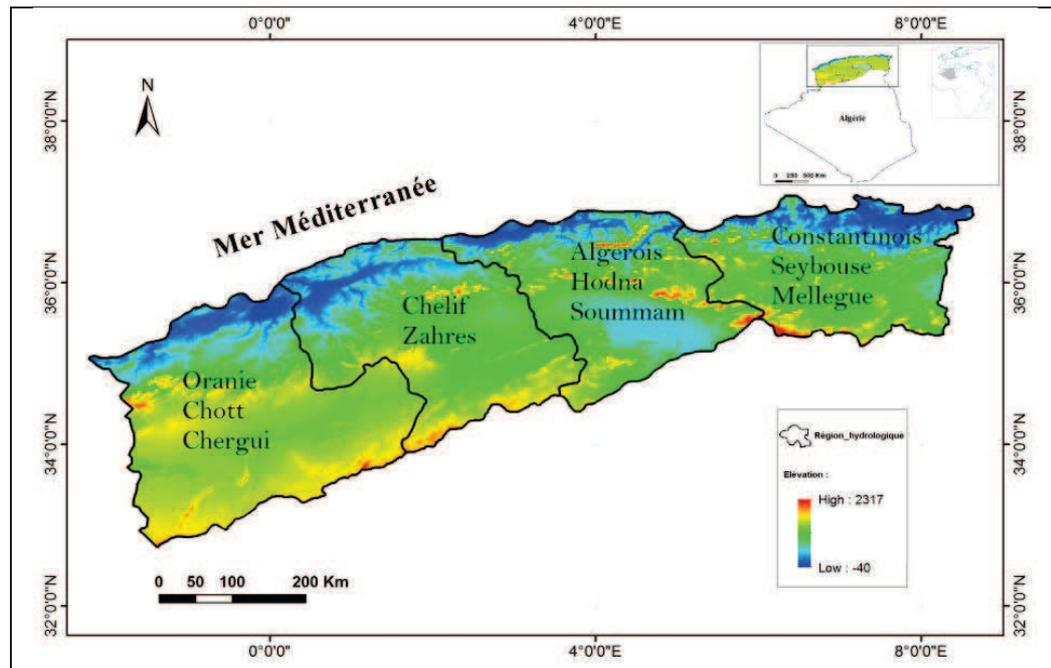


Fig. 1 – Région d'étude avec les quatre unités hydrologiques (Nord algérien)

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Données

Les précipitations annuelles ont été calculées à partir des données journalières qui s'étendent sur une période de 41 ans (1982 à 2022). Ces données couvrent 32 stations pluviométriques réparties sur le Nord algérien (fig. 2), elles sont répertoriées dans le tableau 1. Ces stations sont gérées par l'Office national de météorologie (ONM) ainsi que l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH). Les stations ont été choisies car elles sont représentées par des lacunes n'excédant pas 7% (Tableau 1), et il n'y a pas eu des années d'arrêt durant la période d'étude.

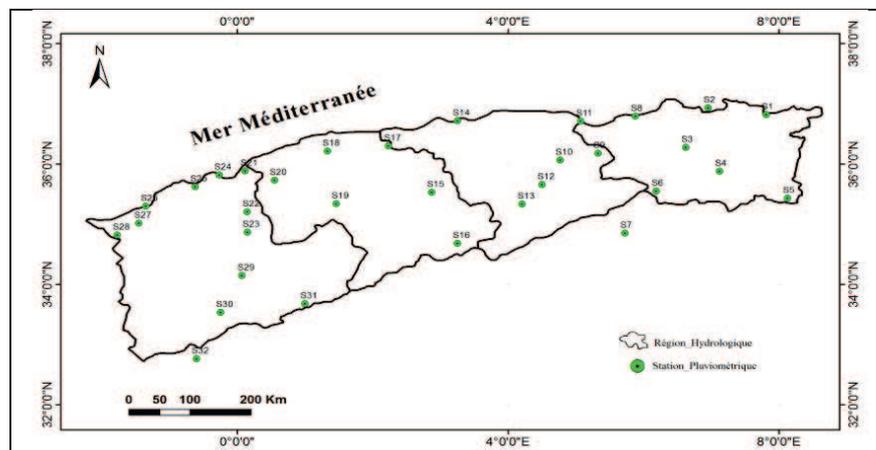


Fig. 2 – Répartition les stations pluviométriques sur la zone d'étude

Tableau 1 : Stations pluviométriques (1982-2022)

Station	Code	Coordonnées			% Valeurs Manquantes
		Latitude	Longitude	Z (m)	
Annaba	S1	36,82 N°	7,81 E°	5	0.41
Skikda	S2	36,93 N°	6,95 E°	7	4.91
Constantine	S3	36,28 N °	6,62 E°	690	0.20

Oum_EL_Bouaghi	S4	35,88 N°	7,12 E°	891	0,96
Tebessa	S5	35,43 N°	8,12 E°	811	1,05
Batna	S6	35,55 N°	6,18 E°	1052	4,06
Biskra	S7	34,85 N°	5,72 E°	38	0,73
Jijel	S8	36,80 N°	5,87 E°	10	3,25
Setif (Ain_Arnat)	S9	36,18 N°	5,32 E°	1050	1,02
Bordj_Bou_Arreidj	S10	36,07 N°	4,77 E°	930	3,85
Soummam	S11	36,71 N°	5,07 E°	7	1,08
M_Sila	S12	35,66 N°	4,50 E°	442	0,61
Bou_Saâda	S13	35,33 N°	4,21 E°	461	0,00
Dar_EL_Beida (Alger)	S14	36,72 N°	3,25 E°	7	0,00
Ain_Oussara	S15	35,53 N°	2,87 E°	697	0,00
Djelfa	S16	34,68 N°	3,25 E°	1144	6,10
Miliana	S17	36,30 N°	2,23 E°	721	0,00
Cheliff	S18	36,21 N°	1,33 E°	141	0,00
Bou_Chekif	S19	35,34 N°	1,46 E°	989	0,00
Relizane	S20	35,73 N°	0,55 E°	75	0,00
Mostaghanm	S21	35,88 N°	0,12 E°	138	0,15
Ghriss	S22	35,21 N°	0,15 E°	514	0,94
Saida	S23	34,87 N°	0,15 E°	752	0,00
Arzew	S24	35,82 N°	-0,27 O°	4	0,59
Es_Senia (Oran)	S25	35,62 N°	-0,62 O°	90	0,00
Beni_Saf	S26	35,30 N°	-1,35 O°	70	0,00
Zenata	S27	35,02 N°	-1,45 O°	248	0,00
Maghnia	S28	34,82 N°	-1,78 O°	426	3,90
El_Kheiter	S29	34,15 N°	0,07 E°	1001	1,04
Mecheria	S30	33,54 N°	-0,24 O°	1175	0,89
El_Bayadh	S31	33,68 N°	1,00 E°	1347	0,03
Ain_Sefra	S32	32,77 N°	-0,60 O°	1059	1,64

2.2 Méthodes

Deux méthodes ont été utilisées pour identifier les ruptures significatives ayant affecté les séries de précipitations au cours de la période d'étude (1982 à 2022), une de ces méthode dite « Absolue » et l'autre dite « Relative », et cela pour détecter un grand nombre de séries hétérogènes. Le processus d'homogénéisation est suivi par une détermination de l'indice annuel des précipitations (indice de Lamb) [25] [26] à chaque station pluviométrique pour une analyse spatio-temporelle.

2.2.1 Tests statistiques (Méthode Absolue)

La méthode consiste à appliquer séquentiellement (04) quatre tests statistiques au niveau de signification (α) = 1%, nous avons appliqué des tests paramétriques comme le test Buishand, et le test d'Alexandersson qui demandent une distribution normal prédéterminée, nous avons appliqué aussi des tests non-paramétriques, comme le test de Pettitt et test de Von-Neumen. Le test de Shapiro-Wilk pour tester la normalité de la distribution au niveau de signification (α) = 5%. En appliquant ces tests statistiques, des ruptures au sein des séries pluviométriques peuvent être détectées, puis la série analysée est classée dans une, des trois (03) classes suivantes.

Classe 1 : la série y est classée lorsqu'un (1) ou aucun test n'est significatif,

Classe 2 : les séries sont classées dans cette catégorie, lorsque (2) deux tests rejettent l'hypothèse nulle H_0 .

Classe 3 : les séries sont classées dans cette catégorie, lorsque (3) trois ou (4) quatre tests sont significatifs (rejetent l'hypothèse nulle H_0).

Les séries appartenant à la classe 1 sont homogènes, par contre, celles des classes 2 et 3 sont hétérogènes.

2.2.2 Méthode Relative

La méthode SNHT (*Standard Normal Homogeneity Test*) a été appliquée aux séries pluviométriques en comparant une série avec d'autres séries voisines, elles doivent être corrélées. Nous avons utilisé l'outil Climatol version 3.1.2 (<http://www.climatol.eu/>) pour effectuer cette méthode [27].

2.2.3 Indice pluviométrique (Indice de Lamb)

La fluctuation pluviométrique annuelle est déterminée à l'aide de l'indice de Lamb. Cet indice est calculé à partir du rapport de la différence entre la précipitation annuelle d'une année (X_i) et la moyenne de la série (\bar{X}), centré autour de l'écart-type σ . L'indice de Lamb permet de déterminer le régime déficitaire ainsi que le régime excédentaire [25] [26]. Il est défini par la relation suivante :

$$IP = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

IP Indice de Lamb

X_i Pluviométrie annuelle pendant l'année i

\bar{X} Moyenne de la série pluviométrique (période d'étude)

σ Ecart-type de la série pluviométrique

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Homogénéité des séries pluviométriques

3.1.1 Méthode Absolue

Les résultats de l'application de tests statistiques paramétriques et non-paramétriques pour détecter les ruptures dans les séries pluviométriques pendant la période d'étude, sont présentés dans les tableaux 2 et 3.

Une rupture est probablement significative lorsqu'elle est détectée par au moins 2 tests statistiques. Le tableau 3 montre que 91% des stations étudiées sont homogènes, en revanche, 9% de l'ensemble des stations se caractérisent par des ruptures significatives. Les stations représentées par des ruptures significatives, sont réparties sur trois (03) bassins hydrologiques, la station de Jijel se trouvant dans le bassin versant des Côtiers Constantinois, la station de Miliana se situe dans le bassin versant Côtiers Algérois et celle d'Arzew fait partie du bassin versant de Côtiers Oranais, chacun de ces bassins est caractérisé par un régime climatique différent des autres.

Tableau 2 : Résultat des tests statistiques

Station	Tests statistiques					
	Pettitt	SNHT	Buishan	Von_Neuman	Mann_Kendall	
			d	n	Z_{mk}	p-value
			p-value			
Maghnia	0.137	0.207	0.075	0.162	0.798	0.428
Zenata	0.215	0.229	0.281	0.090	0.483	0.631
Beni_Saf	0.011	0.046	0.016	0.009	2.280	0.022
Es_Senia	0.827	0.329	0.796	0.610	0.236	0.815
Ain_Sefra	0.069	0.240	0.083	0.007	1.269	0.206
Arzew	0.007	0.006	0.003	0.003	2.415	0.015
Mecheria	0.570	0.600	0.633	0.195	-0.146	0.885
Mostaghanm	0.178	0.120	0.141	0.155	1.764	0.078
Ghriss	0.280	0.001	0.130	0.042	-1.629	0.104
Saida	0.233	0.237	0.287	0.161	0.685	0.496
El_Bayadh	0.676	0.683	0.591	0.312	0.213	0.832
Cheliff	0.188	0.009	0.173	0.066	-1.359	0.175
Bou_Chekif	0.129	0.225	0.313	0.226	-1.404	0.161
Miliana	0.003	0.005	0.003	0.002	2.168	0.030
Djelifa	0.646	0.145	0.891	0.626	-0.798	0.428
Dar_El_Beida	0.579	0.555	0.680	0.162	0.303	0.763

Bordj_Bou_Arreidj	0.382	0.636	0.550	0.033	-0.685	0.496
Soummam	0.459	0.610	0.302	0.115	0.101	0.920
Setif_Ain_Arnat	0.348	0.568	0.288	0.276	0.213	0.832
Biskra	0.343	0.135	0.258	0.089	-0.640	0.525
Jijel	0.001	0.002	0.000	< 0,0001	2.887	0.003
Batna	0.492	0.654	0.385	0.199	0.461	0.647
Mohamed_Boudiaf_Intl	0.417	0.314	0.634	0.588	-1.067	0.288
Skikda	0.892	0.067	0.776	0.291	-0.371	0.713
Annaba	0.926	0.214	0.676	0.482	-0.539	0.590
Cheikh_Larbi_Tebessi	0.324	0.653	0.359	0.106	0.775	0.441
Relizane	0.498	0.054	0.255	0.224	0.685	0.496
El_Kheiter	0.032	0.085	0.015	0.373	2.213	0.026
Ain_Oussara	0.361	0.225	0.447	0.252	0.685	0.496
Bou_Saada	0.797	0.565	0.899	0.536	-0.315	0.753
M_Sila	0.538	0.120	0.487	0.304	-0.034	0.973
Oum_El_Bouaghi	0.223	0.241	0.269	0.319	0.932	0.354

N.D : les valeurs en gras indiquent que le test rejette l'hypothèse nulle H_0 .

Tableau 3 : Classification des séries pluviométriques

Période	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total
1982-2022	29 (91%)	0 (0%)	3 (9%)	32 (100%)

3.1.2 Méthode Relative

L'homogénéisation des séries pluviométriques par la méthode relative s'appuie sur la comparaison des séries pluviométriques, l'une par rapport à l'autre en fonction du degré de corrélations, qui doivent être positifs, le corrélogramme (fig. 3) montre la relation des coefficients de corrélations en fonction de la distance, nous remarquons que les stations séparées de moins de 100km de distance sont mieux corrélées entre elles. Avec l'augmentation de la distance, une diminution du coefficient est perceptible, les corrélations négatives entre certaines stations peuvent indiquer des régimes pluviométriques opposés [27].

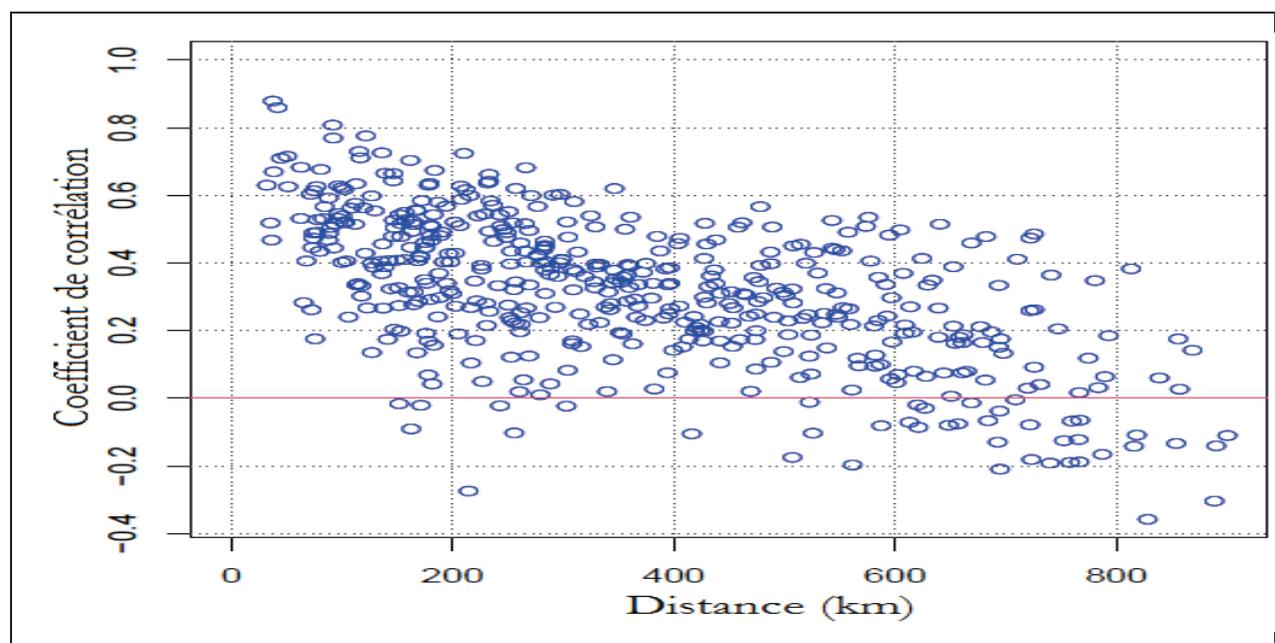


Fig. 3 – Corrélogramme des séries (Corrélation en fonction de la distance)

L'application de la méthode *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT), offre une occasion de détecter des ruptures au sein des séries pluviométriques à l'échelle annuelle, cela permet de distinguer deux (02) ruptures distinctes de la moyenne, l'une affectant la série pluviométrique de la station de Jijel et l'autre la série de la station de Miliana. La figure 4 montre les deux séries qui sont clairement hétérogènes avec respectivement un SNHT maximum de 17,50 et 18,07 pour la station de Jijel et celle de Miliana.

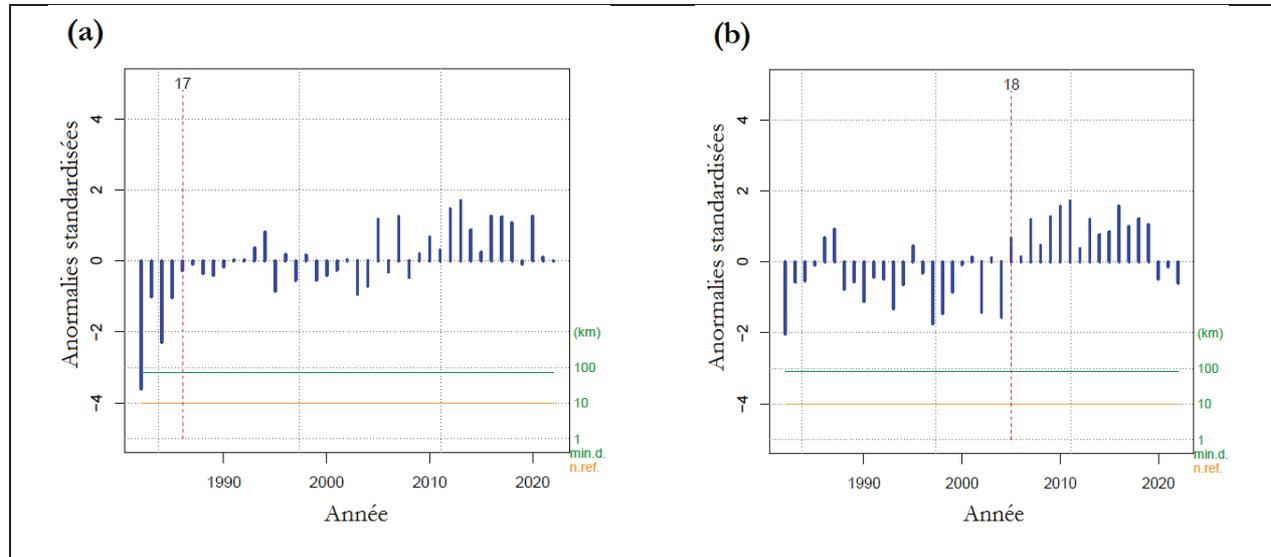


Fig. 4 – Détection d'un décalage de la moyenne (a) Station de Jijel, (b) Station de Miliana

L'analyse temporelle montre que les discontinuités distinguées par la méthode relative concernent seulement deux décennies. La rupture dans la série de la station de Jijel marque la décennie 1982-1991, elle se déroule en 1986, en revanche celle de Miliana est enregistrée sur la décennie 2001-2011, se manifestant en 2005. Sur le plan hydrologique, l'une de ces ruptures caractérise le bassin Côtiers Constantinois dont fait partie la station de Jijel et l'autre rupture détermine le bassin Côtiers Algerois où se situe la station de Miliana.

Tableau 4 : Ruptures indiquées dans les séries pluviométriques

N°	Code Station	Date de rupture	Valeur SNHT
Jijel	60419	01/01/1986	17.50
Miliana	60434	01/01/2005	18.07

3.1.3 Comparaison entre les observations homogènes et hétérogènes

La comparaison des moyennes mensuelles, entre les données brutes et celles homogénéisées montre la distribution temporelle qui s'exprime par une forte relation linéaire, cette distribution a été largement préservée malgré le processus de l'homogénéisation.

La différence entre les valeurs de précipitations moyennes mensuelles des deux types de données ne dépassent pas le maximum de 1.26 mm au cours des mois de Mars et Novembre, suivi de 1,24 mm et 1,10 mm pour les mois de Décembre et Janvier respectivement (fig. 5). Les autres valeurs varient entre des minima de 0,14 mm pour le mois de Juillet et de 0,18 pour le mois d'Août et 0,30 mm pour le mois de Juin, l'écart absolu entre les moyennes saisonnières des données brutes et celles homogénéisées reste très faible, 0,57 mm au maximum en hiver et 0,52 mm au printemps. La relation entre les moyennes annuelles des données brutes et les données homogénéisées est illustrée à la figure 6.

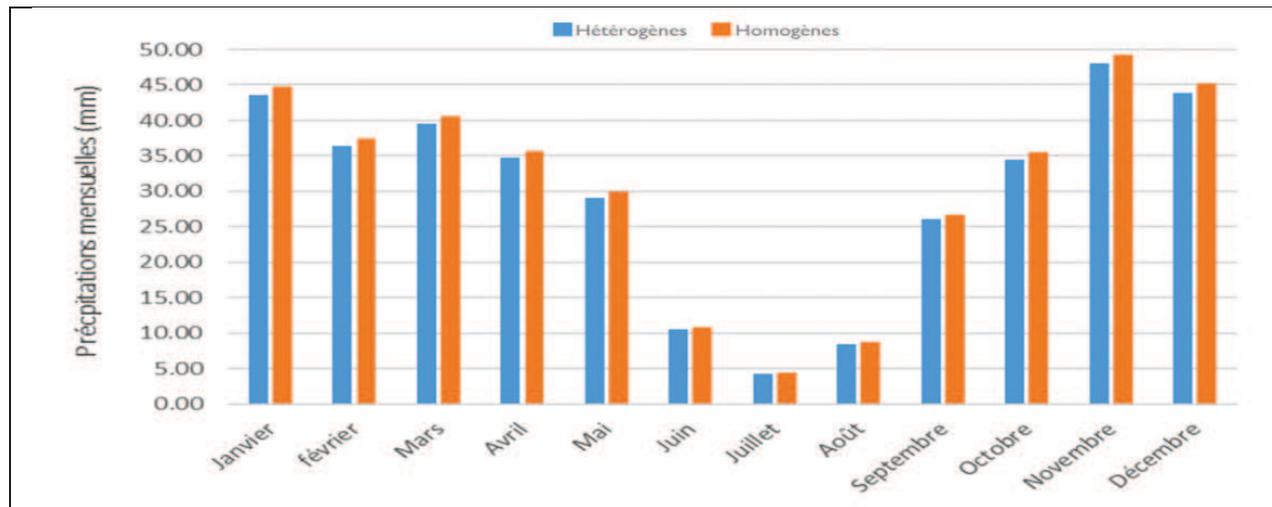


Fig. 5 – Précipitations moyennes mensuelles avant et après l'homogénéisation (1982-2022)

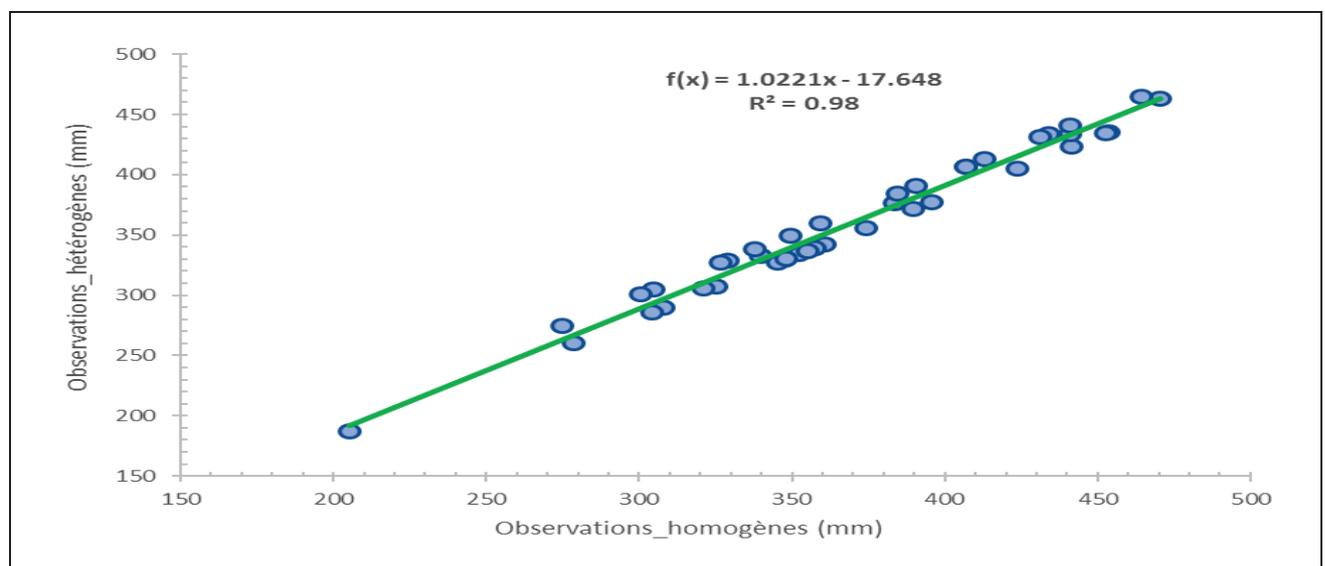


Fig. 6 – Corrélation entre les précipitations moyennes annuelles homogènes et hétérogènes (1982-2022)

3.2. Analyse spatiale de la sécheresse

L'interpolation des indices pluviométriques annuels sur la zone d'étude permet l'analyse spatio-temporelle des séries pluviométriques sur les quatre (04) décennies.

3.2.1 Décennie 1982-1991

Le régime déficitaire a été évalué dans la partie extrême ouest de la zone d'étude couvrant une partie de la région Oranie Chott Chargui. Cette partie concerne le bassin versant de la Tafna, une partie du bassin versant Côtiers Oranais, une partie du bassin Plateaux Oranais et de la Macta. Dans l'Est algérien, le régime déficitaire est aussi bien marqué sur une grande partie de la région de Constantinois-Seybouse-Mellegue, le régime est accentuée sur le bassin versant de Kébir Rhumel, le bassin Seybouse, le bassin de Medjerdah, par contre, le bassin versant de Côtiers Constantinois et le bassin Haute plateau Constantinois sont moins touchés par le régime déficitaire

3.2.2 Décennie 1992-2001

Durant cette période, le régime déficitaire a été étendu à la plupart des unités hydrologiques, la figure de la décennie 1992-2001, montre que la région de Cheliff-Zahrez, et la région d'Algerois-Hodna-Soummam sont moins touchées, surtout le bassin versant de Chélif, le bassin versant de Chott Melghir ainsi que le bassin des Côtiers Constantinois.

3.2.3 Décennie 2002-2011

La décennie a été caractérisée par une réduction de régime déficitaire sur la majorité des régions hydrologiques, excepté la partie ouest de la zone d'étude, qui a été affectée par le régime déficitaire, cela est concentrée dans le bassin versant de la Macta et le bassin versant du Chott Hodna, le bassin versant de chéiff est moyennement affecté.

3.2.4 Décennie 2012-2022

Nous remarquons que la partie ouest est moins affectée par le régime déficitaire. Le bassin versant d'Isser, et le bassin versant des Côtiers Algérois ont été affectés par un régime excédentaire. En revanche, les parties orientale et centrale de la zone d'étude, notamment le bassin versant Chott-Hodna, sont les plus touchées par le régime déficitaire.

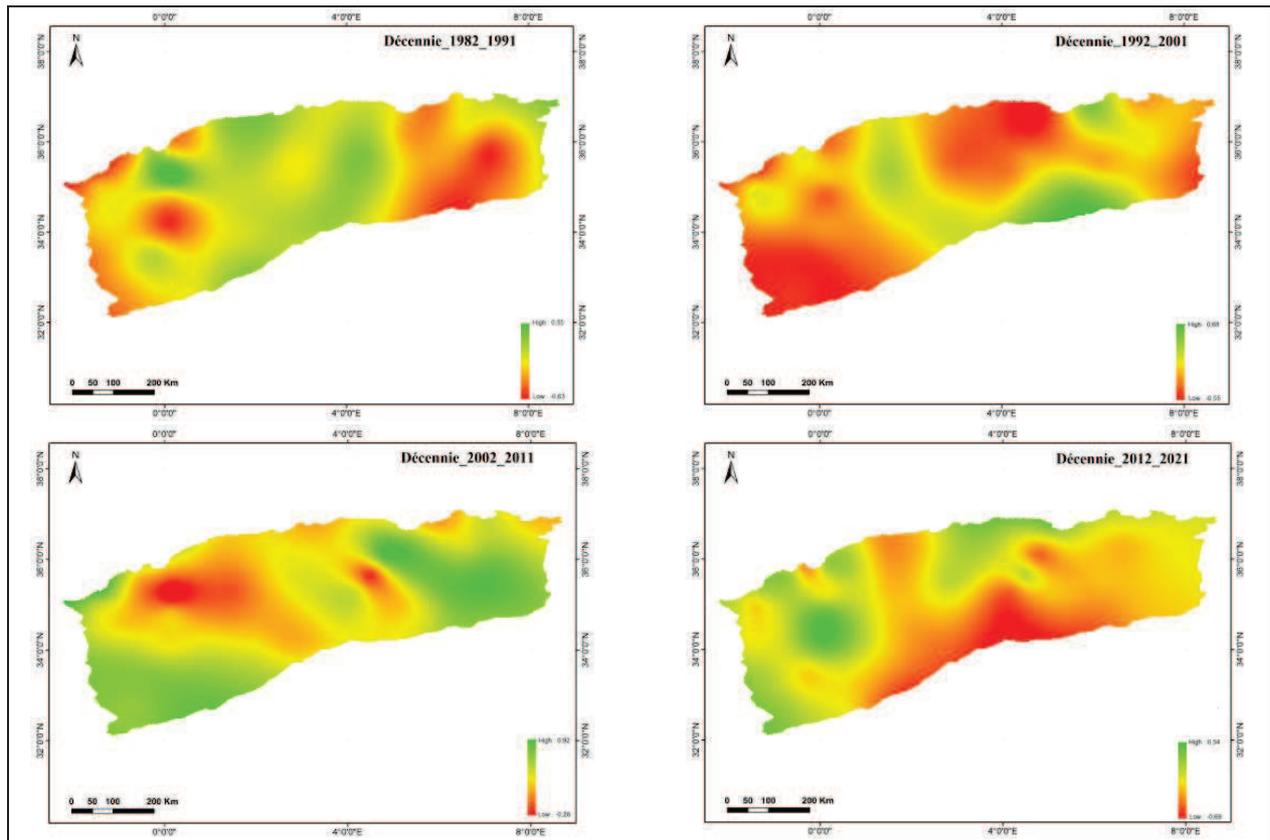


Fig. 7 – Évaluation des indices pluviométriques décennaux de 1982 à 2022 (Nord algérien)

L'indice pluviométrique moyen calculé sur la période de référence 1982-2021 montre la fluctuation de la sécheresse dans la partie nord algérienne, et cela à travers l'évolution temporelle des stations qui ont des régimes déficitaires (fig. 8). Nous remarquons que le nombre des stations déficitaires entre la période 1982-1991 dépasse le pourcentage de 58%, et arrive à 60% durant la période 1992-2001, le maximum est observé en 1983 et en 2000 où 100% des stations étudiées sont déficitaires. A partir de l'année 2000, nous constatons que 67% des stations sont excédentaires, ce qui montre une tendance à la baisse caractrisant la décennie 2002-2011, et 43% des stations sont excédentaires dans la décennie 2012-2021.

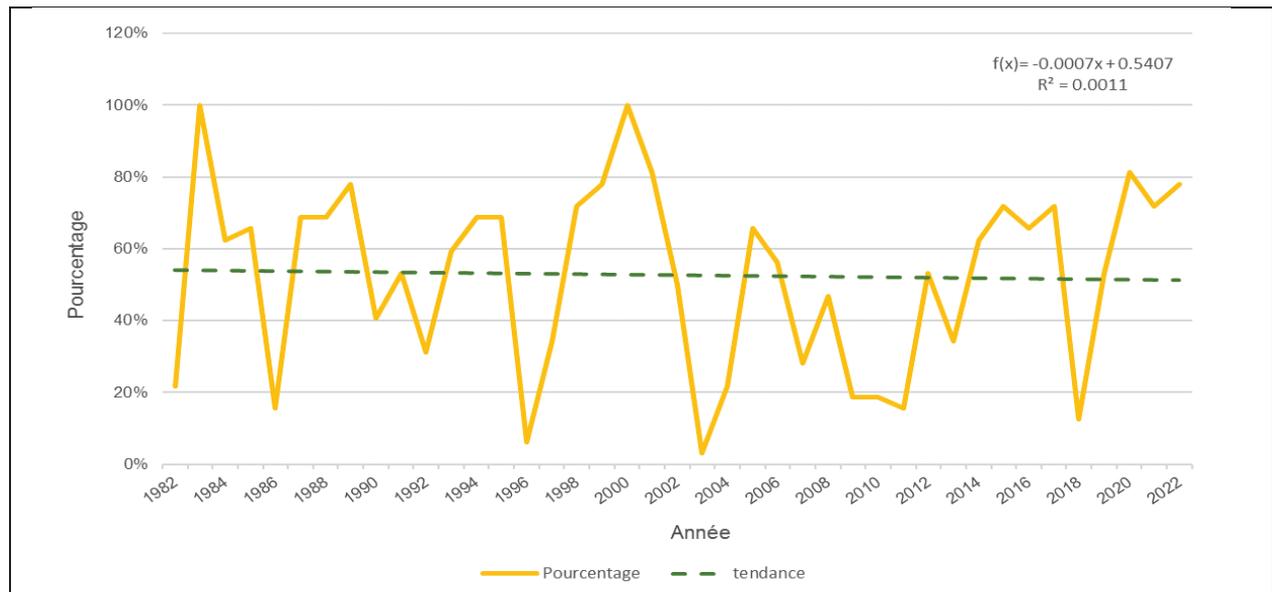


Fig. 8 – Pourcentage des stations déficitaires par rapport à la période de référence 1982-2022

CONCLUSION

L'analyse spatio-temporelle de la variabilité pluviométrique par l'utilisation de l'indice de Lamb qui consiste en l'application des tests statistiques paramétriques et non paramétriques a dévoilé trois séries hétérogènes, cela concerne la série de la station de Jijel, la station de Miliana et la série de la station d'Arzew. Aussi, l'application de la méthode SNHT (*Standard Normal Homogeneity Test*) qui se base sur l'homogénéisation de la série cible en fonction des séries voisines, a mis en évidence l'existence de deux séries différentes à savoir celle de la station de Jijel et celle de la station de Miliana. L'analyse spatio-temporelle des indices pluviométriques annuels montre que le régime déficitaire s'est développé aussi bien dans la partie orientale que dans la partie occidentale de la zone d'étude, dans la décennie 1982-1991, après la période des années 1970 caractérisée par une tendance à la baisse des précipitations. Nous avons distingué que la décennie 1992-2001 est la plus affectée par le régime déficitaire (67% des stations sont déficitaires), par contre, durant la décennie 2002-2011, la plupart des stations pluviométriques ont observé un régime excédentaire (67% des stations sont excédentaires), c'est la période la plus arrosée durant la période d'observation. Après la période excédentaire (décennie 2002-2011), le régime déficitaire est réapparu pour caractériser la période 2012-2022. Ce scénario se reflète sur la productivité des ressources en eau superficielle ainsi que les ressources souterraines.

Références

- [1] D. R. Easterling, L. V. Alexander, A. Mokssit, V. Detemmerman, CCI/CLIVAR workshop to develop priority climate indices. Bull. American Meteorological Society, October 84 (2003), 1403-1407.
- [2] J. P. BRUNEL, Comparaison instrumentale des précipitations en climat méditerranéen semi-aride, in *Hydrologie Continentale*, vol. 1, n° 2 (1986), p. 87-93.
- [3] P. L. Goulven, M. A. Aleman, I. Osorno, Homogénéisation et régionalisation pluviométrique par la méthode du vecteur régional. Congrès d'Hydraulique de l'Equateur, 5. Quito (ECU), Novembre 23-26 (1988), 95-118.
- [4] C. Beaulieu, T.B.M.J. Ouarda, O. Seidou. Synthèse des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations. *Hydrological Sciences Journal*, 52 :1 (2010), 18-37, DOI : 10.1623/hysi.52.1.18
- [5] OMM, Directives sur l'homogénéisation. Organisation météorologique mondiale OMM-N° 1245 (2020), pp 1-57
- [6] J. C. ONDO, O. Tahar B. M. J., B. BOBEE, Revue bibliographique des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations. Rapport de recherche N° R-811, INRS-ETE, Québec (2005), pp 01-67
- [7] M. Lakatos, T. Szentimrey, Z. Bihari, S. Szalai. Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, World Meteorological Organization (WMO), Budapest, Hungary, 29 May – 2 June (2006), 1-203

- [8] C. Beaulieu, Homogénéisation des séries de précipitations : identification des techniques les plus prometteuses et nouveaux développements. Thèse de doctorat en sciences de l'eau, Université de Québec 2009.
- [9] M. A. Kohler. On the use of double- mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required ajustement. *bull. American Meteorological Society*, 30 (1949), 188-189
- [10] H. Alexandersson. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.* 6 (1986), 661-675
- [11] H. Alexandersson, A. Moberg. Homogenization of swedish temperature data. Part 1: homogeneity test for linear trends. *International journal of climatology*, vol.17(1997), 25–34
- [12] M. N. Khaliq, T.B.M.J. Ouarda. A note on the critical values of the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT). *International journal of climatology* (2006), doi : 10. 1002/joc. 1438
- [13] A. F. S. Lee, S. M. Heghinian. A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables : a Bayesian approach. *Technometrics* 19 (1977), 503-506
- [14] C. S. Thompson. Homogeneity analysis of rainfall series: an application of the use of a realistic rainfall model. *Journal of climatology*, 4 (1984), 609-619
- [15] N. M. Datsenko, A. Moberg, D. M. Sonechkin. Objective time-scale-dependent homogenization or early instrumental temperature series. *Theor. Appl. Climatol.* 72 (2002), 103-126
- [16] A. N. Pettitt. A Non-parametric Approach to the Change-point Problem. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, Vol. 28, No. 2(1979), pp. 126-135
- [17] C. Boroneant. R. Tomozeiu. Experience with homogeneity testing of temperature data at Bucuresti Filaret sation. *Proc. Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data Budapest, Hungary.* WMO-TD no.962 (1999), 113-123
- [18] J. B. Wijngaard, A. M. G. Klein tank, G. P. Können. Homogeneity of 20th century european daily temperature and precipitation series. *International journal of climatology.* 23(2003). 679–692. Doi: 10.1002/joc.906
- [19] C. Norrant. Relationships between the North hemisphere 500hPa geopotential height and the rainfall in the Mediterranean Basin (1950-2000). *Climatologie v. 4* (2007), 91-104
- [20] F. Raymond, A. Ullmann, P. Camberlin. Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen : quelles tendances entre 1950 et 2013 ? , *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 760 (2016), Doi : 10.4000/cybergeo.27410
- [21] A. Demmak, A. Ould Amara. La sécheresse en Algérie des années 1970/1999 et son impact sur les ressources en eau. *Table ronde : sécheresse-changement climatique-désertification*, 10p
- [22] M. Meddi, J. Humbert. Variabilité pluviométrique dans l'Ouest Algérien durant les cinq dernières décennies. *Association internationale de climatologie*, Vol. 13(2000).
- [23] J. P. Laborde, P. Goubesville, M. Assaba, A. Demmak, L. Belhouli. Climate evolution and possible effects on surface water resources of North Algeria. *Current Science, V.98, N° 8* (2010).
- [24] S. Taibi, M. Meddi, D. Souag, G. Mahe. Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). *Climate and Land Surface Changes in Hydrology*, Gothenburg, Sweden, July. 359 (2013). 191-197
- [25] P. J. Lamb, Persistence of Subsaharan drought. *Nature* 299 (1982). 46 - 47.
- [26] P. J. Lamb, Rainfall in Subsaharan West Africa during 1941–83. *Z. Gletscherk. Glazialgeol.* 21(1985) 131 - 139.
- [27] J. A. Guijarro. Daily series homogenization and gridding with *Climatol v.3*. In *Proceedings of the Ninth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and Fourth Conference on Spatial Interpolation Techniques in Climatology and Meteorology*, Budapest, Hungary, 3–7 April (2017); WMO: Geneva, Switzerland, 2017; Volume 85, pp. 175–180.