

Homogénéisation des précipitations

Y. BRUNET-MORET

Ingénieur Hydrologue

Bureau Central Hydrologique de l'ORSTOM à Paris

RÉSUMÉ

Définition de l'homogénéité des suites chronologiques de précipitations annuelles et vérification de cette homogénéité par une suite chronologique d'indices annuels de précipitation.

Méthode de calcul de ces indices, utilisation, exemple et commentaires.

ABSTRACT

Definition of the chronological succession homogeneity of annual rainfalls and verification of this homogeneity with a chronological succession of annual rainfall indexes.

Computation method of these indexes, use, example of application and comments.

SOMMAIRE

Résumé

Abstract

1. *Introduction*
2. *Vecteur des indices annuels de précipitation*
3. *Principe du calcul des indices annuels de précipitation*
4. *Application du principe de calcul aux cas concrets*
5. *Exemple*
6. *Utilisation du programme*
7. *Conclusion*
8. *Annexes*
 - 8.1. *Note sur l'établissement de l'historique des stations*
 - 8.2. *Commentaires sur les résultats fournis par le programme (cf. 8.3.)*
 - 8.3. *Exemple de sortie*

1. INTRODUCTION

1.1. CARACTÈRE ALÉATOIRE SIMPLE D'UNE SUITE CHRONOLOGIQUE

Une suite chronologique de valeurs observées est de caractère aléatoire simple si toutes les valeurs proviennent d'une même population-mère par tirages au hasard et indépendants.

Le caractère aléatoire simple peut être détruit :

1.1.1. par un effet de persistance :

une valeur n'est pas indépendante de la ou des valeurs précédentes (processus markovien ou autre), mais la suite est stationnaire et les paramètres de la distribution de la population-mère des valeurs observées ne varient pas dans le temps : entre autres, l'espérance mathématique.

1.1.2. par un effet de tendance :

les valeurs observées sont tirées de populations-mères différentes (par un ou plusieurs paramètres) dont les espérances mathématiques croissent ou décroissent avec le temps.

1.1.3. par des effets (cycliques ou pseudo-cycliques) :

l'espérance mathématique, pour une valeur de la suite, est fonction de la chronologie, mais l'espérance mathématique de la moyenne de séries suffisamment longues peut être considérée comme stationnaire.

1.1.4. par des erreurs systématiques, ou non, d'observation, affectant des termes de la suite chronologique.

1.2. DÉFINITION DE L'HOMOGÉNÉITÉ D'UNE SUITE CHRONOLOGIQUE DE PRÉCIPITATIONS ANNUELLES

Ce sont ces erreurs 1.1.4. qui détruisent l'homogénéité d'une suite chronologique de précipitations annuelles, qui peut présenter des caractères de persistance, de tendance, de pseudo-cycles.

Les « tests d'homogénéité » existants (ou futurs) ne pourront jamais (sauf si on connaît a priori les lois de persistance, de tendance, de pseudo-cycles) que vérifier le caractère aléatoire simple d'une suite chronologique.

1.3. LE VÉRITABLE PROBLÈME, POUR VÉRIFIER L'HOMOGÉNÉITÉ DE SUITES CHRONOLOGIQUES, n'est pas de détecter les effets de persistance, de tendance, de pseudo-cycles, mais de détecter les erreurs d'observation (y compris les erreurs d'interprétation du document original, les erreurs de recopies...).

En étude de précipitations annuelles on dispose facilement d'assez nombreuses suites chronologiques provenant de stations situées dans une même zone climatique, avec des coefficients de corrélation linéaire significativement positifs (s'il n'y a pas trop d'erreurs d'observations).

Étant dans la même zone climatique, les stations sont soumises aux mêmes effets de persistance, de tendance, de pseudo-cycles. Leurs précipitations moyennes interannuelles sont voisines et leurs coefficients de variation très voisins. Les coefficients, calculés, d'asymétrie peuvent différer notablement si les suites ne sont pas très longues étant donné la très grande variance de ces coefficients.

1.4. HYPOTHÈSE DE BASE DE L'HOMOGÉNÉITÉ SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS ANNUELLES

On admet que les stations pluviométriques situées dans la même zone climatique ont des totaux annuels de précipitations pseudo proportionnels (quelles que soient les fluctuations climatiques de la zone). Cette hypothèse est également l'hypothèse de base de la méthode des doubles cumuls. C'est-à-dire que pour une année i , les précipitations annuelles x_i et y_i à deux stations X et Y peuvent s'écrire :

$$x_i = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} y_i + \varepsilon_i$$

$\bar{x}$ et $\bar{y}$ étant les moyennes interannuelles aux deux stations sur une très longue période. La variance de ε_i (terme aléatoire indépendant tant de la valeur de x_i que de celle de y_i) étant d'autant plus faible que le coefficient de corrélation linéaire entre les stations est plus grand, et l'espérance mathématique de ε_i étant nulle.

1.5. LA MÉTHODE CLASSIQUE

Pour vérifier l'homogénéité temporelle de suite de précipitations annuelles, la méthode classique est de comparer par la méthode des doubles cumuls ces suites à celle des précipitations annuelles d'une station, homogène dans le temps, de la même zone climatique. Comme on ne sait pas a priori quelle est la station d'observations homogènes et qu'en fait, il faut les soupçonner toutes de défauts, la méthode est longue et difficile à appliquer.

2. VECTEUR DES INDICES ANNUELS DE PRÉCIPITATION

2.1. ÉTANT DONNÉ LES DIFFICULTÉS DE LA MÉTHODE DES DOUBLES CUMULS, il est tentant de créer une suite chronologique de précipitations annuelles fictives à une station fictive « vecteur des indices annuels de précipitation » : suite comprenant les effets de persistance, de tendance, de pseudo-cycles de la zone climatique, mais homogène dans le temps et d'utiliser, en double cumul, cette suite avec chacune des stations de la zone pour vérifier leur homogénéité temporelle. Ce vecteur des indices annuels ne peut, évidemment, être créé qu'à partir des observations aux stations de la zone climatique homogène dans l'espace.

2.2. HYPOTHÈSES DE BASE

2.2.1. La précipitation annuelle $x_{\alpha i}$ de l'année i à la station α (pour laquelle $\bar{x}_{\alpha}$ est l'espérance mathématique de la population-mère des précipitations annuelles) est liée à l'indice z_i de l'année i par (quelle que soit la station parmi les μ existantes)

$$\frac{x_{\alpha i}}{\bar{x}_{\alpha}} = z_i + e_{\alpha i}$$

$e_{\alpha i}$ étant une variable aléatoire indépendante de z_i et les variables E_{α} étant indépendantes entre elles : pour une station α la suite chronologique des $e_{\alpha i}$ est de caractère aléatoire simple (1.1.). Nous exprimons ainsi l'hypothèse 1.4. et la condition 2.1., en ajoutant :

- espérance mathématique de Z égale à 1 dans sa population-mère,
- espérance mathématique de E_{α} égale à 0 dans sa population-mère,
- variances des $E_{\alpha} \dots E_{\mu}$ égales entre elles et à $\text{var } E$.

2.2.2. Nous pouvons admettre que pour chaque année i les $e_{\alpha i} \dots e_{\mu i}$ ne sont pas indépendants entre eux (proximité géographique des stations), mais nous admettrons que, dans les populations-mères, la somme des covariances des écarts E est nulle ($\sum \text{covar}(E_{\gamma}, E_{\delta}) = 0$, $\gamma \neq \delta$, γ et δ de α à μ) ce qui veut dire que les coefficients de corrélation linéaire entre stations ne sont pas tous égaux entre eux, mais que leur valeur moyenne (dans les populations-mères) est de :

$$\frac{\text{var } Z}{\text{var } Z + \text{var } E}$$

2.2.3. Les hypothèses ci-dessus conduisent à la valeur de

$$\sqrt{\frac{\text{var } Z}{\text{var } Z + \text{var } E}}$$

pour la valeur du coefficient de corrélation linéaire entre l'indice et une station, quelle que soit la station, dans les populations-mères. Cette valeur étant supérieure à la valeur moyenne des coefficients de corrélation entre stations, on comprend que les doubles cumuls entre indice et stations seront plus précis que les doubles cumuls entre stations.

2.2.4. Les hypothèses ci-dessus conduisent également à une valeur du coefficient de variation de $\sqrt{\text{var } Z + \text{var } E}$ pour chaque station, dans sa population-mère.

3. PRINCIPE DU CALCUL DES INDICES ANNUELS DE PRÉCIPITATION

3.1. LA MATRICE DES OBSERVATIONS A (n, μ) est composée des précipitations annuelles de μ stations sur n années et peut ne pas être complète (observations manquantes certaines années à certaines stations).

3.2. DANS UN ESPACE A μ DIMENSIONS, l'équation :

$$\frac{X_\alpha}{\bar{x}_\alpha} = \frac{X_\beta}{\bar{x}_\beta} + \dots + \frac{X_\mu}{\bar{x}_\mu} - \mu z_i = 0$$

représente un hyperplan perpendiculaire à la droite :

$$\frac{X_\alpha}{\bar{x}_\alpha} = \frac{X_\beta}{\bar{x}_\beta} = \dots = \frac{X_\mu}{\bar{x}_\mu}$$

Nous allons chercher à déterminer les valeurs $\bar{x}_\alpha \dots \bar{x}_\mu$ pour chaque station et les valeurs z_i pour chaque année, pour que les hyperplans représentatifs des observations de chaque année soient parallèles entre eux et perpendiculaires à la droite

$$\frac{X_\alpha}{\bar{x}_\alpha} = \dots = \frac{X_\mu}{\bar{x}_\mu}$$

3.3. COMPTE TENU DES HYPOTHÈSES 2.2. APPLIQUÉES A L'ÉCHANTILLON (matrice des observations), c'est-à-dire :

- valeur moyenne des z_i égale à 1
- valeur moyenne des écarts E nulle
- et homoscedasticité : variance des E_α égales à var E quelle que soit la station α

on peut utiliser la méthode des moindres carrés : minimiser

$$\sum_{\alpha}^{\mu} \sum_{i}^n \left(\frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma} - z_i \right)^2 \quad (0)$$

pour déterminer $\bar{x}_\alpha \dots \bar{x}_\mu, z_1 \dots z_n$

3.3.1. En dérivant (0) par rapport à z_i , s'il y a μ' stations observées cette année i , on obtient

n équations, i de 1 à n

$$z_i = \frac{1}{\mu'} \sum_{\gamma}^{\mu'} \frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma} \quad (1)$$

3.3.2. En dérivant par rapport à $\left(\frac{1}{\bar{x}_\gamma} \right)$, s'il y a n' années observées à cette station γ , on obtient :

μ équations, γ de α à μ

$$\sum_{i}^{n'} x_{\gamma i} \left(\frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma} - z_i \right) = 0 \quad (2)$$

3.3.3. En fait, à cause des observations manquantes, il faut porter les valeurs z_i du système (1) dans l'expression (0) avant de la dériver par rapport à $\left(\frac{1}{\bar{x}_\gamma} \right)$ et on obtient un système de μ équations à μ inconnues en $\left(\frac{1}{\bar{x}_\gamma} \right)$

$$f(1, \gamma) \frac{1}{\bar{x}_\alpha} + f(2, \gamma) \frac{1}{\bar{x}_\beta} + \dots + f(\mu, \gamma) \frac{1}{\bar{x}_\mu} = 0 \quad (3)$$

Ce système, linéaire, est « homogène » et a toujours une solution « banale » $\frac{1}{\bar{x}_\alpha} = \dots = \frac{1}{\bar{x}_\mu} = 0$

Il n'est pas impossible, mais très peu probable, qu'il puisse se réduire à un système de $\mu - 1$ équations (linéaires en $\frac{1}{\bar{x}_\gamma}$) indépendantes (et alors les racines sont déterminées à un coefficient multiplicateur près, de valeur arbitraire, le même pour tous les $\frac{1}{\bar{x}_\gamma}$).

3.4. RÉOLUTION DU SYSTÈME (3)

3.4.1. Pour le résoudre convenablement, il faut le réduire à $(\mu - 1)$ équations linéaires à seconds membres non nuls et à $(\mu - 1)$ inconnues. Nous posons donc $\frac{1}{\bar{x}_\mu} = 1$ et nous calculons par la méthode des moindres carrés (régression multiple) les $(\mu - 1)$ valeurs de $\frac{1}{\bar{x}_\alpha} \dots \frac{1}{\bar{x}_{\mu-1}}$ qui satisfont (au mieux) les μ relations entre les quantités f .

Les $\bar{x}_\alpha$ sont alors connus à un coefficient multiplicateur c près, le même pour tous, y compris $\bar{x}_\mu$ (calculé ci-dessous).

3.4.2. Les z_i sont ensuite calculés par les n équations (1) et ramenés à une moyenne de 1 en les divisant par le coefficient c ci-dessus (dont c 'est le mode de détermination).

3.4.3. On voit que pour chaque année i :

$z_i - \frac{1}{\mu} \sum \frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma}$ est nul (somme sur les $x_{\gamma i}$ observés), mais que pour chaque station γ $\sum \left(\frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma} - z_i \right)$ n'est pas nul (somme sur les $x_{\gamma i}$ observés), sauf exception statistiquement improbable, bien que $\sum \sum \left(\frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma} - z_i \right)$ soit nulle.

3.5. Remarquons que, comme on a été obligé de dériver par rapport à $\frac{1}{\bar{x}_\gamma}$, l'erreur moyenne sur chaque $\frac{1}{\bar{x}_\gamma}$ est la même pour tous, l'erreur « moyenne » sur chaque $\bar{x}_\gamma$ est proportionnelle à $\bar{x}_\gamma^2$, l'erreur « relative moyenne » est proportionnelle à x_γ . Ce défaut n'est pas grave : d'une part, nous travaillons dans une zone climatique homogène, les $\bar{x}_\gamma$ ne sont pas très différents les uns des autres et, d'autre part, l'erreur moyenne est petite lorsque les observations sont homogènes. On peut admettre que la variance de $\bar{x}_\gamma$ est toujours nettement inférieure à $\frac{1}{n}$ fois la variance des observations de la station γ lorsque les observations sont homogènes.

3.6. LA MÉTHODE CI-DESSUS N'EST PAS ÉQUIVALENTE A CELLE QUI CONSISTERAIT A DÉTERMINER, PAR LES MOINDRES CARRÉS, UN VECTEUR LIGNE-STATIONS $C(1, \mu)$ « précipitations annuelles moyennes aux stations » et un vecteur colonne-années $L(n, 1)$ « suite chronologique de précipitations fictives » tels que

$$L C = A(n, \mu) - F(n, \mu)$$

F matrice de résidus minimisée au sens des moindres carrés.

Dans ce cas, pour chaque année $z_i - \frac{1}{\mu} \sum \frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma}$ est nulle, pour chaque station $\sum \left(\frac{x_{\gamma i}}{\bar{x}_\gamma} - z_i \right)$ est nulle et les hyperplans déterminés pour chaque année i par les points d'abscisses sur leurs axes respectifs $x_{\gamma i} - f_{\gamma i}$ (γ de α à μ) ne sont pas parallèles.

3.7. EN 1972 SUR LES MÊMES BASES DE DÉPART (3.2.), nous avons cherché à résoudre les systèmes (1) et (2) par itérations : au départ valeurs moyennes $\bar{x}_Y$, calculées sur toutes les valeurs observées, portées dans le système (1) d'où une première approximation des z_i portée dans le système (2) d'où une nouvelle approximation des $\bar{x}_Y$ portée dans le système (1), etc. La convergence est très rapide, mais les résultats nous avaient semblé très décevants. Il est vrai que les valeurs « erronées » n'avaient pas été éliminées par le système de bornes utilisé maintenant (4).

3.8. ON AURAIT PU (3.2.) PRENDRE UN ESPACE A n DIMENSIONS (les années au lieu des postes) et suivre le même raisonnement, les rôles des z_i et des $\frac{1}{\bar{x}_Y}$ étant inversés. Le programme n'a pas été écrit bien qu'il eut été amusant de comparer les résultats.

4. APPLICATION DU PRINCIPE DE CALCUL AUX CAS CONCRETS

4.1. LA MÉTHODE CI-DESSUS DONNE LE MÊME POIDS A CHACUNE DES VALEURS OBSERVÉES, y compris aux valeurs erronées que l'on cherche à détecter et qui peuvent influencer fortement sur les valeurs des $\bar{x}_Y$ et des z_i .

On suppose que pour chaque année et dans chaque station les valeurs erronées sont en minorité et notre démarche est la suivante :

- *Première itération*, avec les éléments d'origine de la matrice A, calcul d'une première série de valeurs $\bar{x}_Y \dots z_i \dots$
 Comparaison, pour chaque élément de la quantité $\frac{x_{Yi}}{\bar{x}_Y z_i}$ à une borne inférieure et à une borne supérieure : si $\frac{x_{Yi}}{\bar{x}_Y z_i}$ n'est pas compris entre ces deux bornes, x_{Yi} est remplacé dans la matrice A par $\bar{x}_Y z_i$.
- *Deuxième itération*, avec les nouveaux éléments de la matrice A, calcul d'une seconde série de valeurs $\bar{x}_Y \dots z_i$.
 Nouvelle comparaison des $\frac{x_{Yi}}{\bar{x}_Y z_i}$ aux bornes... remplacement... etc.
- *Suite d'itérations*, jusqu'à ce qu'on ne trouve aucun $\frac{x_{Yi}}{\bar{x}_Y z_i}$ à l'extérieur des bornes, ce qui arrive obligatoirement après peu d'itérations.

4.2. ON PEUT CONCEVOIR QUE LE CHOIX DES VALEURS DES BORNES DE COMPARAISON devrait dépendre de var E (2.2.1.) dans la population-mère homogène : il semble difficile de tenir compte de cette remarque et le choix des valeurs des bornes reste arbitraire bien qu'on puisse avoir une approximation de var E (par excès, si l'homogénéité spatiale n'est pas réalisée) en passant par la valeur moyenne des coefficients de corrélation entre stations (2.2.2.).

4.3. NOUS AVONS CHOISI POUR VALEURS DES BORNES 0,8 ET 1,25, valeurs voisines de $\frac{\pi}{4}$ et $\frac{4}{\pi}$ rapports dus aux erreurs les plus fréquentes d'éprouvettes pour les pluviomètres du type Association.

Dans la pratique, on a des chances d'éliminer une bonne partie des valeurs erronées, mais aussi des valeurs « exactes » : ces dernières valeurs, de récurrence élevée, sont d'ailleurs dangereuses pour le calcul des $\bar{x}_Y$ et des z_i .

Nous avons conservé les observations comprises entre les bornes :

$$0,8 < \frac{x_{Yi}}{\bar{x}_Y z_i} < 1,25$$

ce qui peut s'écrire :

$$-0,2 z_i < \left(\frac{x_{yi}}{\bar{x}_Y} - z_i \right) = e_{yi} < 0,25 z_i$$

la variance des écarts E est (en partant de 2.2.1. et de 2.2.3.)

$$c_v^2 (1 - \rho^2)$$

c_v coefficient de variation des stations (1.3.)

ρ coefficient de corrélation linéaire entre indice et station (2.2.3.)

Avec $c_v = 0,16$ et $\rho = 0,841$ par exemple : la racine carrée de var E est de 0,087, ce qui permet d'avoir une idée, approximative, des probabilités (au dépassement ou au non dépassement) des valeurs « exactes » mais éliminées, compte tenu des valeurs de c_v et de ρ .

5. EXEMPLE

Le programme FORTRAN, écrit d'après les principes énoncés ci-dessus, fournit en sortie les pages données en annexe (8.3.) qui permettent de suivre les commentaires figurant en annexe 8.2.

Les données d'entrée dans l'exemple d'utilisation du programme donné dans le présent article sont les précipitations annuelles, après homogénéisation, d'une zone du Togo considérée comme une unité climatique.

6. UTILISATION DU PROGRAMME

6.1. TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

6.1.1. *Essayer d'établir l'historique de chaque station* (cf. note annexe sur cette question) en établissant une fiche par station. Cette fiche pourra être utilisée pour y porter les remarques faites sur la station à chaque passage du programme (erreurs d'éprouvette, changement d'emplacement...). On sera conduit à supprimer (définitivement ou provisoirement pour les premiers passages du programme) des périodes d'observations incohérentes ou douteuses (des valeurs stupides ne sont pas des « informations »), à corriger ce qui peut l'être, à compléter les totaux annuels quand c'est possible... d'où

6.1.2. *l'établissement des cartes de totaux annuels*, par 10 années hydrologiques (et non pas calendaires), « données de première entrée ».

6.1.3. *Pour faire ce travail facilement*, il semble nécessaire d'établir, à partir des cartes COH-102, deux cahiers :

- cahier de précipitations mensuelles et annuelles par station, avec calcul des moyennes mensuelles, en données brutes, sur lequel on portera, au crayon, les suppressions, corrections, compléments de 6.1.1.
- cahier de précipitations mensuelles et annuelles par année, les stations disposées en ordre géographique (données brutes), particulièrement utile pour les compléments (mois manquants), la détection de totaux mensuels aberrants...

6.2. PREMIER PASSAGE DU PROGRAMME AVEC LES « DONNÉES DE PREMIÈRE ENTRÉE »

Examen des pages (voir commentaires en annexe).

Graphique des doubles cumuls.

On peut être conduit à éliminer encore quelques années « aberrantes » mais pas d'une façon évidente, et même

des stations entières, à revoir certains complètement de totaux annuels (effectués en 6.1.1., mais d'après les stations voisines fausses) et donc à refaire un « premier passage avec données de première entrée ».

On peut aussi être conduit à diminuer la superficie de la zone étudiée si ρ_a semble trop faible (8.2. commentaires sur les pages « quatre ») et donc à refaire un premier passage.

Quand on a estimé s'être débarrassé des valeurs « inutilisables et dangereuses » : détection des erreurs d'appareillage et corrections de ces erreurs en tenant compte de l'historique.

Il ne faut certainement pas utiliser ce premier passage pour effectuer des corrections de changement d'emplacement, car les corrections d'erreurs d'appareillage vont un peu modifier les valeurs du vecteur indice.

6.3. DEUXIÈME PASSAGE DU PROGRAMME AVEC LES « DONNÉES CORRIGÉES D'ERREURS D'APPAREILLAGE »

Examen des pages...

Graphique des doubles cumuls...

On peut, à ce stade, être conduit à revoir certaines dates de changement d'appareillage et donc à refaire un « deuxième passage avec données corrigées d'erreurs d'appareillage ».

Quand on a estimé avoir convenablement détecté et corrigé les erreurs d'appareillage : effectuer la détection et la correction des changements d'emplacement en s'aidant des historiques.

Il est bien entendu qu'on ne peut distinguer « changement d'emplacement » et « changement d'environnement » si celui-ci n'est pas très progressif (constructions, plantations d'arbres, ça pousse vite !).

6.3.1. Si la zone étudiée est bien homogène, les changements d'emplacement se voient plus ou moins bien sur les doubles cumuls, les dates peuvent être choisies, d'après les historiques (en général courte, ou longue, période d'interruption des observations, changement probable d'observateur).

La décision de faire une correction de changement d'emplacement est assez délicate à prendre, car on peut la faire à tort et obtenir des distances entre rails trop faibles. Je propose, pour l'instant, les règles suivantes :

c étant le coefficient multiplicateur de changement d'emplacement d'après les pentes des rails des doubles cumuls, $\bar{\rho}$ étant la valeur moyenne des coefficients de corrélation, page « quatre » (si les coefficients de corrélations des stations sont très dispersés, il vaut mieux prendre ρ_a de 8.2.4. commentaires sur les pages « quatre »), et n étant le nombre d'années de la période étudiée.

6.3.2. Si c est voisin de 1 par exemple $0,91 \leq c \leq 1,10$ (ce qui permettra, j'espère sans risque, de multiplier non seulement les totaux annuels et mensuels, mais aussi les précipitations journalières par c),

calculer $\bar{\alpha} = \sqrt{\frac{3}{7} (1 - \bar{\rho}) \sqrt{n-1}}$ et $v = 1 + \frac{\bar{\alpha}}{|c-1|}$, arrondir v à l'entier le plus proche.

Si le nombre d'années sur lequel on a, croit-on, détecté un changement d'emplacement (ou si le nombre d'années admises sans changement d'emplacement) est inférieur à v , ne pas effectuer la correction (risque d'avoir entre rails une distance ridiculement faible).

6.3.3. Si c n'est pas voisin de 1 $c < 0,90$? ou $c > 1,11$? scinder la station en deux : en créer une autre (nouveau numéro) pour la période incriminée (cela arrive facilement lorsque la station, sans changer de nom, a été déplacée avec un changement d'environnement important, par exemple de la ville à l'aérodrome).

6.4. TROISIÈME PASSAGE DU PROGRAMME AVEC LES « DONNÉES CORRIGÉES D'ERREURS D'APPAREILLAGE ET DE CHANGEMENT D'EMPLACEMENT »

Examen des pages...

Graphiques des doubles cumuls...

On pourra être amené à modifier des dates de changements d'emplacement, des valeurs de coefficient multi-

plicateur (6.3.1.), à corriger de changement d'emplacement malgré la valeur de v et donc à refaire un « Troisième passage... ».

Quand on a estimé avoir convenablement détecté et corrigé ces erreurs, on peut revenir sur les années éliminées :

- connaissant la moyenne $\bar{x}_\alpha$ de la station (page « quatre »), la valeur z_i de l'indice pour l'année i (page « trois ») et une valeur approximative du coefficient $c_{\alpha i}$ d'après les valeurs des coefficients des stations voisines pour cette année i (page « six »),
- la précipitation de l'année i à la station α est, approximativement, $\bar{x}_\alpha z_i c_{\alpha i} = x_{\alpha i}$

Le rapprochement des précipitations journalières de la station à celles des stations voisines permet, quelquefois, compte tenu de la valeur $x_{\alpha i}$, de comprendre ce qui s'est passé (erreurs « aléatoires » de virgule en général) et de rectifier les valeurs des précipitations journalières.

On peut également revenir sur les stations éliminées en entier, en utilisant le double cumul station-vecteur avec une idée, a priori mais d'après les stations voisines, de la moyenne à la station. Quelques années d'observations pourront, peut-être, être ainsi récupérées.

On peut aussi, ayant calculé $x_{\alpha i}$, compléter — en tenant compte des stations homogénéisées les plus proches — certaines années incomplètes qui n'avaient pas été utilisées.

6.5. COMPLÈTEMENT DE SÉRIES CHRONOLOGIQUES

Si on a besoin de compléter une série chronologique de précipitations annuelles à une station α , on peut le faire à condition de posséder les valeurs z_i des années à inventer pour cette station.

Il est indispensable de ne pas diminuer la variance relative à cette station et on peut, pour cela :

- soit passer par les « écarts » : tirer au hasard, pour chaque année, dans une loi normale de moyenne nulle et de variance égale à MT2 de la page « cinq » un écart $e_{\alpha i}$. La précipitation annuelle sera $x_{\alpha i} = \bar{x}_\alpha (e_{\alpha i} + z_i)$;
- soit passer par les « coefficients » : tirer au hasard, pour chaque année, dans une loi normale de moyenne nulle et de variance égale à MT2 de la page « six » un coefficient $c'_{\alpha i}$. La précipitation annuelle sera $x_{\alpha i} = \bar{x}_\alpha z_i (1 + c'_{\alpha i})$.

Il sera bon, pour ne pas trouver de valeurs trop extraordinaires, d'éliminer (recommencer le tirage au hasard) les valeurs de c ou de c' supérieures en valeurs absolues à 2,5 écarts types (c'est-à-dire de récurrences supérieures à 80).

7. CONCLUSION

On arrive ainsi à réaliser l'homogénéité spatiale et temporelle des précipitations annuelles sur la zone et pour la période étudiée. Il ne faut pas prétendre avoir fait du « vrai », on ne cherche qu'à faire du « plausible » et c'est bien suffisant.

Il est ensuite facile de passer des précipitations annuelles aux précipitations mensuelles si on a bien noté les compléments, corrections... sur les fiches des stations (6.1.1.).

Il est beaucoup plus difficile d'homogénéiser les précipitations journalières : s'il suffisait d'utiliser des coefficients multiplicateurs (erreurs d'appareillage, changements d'emplacement) et de tenir compte des corrections notées au fur et à mesure sur les fiches des stations (erreurs d'interprétation, corrections de virgule, de « zéro »...), ce ne serait rien. En fait il faudrait :

- dégroupier les totaux cumulés de plusieurs jours de pluie (plus d'un observateur sur deux n'effectue pas son relevé tous les jours) ;
- recalculer dans le temps les jours de pluie (avec les imprimés en service de fiches mensuelles, les négligences de l'observateur, les corrections faites dans les services météo, on ne sait pas, en général à deux jours près, à quelle journée climatologique appartient un total de précipitation journalière).

8. ANNEXES

8.1. NOTE SUR L'ÉTABLISSEMENT DE L'HISTORIQUE DES STATIONS

La première chose à faire, avant de commencer l'étude d'homogénéité, est d'essayer d'établir l'historique de chaque station :

- Organisme ou Service installateur et date d'installation, prise en charge par un autre organisme ou service,
- changements d'observateurs, d'appareillage, d'emplacement, d'environnement, interruptions d'observations avec les motifs.

Les NOTEM, catalogues des stations et postes pluviométriques publiés par les Services météorologiques sont très décevants à consulter. On ne peut les tenir comme exacts que pour les dates de changement de nature (pluviométrique, climatologique, synoptique) de la station.

8.1.1. *Si on a à sa disposition les fiches mensuelles originales des observateurs* (avec correspondance au Service) ou les microfilms, photocopies de ces fiches, le travail est assez simple : on trouve les noms et professions des observateurs, leurs demandes de matériel, quelquefois mention de changement d'emplacement, de vérification de l'étanchéité du pluviomètre, mention des interruptions d'observations pour cause de maladie, de congé.

Malheureusement, on n'y trouve pas mention du type de pluviomètre ni du type de l'éprouvette utilisée (sauf cas d'éprouvette en cm³ ou en cl), ni des modifications d'environnement.

On en profitera pour rectifier les erreurs d'interprétation faites au Service météorologique sur les valeurs écrites par l'observateur.

8.1.2. *Si on a à sa disposition uniquement les fiches annuelles de précipitations journalières*, établir l'historique de chaque station est difficile et très long, car il faut examiner attentivement les totaux journaliers pour déceler les changements probables d'observateurs d'après les modifications de notation (arrondis, présence ou absence de dixièmes de mm, rosées, jours groupés). On peut être amené à dénombrer les diverses valeurs de dixièmes de mm : certains observateurs n'aiment pas les 1, ou 9, d'autres préfèrent les 2...

Les interruptions d'observations de courtes durées ne sont pas indiquées, et les jours correspondants notés en précipitations nulles (un mois entier en saison des pluies, ou six semaines à cheval sur deux mois consécutifs).

Une interruption des observations conduit souvent à proposer un changement d'observateur... d'emplacement : elle peut être due aussi à une perte (dans la transmission du courrier, au Service météorologique), d'une fiche mensuelle, à une maladie, un congé de l'observateur, à son dégoût de ne pas recevoir régulièrement son indemnité.

8.1.3. *En fait, ce travail sur les fiches annuelles de précipitations journalières est si long* qu'il n'est pas possible de le faire systématiquement : mais on sera bien obligé d'en faire une partie pour chaque anomalie qu'on détectera par le programme d'homogénéisation.

8.1.4. *Etablissement de la suite chronologique des précipitations annuelles*

En même temps, on pourra établir la suite chronologique des précipitations annuelles (en années hydrologiques ou climatiques, ce point est important) en regardant aussi les relevés des stations voisines et en notant la qualité des relevés journaliers.

On éliminera les années complètement fausses et inutilisables (l'observateur a écrit n'importe quoi, n'importe quand, ou pluviomètre manifestement percé).

On corrigera des relevés faux mais utilisables sans trop de risques (erreurs de « zéro »).

On corrigera des erreurs « d'échelle » manifestes : tous les relevés d'un mois ou de plusieurs mois consécutifs à multiplier par 10, à diviser par 10... ou manifestement effectués en centimètres cubes ou en centilitres.

On complètera les années dont quelques totaux mensuels manquent ou sont inutilisables tels quels, en se basant sur les stations environnantes. On peut compléter jusqu'au tiers — ou 40% — du total annuel estimé sans risquer d'erreur supérieure à 10% sur ce total, erreur négligeable devant la variance.

8.1.5. Enquête sur le terrain

En fait, la toute première des choses à faire, après avoir fait l'inventaire des stations et des données « probables » et des données « disponibles », avant de commencer tout travail d'homogénéisation, serait une enquête sur le terrain :

- vérification du pluviomètre, des éprouvettes (et de l'environnement),
- interrogatoire de l'observateur pour savoir depuis quand il se sert de ce pluviomètre, de l'éprouvette, que sont devenus les appareils précédents (motif du changement), s'il y a eu changement d'emplacement du pluviomètre (et quand, et où était-il avant ?), s'il y a eu modification d'environnement. Dans certains cas on apprendra qu'il y a dix ans, quinze ans, sans changement d'observateur, d'appareillage, d'emplacement, d'environnement : bonne base de départ.

8.2. COMMENTAIRES SUR LES RÉSULTATS FOURNIS PAR LE PROGRAMME

8.2.1. Commentaires sur les pages « une »

Les pages « une » fournissent par station (au maximum 14 stations par feuille) des quantités directement calculées sur les valeurs observées et conservées. Matrice Y est mise égale à matrice X.

Les valeurs des coefficients de variations sont intéressantes à regarder car on peut déceler des aberrations : ce coefficient a pour valeur probable (2.2.4.)

$$\sqrt{\text{var } Z + \text{var } E} = c_v$$

- variance de Z page « trois » *in fine*
- variance de E peut être prise égale à MT2, page « cinq » *in fine*.

L'écart-type de c_v est, avec une approximation suffisante, de l'ordre de

$$\frac{c_v}{\sqrt{(2n - 1)}}$$

n étant le nombre d'années conservées.

8.2.2. Commentaires sur les pages « deux »

Ces lignes donnent en colonnes par millésimes, en lignes par numéros de stations (au maximum 42 stations et 10 années par feuille) la matrice des observations, conservées après la deuxième étape, où les données manquantes sont remplacées par des étoiles.

Ces pages permettent de vérifier s'il n'y a pas eu d'erreur de perforation des cartes de totaux annuels (6.2.1.).

En cas d'erreur de colonne dans un total annuel perforé, la valeur moyenne des écarts (page « trois ») sera exagérément grande (en valeur absolue) pour cette année, comme elle le sera pour la station (page « quatre »).

8.2.3. Commentaires sur les pages « trois »

Ces pages donnent en colonnes par années (au maximum 42 années par feuille), le nombre de stations utilisées pour chaque année (suivant son millésime), la valeur correspondante de l'élément z_i du vecteur Z, le cumul de $(z_i - 1)$, la moyenne par année des écarts à z_i et en fin de la dernière page « trois » des éléments intéressants de la distribution de Z.

8.2.3.1. Moyennes des écarts par années

Si l'homogénéité spatiale des observations n'est pas réalisée et s'il y a des erreurs d'appareillage, les moyennes annuelles des écarts à z de la page « trois » ne seront pas toutes nulles : on distingue les années ou séquences d'années où il a pu « se passer quelque chose ».

Si ces moyennes sont toutes nulles, il est probable que les corrections d'erreurs d'appareillage ont été convenablement effectuées lorsque la valeur moyenne du coefficient de corrélation (page « quatre » *in fine*) est forte (4.3.) ; mais si cette valeur est faible, attention, il peut y avoir des corrections faites à tort. Les corrections peuvent avoir

été bien faites et il peut y avoir des moyennes annuelles d'écarts non nulles (même si les corrections de changement d'emplacement ont été bien faites) lorsque la valeur moyenne du coefficient de corrélation n'est pas élevée.

8.2.3.2. Test d'homogénéité

Il est probable que dans beaucoup de zones climatiques homogènes la distribution des z ne soit pas normale. Comme elle est très probablement uni-modale et pas trop dissymétrique (dans la population-mère), la valeur de la probabilité au dépassement est peut-être surévaluée. Par contre, le fait de se donner a priori une valeur moyenne de 1 pour les indices z de l'échantillon sous-évalue cette probabilité. Les deux effets étant de sens contraire on peut admettre que la probabilité est suffisamment bien approchée. Si elle est faible, cela signifie une « organisation » chronologique : les valeurs des indices ne sont pas indépendantes de la chronologie.

8.2.3.3. Coefficient d'auto-corrélation

Sa valeur :

$$\left(\sum_{i=1}^{n-1} z_i z_{i+1} - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} z_i \sum_{i=2}^n z_i \right) / \left[\left(\sum_{i=1}^{n-1} z_i^2 - \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^{n-1} z_i \right)^2 \right) \left(\sum_{i=2}^n z_i^2 - \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=2}^n z_i \right)^2 \right) \right]^{1/2}$$

permet de voir si l'« organisation » chronologique est du type Markovien : si elle est grande, il y a « persistance » à condition qu'on soit arrivé à réaliser l'homogénéité des observations.

8.2.4. Commentaires sur les pages « quatre »

Ces pages donnent pour chaque station (au maximum 15 stations par feuille, cf. page « une ») le nombre d'années utilisées, la moyenne interannuelle d'après le vecteur (différente de la moyenne de la page « une » calculée sur les observations conservées), la moyenne des écarts, la probabilité au dépassement de la valeur du test d'homogénéité et le coefficient de corrélation linéaire des observations à la station avec le vecteur Z .

En fin de la dernière page « quatre » on trouve : les valeurs moyennes (non pondérées) pour l'ensemble des stations : des probabilités au dépassement des valeurs du test et des coefficients de corrélation linéaire avec Z .

8.2.4.1. Moyennes des écarts par stations

Ces moyennes ne doivent pas être nulles, par principe (3.4.3.), mais petites en valeurs absolues (chaque moyenne est d'espérance mathématique nulle, de variance inférieure à $\frac{\text{var } E}{n}$, n nombre d'années et $\text{var } E$ prise égale à MT2 « page 5 » *in fine*). Une moyenne forte, en valeur absolue, indique une station « où il se passe quelque chose ».

8.2.4.2. Test d'homogénéité

8.2.4.2.1. La valeur moyenne de la probabilité au dépassement est intéressante. En supposant les E_α répartis normalement, un très grand nombre μ de stations observées ensemble, sur un très grand nombre d'années, cette valeur moyenne serait de 0,5 avec une variance de $\frac{1}{12\mu}$ dans le cas de l'homogénéité des observations. En fait, le

nombre d'échantillons est petit, leurs tailles sont petites. Comme $e_{\alpha i} = \frac{x_{\alpha i}}{\bar{x}_\alpha} - z_i$ et que les z_i ne sont pas indépendants des $x_{\alpha i}$, il semble que la valeur moyenne de la probabilité doit être supérieure à 0,5 — mais pas trop — lorsque l'homogénéité spatiale est réalisée.

8.2.4.2.2. Si le nombre de stations était très grand ainsi que le nombre d'années et si les observations étaient homogènes, la répartition des valeurs des probabilités au dépassement du test serait uniforme entre 0 et 1. On ne sera jamais dans ce cas. Une faible valeur de la probabilité indique un changement d'emplacement probable (cf. page « huit »).

8.2.4.3. Coefficient de corrélation linéaire

8.2.4.3.1. Si toutes les corrections ont été bien faites (plus exactement, si elles sont plausibles), la valeur moyenne des coefficients de corrélation (entre l'indice Z et une station) mesure l'homogénéité des précipitations annuelles sur la zone étudiée.

La question se pose de savoir jusqu'à quelle valeur moyenne de ce coefficient on admettra l'homogénéité de la zone étudiée (4.3.). Dans bien des cas, on aura avantage à réduire la zone en diminuant le nombre de stations.

8.2.4.3.2. *Par station, la valeur du coefficient de corrélation avec l'indice*, est bien sensible aux corrections d'erreurs d'appareillage, nettement moins sensible aux corrections de changements d'emplacement (à l'inverse de la valeur de la probabilité du test). Lors du passage des données « brutes » (mais dont on a éliminé les relevés manifestement ineptes) on peut soupçonner a priori d'erreur d'appareillage les stations dont le coefficient de corrélation est inférieur à la valeur moyenne : ce qui ne peut pas affirmer que ce soit les seules à être, ou qu'elles soient toutes, entachées d'erreurs d'appareillage (cf. page « huit »).

8.2.4.3.3. *Au premier passage, il y a probablement un certain nombre de stations non homogènes* et la valeur moyenne des coefficients de corrélation s'en ressent. Il sera utile, pour avoir une meilleure idée de l'homogénéité climatique de la zone étudiée, de faire la moyenne $\bar{\rho}_a$ des $\frac{\mu}{2}$ ou $\frac{\mu}{3}$ coefficients de corrélation les plus forts.

Si le coefficient de corrélation d'une station est vraiment trop faible, on peut être conduit à l'éliminer entièrement.

8.2.5. Commentaires sur les pages « cinq »

Ces pages donnent, en colonne par station, en ligne par année (maximum 14 stations, 42 années par feuille) les valeurs des écarts à z_1 (étoiles dans le cas de relevé manquant). En fin de la dernière page « cinq » on trouve les moments naturels de ces écarts.

8.2.5.1. Au passage des données « brutes » il est intéressant de souligner les écarts inférieurs à $-2\sqrt{MT2}$ ou supérieurs à $+2\sqrt{MT2}$ (ou si l'on veut raffiner, inférieurs à $-2\sqrt{MT2} + \frac{MT3}{2 \cdot MT2}$, ou supérieurs à $+2\sqrt{MT2} + \frac{MT3}{2 \cdot MT2}$, ces bornes délimitant environ 90% des valeurs des écarts, MT 2 et MT 3 valeurs calculées page « cinq » *in fine*). Cela permet de déceler les années trop faibles ou trop fortes et surtout les séquences de valeurs d'écarts forts ou faibles (erreur d'appareillage possible). En cas d'années isolées, il faut, d'une part, se reporter aux relevés originaux pour voir s'il n'y a pas eu d'erreur de copie, d'interprétation... (on sera peut-être amené à éliminer une année qu'on croyait d'observations plausibles, mais qui semblent inutilisables une fois regardées plus soigneusement), et il faut, d'autre part, regarder si les stations voisines n'ont pas d'écarts faibles ou forts (cet examen est plus facile sur les coefficients — cf. pages « six »).

8.2.5.2. Aux passages suivants, il reste intéressant de souligner les valeurs extérieures aux bornes données plus haut et de vérifier pourquoi ces écarts sont forts ou faibles.

8.2.5.3. Quand on a effectué les corrections d'appareillage, les séquences d'écarts négatifs avec très peu de valeurs positives petites (ou inversement) permettent d'imaginer la possibilité d'un changement d'emplacement.

8.2.5.4. Notons que si toutes les corrections ont été bien faites (plus exactement, si elles sont plausibles), la moyenne MT 1 des écarts doit être petite, en valeur absolue (inférieure à 0,005 ?).

8.2.6. Commentaires sur les pages « six »

Ces pages donnent en colonne par année, en ligne par station (même disposition que les pages « deux », maximum 42 stations et 10 années par feuille) la matrice des coefficients (étoiles dans le cas de relevé manquant). En fin de la dernière page « six » on trouve les moments naturels de ces coefficients — 1).

8.2.6.1. Il est intéressant de souligner les coefficients inférieurs à 0,8 ou supérieurs à 1,25 : une bonne partie de ces coefficients soulignés correspondront aux mêmes stations-années que les écarts soulignés des pages « cinq », et on utilisera ces coefficients soulignés de la même façon que les écarts soulignés.

8.2.6.2. Les corrections d'appareillage faites, il restera, probablement, quelques coefficients soulignés pour des années isolées. L'examen des coefficients des stations voisines pour les mêmes années montrera si ces valeurs soulignées sont plausibles. Par exemple : la station A montre un coefficient de l'ordre de 0,75 pour l'année I, avec

des coefficients compris entre 0,9 et 1,1 pour les années voisines. Si les stations les plus proches de la station A ont des coefficients compris entre 0,8 et 0,9 par exemple, on pourra admettre que la station A correspond à un épicycle de précipitation relativement faible par rapport au reste de la zone.

8.2.7. Commentaires sur les pages « sept »

Ces pages donnent en colonne par année, en ligne par station, les cumuls $P(\bar{I})$ des éléments du vecteur Z (cumuls rappelés en avant-dernière ligne) et les cumuls de chaque station (maximum 42 stations, 10 années par feuille).

Lorsqu'un total annuel manque, il est remplacé, pour le cumul, par le produit $z_1 \bar{x}_z$ exprimé en mètres et le signe du cumul est négatif.

Ces cumuls permettent de tracer facilement à la main les doubles cumuls vecteur-stations (ou stations entre elles).

8.2.7.1. Ces pages sont écrites pour faciliter le tracé des doubles cumuls vecteur-indice et stations. Nous rappelons qu'un cumul négatif signifie « année non observée » et qu'il ne faut pas porter le point correspondant sur le graphique, sauf si le cumul correspondant à l'année suivante est positif.

8.2.7.2. Lorsqu'on détecte une erreur d'appareillage sur le graphique des doubles cumuls (en abscisses : cumul de la station, en ordonnées cumul du vecteur indice) et qu'on a pu tracer des rails quasi parallèles (à distance convenable, cf. 3.2. : commentaires sur les pages « huit ») pour une partie A, avant cassure par exemple, de pente a on connaît la pente b pour la partie B après cassure d'après l'erreur d'appareillage admise, et on peut tracer des rails (à distance convenable) pour cette partie B. On peut déterminer la date de changement d'appareillage (date en « hauteur de précipitation ») en tenant compte de l'aspect des totaux journaliers (ou des totaux mensuels par rapport aux stations voisines), en remarquant que la correction doit amener les rails B dans le prolongement des rails A par pivotement sur des points des rails A de mêmes abscisses (pour le rail inférieur et pour le rail supérieur). Si la correction est bien faite en dates de début et de fin, les rails de la partie A' (partie après la partie B, correspondant au retour au bon appareillage) se retrouvent dans la prolongement des rails de la partie A. On voit que la correction sur la partie B est le total pluviométrique (parallèlement aux abscisses) entre les rails parallèles A et A'. Cette remarque est utile car la partie B peut être de trop courte durée.

8.2.7.3. Le même procédé doit être utilisé pour la correction de changement d'emplacement. La différence est qu'alors la nouvelle pente est inconnue, Mais, en général, on connaît mieux la date (interruption d'observations, changement d'observateur...). De plus, la longueur de la partie B permet de bien tracer les rails correspondants, alors qu'en cas d'erreur d'appareillage cette partie est souvent trop courte.

8.2.8. Commentaires sur les pages « huit »

Détermination, par station, de la distance (parallèlement à l'axe des cumuls de Z) F (J, 2) des deux droites parallèles les plus proches de pentes 1/valeur moyenne de la page « quatre »-entre lesquelles (ou sur lesquelles) se trouvent tous les points représentatifs des années observées du double cumul vecteur-station. Cette distance, en unité vecteur, est écrite à la suite de « / XM ».

Détermination des « rails » par station. Un « rail » inférieur (ou supérieur) est la droite s'appuyant sur deux points du graphique double-cumul vecteur-station (les Y (i, j) pris en valeurs absolues) laissant d'un seul côté tous les autres points. Parmi toutes les droites ainsi possibles, on choisit celle pour laquelle la distance (comptée parallèlement à l'axe des Z en unité vecteur) entre cette droite et le point le plus éloigné du graphique se trouve la plus petite.

Les pages « huit » donnent par station (au maximum 14 stations par feuille cf. pages « quatre » et « une ») les millésimes des points sur lesquels s'appuie chaque « rail », sa pente en millimètres par rapport à l'unité du vecteur (valeur voisine de la valeur moyenne de la page « quatre ») et la distance définie ci-dessus pour le choix du rail. La valeur écrite à la suite de « ESP » est, en unité vecteur, la distance moyenne qu'on peut attendre étant donné le nombre réel d'années observées et le coefficient de corrélation linéaire avec Z (page « quatre »).

8.2.8.1. Nous rappelons que les « rails » sont déterminés d'après les points du graphique de double cumul, y compris les points inventés pour remplacer les années manquantes, de même que les distances entre rails.

Par contre, la quantité appelée « / XM » n'est calculée que d'après les points correspondants aux années réellement observées.

La pente des rails est donnée en millimètres et correspond au cumul du vecteur indice en abscisses, au cumul de la station en ordonnées.

Lorsque l'homogénéité est réalisée, il semble probable qu'environ la moitié des valeurs « / / XM » doive être inférieure à la plus grande distance entre rails de la station.

8.2.8.2. En cours d'homogénéisation il est intéressant de regarder les années des points sur lesquels s'appuient les rails : si les millésimes sont alternativement (en chronologie) du rail supérieur et du rail inférieur, et si les distances sont convenables (cf. infra) c'est bon signe et il n'est pas nécessaire de tracer le double cumul de la station avec le vecteur. Si les distances sont grandes, il peut y avoir eu erreur d'appareillage (ou deux changements d'emplacement) au cours de la période étudiée.

Si les millésimes ne sont pas alternés et qu'un rail s'appuie sur un des premiers points (0,1 ou 2) et sur un des derniers points (N-2, N-1, N), il est probable qu'il y ait eu un changement d'emplacement au cours de la période, ou une erreur d'appareillage au début ou en fin de période.

8.2.8.3. Valeur de la quantité dénommée « E S P »

8.2.8.3.1. Quelques tirages au hasard ont permis d'établir une formulation expérimentale de l'espérance mathématique approximative de la plus petite « d_m » des deux distances entre rails, en fonction du coefficient de corrélation ρ' de la station avec l'indice (donné pages « quatre ») et du nombre n' d'années observées à la station :

$$\text{en unité-vecteur } \overline{d_m} = \sqrt{\frac{3}{7} (1 - \rho') \sqrt{n' - 1}} = \text{E S P}$$

pour $0,7 < \rho' < 0,95$.

La distribution de d_m n'est pas connue, mais d'après les tirages au hasard on peut admettre qu'approximativement :

- 90% des valeurs (aléatoires) de d_m sont comprises entre $0,8 \overline{d_m}$ et $1,40 \overline{d_m}$
- 75% des valeurs (aléatoires) de d_m sont comprises entre $0,88 \overline{d_m}$ et $1,27 \overline{d_m}$
- 50% des valeurs (aléatoires) de d_m sont comprises entre $0,91 \overline{d_m}$ et $1,15 \overline{d_m}$

Ceci permet d'avoir une idée de la distance « convenable » dont nous avons parlé plus haut.

8.2.8.3.2. *E S P* est calculé, pages « huit », d'après la valeur du coefficient de corrélation de la station, et si ce coefficient est très petit *E S P* sera grand : il sera utile pour avoir une meilleure idée de la distance convenable de

multiplier *E S P* par $\sqrt{\frac{1 - \rho_a}{1 - \rho'}}$, ρ_a étant la valeur moyenne dont nous avons parlé en 3.3. des commentaires sur les pages « quatre ».

8.3. EXEMPLE DE SORTIE (programme en Fortran)

VENDREDI 04 JANVIER 1980 13H.04MN VECTEUR / MOYENNES PAGE UNE 1
ETUDE SUR 55 ANS DE 1904 A 1977 DES STATIONS CONSERVEES

NO	TOGO	KLOUTO	MOYENNE	COEF VAR	NO	REP
109	105065.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 49	1628.7	0.1990	109	1
VARIANCE		COFF ASY 0.847				
166	57622.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 50	1444.2	0.1662	166	2
VARIANCE		COFF ASY 0.703				
154	43469.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 52	1182.5	0.1763	154	3
VARIANCE		COFF ASY 0.450				
196	53986.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 29	1051.8	0.2209	196	4
VARIANCE		COFF ASY 0.557				
16	71116.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 34	1428.3	0.1867	16	5
VARIANCE		COFF ASY 0.331				
55	43719.19	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 38	988.9	0.2114	55	6
VARIANCE		COFF ASY 0.386				
208	38091.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 49	1035.7	0.1884	208	7
VARIANCE		COFF ASY 0.491				
202	35358.06	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 30	1003.1	0.1875	202	8
VARIANCE		COFF ASY -0.151				
46	42138.00	NBRF D ANNEES CONSERVFFS 45	1131.6	0.1814	46	9
VARIANCE		COFF ASY 0.532				

MATRICE DES OBSERVATIONS RETENUES PAGE DEUX 1

19041905**1906**1907**1908**1909**1910**1911**1912**1913**

109	860.	1453.	1638.	1692.	1598.	1699.	2718.	1367.	1188.	1446.	NO	109	REP	1
166	****	****	****	****	1306.	1451.	1967.	1367.	1096.	1383.	NO	166	REP	2
154	****	997.	1016.	931.	1029.	1326.	1457.	976.	939.	1142.	NO	154	REP	3
196	****	****	1021.	831.	1083.	1050.	****	932.	****	****	NO	196	REP	4
16	801.	1664.	1639.	1257.	1263.	1629.	1990.	1314.	1078.	1262.	NO	16	REP	5
55	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NO	55	REP	6
208	****	****	****	****	1049.	1133.	****	824.	827.	1005.	NO	208	REP	7
202	956.	830.	822.	946.	895.	1285.	965.	1013.	763.	1178.	NO	202	REP	8
46	****	****	****	1183.	1153.	1271.	1396.	1001.	1046.	992.	NO	46	REP	9

19041905**1906**1907**1908**1909**1910**1911**1912**1913**

MATRICE DES OBSERVATIONS RETENUES PAGE DEUX 2

19271934**1935**1936**1937**1938**1939**1940**1941**1942**

109	1565.	1583.	1756.	1388.	1484.	1766.	2714.	****	1241.	1414.	NO	109	REP	1
166	1367.	1400.	1774.	1156.	1204.	1456.	1490.	1360.	1483.	1447.	NO	166	REP	2
154	1201.	1359.	1327.	925.	1080.	1364.	1229.	1061.	1136.	1283.	NO	154	REP	3
196	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NO	196	REP	4
16	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NO	16	REP	5
55	****	****	****	****	760.	1097.	1150.	****	****	****	NO	55	REP	6
208	****	1424.	1200.	914.	830.	1053.	1008.	912.	1241.	1048.	NO	208	REP	7
202	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NO	202	REP	8
46	****	****	****	****	881.	924.	1302.	979.	1357.	1174.	NO	46	REP	9

19271934**1935**1936**1937**1938**1939**1940**1941**1942**

MATRICE DES OBSERVATIONS RETENUES PAGE DEUX 3
 19431944**1945**1946**1947**1948**1949**1950**1951**1952**
 109 1599. 1591. 1320. 1503. ***** 1698. 1819. 1375. 1893. 1870. NU 109 REP 1
 166 1636. 1328. 1098. 1161. ***** 1531. 1459. 1411. 1322. 1684. NU 166 REP 2
 154 1151. 1158. 813. ***** 1554. ***** 1474. 1099. 1297. 1285. NU 154 REP 3
 196 ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** NU 196 REP 4
 16 ***** ***** ***** ***** ***** 1394. 1453. 1243. ***** ***** ***** ***** NU 16 REP 5
 55 816. 1010. 740. 847. 1396. 858. 1188. 762. 1151. 1004. NU 55 REP 6
 208 755. 976. 776. 776. 1334. 991. 1105. 1054. 1065. 1025. NU 208 REP 7
 202 ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** NU 202 REP 8
 46 946. 1029. 1031. 1097. 1353. ***** 1415. 1121. 1109. 1297. NU 46 REP 9
 19431944**1945**1946**1947**1948**1949**1950**1951**1952**

MATRICE DES OBSERVATIONS RETENUES PAGE DEUX 4
 19531954**1955**1956**1957**1958**1959**1960**1961**1962**
 109 1305. 1702. 1905. 1678. 2091. 1433. 1460. 2083. 1214. 1655. NU 109 REP 1
 166 1466. 1372. 1783. 1470. 1735. 1048. 1415. 1623. 1044. 1671. NU 166 REP 2
 154 978. 1165. 1244. 952. 1615. 984. 1331. 1634. 984. 1348. NU 154 REP 3
 196 ***** 1103. 1346. 826. 1307. 654. 1126. 1185. 846. 1232. NU 196 REP 4
 16 ***** 1510. 1515. 1323. 1931. 1121. 1310. 1651. 1105. 1605. NU 16 REP 5
 55 869. 979. 1156. 1001. 1186. 753. 1160. 1120. 754. 1350. NU 55 REP 6
 208 1030. 884. 1047. 1018. 1338. 724. 1109. 1339. 945. 1351. NU 208 REP 7
 202 ***** ***** 1194. 920. 1212. 817. 1354. 1105. 1061. 1264. NU 202 REP 8
 46 1181. 1218. 1093. 892. 1328. 760. 1422. 1192. 924. 1435. NU 46 REP 9
 19531954**1955**1956**1957**1958**1959**1960**1961**1962**

MATRICE DES OBSERVATIONS RETENUES PAGE DEUX 5
 19631964**1965**1966**1967**1968**1969**1970**1971**1972**
 109 2292. 1494. 1592. ***** 1664. 2312. 1589. 1831. ***** ***** NU 109 REP 1
 166 1995. 1258. 1731. 1491. 1317. 2178. 1478. 1284. 1498. 1575. NU 166 REP 2
 154 1705. 1059. 1162. 1218. 1147. 1693. 1163. 1258. 1066. 988. NU 154 REP 3
 196 1577. 858. 1292. 1078. 995. 1595. 754. 1055. 935. 781. NU 196 REP 4
 16 1752. 1399. 1497. 1456. 1488. 2056. 1261. 1228. 1227. 1411. NU 16 REP 5
 55 1154. 763. 975. 1029. 1079. 1534. 733. 1073. 689. 857. NU 55 REP 6
 208 1476. 913. 1026. 954. 1202. 1494. 820. 1023. 919. 1002. NU 208 REP 7
 202 1324. 1006. 1114. 1045. ***** ***** ***** 1101. 845. 991. NU 202 REP 8
 46 1418. 985. ***** 1198. ***** 1740. 1104. 1022. 951. 1219. NU 46 REP 9
 19631964**1965**1966**1967**1968**1969**1970**1971**1972**

MATRICE DES OBSERVATIONS RETENUES PAGE DEUX 6
 19731974**1975**1976**1977**
 109 ***** 1666. 1563. 1382. 1195. ***** ***** ***** ***** ***** NU 109 REP 1
 166 1377. 1417. 1370. 1272. 1009. ***** ***** ***** ***** ***** NU 166 REP 2
 154 1175. 1191. 1215. 1103. 696. ***** ***** ***** ***** ***** NU 154 REP 3
 196 970. 1176. 1279. 790. 826. ***** ***** ***** ***** ***** NU 196 REP 4
 16 1125. 1605. ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** ***** NU 16 REP 5
 55 879. 1178. 1086. 829. 613. ***** ***** ***** ***** ***** NU 55 REP 6
 208 1087. 1205. 1021. 678. 779. ***** ***** ***** ***** ***** NU 208 REP 7
 202 894. 950. 1014. 658. 550. ***** ***** ***** ***** ***** NU 202 REP 8
 46 1040. 1035. 1103. 976. 650. ***** ***** ***** ***** ***** NU 46 REP 9
 19731974**1975**1976**1977**

VECTEUR Z NBRE STATIONS	APHES 2 ANNEE	ITERATIONS VECTEUR	CUMUL 0.0	F=ECARTS A Z MOYENNE	PAGE MOMENT 2	TROIS 1
3	1904	0.6445	-0.36	0.0360	0.036021	1904
4	1905	0.8746	-0.48	0.0625	0.025711	1905
5	1906	0.9652	-0.52	0.0000	0.015473	1906
6	1907	0.9175	-0.60	0.0000	0.010442	1907
8	1908	0.9528	-0.65	0.0000	0.003852	1908
8	1909	1.1049	-0.54	0.0000	0.006897	1909
6	1910	1.3175	-0.22	-0.0026	0.046456	1910
8	1911	0.8918	-0.33	0.0000	0.004075	1911
7	1912	0.7919	-0.54	0.0000	0.003701	1912
7	1913	0.9627	-0.58	0.0000	0.008040	1913
3	1927	0.9783	-0.60	0.0000	0.001138	1927
4	1934	1.1204	-0.48	0.0000	0.028050	1934
4	1935	1.1509	-0.33	0.0000	0.003288	1935
4	1936	0.8321	-0.50	0.0000	0.001392	1936
6	1937	0.8385	-0.66	0.0000	0.003348	1937
6	1938	1.0722	-0.58	-0.0355	0.013515	1938
6	1939	1.1208	-0.46	0.0000	0.013613	1939
4	1940	0.9010	-0.56	0.0000	0.000861	1940
5	1941	1.0893	-0.47	-0.0559	0.030372	1941
5	1942	0.9959	-0.48	0.0000	0.005490	1942
6	1943	0.9483	-0.53	-0.0308	0.018390	1943
6	1944	0.9630	-0.57	0.0000	0.001680	1944
6	1945	0.7816	-0.78	0.0000	0.004667	1945
5	1946	0.8638	-0.92	0.0000	0.006233	1946
4	1947	1.3118	-0.61	0.0000	0.006632	1947
5	1948	0.9875	-0.62	0.0000	0.004330	1948
7	1949	1.1381	-0.48	0.0000	0.009279	1949
7	1950	0.9207	-0.56	0.0000	0.006657	1950
6	1951	1.0631	-0.50	0.0000	0.008673	1951
6	1952	1.0073	-0.40	0.0000	0.004458	1952
6	1953	0.9313	-0.47	0.0000	0.009062	1953
8	1954	1.0076	-0.46	0.0000	0.004987	1954
9	1955	1.1353	-0.33	0.0000	0.008941	1955
9	1956	0.9227	-0.41	0.0000	0.009234	1956
9	1957	1.2639	-0.14	0.0000	0.005117	1957
9	1958	0.7605	-0.38	0.0000	0.005818	1958
9	1959	1.0981	-0.28	0.0000	0.019403	1959
9	1960	1.1698	-0.11	0.0000	0.005851	1960
9	1961	0.8045	-0.31	0.0242	0.009245	1961
9	1962	1.2064	-0.10	0.0000	0.010409	1962
9	1963	1.3530	0.25	0.0000	0.010442	1963
9	1964	0.8936	0.14	0.0000	0.004525	1964

VECTEUR Z NBRE STATIONS	APHES 2 ANNEE	ITERATIONS VECTEUR	CUMUL 0.14	F=ECARTS A Z MOYENNE	PAGE MOMENT 2	TROIS 2
8	1965	1.0703	0.21	0.0000	0.008957	1965
8	1966	1.0270	0.24	0.0000	0.001461	1966
7	1967	1.0277	0.27	0.0000	0.006618	1967
8	1968	1.4962	0.77	0.0000	0.003414	1968
8	1969	0.8922	0.66	0.0000	0.012865	1969
9	1970	1.0059	0.66	0.0000	0.007980	1970
8	1971	0.8746	0.54	0.0000	0.007508	1971
8	1972	0.9746	0.52	-0.0247	0.013342	1972
8	1973	0.9308	0.45	0.0000	0.005030	1973
9	1974	1.0576	0.50	0.0000	0.009747	1974
8	1975	1.0307	0.53	0.0000	0.007418	1975
8	1976	0.8013	0.34	0.0000	0.009817	1976
8	1977	0.6645	-0.00	0.0000	0.007246	1977

POUR LES Z DU VECTEUR
 VARIANCE 0.0274404
 COEFF ASY 0.495
 COEFF VAR 0.1657
 PROB AU DEPT TEST HOMOGENEITE 0.186
 STRICT COEF AUTOCORRELATION 0.054

SUK 55 ANS ENTRE 1904 ET 1977 PAGE QUATRE 1

NO 109 TOGO KLOUTO	NO 109 REP 1
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.976	49 ANS MOY PAR VECTEUR 1633.8
E MOYEN -0.0027 MT 2 0.011992	COEF COR LIN AVEC Z 0.834
NO 166 TOGO PAITME	NO 166 REP 2
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.896	50 ANS MOY PAR VECTEUR 1437.3
E MOYEN -0.0009 MT 2 0.006809	COEF COR LIN AVEC Z 0.873
NO 154 TOGO NUATJA	NO 154 REP 3
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.572	52 ANS MOY PAR VECTEUR 1170.8
E MOYEN 0.0003 MT 2 0.005007	COEF COR LIN AVEC Z 0.918
NO 196 TOGO TETFTOU	NO 196 REP 4
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.845	29 ANS MOY PAR VECTEUR 1048.2
E MOYEN -0.0070 MT 2 0.010317	COEF COR LIN AVEC Z 0.896
NO 16 TOGO AGOU	NO 16 REP 5
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.764	34 ANS MOY PAR VECTEUR 1399.3
E MOYEN 0.0077 MT 2 0.008834	COEF COR LIN AVEC Z 0.872
NO 55 TOGO ATTIGON	NO 55 REP 6
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.994	38 ANS MOY PAR VECTEUR 977.4
E MOYEN -0.0016 MT 2 0.008277	COEF COR LIN AVEC Z 0.913
NO 208 TOGO TSFVIE VILLE	NO 208 REP 7
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.370	49 ANS MOY PAR VECTEUR 1033.6
E MOYEN -0.0041 MT 2 0.008213	COEF COR LIN AVEC Z 0.878
NO 202 TOGO TOKPLI	NO 202 REP 8
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.781	30 ANS MOY PAR VECTEUR 1014.1
E MOYEN 0.0067 MT 2 0.018042	COEF COR LIN AVEC Z 0.722
NO 46 TOGO ASSAHOUN	NO 46 REP 9
PROB DEPT TEST HOMOGENEITE 0.965	45 ANS MOY PAR VECTEUR 1126.6
E MOYEN -0.0033 MT 2 0.009363	COEF COR LIN AVEC Z 0.851
VALEURS MOYENNES TEST 0.707 COEF COR 0.862	

MATRICE DES 376 E=E CARTS A 7:PRECIPITATION/MOYENNNE-VECTEUR PAGE CINQ 11
 * 109* 166* 154* 196* 16* 55* 208* 202* 46*

1904	-0.12	***	***	***	-0.07	***	***	0.30	***	***	***	***	***	***	1904
1905	0.01	***	-0.02	***	0.31	***	***	-0.06	***	***	***	***	***	***	1905
1906	0.04	***	-0.10	0.01	0.21	***	***	-0.15	***	***	***	***	***	***	1906
1907	0.12	***	-0.12	-0.12	-0.02	***	***	0.02	0.13	***	***	***	***	***	1907
1908	0.03	-0.04	-0.07	0.08	-0.05	***	0.06	-0.07	0.07	***	***	***	***	***	1908
1909	-0.07	-0.10	0.03	-0.10	0.06	***	-0.01	0.16	0.02	***	***	***	***	***	1909
1910	0.35	0.05	-0.07	***	0.10	***	***	-0.37	-0.08	***	***	***	***	***	1910
1911	-0.06	0.06	-0.06	-0.00	0.05	***	-0.09	0.11	-0.00	***	***	***	***	***	1911
1912	-0.06	-0.03	0.01	***	-0.02	***	0.01	-0.04	0.14	***	***	***	***	***	1912
1913	-0.08	-0.00	0.01	***	-0.06	***	0.01	0.20	-0.04	***	***	***	***	***	1913
1927	-0.02	-0.03	0.05	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	1927
1934	-0.15	-0.15	0.04	***	***	***	0.26	***	***	***	***	***	***	***	1934
1935	-0.08	0.08	-0.02	***	***	***	0.01	***	***	***	***	***	***	***	1935
1936	0.02	-0.03	-0.04	***	***	***	0.05	***	***	***	***	***	***	***	1936
1937	0.07	-0.00	0.08	***	***	-0.06	-0.04	***	-0.06	***	***	***	***	***	1937
1938	0.01	-0.06	0.09	***	***	0.05	-0.05	***	-0.25	***	***	***	***	***	1938
1939	0.21	-0.08	-0.07	***	***	0.06	-0.15	***	0.03	***	***	***	***	***	1939
1940	***	0.05	0.01	***	***	***	-0.06	***	-0.03	***	***	***	***	***	1940
1941	-0.33	-0.06	-0.12	***	***	***	0.11	***	0.12	***	***	***	***	***	1941
1942	-0.13	0.01	0.10	***	***	***	0.02	***	0.00	***	***	***	***	***	1942
1943	0.03	0.19	0.03	***	***	-0.11	-0.22	***	-0.11	***	***	***	***	***	1943
1944	0.01	-0.04	0.03	***	***	0.07	-0.02	***	-0.05	***	***	***	***	***	1944
1945	0.03	-0.02	-0.09	***	***	-0.02	-0.03	***	0.13	***	***	***	***	***	1945
1946	0.06	-0.06	***	***	***	0.00	-0.11	***	0.11	***	***	***	***	***	1946
1947	***	***	0.02	***	***	0.12	-0.02	***	-0.11	***	***	***	***	***	1947
1948	0.05	0.08	***	***	0.01	-0.11	-0.03	***	***	***	***	***	***	***	1948
1949	-0.02	-0.12	0.12	***	-0.10	0.08	-0.07	***	0.12	***	***	***	***	***	1949
1950	-0.08	0.06	0.02	***	-0.03	-0.14	0.10	***	0.07	***	***	***	***	***	1950
1951	0.10	-0.14	0.04	***	***	0.11	-0.03	***	-0.04	***	***	***	***	***	1951
1952	0.05	0.07	0.00	***	***	-0.07	-0.11	***	0.05	***	***	***	***	***	1952
1953	-0.13	0.09	-0.10	***	***	-0.04	0.07	***	0.12	***	***	***	***	***	1953
1954	0.03	-0.05	-0.01	0.04	0.07	-0.01	-0.15	***	0.07	***	***	***	***	***	1954
1955	0.03	0.11	-0.07	0.15	-0.05	0.05	-0.08	0.04	-0.17	***	***	***	***	***	1955
1956	0.10	0.10	-0.11	-0.13	0.02	0.10	0.06	-0.02	-0.13	***	***	***	***	***	1956
1957	0.02	-0.06	0.12	-0.02	0.12	-0.05	0.03	-0.07	-0.04	***	***	***	***	***	1957
1958	0.12	-0.03	0.08	-0.14	0.04	0.01	-0.06	0.05	-0.07	***	***	***	***	***	1958
1959	-0.20	-0.11	0.04	-0.02	-0.16	0.09	-0.03	0.24	0.16	***	***	***	***	***	1959
1960	0.11	-0.04	0.06	-0.04	0.01	-0.02	0.13	-0.04	-0.11	***	***	***	***	***	1960
1961	-0.06	-0.08	0.04	0.00	-0.01	-0.03	0.11	0.24	0.02	***	***	***	***	***	1961
1962	-0.19	-0.04	-0.06	-0.03	-0.06	0.17	0.10	0.04	0.07	***	***	***	***	***	1962
1963	0.05	0.04	0.10	0.15	-0.10	-0.17	0.08	-0.05	-0.04	***	***	***	***	***	1963
1964	0.02	-0.02	0.01	-0.08	0.11	-0.11	-0.01	0.10	-0.02	***	***	***	***	***	1964

* 109* 166* 154* 196* 16* 55* 208* 202* 46*

MATRICE DES 376 E=E CARTS A 7:PRECIPITATION/MOYENNNE-VECTEUR PAGE CINQ 12
 * 109* 166* 154* 196* 16* 55* 208* 202* 46*

1965	-0.10	0.13	-0.08	0.16	-0.00	-0.07	-0.08	0.03	***	***	***	***	***	***	1965
1966	***	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	-0.10	0.00	0.04	***	***	***	***	***	1966
1967	-0.01	-0.11	-0.05	-0.08	0.04	0.08	0.14	***	***	***	***	***	***	***	1967
1968	-0.08	0.02	-0.05	0.03	-0.03	0.07	-0.05	***	0.04	***	***	***	***	***	1968
1969	0.08	0.14	0.10	-0.17	0.01	-0.14	-0.10	***	0.09	***	***	***	***	***	1969
1970	0.11	-0.11	0.07	0.00	-0.13	0.09	-0.02	0.08	-0.10	***	***	***	***	***	1970
1971	***	0.17	0.03	0.02	0.00	-0.17	0.01	-0.02	-0.03	***	***	***	***	***	1971
1972	***	0.12	-0.13	-0.23	0.03	-0.10	-0.01	0.00	0.11	***	***	***	***	***	1972
1973	***	0.03	0.07	-0.01	-0.13	-0.03	0.12	-0.05	-0.01	***	***	***	***	***	1973
1974	-0.04	-0.07	-0.04	0.06	0.00	0.15	0.11	-0.12	-0.14	***	***	***	***	***	1974
1975	-0.07	-0.08	0.01	0.19	***	0.08	-0.04	-0.03	-0.05	***	***	***	***	***	1975
1976	0.04	0.08	0.14	-0.05	***	0.05	-0.15	-0.15	0.03	***	***	***	***	***	1976
1977	0.07	0.04	-0.07	0.12	***	-0.04	0.09	-0.12	-0.09	***	***	***	***	***	1977

* 109* 166* 154* 196* 16* 55* 208* 202* 46*

MOMENTS DES E MT1 -0.836730-03 MT2 0.922220-02 MT3 0.623190-04 MT4 0.332690-03

MATRICE DES 376 C=COEFFICIENTS/Z:PRECIPITATION/(MOYENNE*VECTEUR) PAGE SIX 1
 19041905**1906**1907**1908**1909**1910**1911**1912**1913**

109	0.817	1.017	1.039	1.129	1.027	0.941	1.263	0.938	0.918	0.919	NU	109	REP	1
166	****	****	****	****	0.954	0.914	1.039	1.067	0.963	0.999	NU	166	REP	2
154	****	0.974	0.899	0.867	0.922	1.025	0.945	0.935	1.013	1.013	NU	154	REP	3
196	****	****	1.009	0.864	1.084	0.907	****	0.997	****	****	NU	196	REP	4
16	0.888	1.360	1.213	0.979	0.947	1.054	1.079	1.053	0.973	0.937	NU	16	REP	5
55	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	55	REP	6
208	****	****	****	****	1.065	0.992	****	0.894	1.010	1.010	NU	208	REP	7
202	1.463	0.936	0.840	1.017	0.926	1.147	0.722	1.120	0.950	1.207	NU	202	REP	8
46	****	****	****	1.145	1.074	1.021	0.941	0.996	1.173	0.915	NU	46	REP	9

19041905**1906**1907**1908**1909**1910**1911**1912**1913**

MATRICE DES 376 C=COEFFICIENTS/Z:PRECIPITATION/(MOYENNE*VECTEUR) PAGE SIX 2
 19271934**1935**1936**1937**1938**1939**1940**1941**1942**

109	0.979	0.865	0.934	1.021	1.083	1.008	1.187	****	0.697	0.869	NU	109	REP	1
166	0.972	0.869	1.072	0.967	0.999	0.945	0.925	1.050	0.947	1.011	NU	166	REP	2
154	1.049	1.036	0.985	0.950	1.100	1.087	0.937	1.000	0.891	1.100	NU	154	REP	3
196	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	196	REP	4
16	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	16	REP	5
55	****	****	****	****	0.927	1.047	1.050	****	****	****	NU	55	REP	6
208	****	1.230	1.009	1.063	0.958	0.950	0.870	0.979	1.102	1.018	NU	208	REP	7
202	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	202	REP	8
46	****	****	****	****	0.933	0.765	1.031	0.965	1.106	1.002	NU	46	REP	9

19271934**1935**1936**1937**1938**1939**1940**1941**1942**

MATRICE DES 376 C=COEFFICIENTS/Z:PRECIPITATION/(MOYENNE*VECTEUR) PAGE SIX 3
 19431944**1945**1946**1947**1948**1949**1950**1951**1952**

109	1.032	1.011	1.034	1.065	****	1.052	0.976	0.914	1.090	1.043	NU	109	REP	1
166	1.200	0.959	0.977	0.935	****	1.079	0.892	1.060	0.865	1.068	NU	166	REP	2
154	1.037	1.027	0.889	****	1.012	****	1.106	1.020	1.042	1.000	NU	154	REP	3
196	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	196	REP	4
16	****	****	****	****	****	1.009	0.912	0.965	****	****	NU	16	REP	5
55	0.880	1.073	0.969	1.003	1.089	0.889	1.068	0.847	1.108	0.936	NU	55	REP	6
208	0.770	0.981	0.961	0.869	0.984	0.971	0.939	1.108	0.969	0.904	NU	208	REP	7
202	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	202	REP	8
46	0.885	0.949	1.171	1.127	0.916	****	1.104	1.081	0.926	1.049	NU	46	REP	9

19431944**1945**1946**1947**1948**1949**1950**1951**1952**

MATRICE DES 376 C=COEFFICIENTS/Z:PRECIPITATION/(MOYENNE*VECTEUR) PAGE SIX 4
 19531954**1955**1956**1957**1958**1959**1960**1961**1962**

109	0.858	1.034	1.027	1.113	1.013	1.153	0.814	1.090	0.924	0.840	NU	109	REP	1	
166	1.095	0.947	1.093	1.108	0.955	0.959	0.897	0.965	0.903	0.964	NU	166	REP	2	
154	0.897	0.988	0.936	0.881	1.091	1.111	1.035	1.047	1.045	0.954	NU	154	REP	3	
196	****	1.044	1.131	0.854	0.987	0.820	0.978	0.966	1.003	0.974	NU	196	REP	4	
16	****	1.071	0.954	1.025	1.092	1.053	0.853	1.009	0.982	0.951	NU	16	REP	5	
55	0.955	0.994	1.042	1.110	0.960	1.013	1.081	0.980	0.959	1.145	NU	55	REP	6	
208	1.070	0.849	0.926	1.067	1.024	0.921	0.977	1.107	1.136	1.083	NU	208	REP	7	
202	****	****	****	1.037	0.983	0.946	1.059	1.216	0.931	1.300	1.033	NU	202	REP	8
46	1.126	1.073	0.855	0.858	0.933	0.910	1.150	0.904	1.019	1.056	NU	46	REP	9	

19531954**1955**1956**1957**1958**1959**1960**1961**1962**

MATRICE DES 376 C=COEFFICIENTS/Z:PRECIPITATION/(MOYENNE*VECTEUR) PAGE SIX 5
 19631964**1965**1966**1967**1968**1969**1970**1971**1972**

109	1.037	1.023	0.910	****	0.991	0.946	1.090	1.114	****	****	NU	109	REP	1
166	1.026	0.979	1.125	1.010	0.892	1.012	1.153	0.888	1.189	1.124	NU	166	REP	2
154	1.076	1.012	0.927	1.013	0.953	0.966	1.113	1.068	1.039	0.866	NU	154	REP	3
196	1.112	0.916	1.152	1.001	0.924	1.017	0.806	1.001	1.018	0.765	NU	196	REP	4
16	0.925	1.119	1.000	1.013	1.035	0.982	1.010	0.872	1.000	1.035	NU	16	REP	5
55	0.873	0.874	0.932	1.025	1.074	1.049	0.840	1.091	0.804	0.900	NU	55	REP	6
208	1.055	0.988	0.927	0.899	1.132	0.966	0.889	0.984	1.014	0.995	NU	208	REP	7
202	0.965	1.110	1.026	1.003	****	****	****	1.079	0.973	1.003	NU	202	REP	8
46	0.930	0.978	****	1.035	****	1.062	1.098	0.902	0.963	1.110	NU	46	REP	9

19631964**1965**1966**1967**1968**1969**1970**1971**1972**

MATRICE DES 376 C=COEFFICIENTS/Z:PRECIPITATION/(MOYENNE*VECTEUR) PAGE SIX 6
 19731974**1975**1976**1977**

109	****	0.964	0.928	1.056	1.101	****	****	****	****	****	NU	109	REP	1
166	1.029	0.932	0.925	1.104	1.056	****	****	****	****	****	NU	166	REP	2
154	1.078	0.962	1.007	1.176	0.895	****	****	****	****	****	NU	154	REP	3
196	0.994	1.061	1.184	0.941	1.186	****	****	****	****	****	NU	196	REP	4
16	0.864	1.085	****	****	****	****	****	****	****	****	NU	16	REP	5
55	0.966	1.140	1.078	1.058	0.944	****	****	****	****	****	NU	55	REP	6
208	1.130	1.102	0.958	0.819	1.134	****	****	****	****	****	NU	208	REP	7
202	0.947	0.886	0.970	0.810	0.816	****	****	****	****	****	NU	202	REP	8
46	0.992	0.869	0.950	1.037	0.868	****	****	****	****	****	NU	46	REP	9

19731974**1975**1976**1977**

MOMENTS DES C-1 MT1 -0.377430-03 MT2 0.962300-02 MT3 0.328510-03 MT4 0.406050-03

CUMULS VECTEUR ET STATIONS PAGE SEPT 1

19031904**1905**1906**1907**1908**1909**1910**1911**1912**

VECT	0.0	0.64	1.52	2.48	3.40	4.35	5.46	6.78	7.67	8.46	VECTEUR
109	0.00	0.86	2.31	3.95	5.64	7.24	8.94	11.66	13.02	14.21	NU
166	0.00	-0.93	-2.18	-3.57	-4.89	6.20	7.65	9.61	10.98	12.08	NU
154	-0.00	-0.75	1.75	2.77	3.70	4.73	6.05	7.51	8.49	9.43	NU
196	-0.00	-0.68	-1.59	2.61	3.44	4.53	5.58	-6.96	-7.89	-8.72	NU
16	0.00	0.80	2.46	4.10	5.36	6.62	8.25	10.24	11.56	12.63	NU
55	-0.00	-0.63	-1.48	-2.43	-3.32	-4.26	-5.34	-6.62	-7.50	-8.27	NU
208	-0.00	-0.67	-1.57	-2.57	-3.52	4.57	5.70	-7.06	7.88	8.71	NU
202	0.00	0.96	1.79	2.61	3.55	4.45	5.73	6.70	7.71	8.47	NU
46	-0.00	-0.73	-1.71	-2.80	3.98	5.13	6.41	7.80	8.80	9.85	NU
VECT	0.0	0.64	1.52	2.48	3.40	4.35	5.46	6.78	7.67	8.46	VECTEUR

19031904**1905**1906**1907**1908**1909**1910**1911**1912**

CUMULS VECTEUR ET STATIONS PAGE SEPT 2

19131927**1934**1935**1936**1937**1938**1939**1940**1941**

VECT	9.42	10.40	11.52	12.67	13.50	14.34	15.42	16.54	17.44	18.53	VECTEUR
109	15.66	17.22	18.81	20.56	21.95	23.43	25.20	27.37	28.85	30.09	NU
166	13.46	14.83	16.23	18.00	19.16	20.36	21.82	23.41	24.67	26.15	NU
154	10.57	11.77	13.13	14.45	15.38	16.46	17.82	19.05	20.11	21.25	NU
196	-9.73	-10.76	-11.93	-13.14	-14.01	-14.89	-16.01	-17.19	-18.13	-19.27	NU
16	13.90	15.27	16.83	18.44	19.61	20.78	22.28	23.85	25.11	26.64	NU
55	-9.21	-10.17	-11.26	-12.39	-13.20	13.46	15.06	16.21	17.09	18.15	NU
208	9.72	10.73	12.15	13.35	14.27	15.10	16.15	17.16	18.07	19.31	NU
202	9.65	10.65	11.78	12.95	13.79	14.64	15.73	16.87	17.78	18.88	NU
46	10.84	11.94	13.20	14.50	15.44	16.32	17.24	18.55	19.52	20.88	NU
VECT	9.42	10.40	11.52	12.67	13.50	14.34	15.42	16.54	17.44	18.53	VECTEUR

19131927**1934**1935**1936**1937**1938**1939**1940**1941**

CUMULS VECTEUR ET STATIONS PAGE SEPT 3
 19421943**1944**1945**1946**1947**1948**1949**1950**1951**
 VECT 19.52 20.47 21.43 22.27 23.08 24.39 25.38 26.52 27.44 28.50 VECTEUR
 109 31.50 33.10 34.69 36.01 37.51-39.66 41.36 43.18 44.55 46.44 NU 109 REP 1
 166 27.60 29.23 30.56 31.66 32.82-34.70 36.24 37.69 39.11 40.43 NU 166 REP 2
 154 22.53 23.68 24.84 25.65-26.67 28.22-29.38 30.85 31.95 33.25 NU 154 REP 3
 196 -20.32-21.31-22.32-23.14-24.04-25.47-26.45-27.65-28.61-29.73 NU 196 REP 4
 16 -28.03-29.36-30.70-31.80-33.01-34.84 36.23 37.69 38.93-40.42 NU 16 REP 5
 55 -19.13 19.94 20.95 21.69 22.54 23.93 24.79 25.98 26.74 27.89 NU 55 REP 6
 208 20.36 21.11 22.09 22.86 23.64 24.97 25.96 27.07 28.12 29.19 NU 208 REP 7
 202 -19.90-20.86-21.83-22.63-23.50-24.83-25.83-26.99-27.92-29.00 NU 202 REP 8
 46 22.01 22.95 23.98 25.01 26.11 27.46-28.57 29.99 31.11 32.22 NU 46 REP 9
 VECT 19.52 20.47 21.43 22.27 23.08 24.39 25.38 26.52 27.44 28.50 VECTEUR
 19421943**1944**1945**1946**1947**1948**1949**1950**1951**

CUMULS VECTEUR ET STATIONS PAGE SEPT 4
 19521953**1954**1955**1956**1957**1958**1959**1960**1961**
 VECT 29.60 30.53 31.54 32.67 33.59 34.86 35.62 36.72 37.89 38.69 VECTEUR
 109 48.31 49.62 51.32 53.23 54.90 56.99 58.43 59.89 61.97 63.18 NU 109 REP 1
 166 42.11 43.58 44.95 46.73 48.20 49.94 50.99 52.40 54.02 55.07 NU 166 REP 2
 154 34.53 35.51 36.67 37.92 38.87 40.48 41.47 42.80 44.24 45.22 NU 154 REP 3
 196 -30.88-31.85 32.96 34.30 35.13 36.44 37.09 38.22 39.40 40.25 NU 196 REP 4
 16 -41.95-43.26 44.77 46.28 47.61 49.54 50.66 51.97 53.62 54.72 NU 16 REP 5
 55 28.90 29.77 30.75 31.90 32.90 34.09 34.84 36.00 37.12 37.88 NU 55 REP 6
 208 30.21 31.24 32.13 33.21 34.23 35.57 36.29 37.40 38.74 39.69 NU 208 REP 7
 202 -30.11-31.06-32.08 33.27 34.19 35.40 36.22 37.58 38.68 39.74 NU 202 REP 8
 46 33.52 34.70 35.92 37.01 37.90 39.23 40.01 41.43 42.62 43.55 NU 46 REP 9
 VECT 29.60 30.53 31.54 32.67 33.59 34.86 35.62 36.72 37.89 38.69 VECTEUR
 19521953**1954**1955**1956**1957**1958**1959**1960**1961**

CUMULS VECTEUR ET STATIONS PAGE SEPT 5
 19621963**1964**1965**1966**1967**1968**1969**1970**1971**
 VECT 39.90 41.25 42.14 43.21 44.24 45.27 46.77 47.66 48.66 49.54 VECTEUR
 109 64.84 67.13 68.62 70.22-71.89 73.56 75.87 77.46 79.29-80.72 NU 109 REP 1
 166 56.74 58.73 59.99 61.72 63.21 64.53 66.71 68.18 69.47 70.47 NU 166 REP 2
 154 46.57 48.28 49.33 50.50 51.71 52.86 54.55 55.72 56.98 58.04 NU 154 REP 3
 196 41.48 43.06 43.91 45.21 46.28 47.28 48.87 49.63 50.68 51.62 NU 196 REP 4
 16 56.33 58.08 59.48 60.98 62.43 63.92 65.98 67.24 68.46 69.69 NU 16 REP 5
 55 39.23 40.38 41.14 42.12 43.15 44.23 45.76 46.49 47.57 48.25 NU 55 REP 6
 208 41.04 42.51 43.43 44.45 45.41 46.61 48.10 48.92 49.95 50.87 NU 208 REP 7
 202 41.01 42.33 43.34 44.45 45.49-46.54-48.05-48.96 50.06 50.93 NU 202 REP 8
 46 44.98 46.40 47.38-48.59 49.79-50.95 52.74 53.84 54.86 55.81 NU 46 REP 9
 VECT 39.90 41.25 42.14 43.21 44.24 45.27 46.77 47.66 48.66 49.54 VECTEUR
 19621963**1964**1965**1966**1967**1968**1969**1970**1971**

CUMULS VECTEUR ET STATIONS PAGE SEPT 6
 19721973**1974**1975**1976**1977**
 VECT 50.51 51.45 52.50 53.53 54.34 55.00***** VECTEUR
 109 -82.32-83.84 85.50 87.07 88.45 89.64***** NU 109 REP 1
 166 72.54 73.92 75.34 76.71 77.98 78.99***** NU 166 REP 2
 154 59.03 60.20 61.40 62.61 63.71 64.41***** NU 154 REP 3
 196 52.40 53.37 54.54 55.82 56.61 57.44***** NU 196 REP 4
 16 71.10 72.23 73.83-75.28-76.40-77.33***** NU 16 REP 5
 55 49.11 49.99 51.17 52.25 53.08 53.70***** NU 55 REP 6
 208 51.87 52.95 54.16 55.18 55.86 56.64***** NU 208 REP 7
 202 51.92 52.81 53.76 54.77 55.43 55.98***** NU 202 REP 8
 46 57.03 58.07 59.11 60.21 61.15 61.80***** NU 46 REP 9
 VECT 50.51 51.45 52.50 53.53 54.34 55.00***** VECTEUR
 19721973**1974**1975**1976**1977**

RAILS DES DOUBLES CUMULS ENTRE VECTEUR ET STATIONS				56 POINTS	PAGE	HUIT	1
109	TOGO	KLOINTO	49 ANNEES OBSERVEES	NO 109 REP	1		
TGTE	INF ANNEES 1910:1958	PFNTE 1621.6	DISTANCE 0.53 UNITE VECT	ESP 0.70			
TGTE	SUP ANNEES 1904:1942	PFNTE 1623.1	DISTANCE 0.52 UNITE VECT	//XM 0.69			
166	TOGO	PALIMF	50 ANNEES OBSERVEES	NO 166 REP	2		
TGTE	INF ANNEES 1907:1973	PFNTE 1436.8	DISTANCE 0.41 UNITE VECT	ESP 0.62			
TGTE	SUP ANNEES 1941:1962	PFNTE 1431.3	DISTANCE 0.45 UNITE VECT	//XM 0.41			
154	TOGO	NUATIA	52 ANNEES OBSERVEES	NO 154 REP	3		
TGTE	INF ANNEES 1903:1974	PFNTE 1172.6	DISTANCE 0.45 UNITE VECT	ESP 0.50			
TGTE	SUP ANNEES 1911:1956	PFNTE 1171.9	DISTANCE 0.46 UNITE VECT	//XM 0.51			
196	TOGO	TETETOU	29 ANNEES OBSERVEES	NO 196 REP	4		
TGTE	INF ANNEES 1955:1977	PFNTE 1036.2	DISTANCE 0.51 UNITE VECT	ESP 0.48			
TGTE	SUP ANNEES 1909:1972	PFNTE 1039.2	DISTANCE 0.43 UNITE VECT	//XM 0.59			
16	TOGO	AGOU	34 ANNEES OBSERVEES	NO 16 REP	5		
TGTE	INF ANNEES 1911:1958	PFNTE 1398.9	DISTANCE 0.66 UNITE VECT	ESP 0.56			
TGTE	SUP ANNEES 1904:1973	PFNTE 1406.0	DISTANCE 0.63 UNITE VECT	//XM 0.66			
55	TOGO	ATITORON	38 ANNEES OBSERVEES	NO 55 REP	6		
TGTE	INF ANNEES 1903:1962	PFNTE 983.2	DISTANCE 0.60 UNITE VECT	ESP 0.48			
TGTE	SUP ANNEES 1903:1973	PFNTE 971.7	DISTANCE 0.47 UNITE VECT	//XM 0.53			
208	TOGO	TSEVIE VILLE	49 ANNEES OBSERVEES	NO 208 REP	7		
TGTE	INF ANNEES 1936:1974	PFNTE 1023.0	DISTANCE 0.64 UNITE VECT	ESP 0.60			
TGTE	SUP ANNEES 1903:1955	PFNTE 1016.6	DISTANCE 0.77 UNITE VECT	//XM 0.83			
202	TOGO	TOKPLI	30 ANNEES OBSERVEES	NO 202 REP	8		
TGTE	INF ANNEES 1904:1970	PFNTE 1022.6	DISTANCE 0.54 UNITE VECT	ESP 0.80			
TGTE	SUP ANNEES 1910:1977	PFNTE 1022.0	DISTANCE 0.54 UNITE VECT	//XM 0.87			
46	TOGO	ASSAHOUN	45 ANNEES OBSERVEES	NO 46 REP	9		
TGTE	INF ANNEES 1912:1954	PFNTE 1129.6	DISTANCE 0.55 UNITE VECT	ESP 0.65			
TGTE	SUP ANNEES 1944:1977	PFNTE 1126.6	DISTANCE 0.49 UNITE VECT	//XM 0.49			