Afrique SCIENCE *15(2) (2019) 1 - 15*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Modélisation des modules pluviométriques annuels au Niger

Soumana ISSA[1,2*], Saley BISSO[1] et Boureima OUSMANE[1]

[1] *Université Abdou Moumouni (UAM), Faculté des Sciences et Techniques (FAST), BP 10662, Niamey, Niger*
[2] *Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement (MHA), Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE), BP 257, Niamey, Niger*

* Correspondance, courriel : *djoumassi.issa@gmail.com*

Résumé

Ce travail porte sur la conception d'un modèle de prédiction des pluies annuelles au Niger. En effet, tous les modèles existants montrent des insuffisances dans les valeurs simulées des précipitations tropicales. Cette situation ne permet pas d'anticiper sur les phénomènes de sécheresses ou d'inondations dont les effets sont néfastes sur les conditions socio-économiques des pays concernés. La méthodologie est basée sur le déroulement et la superposition des calendriers grégorien et hégirien depuis le 16 Juillet 622 et l'utilisation de la condition de non-biais (ou d'universalité) de la moyenne arithmétique. Elle a permis d'obtenir plusieurs résultats dont entre autres :

- la détermination des années concordantes et des années couplantes servant d'années-repères au balisage du temps sur la durée ;
- l'assimilation du temps à une surface cylindrique dont les génératrices, constituées par des années concordantes, sont distantes de 130 à 131 ans grégoriens au maximum sauf au voisinage de deux années couplantes singulières où cette étendue est de 33 ans grégoriens. Ces génératrices s'appuient sur une directrice (D) valant 1628 ans grégoriens se subdivisant en 25 périodes de durée unitaire comprise entre 65 et 66 ans grégoriens. La période de base du temps est prise égale à $N = 65$ ans représentant la partie entière de la valeur moyenne $T = 65{,}12$ ans ;
- la formulation de l'équation du modèle de prédiction des modules pluviométriques annuels à partir de la transposition de la période de base du temps aux séries des pluies annuelles.

L'équation du modèle de prédiction ci-dessus établie est une solution périodique. Son test de validation, réalisé avec les données pluviométriques des cinq (5) plus anciennes stations d'observations du Niger, fournit des écarts absolus de précipitations annuelles compris entre - 6,2 mm et + 5,5 mm. Les valeurs de ces erreurs sont acceptables car la précision d'instrumentation admissible est de ± 12 mm pour une année. Le modèle ainsi conçu est global et purement déterministe. Sa mise en œuvre requiert alors l'utilisation des théories de l'analyse vectorielle. Cette approche ouvre dorénavant la possibilité de recours à l'analyse mathématique pour l'étude des composantes du climat, dont les précipitations, en parallèle aux méthodes probabilistes et stochastiques usuelles.

Mots-clés : *modèle, Niger, calendrier, pluies, période, analyse mathématique.*

Abstract

Simulation of annual rainfall modules in Niger

This work is about the design of a model for the forecast of annual rainfalls in Niger. In actual fact, all existing models show some deficiencies in the simulated values of tropical rainfalls. This situation does not help forecast events of droughts and floods with their adverse effects on the socio-economic conditions of the relevant countries. The methodology consists of presenting the Muslim and Gregorian calendars. Then, these calendars will be put on top of one another starting from 16th July 622 and using the non-bias (universality) condition of arithmetic average. It has helped achieve many results including :

- The definition concurring years and coupling years which will serve as benchmark years for making time over a long period ;
- The assimilation of time to cylindrical surface whose generators, composed of concurring years are at most distant from 130 to 131 Gregorian years except when they are close to two exceptional coupling years where this distance is 33 Gregorian years. These generators are based on a main principle (D) equal to 1628 Gregorian years subdivided into 25 periods of unitary duration comprised between 65 to 66 Gregorian years. The baseline period of time is equated to N = 65 years representing the major part of the mean value T = 65.12 years ;
- The formulation of the equation of the forecast model for annual rainfall modules based on the transposition of baseline period of time on the series of annual rainfalls.

The established equation for forecast model is a temporary solution. Its validation test, carried out with rainfall data collected from the five (5) oldest observation stations in Niger, provides absolute variances of annual rainfall comprised between -6.2 mm and + 5.5 mm. The values of this errors are acceptable since the authorized instrumentation accuracy is ± 12 mm for a year. As the model so designed is global and purely deterministic, therefore its implementation requires the use of vector analysis. This approach henceforth makes it possible to resort to mathematical analysis in the study of climate components, including rains, in parallel with the common probabilistic and stochastic methods.

Keywords : *model, Niger, calendar, rains, period, mathematical analysis.*

1. Introduction

L'eau est certes l'un des éléments les plus essentiels à la vie. Toutefois, son excès ou sa rareté peut s'accompagner de multiples effets indésirables voire catastrophiques pour les établissements humains [1]. Aussi, l'homme s'attèle-t-il depuis les temps anciens à améliorer l'état de ses connaissances des ressources en eau afin d'assurer leur gestion rationnelle dans un contexte d'accroissement accéléré de ses besoins (en eau) et d'apparitions fréquentes de séquences sèches. Ces sécheresses, expression d'un déficit des disponibilités naturelles en eau (précipitations et écoulements superficiels ou souterrains) dans la durée et l'espace [2], constituent un réel motif de préoccupation en raison à la fois de leur occurrence et de leur extension géographique. Ainsi, les années 1970 ont été marquées au plan climatique par de graves sécheresses ayant affecté le Sahel africain en 1972 et 1973, la Russie en 1972, la côte - Ouest des Etats Unis en 1976 et 1977 et l'Europe en 1976 [2]. Au Sahel, des sécheresses plus sévères furent vécues dans les années 1910 et 1940 [3]. Tirant les leçons des conséquences des sécheresses, il est admis que « Quelle que soit la forme sous laquelle elle se manifeste, la sécheresse exerce un effet défavorable sur l'économie en réduisant ou même en arrêtant la production de l'agriculture, de l'élevage, de l'énergie hydraulique, et la fourniture de l'eau pour l'industrie et les usages domestiques » [2]. Ces situations désastreuses, qu'engendrent les

sécheresses, soumettent à rude épreuve les économies familiales et nationales fortement tributaires des conditions climatiques surtout dans les pays en développement. Face à la persistance de la sécheresse au Sahel, la solidarité internationale agissante s'est régulièrement manifestée à travers l'organisation de secours humanitaires d'urgence, le financement de programmes de développement structurants et des appuis multiformes à la création et au fonctionnement de centres spécialisés de formation et de recherche. Par ailleurs, pour rentabiliser les importants investissements consentis et mieux anticiper sur le futur, l'UNESCO et l'OMM ont constitué en 1977 un comité mixte chargé d'élaborer un rapport sur les aspects hydrologiques des sécheresses qui devrait :

a) renseigner sur les conditions et les causes des sécheresses grâce à l'exploitation de l'importante documentation produite sur la thématique entre 1968 et 1977 ; et
b) formuler des recommandations de prévention et d'atténuation des effets néfastes des sécheresses.

S'agissant des performances des différentes méthodes météorologiques de prévision des sécheresses, il est indiqué que la vérification de l'efficacité des prévisions à long terme laisse en général à désirer. En effet, les prévisions de précipitations sont de l'ordre de 60 % [2]. Ledit comité recommandait alors d'accorder une haute priorité à la mise en modèle des séries temporelles dont le comportement reflèterait la tendance qu'ont les années sèches à suivre une autre année sèche avec une probabilité relativement plus grande que celle qu'aurait une année qui compenserait le déficit de l'année précédente, par exemple [2]. En plus, il insistait sur la nécessité d'accorder une attention particulière à l'existence possible de tendances dans le temps, aux fluctuations et à la cyclicité dans les mécanismes donnant naissance à la sécheresse [2]. Sous les auspices du PNUE et de l'OMM, il fut créé le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour poursuivre les investigations sur les changements et les variabilités climatiques. Le GIEC, faisant le point sur l'état de performances des modèles récents de prévisions, rapporte [4] que :

a) « La fiabilité des estimations modélisées est plus élevée pour certaines variables climatiques (par ex., les températures) que pour d'autres (par ex., les précipitations)».
b) « Les modèles comportent encore des erreurs importantes. Bien que celles – ci se produisent plus souvent à une échelle réduite, des problèmes subsistent à une échelle plus vaste. Par exemple, des insuffisances apparaissent dans la simulation des précipitations tropicales, de l'Oscillation australe - El – Niño et de l'Oscillation Madden - Julian (écarts observés dans les systèmes venteux et pluvieux tropicaux sur une échelle temporelle allant de 30 à 90 jours) ».

En plus, le GIEC indiquait que la source principale de ces erreurs est due en partie à la puissance des calculs informatiques et à la compréhension scientifique limitée ou de la grossièreté des observations de certains phénomènes physiques [4]. La modélisation des précipitations tropicales demeure toujours une question d'actualité surtout pour les pays sahéliens dont les économies sont tributaires des conditions climatiques. Par conséquent, les scientifiques en général et ceux sahéliens en particuliers sont interpellés à engager des investigations appropriées nécessaires à la conception de modèles adéquats de prévision des précipitations. Ceci est réalisable à la condition d'explorer le savoir local de prédiction des saisons des pluies à l'aide des mouvements de certains astres comme le Soleil, la Lune et les étoiles. La présente étude se situe dans ce cadre et se propose de valoriser ce savoir local pour la modélisation des modules pluviométriques annuels au Niger.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone de l'étude

La zone de l'étude correspond au territoire de la République du Niger couvrant une superficie de 1.267.000 km^2

entre les latitudes 11°33' et 23°33' Nord et les longitudes 0°07' et 16°02' Est. Ce vaste pays de l'Afrique de l'Ouest est partagé entre le Bassin du Niger à l'Ouest et le Bassin du Tchad à l'Est. Il est formé pour l'essentiel de vastes étendues de plaines de faibles altitudes à l'exception des massifs montagneux de l'Aïr et des Hauts Plateaux du Djado au Nord. Son climat, de type tropical semi-aride, comporte deux principales saisons : une saison sèche d'octobre à mai et une saison pluvieuse allant de juin à septembre. Au regard de l'inégale répartition spatio-temporelle des précipitations annuelles, le territoire nigérien se subdivise au sein de quatre zones climatiques ***(Figure 1)*** dont celle saharienne, désertique, couvrant 77 % de la superficie totale du pays. Les sévères sécheresses des années 1970 et 1980, dont furent victimes le Niger ainsi que tous les autres pays du Sahel ouest-africain, ont engendré d'importantes pertes en vies humaines [5] et des impacts socio - économiques catastrophiques [6].

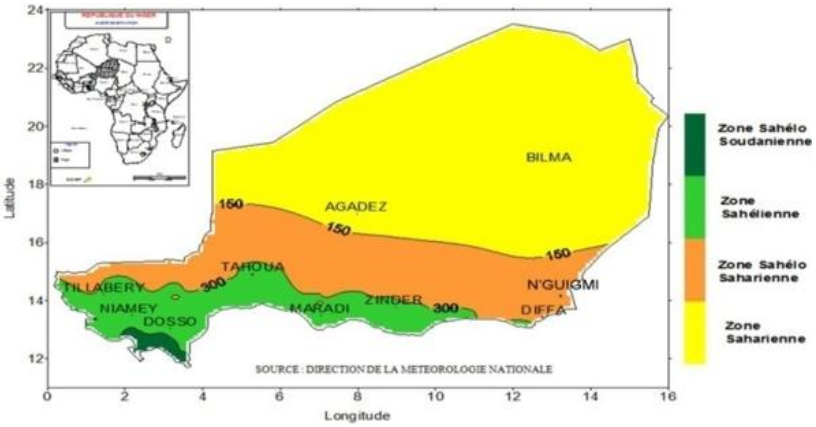

Figure 1 : *Le Niger et ses zones climatiques*

Les produits attendus de la modélisation des pluies annuelles permettront alors d'anticiper sur les conséquences néfastes des hivernages exceptionnellement déficitaires ou excédentaires dans le cas d'un pays aussi vulnérable que le Niger.

2-2. Données et outils

Les données et les outils utilisés, pour les besoins de la présente étude, se composent :

- des calendriers grégorien et hégirien [7 - 9] ;
- des séries de chroniques pluviométriques annuelles [10, 11] complétées par d'autres acquisitions auprès de la Base de données de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Niger ; et
- de divers ouvrages et publications [12 - 16] traitant de l'analyse mathématique et de la modélisation en météorologie et hydrologie.

2-3. Méthodes

La démarche méthodologique porte sur la caractérisation du temps et l'analyse des séries des modules pluviométriques annuels de certaines stations du réseau d'observations du Niger.

2-3-1. Caractérisation du temps

Du moment qu'il s'agit de la modélisation des hauteurs de précipitations annuelles, il reste entendu que la durée unitaire des investigations est l'année ; cette dernière étant de 354jours et 355 jours pour les années hégiriennes (respectivement communes et abondantes) et de 365 jours et 366 jours dans le cas des années

grégoriennes (ordinaires et bissextiles). La différence d'environ onze (11) jours entre une année hégirienne (AH) et une année grégorienne (AG) constitue une « anomalie » qu'il serait intéressant d'exploiter en vue de détecter d'éventuelles singularités. Les deux calendriers sont alors déroulés et superposés du 16 juillet 622 (premier jour de l'an hégirien I) jusqu'au 15 janvier 2077 [9]. Comme, les AH et les AG sont assimilables à des mobiles en mouvement, on prendra alors le plus grand soin d'évaluer la durée au bout de laquelle une AH et une AG, parties d'un même point au même instant, se retrouveront dans les mêmes formes que précédemment. Ces types d'années sont dénommés des années concordantes (ACc). Elles délimitent des intervalles consécutifs dont les étendues (c'est-à-dire les longueurs) varient. En plus, pour un même intervalle borné par deux ACc consécutives, son étendue possède deux valeurs différentes selon qu'elle est déterminée à l'aide des années hégiriennes concordantes ou de celles grégoriennes correspondantes. Pour assurer une bijection entre l'ensemble des années hégiriennes et celui des années grégoriennes, il sera mis en évidence pour chaque intervalle une année grégorienne dont l'image correspondra à deux années hégiriennes. L'année grégorienne, permettant d'obtenir la relation bijective requise, est dénommée année couplante (ACp) tandis que les années hégiriennes concernées sont des années couplées. Les années concordantes (ACc) et couplantes (ACp) constituent des années - repères à l'aide desquelles le temps est balisé sur la durée. Elles traduisent la continuité et la discontinuité du temps sur la durée, à l'instar de l'alternance du jour et de la nuit à plus petite échelle. Les dates de démarrage des années hégiriennes concordantes dans le calendrier grégorien ainsi que la cyclicité de 30AH du calendrier hégirien seront exploitées pour démontrer que le temps (exprimé en années) est une surface cylindrique. A l'occasion, les génératrices et la directrice de cette dernière seront déterminées. Ces éléments serviront à leur tour à définir la période de base du temps.

2-3-2. Analyse des séries des modules pluviométriques annuels

Les résultats de l'étude du temps (notamment sa cyclicité sur la durée) seront ensuite transposés aux séries des modules pluviométriques annuels des plus anciennes stations d'observations du Niger. La formulation de l'équation du modèle mathématique de prédiction des hauteurs des précipitations annuelles s'appuiera singulièrement sur la période de base du temps et la propriété de la condition d'universalité de la moyenne arithmétique des modules pluviométriques annuels. Le modèle, ainsi conçu, sera soumis à un test de validation à l'aide d'un estimateur à construire à partir des séries des précipitations annuelles de certaines des plus anciennes stations d'observations du Niger. Cette opération est décisive car elle constitue la phase de confirmation ou d'infirmation du caractère cyclique du régime des précipitations annuelles.

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques majeures du temps

3-1-1. Forme cylindrique du temps sur la durée

Sur la durée 622AG/2077AG, soit 1AH/1500AH, et de part et d'autre du 29e cycle du calendrier hégirien ***(Tableau 1)***, on constate l'amorce d'une distribution symétrique des cycles du calendrier hégirien d'après leur date de démarrage. Il s'agit :

- des 24e et 25e cycles et des 33e et 34e cycles dans des intervalles bornés par deux ACc consécutives ;
- des 14e, 15e et 16e cycles et des 42e, 43e et 44e cycles dans des intervalles bornés par une ACc_i et une ACc_{i+2}; les années de démarrage des 15e et 43e cycles coïncidant avec respectivement les années concordantes 1030AG soit 421AH et 1845AG soit 1261AH.

Tableau 1 : *Distribution des cycles du calendrier hégirien selon la date de leur démarrage dans des intervalles bornés par des années concordantes consécutives sur la période 622/2077AG*

Années hégiriennes Concordantes		Cycles du calendrier hégirien	
Année	Date de démarrage	Année Hégirienne de démarrage	Rang
		1	1
19	1/1/640		
		31	2
52	7/1/672		
		61	3
86	2/1/705		
		91	4
119	7/1/737		
		121	5
		151	6
153	3/1/770		
		181	7
186	9/1/802		
		211	8
220	4/1/835		
		241	9
253	11/1/867		
		271	10
287	7/1/900		
		301	11
321	1/1/933		
		331	12
354	7/1/965		
		361	13
388	3/1/998		
		391	14
421	5/1/1030	421	15
		451	16
455	4/1/1063		
		481	17
488	10/1/1095		
		511	18
522	5/1/1128		

Années hégiriennes Concordantes		Cycles du calendrier hégirien	
Année	Date de démarrage	Année Hégirienne de démarrage	Rang
522	5/1/1128		
		541	19
555	12/1/1160		
		571	20
589	7/1/1193		
		601	21
623	2/1/1226		
		631	22
656	8/1/1258		
		661	23
690	4/1/1291		
		691	24
		721	25
723	9/1/1323		
		751	26
757	5/1/1356		
		781	27
790	11/1/1388		
		811	28
824	5/1/1421		
		841	**29**
858	**1/1/1454**		
		871	**30**
891	7/1/1486		
		901	31
925	3/1/1519		
		931	32
958	8/1/1551		
		961	33
		991	34
993	2/1/1585		
		1021	35
1026	9/1/1617		

Années hégiriennes Concordantes		Cycles du calendrier hégirien	
Année	Date de démarrage	Année Hégirienne de démarrage	Rang
1026	9/1/1617		
		1051	36
1060	4/1/1650		
		1081	37
1093	10/1/1682		
		1111	38
1127	7/1/1715		
		1141	39
1161	2/1/1748		
		1171	40
1194	8/1/1780		
		1201	41
1228	4/1/1813		
		1231	42
1261	10/1/1845	1261	43
		1291	44
1295	5/1/1878		
		1321	45
1329	2/1/1911		
		1351	46
1362	8/1/1943		
		1381	47
1396	3/1/1976		
		1411	48
1429	10/1/2008		
		1441	49
1463	4/1/2041		
		1471	50
1496	9/1/2073		
	(15/1/2077 : fin 50ème CM)		

Le milieu du 29e cycle (correspondant à 855AH mais) réajusté à l'année concordante 858AH, i.e. 1454AG, constitue le centre principal de symétrie (CPS). En posant ACp_0 le CSS1861AG et ACc_0 la génératrice à sa gauche 1845AG au titre des ACc, il est possible de générer les ACp et ACc restantes ***(Tableau2)*** de l'intervalle] 1454AG, 2268AG] grâce aux ***Équations*** suivantes :

$$ACp_i - ACp_{i-7} = 228AG \quad (1)$$

et

$$ACp_i + ACp_{i-7} = 2ACc_{i-3} \quad (2)$$

Tableau 2 : *Années concordantes et couplantes dans l'intervalle [2073, 2268]*

Années concordantes (ACc)	2073	2106	2138	2171	2203	2236	2268
Années couplantes (ACp)	2089	2121	2154	2186	2219	2251	-

L'ACc 2106AG correspond à 1530AH tandis que celle 2138AG l'est pour 1563AH. Sachant que les 52e et 53e cycles du calendrier hégirien démarrent respectivement en 1531AH et 1561AH, alors ces deux cycles démarrent dans l'intervalle [2106AG, 2138AG]. On se rappelle aussi que les 5e et 6e cycles démarrent en 121AH pour le premier et en 151AH s'agissant du second et donc à l'intérieur de l'intervalle [737AG, 770AG] où 737AG et 770AG correspondent respectivement à 119AH et 153AH. On en déduit que les 52e et 53e cycles

du calendrier hégirien se présentent dans les mêmes formes que les 5e et 6e cycles de part et d'autre du 29e cycle. Ce résultat conforte l'idée émise plus haut de distribution symétrique des cycles du calendrier hégirien selon la date de leur démarrage par rapport au milieu du 29ème cycle. L'année grégorienne concordante 1454AG (équivalente à celle hégirienne concordante 858AH) est donc un centre principal de symétrie (CPS). Comme l'étendue de l'intervalle] 640AG, 1454AG] vaut 814AG, on en déduit alors que la borne supérieure de son symétrique par rapport à 1454AG correspond à l'année grégorienne 2268AG. Ainsi, le grand intervalle] 640AG, 2268AG] obtenu a une étendue valant 1628AG. Cette valeur représente la directrice (D) de la surface cylindrique ci - dessus mentionnée. Les années couplantes1047AG et 1861AG, milieux respectifs des intervalles] 640AG, 1454AG] et] 1454AG, 2268AG] et symétriques par rapport à 1454AG, sont des centres secondaires de symétrie (CSS) cumulativement génératrices intermédiaires de la même surface cylindrique. Chacune de ces deux dernières génératrices subdivise son intervalle d'appartenance en deux ensembles d'égales étendues de 407AG. Il est également intéressant de relever que l'ACp 1047AG agit pour assurer une relation bijective entre les années grégoriennes de l'intervalle] 1030AG, 1063AG] et celles hégiriennes de son intervalle correspondant] 421AH, 455AH]. Quant à l'ACp 1861AG, elle garantit une bijection entre les années grégoriennes de]1845AG, 1878AG] et celles hégiriennes de]1261AH, 1295AH]. Les ACp 1047AG et 1861AG couplent ainsi respectivement 438/439AH et 1277/1278AH. Enfin, en tant que génératrices intermédiaires, 1047AG couple les génératrices 1030AG (vers sa gauche) et 1063AG (vers sa droite) tandis que 1861AG couple dans les mêmes formes les génératrices 1845AG et 1878AG. Les génératrices 1030AG, 1063AG, 1845AG et 1878AG sont des années grégoriennes concordantes.

3-1-2. Période de base du temps

Les étendues des intervalles, bornés par deux années concordantes (ACc) consécutives, forment (*Tableau 3*) une série alternée de 32 et 33 AG soit 33 et 34 AH à l'exception de celle de]1551, 1585] du calendrier grégorien équivalent à]958AH, 993AH] dans celui hégirien. Dans ce dernier cas, l'étendue de l'intervalle est de 34AG soit 35AH. Par ailleurs, l'alternance des valeurs des étendues susmentionnées s'inverse par moment pour former une nouvelle suite alternée de 33AG et 32AG soit 34AG et 33AH. Tous ces éléments constituent des singularités dont il faudrait tenir compte lors des opérations ultérieures de simulation des modules pluviométriques annuels. A l'issue de la détermination de toutes les années concordantes sur l'intervalle]640AG, 2268AG], il est possible de dire ***(Figure 2)*** que le temps admet au cours de son évolution un grand cycle de 1628AG (soit 1678AH) se décomposant en 22 périodes de 65AG chacune et 3 périodes de durée unitaire de 66AG. Ainsi, la durée N = 65AG, soit 67AH, représente la période de base du temps et correspond à la partie entière de la valeur moyenne des 25 périodes susmentionnées. Cette période, qui est l'une des valeurs la plus stable, se présente également comme la somme de deux demi-périodes consécutives de 32AG et 33AG de durée.

Tableau 3 : *Étendues des intervalles caractéristiques de 19 à 1496AH soit 640 à 2073AG*

Rang des intervalles	Années concordantes		Etendues des intervalles bornés par deux ACc consécutives		Etendues des intervalles bornés par des ACc_i et ACc_{i+2}	
	Hégiriennes (AH_i)	Grégoriennes (AG_i)	AH_i - AH_{i-1}	AG_i – AG_{i-1}	AH_{i+2} - AH_i	AG_{i+2} – AG_i
	19	640	-	-	-	-
1	52	672	33	32	-	-
2	86	705	34	33	67	65
3	119	737	33	32	67	65
4	153	770	34	33	67	65
5	186	802	33	32	67	65
6	220	835	34	33	67	65
7	253	867	33	32	67	65
8	287	900	34	33	67	65
9	321	933	34	33	68	66
10	354	965	33	32	67	65
11	388	998	34	33	67	65
12	421	1030	33	32	67	65
13	455	1063	34	33	67	65
14	488	1095	33	32	67	65
15	522	1128	34	33	67	65
16	555	1160	33	32	67	65
17	589	1193	34	33	67	65
18	623	1226	34	33	68	66
19	656	1258	33	32	67	65
20	690	1291	34	33	67	65
21	723	1323	33	32	67	65
22	757	1356	34	33	67	65
23	790	1388	33	32	67	65
24	824	1421	34	33	67	65
25	858	1454	34	33	68	66
26	891	1486	33	32	67	65
27	925	1519	34	33	67	65
28	958	1551	33	32	67	65
29	993	1585	35	34	68	66
30	1026	ACc-7 1617	33	32	68	66
31	1060	ACc-6 1650	34	33	67	65
32	1093	ACc-5 1682	33	32	67	65
33	1127	ACc-4 1715	34	33	67	65
34	1161	ACc-3 1748	34	33	68	66
35	1194	ACc-2 1780	33	32	67	65
36	1228	ACc-1 1813	34	33	67	65
37	1261	ACc0 1845	33	32	67	65
38	1295	ACc1 1878	34	33	67	65
39	1329	ACc2 1911	34	33	68	66
40	1362	ACc3 1943	33	32	67	65
41	1396	ACc4 1976	34	33	67	65
42	1429	ACc5 2008	33	32	67	65
43	1463	ACc6 2041	34	33	67	65
44	1496	ACc7 2073	33	32	67	65

En considérant que les génératrices consécutives sont distantes de 130AG (et exceptionnellement 131AG), alors les années grégoriennes concordantes 770AG, 900AG, 1193AG et 1323AG sont des génératrices « secondaires » de la surface cylindrique situées à gauche du CPS 1454AG. Toutefois, il est important de relever que les années concordantes 1030AG et 1063AG, également génératrices secondaires, ne sont séparées que de 33AG. Ceci constitue une singularité car ces deux génératrices encadrent celle 1047AG qui, en tant qu'année couplante et centre secondaire de symétrie, a la faculté également de les coupler. Pour les génératrices secondaires sises à droite du CPS 1454AG, le même constat réalisé pour les génératrices encadrant 1047AG est aussi valable dans le cas des génératrices 1845AG et 1878AG encadrant 1861AG qui

est à la fois génératrice secondaire et centre secondaire de symétrie. Les différentes singularités, qui viennent d'être mises en évidence, seront valorisées lors de la simulation des pluies annuelles. Les génératrices secondaires au titre des ACc ci-dessus indiquées admettent, par rapport au CPS 1454AG, les génératrices symétriques respectives 2138AG, 2008AG, 1715AG et 1585AG. Ainsi, sur le grand cycle de 1628AG (correspondant à la directrice (D) de la surface cylindrique), le temps se présente comme une fonction discontinue (des mouvements solaires et lunaires) en raison de la durée singulière de 33 ans séparant les deux paires de génératrices consécutives (1030AG, 1063AG) et (1845AG, 1878AG). Cette discontinuité est par la suite « rectifiée » à l'aide des CSS 1047 et 1861 ayant la faculté, chacune en ce qui la concerne, de coupler les deux génératrices secondaires les encadrant. Le temps redevient alors continu sur la durée.

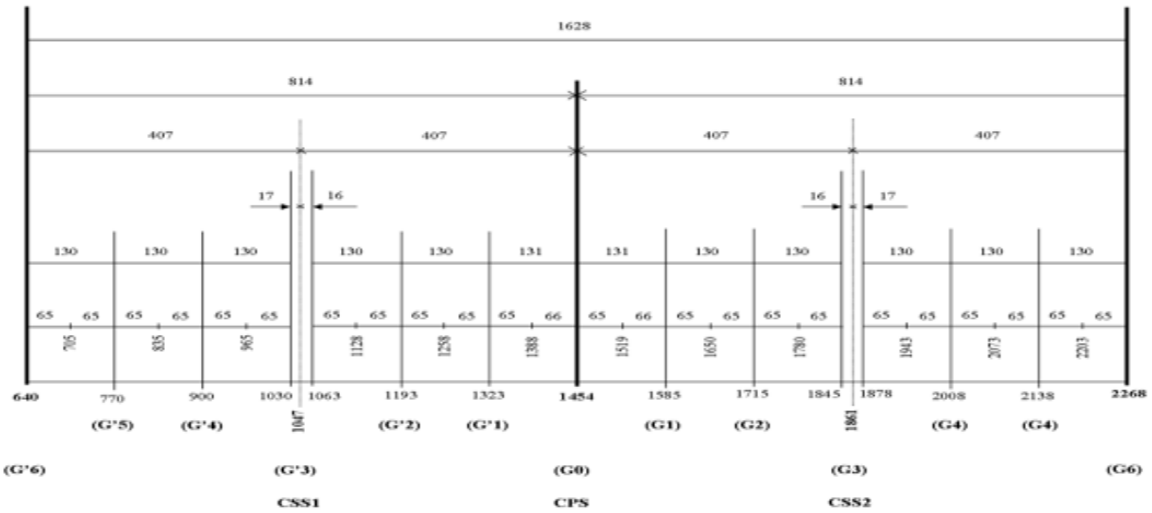

Figure 2 : *Principaux intervalles caractéristiques de 640AG à 2268AG*

Enfin, en enroulant la ***Figure 2*** de sorte que les génératrices principales 640AG et 2268AG coïncident, on obtient la structure granulaire du temps de 1628AG de circonférence avec les génératrices principales 640AG, 1047AG, 1454AG et 1861AG servant de sommets au diamètre du cercle tenant lieu de base du cylindre.

3-2. Modélisation des séries des modules pluviométriques annuels

3-2-1. Considérations préalables

Le modèle mathématique de prédiction des modules pluviométriques annuels se déduit de la condition de non-biais de la moyenne arithmétique (3-2-2). Comme les deux plus anciennes stations d'observations pluviométriques du Niger (Niamey Ville et Zinder Aéroport) ne furent installées qu'en 1905 alors l'ACc1911 sert de borne inférieure pour la première période de base de 65AG. C'est comme si on a ajouté à 1845AG la quantité « 33AG x 2 = 66AG » représentant la période de base par excès. La même ACc1911 peut également s'obtenir en ajoutant directement 33AG à l'ACc génératrice 1878AG. Ce processus illustre le caractère rotationnel du temps lors de son évolution dans l'intervalle [1845, 1878]. Dans le cas des stations de seconde génération installées au début des années 1920, il suffit tout simplement d'ajouter 65AG au CSS 1861AG pour obtenir son image qu'est l'ACp 1926AG. On notera que, pour l'ACp 1926AG, il suffit d'une simple translation de 1861AG avec la valeur 65AG. Ainsi, les opérations d'investigations dans le cadre de la modélisation des modules pluviométriques annuels peuvent être conduites en utilisant selon que de besoin les intervalles]1911, 1976],]1926, 1991],]1943, 2008],]1959, 2024], etc. en leur qualité de périodes de référence de base bornées par soit des années concordantes soit des années couplantes.

3-2-2. Modèle de prédiction des modules pluviométriques annuels

La condition d'universalité de la moyenne arithmétique calculée sur la période de 65 ans s'exprime par:

$$\sum_{i=n-1}^{N+n-2}\left(P_i - \overline{P}_{n-1}\right) = 0 \qquad (3)$$

au niveau de la moyenne $\overline{P}_{n-1}$ de rang (n-1)
et

$$\sum_{i=n}^{N+n-1}\left(P_i - \overline{P}_{n}\right) = 0 \qquad (4)$$

au niveau de la moyenne $\overline{P}_{n}$ de rang n.

En soustrayant deux à deux les termes correspondants des deux ***Équations (3) et (4),*** on obtient :

$$P_{N+n-1} - N\overline{P}_n - P_{n-1} + N\overline{P}_{n-1} = 0.$$

On en déduit alors l'égalité suivante :

$$P_{N+n-1} - P_{n-1} = N(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1}) \qquad (5)$$

où, P_{N+n-1} : pluie annuelle de rang "N+n-1" à prédire; P_{n-1} : pluie annuelle de rang "n-1"ou pluie annuelle antécédente de P_{N+n-1} ; $\overline{P}_n$: pluie moyenne interannuelle de rang "n" des pluies annuelles de rang "n" à "N+n-1" ; $\overline{P}_{n-1}$: pluie moyenne interannuelle de rang "n-1" des pluies annuelles de rang "n-1" à "N + n-2" ; et N : période du régime des pluies annuelles prise égale à 65 ans.

Etant donné que $N\left(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1}\right) = \sum_{n}^{N+n-1} P_i - \sum_{n-1}^{N+n-2} P_i$, alors ***l'Équation (5)*** est une formule exacte. L'équation du modèle mathématique de prédiction de la pluie annuelle de rang "N + n-1" (en fonction de la pluie annuelle antécédente P_{n-1}, de la moyenne pluviométrique annuelle $\overline{P}_n$ et de son antécédente $\overline{P}_{n-1}$), s'exprime par la relation :

$$P_{N+n-1} = P_{n-1} + N\left(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1}\right) \qquad (6)$$

Le modèle de prédiction des pluies annuelles ainsi construit est un modèle universel car ne comportant aucun paramètre à caractère régional. Son ***Équation*** est constituée :

- d'une composante principale, $C_p = P_{n-1}$, assimilable à une composante homothétique de rapport d'homothétie k = 1 ; et
- d'une composante fluctuante, $C_f = N(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1})$, représentant une composante de translation.

En posant l'écart relatif entre deux moyennes pluviométriques interannuelles consécutives $\varepsilon_n = \left(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1}\right)/\overline{P}_{n-1}$, alors ***l'Équation (6)*** devient :

$$P_{N+n-1} = P_{n-1} + N\varepsilon_n \overline{P}_{n-1} \qquad (7)$$

Cette ***Équation (7)*** est celle qui sera utilisée pour les besoins ultérieurs de simulation des pluies annuelles en raison de l'aspect pratique de sa présentation et également de la valorisation de la variabilité de la pluie moyenne interannuelle.

3-2-3. Contrôle de la condition de non biais de la moyenne arithmétique

La vérification de la condition de non biais (ou condition d'universalité) de la moyenne arithmétique $\hat{\mu} = E(\overline{X}) = \overline{X}$ se réalise à l'aide d'un estimateur $\hat{\theta}(\overline{P})$ ci-dessous défini. Comme N = 65AG est la somme des deux demi - périodes n_1 et n_2, représentant les étendues de deux intervalles successifs de bornes consécutives ACc_i et ACc_{i+1} pour le premier et ACc_{i+1} et ACc_{i+2} pour le second (ou bien les intervalles] ACp_i, ACp_{i+1}] et] ACp_{i+1}, ACp_{i+2}]), alors l'estimateur $\hat{\theta}(\overline{P})$ s'exprime par la relation :

$$\hat{\theta}(\overline{P}) = \sum_{i=1}^{n_1}(P_i - \overline{P}) + \sum_{i=n_1+1}^{n_1+n_2}(P_i - \overline{P}) \tag{8}$$

En vertu des ***Équations (3) et (4)*** ci - dessus, l'estimateur $\hat{\theta}(\overline{P})$ peut également s'exprimer par la relation :

$$\hat{\theta}(\overline{P}) = \sum_{i=1}^{N}(P_i - \overline{P}) = 0 \tag{9}$$

où, P_i : pluie annuelle de rang « i » sur la période définie par]ACc_i, ACc_{i+2}] ou] ACp_i, ACp_{i+2}] ; $\overline{P}$: pluie moyenne annuelle sur 65ans de la période considérée ; n_1 : taille de l'échantillon des P_i dans] ACc_i, ACc_{i+1}] ou] ACp_i, ACp_{i+1}] avec n_1 valant 32 ou 33 ; n_2 : taille de l'échantillon des P_i dans] ACc_{i+1}, ACc_{i+2}] ou] ACp_{i+1}, ACp_{i+2}] avec $n_2 = 33$ quand $n_1 = 32$ et $n_2 = 32$ lorsque $n_1 = 33$; N : période de base du temps prise comme étant celle du régime des pluies annuelles avec $N = n_1 + n_2 = 65$ ans.

En posant $\overline{P}_1$, la moyenne des pluies annuelles sur]ACc_i, ACc_{i+1}] (ou] ACp_i, ACp_{i+1}]) et $\overline{P}_2$ celle sur] ACc_{i+1}, ACc_{i+2}] (ou] ACp_{i+1}, ACp_{i+2}]), alors ***l'Équation (8)*** devient :

$$\hat{\theta}(\overline{P}) = n_1\overline{P}_1 + n_2\overline{P}_2 - (n_1 + n_2)\overline{P} \tag{10}$$

Les valeurs calculées de $\hat{\theta}(\overline{P})$ à Niamey – Ville et Zinder Aéroport sur les périodes de base 1912/1976, 1927/1991 et 1944/2008 ***(Tableau 4)*** donnent $\left|\hat{\theta}(\overline{P})\right|_{\max} = 3{,}6mm$ à Niamey Ville sur 1944/2008 et $\left|\hat{\theta}(\overline{P})\right|_{\max} = 0{,}6mm$ à Zinder Aéroport sur 1912/1976.

Sachant que la précision d'instrumentation admissible des pluies mensuelles est de ± 1mm, soit ± 12mm pour les modules pluviométriques annuels, on peut conclure que $\mathrm{N} = 65\mathrm{AG}$, i.e. $\mathrm{N} = 67\mathrm{AH}$, représente effectivement la valeur recherchée de la période du régime des pluies annuelles.

Tableau 4 : *Évaluation de $\hat{\theta}(\overline{P})$ à Niamey – Ville et Zinder Aéroport*

Station	Période de base				Pseudo – période 1		Pseudo – période 2		$n_1\overline{P}_1 + n_2\overline{P}_2$ (mm)	$\hat{\theta}(\overline{P})$ (mm)
	Période	N (ans)	$\overline{P}$ (mm)	$N\overline{P}$	n_1 (ans)	$\overline{P}_1$ (mm)	n_2 (ans)	$\overline{P}_2$ (mm)		
Niamey - Ville	1912/1976	65	574,5	37342,5	32	566,6	33	582,2	37343,8	+1,3
	1927/1991	65	568,6	36959,0	33	589,2	32	547,4	36960,4	+1,4
	1944/2008	65	569,8	37037,0	33	582,2	32	556,9	37033,4	-3,6
Zinder Aéroport	1912/1976	65	491,5	31947,5	32	488,8	33	494,1	31946,9	-0,6
	1927/1991	65	479,1	31141,5	33	543,6	32	412,6	31142,0	+0,5
	1944/2008	65	446,4	29016,0	33	494,1	32	397,2	29015,7	-0,3

3-2-4. Test de validation du modèle

L'estimateur $\hat{\theta}(P)$, pour les besoins de conduite du test de validation du modèle de prédiction des pluies annuelles, prend la forme ci-dessous déduite de ***l'Équation (5)***:

$$\hat{\theta}(P) = \left[\left(P_{N+n-1} - P_{n-1}\right) - N\left(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1}\right)\right] \tag{11}$$

Tableau 5 : *Estimateur $\hat{\theta}(P)$ à Zinder Aéroport et Niamey-Ville de 1913/1977 à 1944/2008*

Rang de la période	Période	Zinder Aéroport			Niamey – Ville		
		$a = P_{N+n-1} - P_{n-1}$ (mm)	$b = N(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1})$ (mm)	$\hat{\theta} = a - b$ (mm)	$a = P_{N+n-1} - P_{n-1}$ (mm)	$b = N(\overline{P}_n - \overline{P}_{n-1})$ (mm)	$\hat{\theta} = a - b$ (mm)
2	1913-1977	41,7	45,5	-3,8	93,8	97,5	-3,7
3	1914-1978	378,1	377,0	1,1	348,4	344,5	3,9
4	1915-1979	52,2	52,0	0,2	150,5	149,5	1
5	1916-1980	121,9	117,0	4,9	176,9	182,0	-5,1
6	1917-1981	-331,2	-325,0	-6,2	-118,0	-123,5	5,5
7	1918-1982	91,9	91,0	0,9	-8,2	-6,5	-1,7
8	1919-1983	-322,9	-325,0	2,1	-86,5	-84,5	-2
9	1920-1984	-63,3	-65,0	1,7	-376,0	-377,0	1
10	1921-1985	-88,3	-84,5	-3,8	-118,3	-117,0	-1,3
11	1922-1986	50,8	45,5	5,3	-131,2	-130,0	-1,2
12	1923-1987	-270,3	-266,5	-3,8	-200,8	-201,5	0,7
13	1924-1988	108,4	110,5	-2,1	-19,2	-19,5	0,3
14	1925-1989	-123,7	-123,5	-0,2	-29,0	-32,5	3,5
15	1926-1990	-315,3	-318,5	3,2	-209,2	-208,0	-1,2
16	1927-1991	-137,9	-136,5	-1,4	143,8	143,0	0,8
17	1928-1992	-177,9	-182,0	4,1	-234,6	-234,0	-0,6
18	1929-1993	-342,1	-338,0	-4,1	-58,1	-58,5	0,4
19	1930-1994	7,5	6,5	1	-148,8	-149,5	0,7
20	1931-1995	-198,0	-195,0	-3	-281,4	-279,5	-1,9
21	1932-1996	-285,5	-286,0	0,5	-5,5	-6,5	1
22	1933-1997	-305,1	-305,5	0,4	-46,9	-45,5	-1,4
23	1934-1998	-19,0	-19,5	0,5	710,1	708,5	1,6
24	1935-1999	-6,1	-6,5	0,4	182,6	182,0	0,6
25	1936-2000	-91,8	-91,0	-0,8	-63,0	-58,5	-4,5
26	1937-2001	-241,9	-240,5	-1,4	-104,7	-104,0	-0,7
27	1938-2002	-64,3	-65,0	0,7	14,3	13,0	1,3
28	1939-2003	133,7	130,0	3,7	40,7	39,0	1,7
29	1940-2004	-313,7	-312,0	-1,7	27,0	26,0	1
30	1941-2005	80,7	78,0	2,7	219,7	221,0	-1,3
31	1942-2006	-14,1	-13,0	-1,1	-9,9	-6,5	-3,4
32	1943-2007	57,1	58,5	-1,4	-69,2	-71,5	2,3
33	1944-2008	-342,4	-344,5	2,1	-99,8	-97,5	-2,3

En vertu de ***l'Équation (5),*** $\hat{\theta}(P)$ est en principe nul. Ainsi, cet estimateur permet de statuer sur la performance du modèle à reproduire des valeurs de pluies annuelles prédites suffisamment proches de celles observées. Les itérations effectuées pour les stations de Niamey - Ville et de Zinder Aéroport sur les périodes 1913/1977 à 1944/2008 ***(Tableau 5)***, sachant que la période de base est]1911, 1976], fournissent $\left|\hat{\theta}(P)\right|_{\max}$ de 5,5 mm et 6,2 mm respectivement pour la première et la seconde stations. Les écarts constatés sont admissibles du moment que la précision sur les pluies annuelles est de $\pm$ 12 mm. Ils peuvent toutefois s'expliquer par les arrondis des valeurs des moyennes pluviométriques interannuelles établies à 0,1 mm près ou des précisions des instruments de mesures. Le même exercice, conduit pour les stations de Tillabéry, Tahoua et Agadez pour les années 1987 à 2003 ***(Tableau 6)***, donne des valeurs de $\left|\hat{\theta}(P)\right|_{\max}$ de 5,3 mm, 5,5 mm et 4,5 mm respectivement à chacune des trois stations précitées.

Tableau 6 : *Différences entre (P_{N+n-1} - P_{n-1}) et $N\varepsilon_n \overline{P}_{n-1}$ pour 3 stations de 1987 à 2003*

Années de prédiction	$a = P_{N+n-1} - P_{n-1}$ (mm)			$b = N\varepsilon_n \overline{P}_{n-1}$ (mm)			$\hat{\theta} = a - b$ (mm)		
	Tillabéry	Tahoua	Agadez	Tillabéry	Tahoua	Agadez	Tillabéry	Tahoua	Agadez
1987	-	-96,5	-118,7	-	-97,3	-117,1	-	0,8	1,6
1988	-90,8	-101,9	-18,6	-91,3	-104,3	-19,8	0,5	2,4	1,2
1989	-26,7	12,6	10,8	-26,4	12,4	13,1	-0,3	0,2	-2,3
1990	-120,5	62,6	-16,9	-123,2	64,4	-19,7	2,7	-1,8	2,8
1991	106,6	281,3	79,8	111,0	280,4	77,8	-4,4	0,9	2,0
1992	-279,0	-83,2	22,5	-278,5	-85,3	25,5	-0,5	2,1	-3,0
1993	-70,3	-52,0	34,9	-72,6	-52,5	32,2	2,3	0,5	2,7
1994	29,4	286,8	76,8	26,1	287,0	78,0	3,3	-0,2	-1,2
1995	-183,4	-7,6	-104,3	-182,6	-7,6	-103,6	-0,8	0,0	-0,7
1996	18,1	10,1	-130,8	20,2	12,6	-130,0	-2,1	-2,5	-0,8
1997	-146,0	-184,0	-5,7	-144,1	-181,8	-6,6	-1,9	-2,2	0,9
1998	159,0	83,2	39,6	154,9	77,7	39,3	4,1	5,5	0,3
1999	-155,2	154,8	61,2	-155,5	155,9	58,2	0,3	-1,1	3,0
2000	-133,0	-63,4	-88,6	-129,1	-65,8	-84,1	-3,9	2,4	-4,5
2001	-151,7	-233,8	-155,8	-157,0	-234,7	-156,4	5,3	0,9	0,6
2002	-164,6	48,6	-1,1	-161,9	52,5	0,0	-2,7	-3,9	-1,1
2003	138,1	150,9	26,3	135,5	150,3	25,8	2,6	0,6	0,5

Au regard de ces différents résultats, on peut indiquer que :

- le modèle mathématique de prédiction des hauteurs des précipitations annuelles est validé ; et
- le régime des précipitations annuelles est cyclique et admet une période de base de 65AG.

Cette périodicité de 65 ans du régime des modules pluviométriques annuels est à rapprocher du cycle de 60ans du changement simultané des tâches solaires et du climat [17]. Les demi - périodes consécutives de 32ans et 33ans, dont la somme est égale à la période de base de 65ans du temps (3-1-2), représentent chacune la somme de deux périodes élémentaires de valeurs comprises entre 15ans et 17ans. Ces dernières correspondent à des étendues d'intervalles successifs bornés par des années concordantes et couplantes consécutives. Les pluies moyennes annuelles de ces périodes élémentaires peuvent être utiles dans l'appréciation de l'évolution des chroniques des modules pluviométriques annuels d'une zone sur des durées de 15, 16 et 17ans. La période élémentaire la plus sèche est celle 1977/1991 aussi bien à Niamey - Ville qu'à Zinder Aéroport. Quant aux plus humides, elles correspondent à 1992/2008 et 1927/1943 pour Niamey – Ville et à 1944/1959 pour Zinder Aéroport ***(Tableau 7)***.

Tableau 7 : *Évolution des pluies moyennes annuelles des périodes élémentaires de l'intervalle]1911, 2008] à Niamey – Ville et Zinder Aéroport (mm)*

Station \ Période	1912 - 1926	1927 - 1943	1944 - 1959	1960 - 1976	1977 - 1991	1992 - 2008
Niamey - Ville	(515,6)	606,4	571,0	592,7	496,0	610,7
Zinder Aéroport	431,0	539,8	547,5	443,9	377,1	415,0

La sévérité et la persistance des séquences sèches des années 1970 et 1980 [18] sont suffisamment mises en évidence par Zinder Aéroport. Même si la période élémentaire 1992/2008 à cette station est plus sèche que celles 1912/1926 et 1960/1976, elle marque néanmoins un retour à des conditions humides voire plus humides [18] surtout au regard de la pluie moyenne annuelle de Niamey - Ville [19]. Le modèle de prédiction des modules pluviométriques annuels est un modèle auto-corrélé purement déterministe qui s'apparente

dans sa forme à un modèle autorégressif d'ordre 1 (AR(1)) d'expression $X_i = \rho_1 X_{i-1} + \varepsilon_i$. Toutefois, les deux modèles diffèrent car celui autorégressif (ou markovien) est stochastique avec le terme ε_i aléatoire. Par ailleurs, l'équation du modèle mathématique de prédiction des modules pluviométriques annuels est une solution périodique. A propos des solutions périodiques, il est dit que « Ce qui rend ces solutions périodiques aussi précieuses, c'est qu'elles sont pour ainsi dire, la seule brèche par où nous puissions pénétrer dans une place jusqu'ici réputée inabordable » [20]. C'est justement cette périodicité de ***l'Équation (6)*** de prédiction des pluies annuelles qui sera exploitée lors de l'exercice de simulation des valeurs desdites pluies. Ainsi, on pourra recourir aux théories de l'analyse vectorielle pour construire l'essentiel des outils mathématiques nécessaires à la mise en œuvre de ce modèle. Le but de ces outils consiste en la formulation d'une fonction - type permettant la détermination des valeurs des écarts relatifs ε_n de ***l'Équation (7)*** ci - haut. En effet, pour une année dont la pluie doit être prédite, les valeurs de la pluie annuelle antécédente P_{n-1} et de la pluie moyenne annuelle $\overline{P}_{n-1}$ sont constantes. La seule et unique variable est donc l'écart relatif des deux pluies moyennes annuelles consécutives. En somme, la résolution de l'équation de prédiction des modules pluviométriques annuels revient à engager une analyse infinitésimale suivie d'un retour à des quantités finies [12]. Cette méthode de prévision des pluies annuelles diffère de celles jusqu'ici utilisées pour la même problématique dans la zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest [19, 21, 22].

4. Conclusion

L'exploitation des méthodes du savoir local de prévision des saisons des pluies à partir des mouvements lunaires et solaires a permis de prouver que le temps est cyclique. Ainsi, sur la durée, le temps est une surface cylindrique dont les génératrices constituées par des années concordantes (ACc) et couplantes (ACp) s'appuient sur une directrice (D) valant 1628 années grégoriennes. Ces générations, en tant qu'années-repères, subdivisent le temps en 25 périodes dont la valeur moyenne est $T = 65{,}12$ ans grégoriens. La période de base du temps est donc $N = 65$ans grégoriens correspondant à la partie entière de la moyenne T susmentionnée. Elle est la somme de deux demi-périodes de 32 et 33 ans grégoriens chacune. Ces demi-périodes, bornées par soit deux années concordantes consécutives soit deux années couplantes consécutives, sont également la somme de deux périodes élémentaires (délimitées par des années concordantes et couplantes successives) variant entre 15 et 17 ans grégoriens. En transposant la période de base (stable) $N = 65$ ans grégoriens du temps aux séries des modules pluviométrique annuels et en usant de la condition d'universalité de la moyenne arithmétique, on déduit l'équation du modèle mathématique de prédiction des pluies annuelles. Cette équation est une solution périodique et une formule exacte. Elle a été validée à partir des chroniques pluviométriques annuelles des cinq (5) plus anciennes stations d'observations de la Direction de la Météorologie Nationale grâce à un estimateur construit à l'aide de la même condition d'universalité de la moyenne arithmétique. Comme résultats importants dégagés, il faut relever la possibilité qu'offre la méthode pour bien visualiser les séquences humides, sèches et normales sur des intervalles caractéristiques du temps balisés par des années-repères. Ces durées, qui peuvent être considérées comme des valeurs standard, varient de 15 à 17 ans pour des périodes élémentaires, de 32 à 33 ans pour des demi-périodes et de 65 ans pour les périodes de base. Le modèle ainsi conçu est global et purement déterministe. Par conséquent, des théories appropriées de l'analyse vectorielle seront utilisées pour sa mise en œuvre. Elles permettront la formulation d'une fonction-type (d'une seule variable réelle) et des outils de sa résolution susceptibles de déterminer, pour chaque pluie annuelle à prédire, l'écart relatif des pluies moyennes annuelles consécutives correspondantes. La valeur de cet écart relatif alors obtenue sera ensuite utilisée dans *l'Équation (7)* de l'équation de prédiction des pluies annuelles. Ce sera donc une analyse infinitésimale suivie d'un retour à des quantités finies qui sera engagée.

Références

[1] - Organisation Météorologique Mondiale, "Guide des Pratiques Hydrologiques", Ed. Les éditions OMM, Genève, Vol., N°168 (1996) 793 p.

[2] - UNESCO/OMM, "Aspects hydrologique des sécheresses", Ed. Les Éditions Duculot, Gembloux, (1987) 172 p.

[3] - J. SIRCOULON, in "Colloque International sur la Révision des Normes hydrologiques suite aux indices de la sécheresse", Ed. Les Editions du CIEH, Ouagadougou, (1986) 14 p.

[4] - WMO / UNEP, "Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques", Ed. Cambridge University Press, Cambridge, (1987) 158 p.

[5] - E. BOYD, R. J. CORNFORTH, P. J LAMB and A. TARHULE, M. I. LELE and A. BROUDER, *Nat. Clim. Chang.*, 3 (2013) 631-637, htttps://www.nature.com/articles (Octobre 2014)

[6] - C. BENSON and E. J. CLAY, *IDS Bull.*, 25 (1994) 24-32, https://www.odi.org (Décembre 2008)

[7] - Calendriers Saga, "*Eres et cycles"*, 1 - 15, https://www.louisg.net/Ere (Décembre 2005)

[8] - Calendriers Saga, "*Le calendrier musulman",* 1 - 10*,* https://www.louisg.net/c (Décembre 2005)

[9] - G. JAVAUX, "Le calendrier lunaire", http://perso.orange.fr/pgj/calendar.htm (Décembre 2006-Décembre 2008)

[10] - ORSTOM/CIEH, "République du Niger: Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965", Ed. Les éditions ORSTOM, Paris, (1976) 505 p.

[11] - M. V. K. SIVAKUMAR, A. MAIDOUKIA et R. D. STERN, "Agro-climatologie de l'Afrique de Ouest : Le Niger", Ed. Les Editions de ICRISAT, *Pantacheru, Bul.*, N°5 (1993) 108 p.

[12] - G. CHILOV, "Analyse mathématique : Fonctions de plusieurs variables réelles", Ed. Les Editions Mir, Moscou, 1ére et 2e parties, (1975) 552 p.

[13] - J. W. DELLEUR, *La Houille Blanche,* Ed. La Houille Blanche, Paris, Vol., N°6 (1978) 391 - 400

[14] - J. W. DELLEUR, "Hydrologie Stochastique", Module d'enseignement, Institut du Génie Rural/ Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, (1985) 36 p.

[15] - J. P. FORTIN, "Modèles hydrologiques", Module d'enseignement, Institut du Génie Rural / Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, (1985) 94 p.

[16] - J. M. GIOVANNONI, "Analyse des Séries Temporelles", Module d'enseignement, Institut du Génie Rural / Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, (1985) 59 p.

[17] - T. NIROMA, "The Effect of Solar Variability on Climate : Sunspots and Temperature", Finnish Meteorological Institute, Helsinki, www.tilmari.pp.fi (mars 2009)

[18] - P. OZER, Y. C. HOUNTONDJI et O. L. MANZO, *Geo-Eco-Trop,* 33 (2009) 11 - 30, https://www.geocotrop.be (Février 2013)

[19] - V. BIGI, A. PEZZOLI and M. ROSSO, *Climate*, 6 (73) (2018) 1 - 16, https://www.mdpi.com/journal/climate (Novembre 2018)

[20] - Institut Henri Poincaré, "Henri Poincaré, de l'homme à l'institut : Poincaré et le problème des 3 corps", 1-5, http://www.caré.fr/compoment/k2/item/ (Février 2011)

[21] - V. MORON*, Int.J.Climatol,* 17 (8) (1997) 785 - 805, http://www.dx.doi.org/10.1002/joc.153 (Octobre 2011)

[22] - R. CHAMANI, D. MONKAM and Z. Y. DJOMOU, *Atmospheric Research*, 212 (2018) 77 - 90, http://wwwelsevier.com/collate/atmosres (Septembre 2018)