

Annexe VIII : Calcul de l'Evapotranspiration par la méthode de « Thornthwaite ».**Tableau Coefficient de correction $F(m,\phi)$ de la formule de Thornthwaite.**

Source : Monographie N°65 de la Météorologie Nationale, 1968.

Lat, N,	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.16	1.16	1.17	1.13	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
Lat, S,												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	1.00	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

Annexe IX : Classification du climat de la région Analamanga en fonction de l'indice d'aridité de E. de Martonne

Afin de caractériser le climat général d'une région du monde, on utilise les valeurs suivantes, dans le Tableau ci-dessous (afin d'établir ces seuils, E. de Martonne a effectué un travail d'étude de corrélation entre la valeur de cet indice et le type de végétation observé)

Classement des indices d'aridité de E. de Martonne

Source : Auteur, ORSTOM

Valeur de I	Type de climat	Type de végétation potentielle
0 à 5	Hyper aride	Désert absolu
5 à 10	Aride	Désert
10 à 20	Semi-aride	Steppe
20 à 30	Semi-humide	Prairie naturelle, forêt
30 à 40	Humide	Forêt
40 à 55	Humide	Forêt

Cet indice (annuel ou mensuel) se calcule de la façon suivante :

❖ Indice annuel :

$$I = \frac{P}{(T + 10)} \quad (67)$$

❖ Indice mensuel :

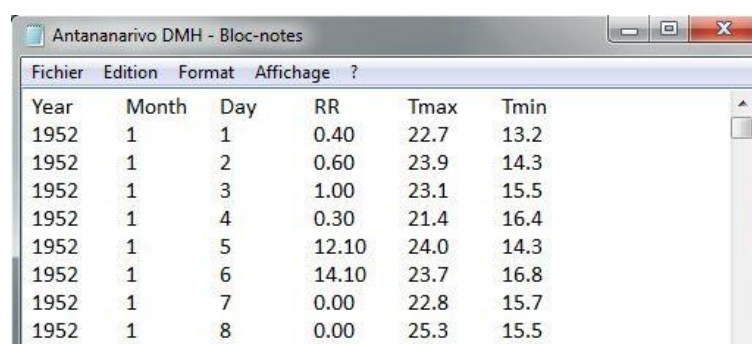
$$I = \frac{12 \times P}{(T + 10)} \quad (68)$$

Avec P = précipitations totales annuelles (mensuelles si indice calculer mensuellement), T = température moyenne annuelle (ou mensuelle).

Tous les calculs ont été faits sur Excel, nous utiliserons les données de précipitations moyenne entre 1971-2000, de même pour les températures, afin de calculer les indices respectifs des deux stations, Antananarivo et Ivato

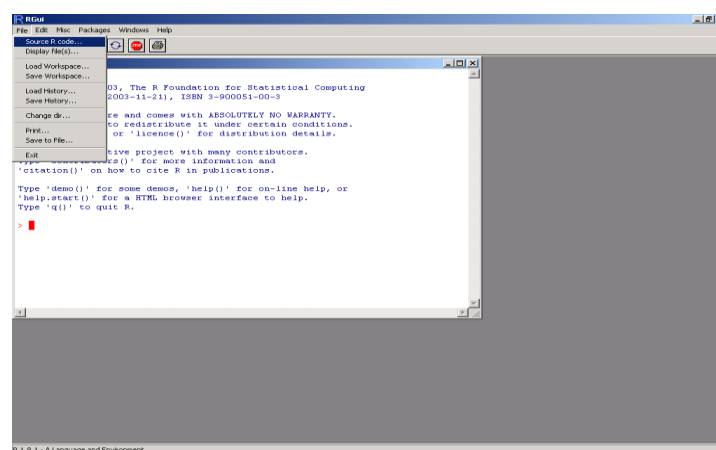
Annexe X : Procédure du contrôle de qualité sous RClimdex.

Premièrement, on dispose les données (Température maximale et minimale requises) dans un fichier texte en l'enregistrant sous « Antananarivo DMH.txt » dans le dossier contenant le package RClimdex, comme l'image ci-dessous.

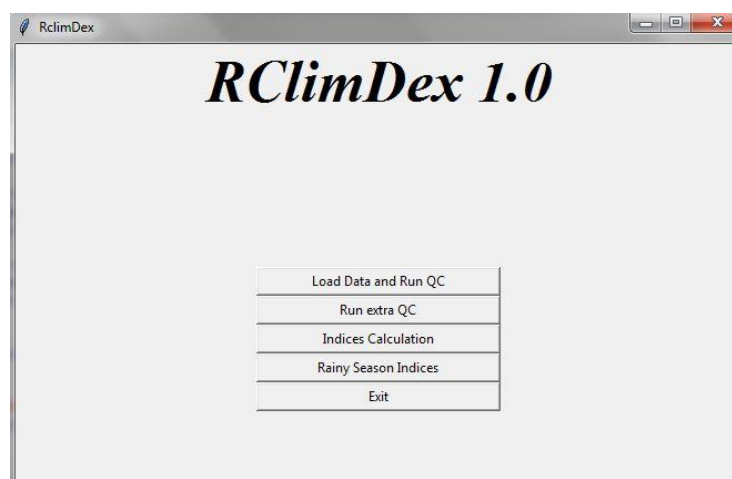


Fichier	Edition	Format	Affichage	?	
Year	Month	Day	RR	Tmax	Tmin
1952	1	1	0.40	22.7	13.2
1952	1	2	0.60	23.9	14.3
1952	1	3	1.00	23.1	15.5
1952	1	4	0.30	21.4	16.4
1952	1	5	12.10	24.0	14.3
1952	1	6	14.10	23.7	16.8
1952	1	7	0.00	22.8	15.7
1952	1	8	0.00	25.3	15.5

Ensuite, on lance le Package RClimdex avec R, dans l'onglet **file > Source R code...**



Enfin, on arrive à l'interface graphique GUI de RClimdex. Pour démarrer le contrôle de qualité, on clique sur « Load Data and Run QC » ou « Run extra QC ».



Annexe XI : Critères sur les données manquantes des séries de précipitations

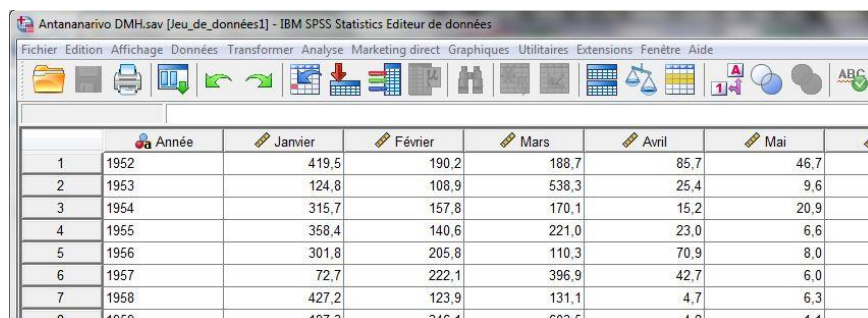
[27] [28] Il est conseillé de calculer les normales ou les moyennes de courte période uniquement quand on dispose des valeurs d'au moins 80 % des années de la série de relevés, avec au plus trois années consécutives manquantes. Quand les données manquantes touchent une période relativement longue, mais qu'après cette période les relevés sont jugés suffisamment complets, une autre solution consiste à calculer une moyenne pour cette période à l'aide uniquement des données provenant des années qui suivent l'interruption dans les relevés.

Les normales ou les moyennes annuelles devraient correspondre à la moyenne ou à la somme (suivant le cas) des douze valeurs normales ou moyennes mensuelles, sans tenir compte de la durée variable des mois (voir le Règlement technique, Volume I, partie II, paragraphe 1.4.2.4). Le calcul des normales annuelles n'est possible que si aucune normale mensuelle ne manque.

Il est recommandé de ne pas calculer de valeur mensuelle quand plus de dix valeurs quotidiennes sont manquantes ou s'il y a une période de cinq jours successifs à laquelle aucune valeur n'est attribuée. Pour des éléments dont la valeur mensuelle est une somme de valeurs quotidiennes et non une moyenne (notamment pour la hauteur de pluie dans notre cas), on ne devrait calculer une valeur mensuelle qu'à condition de disposer de toutes les observations quotidiennes ou alors qu'à condition que tout jour manquant soit inclus dans une observation cumulative, couvrant la période correspondant aux données manquantes, pour le jour où les observations reprennent. Dans la publication intitulée *Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals* (WMO/TD-No. 341), il est recommandé d'appliquer des critères plus stricts au calcul des moyennes, les limites étant de plus de cinq valeurs quotidiennes manquantes ou trois jours successifs manquants.

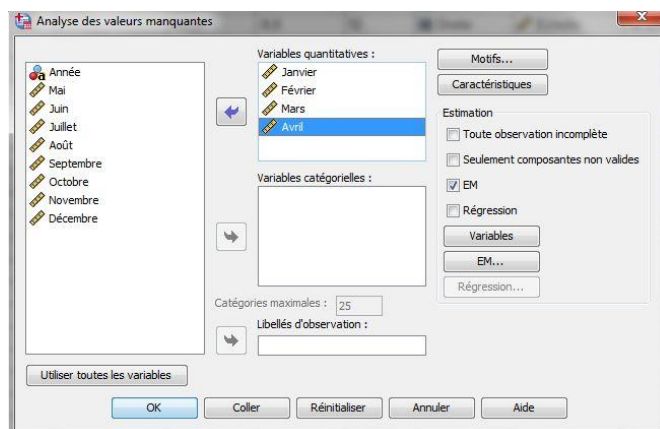
Annexe XII : Procédure de restitution des valeurs manquantes sous SPSS avec l'algorithme EM.

La fenêtre de l'éditeur de données sous SPSS :

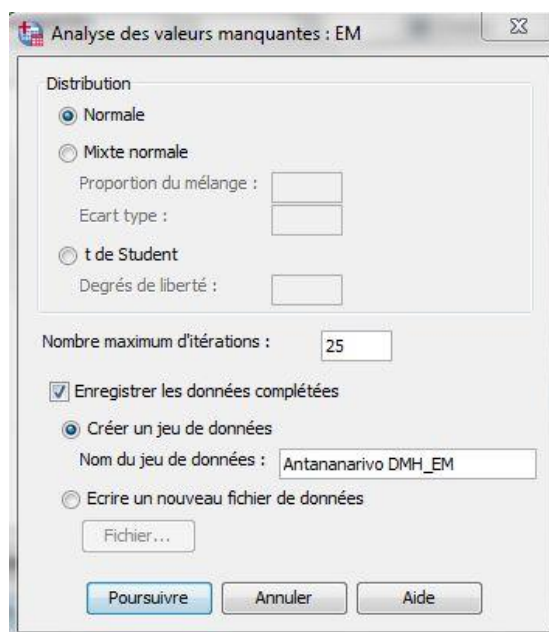


	Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1	1952	419,5	190,2	188,7	85,7		46,7
2	1953	124,8	108,9	538,3	25,4		9,6
3	1954	315,7	157,8	170,1	15,2		20,9
4	1955	358,4	140,6	221,0	23,0		6,6
5	1956	301,8	205,8	110,3	70,9		8,0
6	1957	72,7	222,1	396,9	42,7		6,0
7	1958	427,2	123,9	131,1	4,7		6,3
8	1959	197,3	246,1	603,5	4,2		1,1

On clique sur le menu **Analyse > Analyse des valeurs manquantes**, on entre les mois dans la case variables quantitatives et on coche sur **EM**.

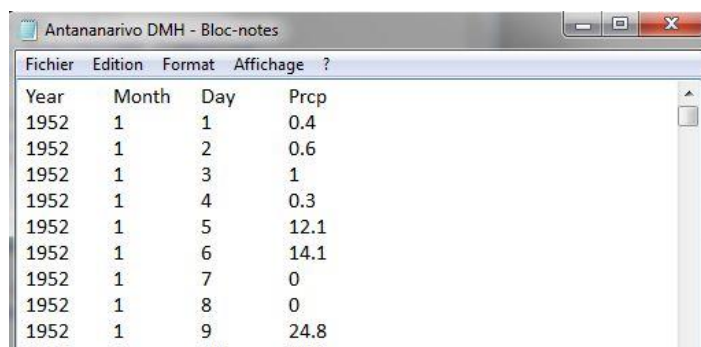


On clique sur l'onglet **EM**, l'itération est fixée à 25. On crée un **nouveau jeu de données**, puis on termine par **OK**.



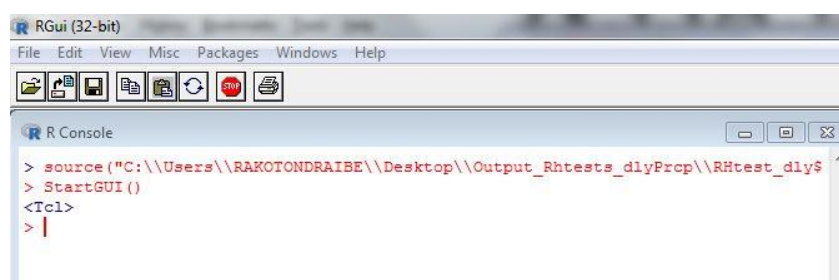
Annexe XIII : Procédure d'homogénéisation des séries de précipitations quotidiennes sous RHtests_dlyPrcp.

Premièrement, on dispose les données dans un fichier «.Dat» en l'enregistrant sous « Antananarivo DMH.dat » dans le dossier contenant le package RHtests_dlyPrcp, comme l'image ci-dessous.



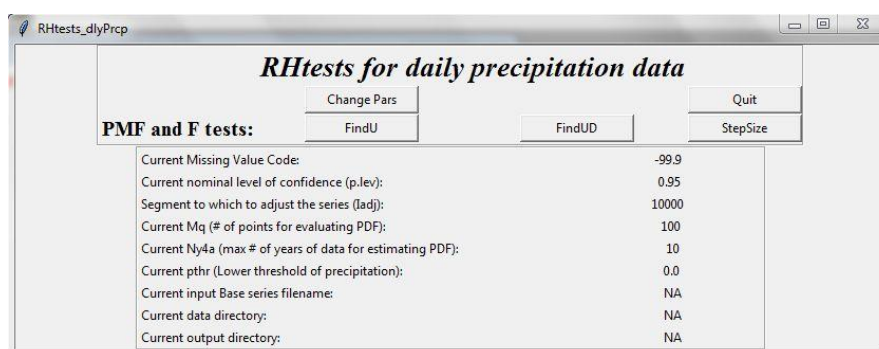
Year	Month	Day	Prcp
1952	1	1	0.4
1952	1	2	0.6
1952	1	3	1
1952	1	4	0.3
1952	1	5	12.1
1952	1	6	14.1
1952	1	7	0
1952	1	8	0
1952	1	9	24.8

Pour commencer la session GUI, entrez `StartGUI ()` après avoir entré la source ("RHtests_dlyPrcp.r") à l'invite R. Comme l'indique la fenêtre ci-dessous.



```
> source("C:\\Users\\RAKOTONDRAIBE\\Desktop\\Output_Rhtests_dlyPrcp\\RHtest_dly$
> StartGUI ()
<Tcl>
> |
```

Enfin, on arrive à l'interface graphique GUI de RHtests_dlyPrcp. On clique sur **ChangePars** pour ajuster les paramètres. Après, On clique sur **FindU** pour excécuter TransPMFred (pour la détection des changements de type 1) et **FindUD** (pour la détection des type 0).



RHtests for daily precipitation data

Buttons: Change Pars, Quit

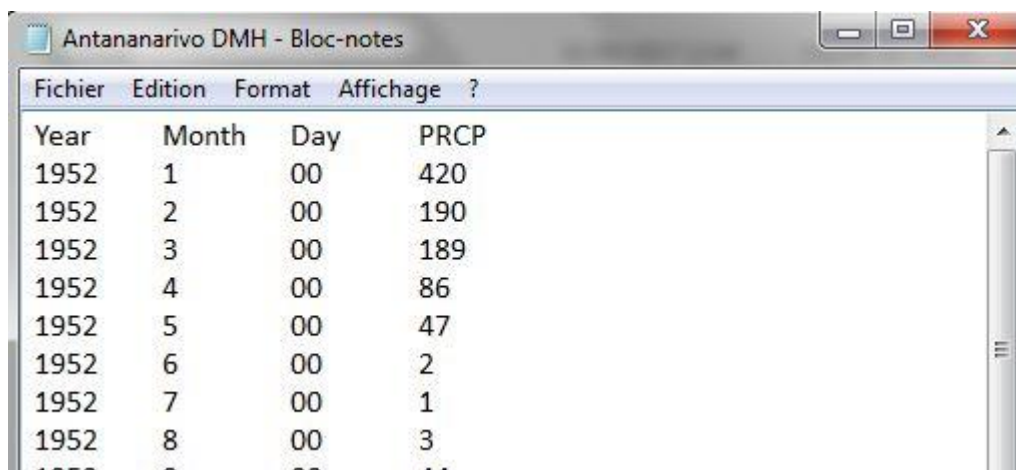
PMF and F tests: FindU, FindUD, StepSize

Current Missing Value Code:	-99.9
Current nominal level of confidence (p.lev):	0.95
Segment to which to adjust the series (Iadj):	10000
Current Mq (# of points for evaluating PDF):	100
Current Ny4a (max # of years of data for estimating PDF):	10
Current pthr (Lower threshold of precipitation):	0.0
Current input Base series filename:	NA
Current data directory:	NA
Current output directory:	NA

On clique sur **StepSize** pour réévaluer la signification et l'ampleur des points de changement.

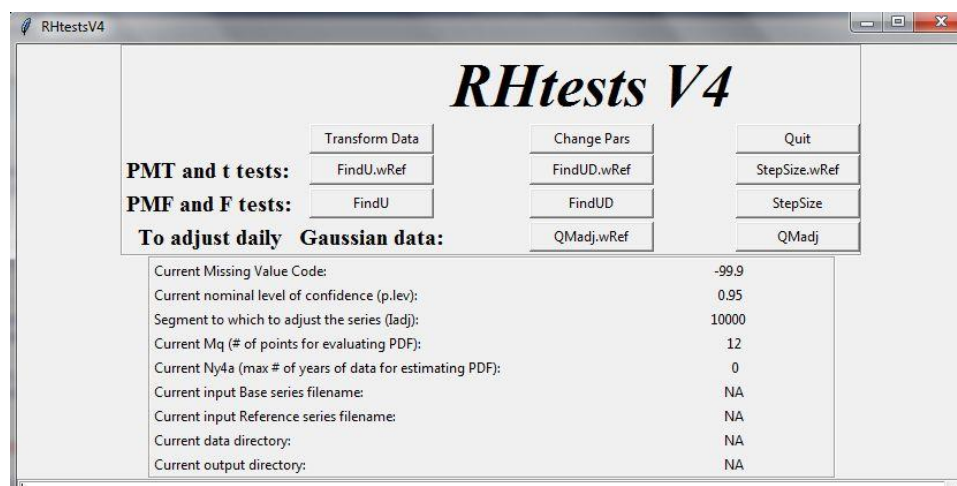
Annexe XIV : Procédures d'homogénéisation des séries de précipitations mensuelles sous RHtestsV4.

Même principe que pour le package RHtests_dlyPrpc, mais c'est la disposition des données et l'interface GUI qui fait la différence. La disposition des données est comme la Figure ci-dessous :



Year	Month	Day	PRCP
1952	1	00	420
1952	2	00	190
1952	3	00	189
1952	4	00	86
1952	5	00	47
1952	6	00	2
1952	7	00	1
1952	8	00	3
1952	9	00	44

L'interface graphique de RHtestsV4 se présente comme suit :

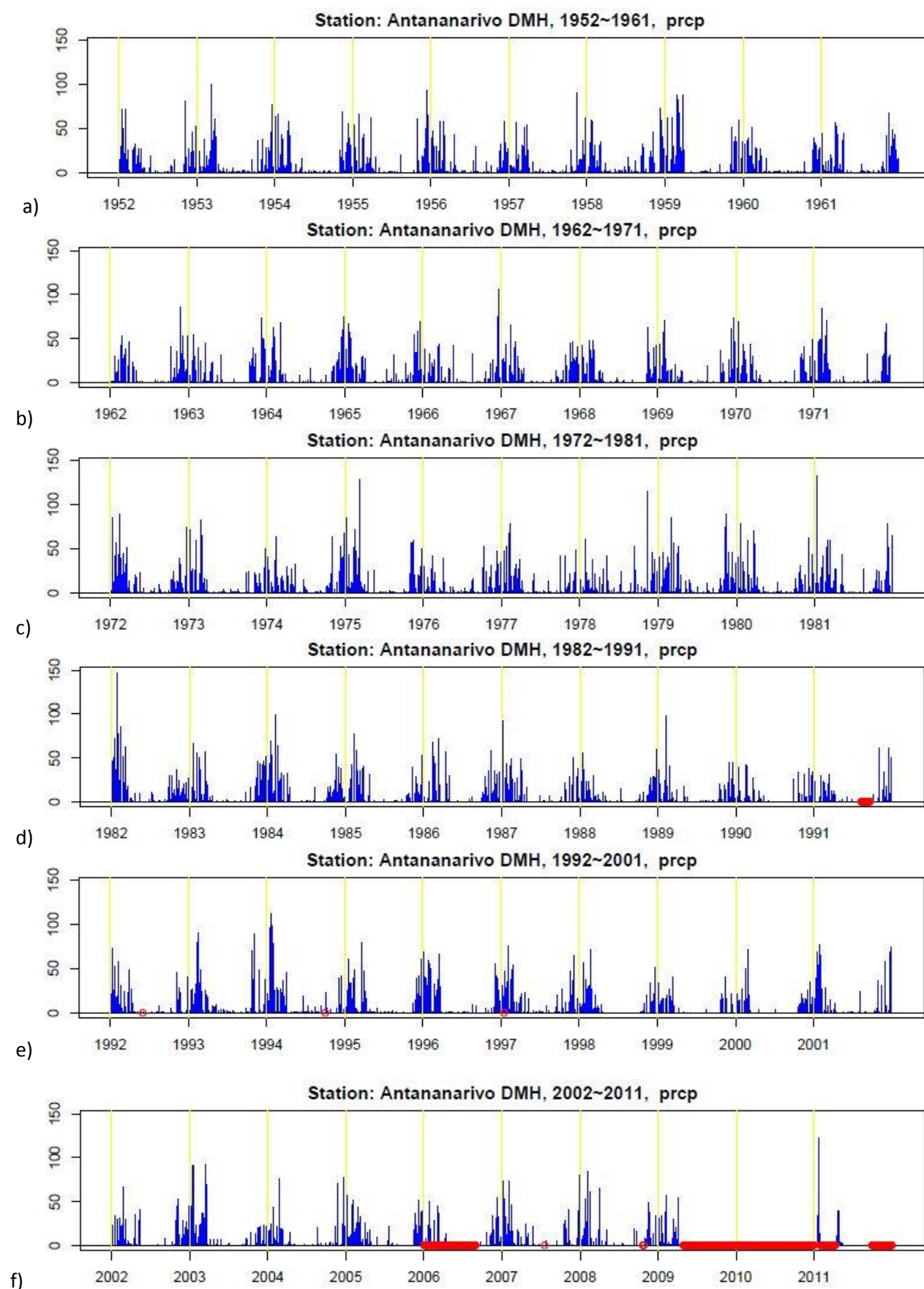


RHtests V4

	Transform Data	Change Pars	Quit
PMT and t tests:	FindU.wRef	FindUD.wRef	StepSize.wRef
PMF and F tests:	FindU	FindUD	StepSize
To adjust daily Gaussian data:	QMadj.wRef	QMadj	

Current Missing Value Code:	-99.9
Current nominal level of confidence (p.lev):	0.95
Segment to which to adjust the series (Iadj):	10000
Current Mq (# of points for evaluating PDF):	12
Current Ny4a (max # of years of data for estimating PDF):	0
Current input Base series filename:	NA
Current input Reference series filename:	NA
Current data directory:	NA
Current output directory:	NA

Annexe XV : Suite des figures des répartitions temporelles des valeurs manquantes sous RClindex

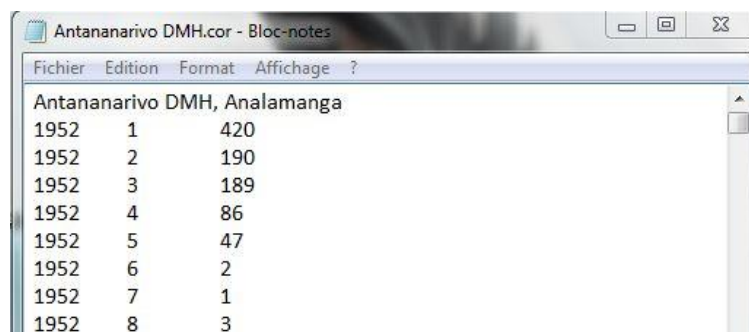


Annexe XVI : Table de la fonction de répartition de la Loi Normale réduite.

u	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,500000	0,503989	0,507978	0,511967	0,515953	0,519939	0,523922	0,527903	0,531881	0,535856
0,10	0,539828	0,543795	0,547758	0,551717	0,555670	0,559618	0,563559	0,567495	0,571424	0,575345
0,20	0,579260	0,583166	0,587064	0,590954	0,594835	0,598706	0,602568	0,606420	0,610261	0,614092
0,30	0,617911	0,621719	0,625516	0,629300	0,633072	0,636831	0,640576	0,644309	0,648027	0,651732
0,40	0,655422	0,659097	0,662757	0,666402	0,670031	0,673645	0,677242	0,680822	0,684386	0,687933
0,50	0,691462	0,694974	0,698468	0,701944	0,705402	0,708840	0,712260	0,715661	0,719043	0,722405
0,60	0,725747	0,729069	0,732371	0,735653	0,738914	0,742154	0,745373	0,748571	0,751748	0,754903
0,70	0,758036	0,761148	0,764238	0,767305	0,770350	0,773373	0,776373	0,779350	0,782305	0,785236
0,80	0,788145	0,791030	0,793892	0,796731	0,799546	0,802338	0,805106	0,807850	0,810570	0,813267
0,90	0,815940	0,818589	0,821214	0,823814	0,826391	0,828944	0,831472	0,833977	0,836457	0,838913
1,00	0,841345	0,843752	0,846136	0,848495	0,850830	0,853141	0,855428	0,857690	0,859929	0,862143
1,10	0,864334	0,866500	0,868643	0,870762	0,872857	0,874928	0,876976	0,878999	0,881000	0,882977
1,20	0,884930	0,886860	0,888767	0,890651	0,892512	0,894350	0,896165	0,897958	0,899727	0,901475
1,30	0,903199	0,904902	0,906582	0,908241	0,909877	0,911492	0,913085	0,914656	0,916207	0,917736
1,40	0,919243	0,920730	0,922196	0,923641	0,925066	0,926471	0,927855	0,929219	0,930563	0,931888
1,50	0,933193	0,934478	0,935744	0,936992	0,938220	0,939429	0,940620	0,941792	0,942947	0,944083
1,60	0,945201	0,946301	0,947384	0,948449	0,949497	0,950529	0,951543	0,952540	0,953521	0,954486
1,70	0,955435	0,956367	0,957284	0,958185	0,959071	0,959941	0,960796	0,961636	0,962462	0,963273
1,80	0,964070	0,964852	0,965621	0,966375	0,967116	0,967843	0,968557	0,969258	0,969946	0,970621
1,90	0,971284	0,971933	0,972571	0,973197	0,973810	0,974412	0,975002	0,975581	0,976148	0,976705
2,00	0,977250	0,977784	0,978308	0,978822	0,979325	0,979818	0,980301	0,980774	0,981237	0,981691
2,10	0,982136	0,982571	0,982997	0,983414	0,983823	0,984222	0,984614	0,984997	0,985371	0,985738
2,20	0,986097	0,986447	0,986791	0,987126	0,987455	0,987776	0,988089	0,988396	0,988696	0,988989
2,30	0,989276	0,989556	0,989830	0,990097	0,990358	0,990613	0,990863	0,991106	0,991344	0,991576
2,40	0,991802	0,992024	0,992240	0,992451	0,992656	0,992857	0,993053	0,993244	0,993431	0,993613
2,50	0,993790	0,993963	0,994132	0,994297	0,994457	0,994614	0,994766	0,994915	0,995060	0,995201
2,60	0,995339	0,995473	0,995603	0,995731	0,995855	0,995975	0,996093	0,996207	0,996319	0,996427
2,70	0,996533	0,996636	0,996736	0,996833	0,996928	0,997020	0,997110	0,997197	0,997282	0,997365
2,80	0,997445	0,997523	0,997599	0,997673	0,997744	0,997814	0,997882	0,997948	0,998012	0,998074
2,90	0,998134	0,998193	0,998250	0,998305	0,998359	0,998411	0,998462	0,998511	0,998559	0,998605
3,00	0,998650	0,998694	0,998736	0,998777	0,998817	0,998856	0,998893	0,998930	0,998965	0,998999
3,10	0,999032	0,999064	0,999096	0,999126	0,999155	0,999184	0,999211	0,999238	0,999264	0,999289
3,20	0,999313	0,999336	0,999359	0,999381	0,999402	0,999423	0,999443	0,999462	0,999481	0,999499
3,30	0,999517	0,999533	0,999550	0,999566	0,999581	0,999596	0,999610	0,999624	0,999638	0,999650
3,40	0,999663	0,999675	0,999687	0,999698	0,999709	0,999720	0,999730	0,999740	0,999749	0,999758
3,50	0,999767	0,999776	0,999784	0,999792	0,999800	0,999807	0,999815	0,999821	0,999828	0,999835
3,60	0,999841	0,999847	0,999853	0,999858	0,999864	0,999869	0,999874	0,999879	0,999883	0,999888
3,70	0,999892	0,999896	0,999900	0,999904	0,999908	0,999912	0,999915	0,999918	0,999922	0,999925
3,80	0,999928	0,999930	0,999933	0,999936	0,999938	0,999941	0,999943	0,999946	0,999948	0,999950
3,90	0,999952	0,999954	0,999956	0,999958	0,999959	0,999961	0,999963	0,999964	0,999966	0,999967

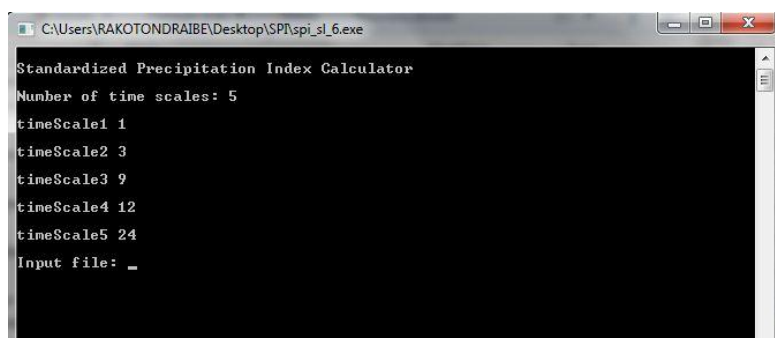
Annexe XVII : Procédure de calcul des SPI sur le programme DOS « SPI_SL_6.exe ».

Tout d'abord, créer un fichier comme la disposition ci-dessous sous n'importe quel éditeur de texte, on a utilisé Notepad pour notre cas. Enregistrer le fichier avec l'extension « .cor » dans le répertoire contenant le programme. Il est à noter que les valeurs mensuelles ne contiennent aucune décimale.



Antananarivo DMH, Analamanga		
1952	1	420
1952	2	190
1952	3	189
1952	4	86
1952	5	47
1952	6	2
1952	7	1
1952	8	3

On exécute le programme en précisant le nombre d'échelle de temps. On a choisi 5 pour les SPI : 1, 3, 6, 9 mois.

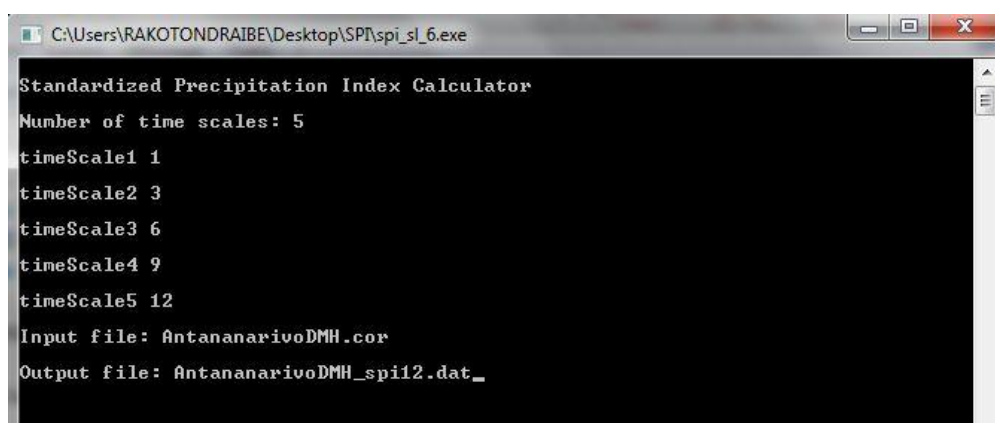


```

Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 5
timeScale1 1
timeScale2 3
timeScale3 9
timeScale4 12
timeScale5 24
Input file: _

```

On tape le nom complet du fichier d'entrée avec l'extension et on crée le fichier de sortie sous un format « .dat », puis on valide par entrée.



```

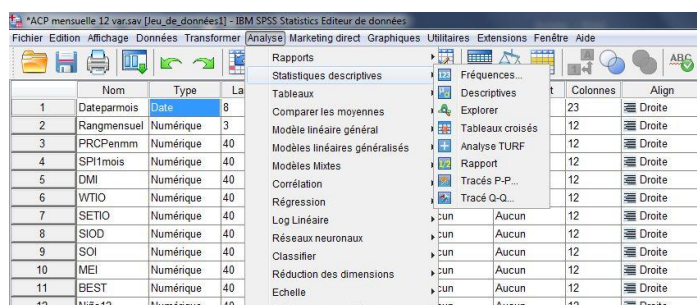
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 5
timeScale1 1
timeScale2 3
timeScale3 6
timeScale4 9
timeScale5 12
Input file: AntananarivoDMH.cor
Output file: AntananarivoDMH_spi12.dat_

```

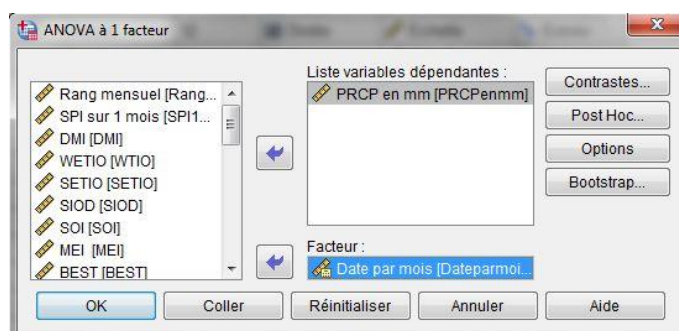
Les fichiers de sortie sont sauvegardés dans le répertoire du programme sous la forme d'un fichier texte ASCII (MS-DOS).

Annexe XVIII : Les différentes procédures d'analyse statistiques sous SPSS.

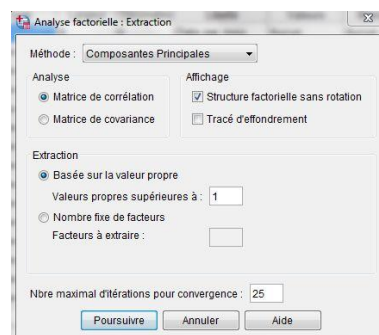
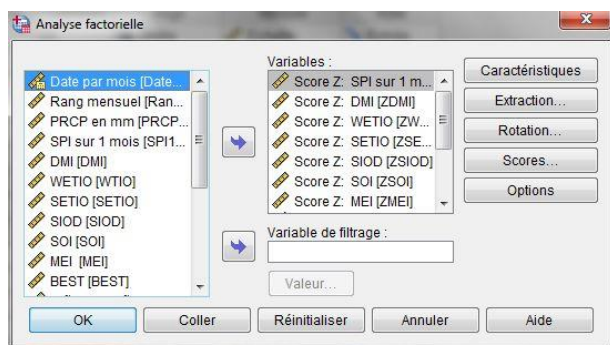
Tout d'abord, les statistiques descriptives sous l'onglet **Analyse > Fréquences, Descriptives et Explorer**.



L'ANOVA à 1 facteur sous l'onglet **Analyse > comparer les moyennes > ANOVA à 1 facteur**.



ACP-normée avec Rotation Varimax sous l'onglet **Analyse > Réduction des dimensions > Analyse factorielle**. Les données centrées-réduites sont précédées par l'identifiant « Score Z ».



La CAH sous l'onglet **Analyse > Classifier > Cluster Hiérarchique**.

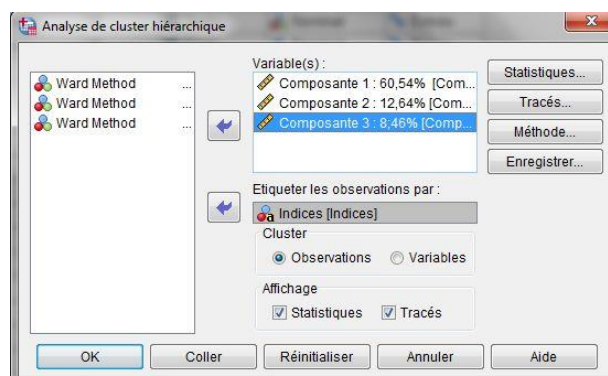


Table des matières

SOMMAIRE	I
SIGLES ET ACRONYMES.....	II
GLOSSAIRE.....	IV
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	X
INTRODUCTION	1
PARTIE I : CADRE DE L'ETUDE.....	3
<i>Chapitre 1 : ENSO et IOD</i>	<i>4</i>
Section 1 Généralités.....	4
I. L'Oscillation australe ENSO.....	4
II. Le Dipôle de l'Océan Indien	5
Section 2 Conceptualisation	6
I. Les phases de l'ENSO	6
1. Phase Neutre :	6
2. El Niño (phase chaude) :	6
3. La Niña (phase froide) :	6
Section 3 Les covariations.....	8
I. Associations avec les SST	8
II. L'Océan Indien, un déclencheur d'El Niño	8
Section 4 Les téléconnections associées à la zone d'étude	9
I. Associées à l'IOD.....	9
II. Associées à ENSO.....	9
<i>Chapitre 2 : Changement et variabilité Climatique</i>	<i>10</i>
Section 1 Maîtrise des terminologies	10
I. Météorologie et climatologie	10
II. Variation et Changement	10
Section 2 Analyse des systèmes	11
I. Les Composantes du système climatique	11
II. Fonctionnement et échange énergétique	11
1. Source et réservoir d'énergie	11
2. Les transferts d'énergie	12
3. Le transport méridien d'énergie	13
4. Le transport zonal d'énergie	15
5. Bilan radiatif.....	15
III. Les mécanismes du système climatique	17
1. Les interactions aux seins du système climatique	17
2. Les perturbations.....	17
3. Ondes équatoriales.....	18
4. Les rétroactions climatiques	20
5. L'effet de serre.....	21
IV. Scénarios des changements climatiques	21
Section 3 Synthèse de l'analyse des systèmes.....	22
<i>Chapitre 3 : Les Précipitations</i>	<i>23</i>
Section 1 Le cycle de l'eau	23
I. Généralités	23
II. Fonctionnement	23
Section 2 Le mécanisme des précipitations.....	23
I. Formation des précipitations.....	23
1. Formation des nuages	24
2. Les processus de refroidissement.....	24
3. Notion d'instabilité	24
4. La pluie.....	25
II. Les types de précipitations	26
III. Mesure des précipitations.....	26
1. Unité de mesure	26
2. Données et stations pluviométriques	26

Table des matières

3. Représentation	26
IV. Le régime pluviométrique	27
Chapitre 4 : Concept de la Sècheresse	28
Section 1 Typologie de la sècheresse	28
I. La sècheresse météorologique ou atmosphérique	28
II. La sècheresse agricole,	28
III. La sècheresse hydrologique.....	28
Section 2 Causes et conséquences	28
Chapitre 5 : Description de la zone d'étude.....	29
Section 3 Localisation	29
Section 4 Caractéristiques physiques :	30
IV. Relief.....	30
V. Géologie	31
VI. Végétation et Occupations des sols.....	32
VII. Réseau Hydrographique	33
Section 5 Caractéristique Climatiques	35
I. Les facteurs climatiques	35
1. La ZCIT.....	35
2. L'Alizé à l'Est	35
3. La mousson d'été.....	35
4. Les Anticyclones.....	35
5. La Circulation Frontale Ouest-Est au Sud.....	35
6. Le Relief :	35
II. Climatologie de la région Analamanga	36
1. Température.....	36
2. Pluviométrie et couverture nuageuse	37
3. Vents.....	38
4. Hygrométrie et évapotranspiration	40
5. Indice climatique	42
SYNTHESE DE LA PARTIE	43
PARTIE II : DONNEES ET METHODOLOGIE	44
Chapitre 6 : Données et Matériels	45
Section 1 Données	45
I. Données à grandes échelle	45
1. Les indices climatiques	45
2. Les cartes composites.....	49
II. Données régionales	49
1. Les séries de précipitations.....	49
Section 2 Matériels.....	49
I. R packages.....	49
1. Software Package Rclimindex.....	49
2. Software Package RHtests_dlyPrp	50
3. Software Package RHtestsV4	50
II. IBM SPSS Statistics.....	50
1. Généralités	50
2. Caractéristiques de SPSS.....	50
3. Choix du logiciel	51
III. Microsoft office Excel	51
IV. SIG	51
Chapitre 7 : Présentation de l'étude.....	52
Section 1 Les formalités de l'étude.....	52
I. Choix de la station	52
II. Cartographie de la zone d'étude	52
III. Période d'étude	52
Chapitre 8 : Traitement des données.....	54
Section 1 Manipulation des bases de données avec Excel	54
Section 2 Contrôle de qualité sous Rclimindex	54
I. Codage des valeurs manquantes.....	54
II. Les valeurs négatives.....	55
III. Détection des valeurs aberrantes.....	55
IV. Simulation sous Rclimindex.....	55

Section 3	Correction des erreurs connues.....	55
I.	Elimination des lacunes de longue période.....	55
II.	Analyse des valeurs aberrantes.....	55
III.	Restitution des valeurs manquantes.....	55
1.	Répartition des valeurs manquantes.....	56
2.	Classification des données manquantes.....	56
IV.	Méthode de traitement.....	56
1.	Imputation Simple (IS).....	57
2.	Imputation Multiple (IM).....	57
Section 4	Validation des données.....	60
I.	Homogénéisation des données avec RHtests_dlyPrcp et RHtestsV4.....	60
1.	Détection et identification des points de changement.....	60
2.	Ajustement de la série.....	61
II.	Simulation sous RHtests_dlyPrcp et RHtestV4.....	61
Section 5	Synthèse du traitement des données.....	61
Chapitre 9 :	<i>Statistique descriptive</i>	62
Section 1	Les Quantiles.....	62
I.	Les Quintiles.....	62
II.	Les Quartiles.....	63
Section 2	Les distributions de fréquences.....	63
I.	Fréquence absolue ou effectif :.....	63
II.	Fréquence relative :.....	63
III.	Fréquence cumulée absolue :.....	63
IV.	Fréquence cumulée relative :.....	63
Section 3	Caractéristique de tendance centrale.....	64
I.	La Moyenne arithmétique :.....	64
II.	La Médiane :.....	64
Section 4	Caractéristiques de dispersion.....	64
I.	La Variance :.....	64
II.	L'Ecart-type :.....	64
III.	L'Etendue :.....	65
IV.	Boîte à dispersion.....	65
Section 5	Caractéristiques de forme.....	66
I.	Le Coefficient d'asymétrie ou de dissymétrie ou Skewness γ_1 :.....	66
II.	Le coefficient d'aplatissement ou Kurtosis γ_2 :.....	66
Section 6	Mesure de dépendance.....	66
I.	Le coefficient de corrélation.....	66
Chapitre 10 :	<i>Statistique Inférentielle</i>	68
Section 1	Analyse des valeurs extrêmes.....	68
I.	La loi normale ou de Gauss.....	68
II.	Calculs des fréquences d'apparition et temps de retour.....	69
Section 2	Analyse de la variabilité des précipitations.....	69
I.	Intervalle de confiance.....	69
II.	Régression linéaire.....	70
III.	Analyse de la variance à 1 facteur (One-way ANOVA).....	70
Chapitre 11 :	<i>Les normales climatologiques</i>	71
I.	Périodes de référence.....	71
II.	Ecart et rapport à la normale.....	71
Chapitre 12 :	<i>L'indice de précipitation normalisé</i>	73
I.	Calcul des indices.....	73
II.	Centrage et réduction (Standardized).....	73
1.	Centrer :.....	73
2.	Réduire :.....	73
III.	SPI sur différentes périodes.....	74
1.	Indice SPI sur 1 mois :.....	74
2.	Indice SPI sur 3 mois :.....	74
3.	Indice SPI sur 6 mois :.....	74
4.	Indice SPI sur 9 mois :.....	75
5.	Indice SPI sur 12 jusqu'à 24 mois :.....	75
IV.	Signification des indices.....	75
1.	Magnitude.....	75
2.	Fréquence.....	75

3.	Sévérité et durée	76
V.	Synthèse de l'utilisation des indices	76
<i>Chapitre 13 : Antécédents des phénomènes ENSO et IOD sur l'évènement 2016-2017</i>		<i>77</i>
I.	Comparaison avec les indices normalisés	77
II.	Comparaisons avec les Intensités des phénomènes	77
<i>Chapitre 14 : Analyse statistique exploratoire multidimensionnelle</i>		<i>78</i>
Section 1	Analyse en Composante Principale (ACP) normée	78
I.	Schéma des Données	79
II.	Objectifs	80
1.	Etude des individus	80
2.	Etude des variables	80
III.	Respect des postulats	81
1.	La matrice des corrélations	81
2.	L'indice KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)	81
3.	Le Test de sphéricité de Bartlett	82
IV.	Nuage des individus	82
V.	Ajustement du nuage des individus	83
1.	Axe d'inertie maximum	83
2.	Plan d'inertie maximum	84
3.	Vecteurs et valeurs propres	84
VI.	Représentation des variables associée à la représentation des individus	84
VII.	Nuage des variables	85
VIII.	Ajustement du nuage des variables	86
1.	Les Composantes Principales	86
2.	L'effet taille	87
IX.	Extraction des Composantes Principales	87
1.	Rotation des axes factoriels – Rotation VARIMAX	88
X.	Dualité et formules de transition en ACP normée	88
1.	Inerties	89
2.	Facteurs	89
XI.	Relation de transition	90
XII.	Aide à l'interprétation	91
1.	Qualité de représentation d'un élément par un axe	91
2.	Qualité de représentation d'un nuage par un axe	91
3.	Contribution d'un élément à l'inertie d'un axe	92
Section 2	La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	92
I.	Principes généraux de la CAH	92
1.	Les objectifs	92
II.	Les critères	93
1.	La mesure d'éloignement	93
2.	Le critère d'Homogénéité	93
3.	Le choix de la méthode	94
III.	L'algorithme de Ward	94
1.	Qualité d'une Partition	94
2.	Coupure de l'arbre Hiérarchique	94
IV.	Mise en œuvre conjointe de l'ACP et de la CAH	94
SYNTHESE DE LA PARTIE		94
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS		96
<i>Chapitre 15 : Bilan du traitement des données pluviométriques</i>		<i>97</i>
Section 1	Aperçu général de l'étude	97
V.	Résultats de la vérification initiale	97
Section 2	Rapport du contrôle de qualité des données sous RCLimindex	100
I.	Les fichiers générés	100
1.	Le fichier « Anatananarivo DMH_nastatistic.csv »	100
2.	Le fichier Antananarivo DMH_prcpQC.csv	102
3.	Le fichier Antananarivo DMH_prcpPLOT.pdf	102
Section 3	Traitement des données pluviométriques manquantes	103
I.	Répartition et classification des données manquantes	103
II.	Elimination et restitution des données manquantes	104
Section 4	Bilan de l'homogénéisation des données avec RHtests_dlyPrp et RHtestsV4	104
I.	Les séries pluviométriques journalières	104

1.	Les fichiers « Antananarivo DMH_1Cs.txt et Antananarivo DMH_mCs.txt »	104
2.	Le fichier « Antananarivo DMH_U.pdf »	105
II.	Les séries pluviométriques mensuelles	107
1.	Les fichiers « Antananarivo DMH_1Cs.txt et Antananarivo DMH_mCs.txt »	107
2.	Le fichier « Antananarivo DMH_U.pdf »	107
Chapitre 16 : Description de l'anomalie de précipitation de l'année 2016-2017		110
Section 1	Analyse statistique des séries de précipitations	110
I.	Visualisation qualitative des données pluviométriques	110
1.	La distribution des fréquences.....	110
2.	Les quartiles de précipitations	112
II.	Les caractéristiques des précipitations mensuelles.....	114
1.	Comparaison avec les moyennes mensuelles.....	118
2.	Les valeurs extrêmes mensuelles	120
III.	Les caractéristiques des cumuls de précipitations sur 3 mois consécutifs	121
1.	Comparaison avec les moyennes de 3-mois consécutifs	125
2.	Les valeurs extrêmes sur 3-mois consécutifs.....	126
IV.	Les caractéristiques des précipitations saisonnières	127
1.	Comparaison avec les moyennes saisonnières.....	130
2.	Les valeurs extrêmes saisonnières.....	131
Section 2	Analyse des valeurs extrêmes.....	131
I.	Fonction de répartition de l'anomalie de la saison des pluies de l'année 2016-2017	132
II.	Période de retour de l'anomalie de la saison des pluies de l'année 2016-2017.....	132
Section 3	Analyse de la variabilité des précipitations à l'échelle mensuelle et saisonnière	133
I.	Calculs des normales climatologiques	133
1.	Normales mensuelles	133
2.	Normales saisonnières.....	134
II.	Variabilité mensuelle des précipitations de la station Antananarivo DMH	134
1.	Analyse de la tendance décennale des précipitations mensuelles	134
2.	Caractérisation de la période d'étude par rapport aux normales mensuelles de référence	136
III.	Variabilité saisonnière des précipitations de la Station Antananarivo DMH	137
1.	Analyse de la tendance saisonnière des précipitations	138
2.	Caractérisation de la période d'étude par rapport aux normales saisonnières de référence	141
Section 4	Analyse de la sévérité de la sécheresse	141
I.	Détermination des périodes humides et sèches	142
II.	Caractérisation de la sécheresse de l'année 2016-2017.....	144
Section 5	Synthèse de l'anomalie de précipitations de l'année 2016-2017	147
Chapitre 17 : Analyses des liens entre les variabilités climatiques ENSO-IOD et la sécheresse saisonnière.....		148
Section 1	Récapitulatif des épisodes ENSO et IOD de l'année 2016-2017.....	148
I.	Analyse graphique des indices ENSO et IOD de la période d'étude	148
II.	Analyse des cartes composites globales SST, direction et vitesse du vent combinées.....	149
Section 2	Identification des périodes ENSO et IOD	156
I.	Les périodes ENSO	156
II.	Les périodes IOD.....	157
Section 3	Mise en évidence de l'impact des variabilités climatiques ENSO-IOD sur les précipitations de la Station Antananarivo DMH	158
I.	Schéma des données exploitées.....	158
II.	Significativité de l'ACP	159
1.	La matrice des corrélations des indices et SST mensuelles	159
2.	Signification de l'indice KMO et du Test de sphéricité de Bartlett	160
III.	Extraction des composantes principales	160
1.	Choix du nombre de facteurs	160
2.	Indicateur d'inertie	161
IV.	Interprétation des axes factoriels ou des composantes principales.....	163
1.	Le 1 ^{er} axe factoriel	163
2.	Le 2 nd axe factoriel	163
3.	Le 3 ^{ème} axe factoriel.....	164
4.	Le 4 ^{ème} axe factoriel.....	164
V.	Interprétation des plans factoriels	166
1.	Etude des liaisons entre les indices et SST ENSO-IOD avec les mois en fonction des plans factoriels.....	166
VI.	Configuration des périodes sèches et humides en fonction de l'intensité des variabilités ENSO et IOD	168
1.	Comportement de la Sécheresse durant les phases ENSO	168
2.	Comportement de la Sécheresse durant les phases IOD	169

3.	Comportement de la Sècheresse durant les phases combinées.....	170
VII.	Synthèse de l'impact des variabilités climatiques ENSO et IOD sur les précipitations de la Station Antananarivo	
DMH	170	
Section 4	Mise en évidence de l'origine de l'anomalie saisonnière de l'année 2016-2017 en fonction d'ENSO-IOD	171
I.	Significativité de l'ACP normée saisonnière	172
1.	La matrice de corrélation des variables saisonnières	172
2.	Signification de l'indice KMO et du Test de sphéricité de Bartlett	172
II.	Extraction des composantes.....	173
1.	Choix du nombre de facteurs	173
2.	Indicateur d'inertie	174
III.	Interprétation des axes factoriels ou composantes principales	174
1.	Le 1 ^{er} axe factoriel	174
2.	Le 2 nd axe factoriel	176
3.	Le 3 ^{ème} axe factoriel.....	176
IV.	Interprétation des plans factoriels	176
1.	Etude des liaisons entre les indices et SST ENSO-IOD avec les saisons en fonction des plans factoriels	176
Chapitre 18 :	<i>Classification des saisons en fonction de la nature de l'impact d'ENSO-IOD combinée</i>	<i>178</i>
I.	Classification Ascendante Hiérarchique par la méthode de Ward	178
1.	La qualité du partitionnement	181
2.	Choix du nombre de classes optimal et découpage de l'arbre binaire	182
II.	Interprétation de la Typologie des saisons des pluies sur le 1 ^{er} plan factoriel	184
1.	Caractérisation et Classement par catégories de périodes en fonction de la variabilité dominante	186
Chapitre 19 :	<i>Etudes des cas.....</i>	<i>188</i>
Section 1	Mise en évidence de la cause de l'anomalies de précipitations de l'année 2016-2017.....	188
I.	Formulation de l'origine des anomalies de précipitations au niveau de l'atmosphère et de l'océan	196
1.	Au niveau de l'Océan	196
2.	Au niveau de l'atmosphère	196
Section 2	Situation de blocage atmosphérique durant le début de la saison des pluies 2016-2017	197
I.	Caractérisation de l'anticyclone de blocage	197
II.	Impact du Bloc Oméga.....	197
SYNTHESE DE LA PARTIE		199
CONCLUSION GENERALE		200
BIBLIOGRAPHIES		202
WEBOGRAPHIES		205
LISTE DES ANNEXES		207
ANNEXE		208
TABLE DES MATIERES		A

Titre : « *El Niño Southern Oscillation (ENSO) – Indian Ocean Dipole (IOD) et anomalie de précipitations de l'année 2016-2017 sur la région Analamanga, cas de la station principale d'Antananarivo* »

Nombre de pages : 208
Nombre de tableaux : 61
Nombre de figures : 90
Nombre d'annexes : 18



RESUME

La relation entre l'anomalie de précipitations de la région Analamanga sur la station Antananarivo DMH avec El Niño-Southern Oscillation (ENSO) et l'Indian Ocean Dipole (IOD) est réanalysée pour l'année 2016-2017. En premier lieu, l'étude statistique des précipitations confirme une tendance à la baisse, exponentielle en fonction de la période. La première Analyse en Composantes Principales (ACP) normée mensuelle révèle la configuration générale des précipitations face à l'influence de la covariation d'ENSO-IOD. Une deuxième ACP normée saisonnière associée à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) précise cette configuration en divisant les saisons des pluies en cinq catégories de périodes en fonction d'ENSO-IOD qui sont : ENSO+, ENSO-, Post-ENSO+, Post ENSO- et ENSO₀ et a permis de conclure que l'anomalie de précipitations qui s'est caractérisée par une sécheresse saisonnière intense est la résultante d'une situation de blocage atmosphérique issue des anomalies froides de la SST (Sea Surface Temperature) WTIO (Western Tropical Indian Ocean) causée par un IOD négatif intense modulé par l'El Niño extrême de l'année 2015-2016. Les SPI (Standardized Precipitation Index) sur 6 et 9 mois indiquent que la sécheresse continue encore. Pour information, Ce travail contribue à une aide aux gestions des ressources en eaux de la région Analamanga.

Mots clés : ENSO, IOD, Précipitations, Statistique, Blocage atmosphérique, SST, Sècheresse, SPI.

ABSTRACT

The relationship between the precipitation anomaly of the Analamanga region on the Antananarivo DMH station with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and the Indian Ocean Dipole (IOD) is reanalyzed for the year 2016-2017. First, the statistical study of precipitation confirms a downward trend, exponential as a function of the period. The first Monthly Standardized Principal Component Analysis (PCA) reveals the general pattern of precipitation in response to the influence of ENSO-IOD covariation. A second seasonal standardized PCA associated with a Hierarchical Cluster Analysis (HCA) specifies this configuration by dividing the rainy seasons into five ENSO-IOD period categories, which are: ENSO +, ENSO-, Post-ENSO +, Post ENSO- and ENSO₀, and concluded that the precipitation anomaly characterized by intense seasonal dryness was the result of a blocking high resulting from the WTIO (Western Tropical Indian Ocean) cold SSTA (Sea Surface Temperature Anomalies) caused by an intense negative IOD modulated by the extreme El Niño of the year 2015-2016 and SPI (Standard Precipitation Index) over 6 and 9 months indicates that drought continues. For information, this work contributes to the management of water resources in the Analamanga region.

Key words: ENSO, IOD, Precipitation, Statistics, Blocking High, SST, Drought, SPI.

Directeur de Mémoire

Monsieur RAKOTOVAZAHA Olivier
Maître de conférences à l'Université d'Antananarivo -
Responsable de la mention Météorologie

Impétrant

RAKOTONDRAIBE Harison Sammy Nirina
Tél : (+261) 33 03 433 99 / (+261) 34 76 067 27
E-mail : metalharison@gmail.com
Lot III C 44 Ter Mahamasina Est