

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :.....

Centre Universitaire de Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de sciences et Technique

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme
LICENCE ACADEMIQUE
En Hydraulique
Spécialité : Sciences Hydrauliques

Thème

Méthode de comblement des lacunes des données pluviométriques

Préparé par :

Medjdoub Chahinéz
Djouel Zineb

Dirigé par :

Benchaiba Leila

Année universitaire : 2013/2014

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

كلمة شكر

لا بد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة ... من جديد

وقبل أن نمضي تقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة...

...إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة
.....إلى جميع أساتذتنا الأفاضل

""كن عالما.. فإن لم تستطع فكن متعلما ، فإن لم تستطع فأحب العلماء ، فإن لم تستطع فلا تبغضهم

وأخص بالتقدير والشكر إلى
الأستاذة بن شيبه ليلي

الذي نقول له بشراك قول رسول الله صلى الله عليه وسلم

"إن الحوت في البحر ، والطير في السماء ، ليصلون على معلم الناس الخير"
كما أنني أتوجه بخاص الشكر إلى من علمنا التفاؤل والمضي إلى الأمام، إلى من راعانا وحافظ علينا،
: ..إلى من وقف إلى جانبنا عندما ضللتنا الطريق

الذين كانوا عوننا لنا في بحثنا هذا ونورا يضيء الظلمة التي كانت تقف أحيانا في طريقنا

إلى من زرعو التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات، ربما دون أن يشعروا بدورهم بذلك فلهم منا كل الشكر

أما الشكر الذي من النوع الخاص فنحن نتوجه بالشكر أيضا إلى كل من لم يقف إلى جانبنا ، ومن وقف في طريقنا وعرقل مسيرة بحثنا، وزرع الشوك في طريق بحثنا فلولا وجودهم لما أحسسنا بمتعة البحث ، ولا حلاوة المنافسة الإيجابية، ولولاهم لما وصلنا إلى ما وصلنا إليه فلهم منا كل الشكر

Introduction générale :

Il n'existe pas de procédés générateurs d'information en dehors des procédés de mesure (Laborde, 2005). Cet adage, vieux comme le monde, s'applique à toute démarche scientifique et à la climatologie en particulier.

Depuis des siècles, l'étude du climat suscite l'intérêt de l'homme aussi bien d'un point de vue fondamental de compréhension des phénomènes, que d'un point de vue plus appliqué de prédétermination des risques et contraintes pour les activités humaines.

L'étude de la pluviométrie et de sa variabilité nécessite de disposer de longues et de plusieurs séries d'observations, soumises préalablement au test d'homogénéité et à l'assurance de leur fiabilité. Puisque la recherche d'hétérogénéité des séries pluviométriques a déjà été effectuée, la première étape dans cette analyse de données est donc de vérifier la fiabilité des données et la seconde est de combler les lacunes observées.

Pour ce faire, l'informatique est un excellent outil d'aide aux traitements des données dans une étude diagnostique du climat, surtout lorsqu'il s'agit d'une approche exploratoire à plusieurs variables.

Les méthodes que nous avons utilisées pour l'analyse et le traitement des séries pluviométriques sont des méthodes classiques, méthode des moindres carrés, pour le comblement des lacunes, et la méthode des doubles cumules pour la vérification de l'homogénéité des séries des données.

CHAPITRE 01

Précipitation et donnée pluviométrique

Introduction :

En météorologie, le mot précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent en virage avant de l'atteindre.

La pluviométrie est l'étude des cumuls de pluie, de neige ou de toute autre forme d'eau grâce à des instruments de mesure in situ ou par télémétrie. Les accumulations à l'état solide viennent s'ajouter par alimentation à un glacier ou à un champ de neige; le contraire est l'ablation.

Le cumul de précipitations liquides et solides est l'un des facteurs conditionnant le climat et par conséquent le développement des sociétés humaines et est souvent un enjeu géopolitique.

Plusieurs instruments sont utilisés en pluviométrie, dont le pluviomètre/pluviographe est le plus connu. La mesure peut s'effectuer sous diverses unités, selon que le type de précipitations soit solide ou liquide, mais elle est ramenée en millimètre d'équivalence en eau par mètre carré de surface pour fin de comparaison. .

I. Précipitation et donné pluviométrique :

I.1. Définition des précipitations :

I.1.1. Définition :

En météorologie, le terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent...

La précipitation est Apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Les précipitations (pluie ou neige) sont mesurées à la surface de la terre en millimètres. Le terme lame d'eau tombée est également employé pour quantifier les précipitations.

I.1.2.Types de précipitations :

Toute précipitation nécessite la condensation de la vapeur d'eau. Mais lorsque les gouttelettes d'eau des nuages ont assez grandi, elles deviennent trop lourdes pour être supportées dans le nuage; elles se mettent donc à chuter vers la terre. Trois éléments déterminent la forme finale sous laquelle elle se présente: ce sont les courants aériens, la température et l'humidité.

Il y a deux types de précipitations:

- précipitation stratiforme: qui couvre une grande étendue, qui dure longtemps mais de faible intensité, qui se produit dans les zones de basse pression et les creux et qui est associée à des nuages de types "stratus";
- précipitation convective: qui couvre des petites surfaces, qui ne dure pas mais qui est intense, qui est très localisée et produite par l'instabilité convective de l'air, et enfin qui est associée à des nuages de types "cumulus".

Les précipitations peuvent tomber sous trois formes:

- Précipitation liquide: pluie et bruine
- Précipitation verglaçante: pluie verglaçante et bruine verglaçante
- Précipitation solide: neige, neige roulée, neige en grains, cristaux de glace, grésil et grêle.

I.1.3.La mesure des précipitations :

La mesure des précipitations est l'une des plus complexes en météorologie car on observe une forte variation spatiale selon le déplacement de la perturbation, le lieu de l'averse, la topographie et les obstacles géographiques locaux gênant sa captation.

On exprime généralement les précipitations en hauteur ou lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). Si on rapporte cette hauteur d'eau à l'unité de temps, il s'agit d'une intensité (mm/h). Rappelons que :

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$$

La précision de la mesure est au mieux de l'ordre de 0,1 mm. En Suisse, toute précipitation supérieure à 0,5 mm est considérée comme pluie effective.

I.1.4. Précipitation en Algérie :

De Tell, au nord du pays, possède un climat méditerranéen, les étés sont chauds et secs et les hivers sont doux et pluvieux et parfois enneigé. Cette zone est la plus humide d'Algérie, elle est caractérisée par des précipitations annuelles qui varient entre 400 et 1 000 mm d'eau

Dans les Aurès, la quantité de pluie indique 100 mm de moyenne annuelle. Cependant, des pluies diluviennes sont constatées dans les Aurès. Les dégâts causés par des crues peuvent être considérables surtout dans la Wilaya de Batna.

Les régions du Sahara sont caractérisées par un climat aride et sec. Au Nord, la quantité de pluie indique 100 mm de moyenne annuelle et au Sud, elle est de 20 mm. Dans les régions côtières, la moyenne annuelle est 200 mm. Cependant, des pluies diluviennes sont constatées en Algérie dans plusieurs villes. Les dégâts sont considérables. En 2008, la ville de Ghardaïa, qui fait partie du patrimoine mondial, a été inondée par une grande quantité de pluie diluvienne.

Les précipitations annuelles enregistrées dans les hauts Plateaux et dans l'Atlas saharien ne dépassent pas la quantité 200 à 400 mm de pluie. Mais, la hauteur des pluies annuelles est souvent inférieure à 130 mm dans l'ensemble du Sahara algérien.

I.2. Différent types de pluviomètre :

I.2.1. Pluviomètre :

A. Définition de pluviomètre :

Le pluviomètre est l'instrument de base de la mesure des précipitations liquides ou solides. Il indique la pluie globale précipitée dans l'intervalle de temps séparant deux relevés. Le pluviomètre est généralement relevé une fois par jour.

La hauteur de pluie lue le jour j est attribué au jour $j-1$ et constitue sa "pluie journalière" ou "pluie en 24 heures". Si la station pluviométrique est éloignée ou difficile d'accès, il est recommandé de recourir au pluviomètre totalisateur. Cet appareil reçoit les précipitations sur une longue période et la lecture se fait par mesure de la hauteur d'eau recueillie ou par pesée. En cas de neige ou de grêle on procède à une fusion avant mesure.



Fig.1. Pluviomètre

Un pluviomètre se compose d'une bague à arête chanfreinée, l'orifice qui surmonte un entonnoir conduisant au récepteur (seau). Pour uniformiser les méthodes et minimiser les erreurs, chaque pays a dû fixer les dimensions des appareils et les conditions d'installation.

B. Les différents types de pluviomètres :

Il existe plusieurs sortes de pluviomètres, qui sont :

- **Les pluviomètres à lecture direct :**

Il consiste en collecteur gradué où l'eau se déverse directement. Ensuite, il suffit de les graduations sur le collecteur pour connaître la quantité d'eau tombée.



Fig.2. Pluviomètre à lecture direct

- **Les pluviomètres à auget basculeur :**

Le collecteur dirige la pluie vers une sorte de petite balançoire tape-cul formée de deux réceptacles métalliques, ou augets, de petite taille de part et d'autre d'un axe horizontal. L'eau s'accumule dans celui à l'horizontale qui bascule quand il a atteint le poids nécessaire, et se décharge de son eau par gravité. La quantité de précipitations est mesurée par le nombre de basculements effectués par les augets, détecté par un système mécanique ou optique.



Fig.3. pluviomètres à auget basculeur

- **Les pluviomètres optiques :**

Ils utilisent un faisceau laser transmis à un capteur. Lorsque les gouttes traversent le faisceau, elles projettent une ombre sur le capteur, qui mesure le taux de précipitation. « C'est une sorte de compteur de gouttes »

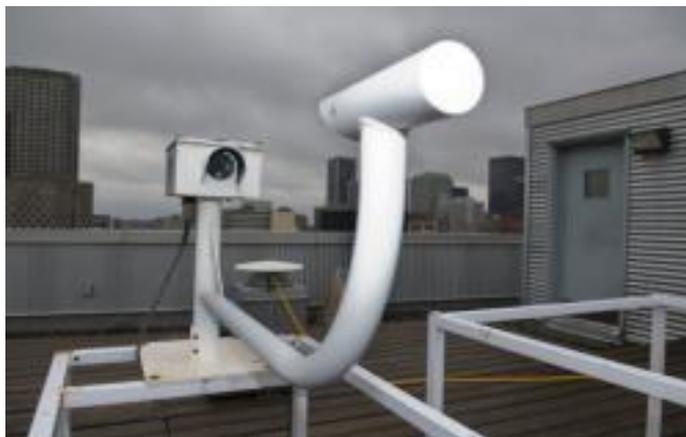


Fig.4. Pluviomètre optique

La quantité d'eau recueillie est mesurée à l'aide d'une éprouvette graduée. Le choix du site du pluviomètre est très important. Les normes standards sont basées sur le principe qu'un site est représentatif et caractérisé par l'absence d'obstacles à proximité.

La hauteur au-dessus du sol de la bague du pluviomètre est également déterminante pour une mesure correcte de la pluie. En effet, les effets du vent créent un déficit en eau, dans le cas où le pluviomètre serait en position élevée. Aussi, malgré les erreurs de captation, les normes OMM (1996) préconisent que la surface réceptrice des pluviomètres (et pluviographes) soit horizontale et située à 1,50 m au-dessus du sol ; cette hauteur permet de placer facilement l'appareil et évite les rejaillissements.

C/Le rôle du pluviomètre:

Un pluviomètre est un instrument météorologique destiné à mesurer la pluie tombée pendant un intervalle de temps donné et sur une surface donnée.

Les mesures d'un pluviomètre sont :

La quantité d'eau atteignant le sol (appelé aussi lame d'eau) est exprimé en millimètre. Quand 1 millimètre est dans le pluviomètre cela équivaut à un litre d'eau au mètre carré. On l'exprime grâce au quotient suivant :

$$H \text{ (mm)} = V/S$$

I.2.2.Les pluviographes :

I.2.2.1.définition de pluviographe:

Le pluviographe se distingue du pluviomètre en ce sens que la précipitation, au lieu de s'écouler directement dans un récipient collecteur, passe d'abord dans un dispositif particulier (réservoir à flotteur, augets, etc) qui permet l'enregistrement automatique de la hauteur instantanée de précipitation. L'enregistrement est permanent et continu, et permet de déterminer non seulement la hauteur de précipitation, mais aussi sa répartition dans le temps donc son intensité. Les pluviographes fournissent des diagrammes de hauteurs de précipitations cumulées en fonction du temps.

I.2.2.2. Les différents types des pluviographes :

Il en existe deux types principaux utilisés :

- **Le pluviographe à siphon :**

L'accumulation de la pluie dans un réservoir cylindrique est enregistrée par l'élévation d'un flotteur. Lorsque le cylindre est plein, un siphon s'amorce et le vide rapidement. Les mouvements du flotteur sont enregistrés par un tambour rotatif à vitesse constante, entouré d'un papier, et déterminent le tracé du pluviogramme.

- **Le pluviographe à augets basculeurs :**

Cet appareil comporte, en dessous de son entonnoir de collecte de l'eau, une pièce pivotante dont les deux compartiments peuvent recevoir l'eau tour à tour (augets basculeurs). Quand un poids d'eau déterminé (correspondant en général à 0,1 ou 0,2 mm de pluie) s'est accumulé dans un des compartiments, la bascule change de position : le premier auget se vide et le deuxième commence à se remplir. Les basculements sont comptés soit mécaniquement avec enregistrement sur papier enroulé autour d'un tambour rotatif, soit électriquement par comptage d'impulsions (par exemple système MADD) : appareil permettant l'acquisition d'événements en temps réel, développé par l'HYDRAM en 1983. Les pluviographes à augets basculeurs sont actuellement les plus précis et les plus utilisés (Fig. 5).



Fig.5. : Pluviographe, augets basculeurs et système d'enregistrement MADD.

I.3. Lacunes dans les données pluviométriques, natures et causes :

I.3.1. Définition de lacune :

Une lacune est un type de défaut ponctuel dû à l'absence d'une donnée dans la série normalement occupé.

I.3.2. Les types d'erreur dans les données pluviométriques

Les causes perturbatrices les plus courantes de l'homogénéité des observations sont :

- ❖ Le mauvais état ou la défectuosité d'appareils de mesures.
- ❖ Un changement d'observateur.
- ❖ Le déplacement de la station (différences topographiques) .
- ❖ Le changement de type d'appareils, de leurs conditions d'installations (hauteur au –dessus du sol).

- ❖ Les erreurs accidentelles qui se répartissent aléatoirement dans le temps et dans l'espace ;
- ❖ Les erreurs systématiques qui affectent d'une façon continue certaines portions des séries de mesure, aléatoirement distribuées dans le temps et l'espace.

Les erreurs instrumentales : sont multiples ; elles ont presque toutes pour conséquence de sous-estimer les quantités précipitées. On distingue :

- Les erreurs de captation (5 à 80 %) : pluie inclinée, fortes pentes, turbulences du vent autour du pluviomètre.
- Les erreurs de l'instrument (environ 0,5 %) : déformation de l'appareil de mesure (par exemple déformation du papier enregistreur).
- Les erreurs dues aux rejaillissements (environ 1%).
- Les pertes par mouillage (environ 0,5 %) : déficit équivalent à l'eau qui humecte les parois intérieures du pluviomètre.
- Les erreurs dues à l'évaporation dans le récipient (environ 1%).
- Les erreurs propres aux pluviographes : en cas de fortes pluies, la vidange du système à siphon, et respectivement la vitesse de basculement des augets peuvent être trop lentes . Des pertes d'eau au moment du basculement des augets peuvent aussi avoir lieu.

Les erreurs d'observation : sont en principe systématiques mais ne sont pas trop graves du moment que l'on ne change pas d'observateur (possibilité de corrections).

- **Les erreurs de positionnement de l'appareil** : (on peut avoir une bonne mesure mais de quelque chose de "faux").
- **Les erreurs de représentativité spatiale ou d'échantillonnage** : sont difficiles à estimer, car nous ne savons pas dans quelle mesure les quantités recueillies ponctuellement sont représentatives du volume total d'eau précipitée sur l'ensemble du bassin. Le manque de précision de ces appareils de mesure classiques, ainsi que leur coût en entretien ont motivé des chercheurs à développer de nouveaux systèmes basés sur une technologie de pointe. Ce thème sera abordé dans le chapitre 8-Contrôle, organisation et traitement des données.

CHAPITRE 02

**Les méthodes de comblement de lacune
dans les données pluviométrique (méthode de
moindre carré) :**

Introduction :

L'étude de l'évolution des précipitations ne peut utiliser les données hétérogènes. Plusieurs méthodes statistiques permettent de tester l'homogénéité des séries pluviométriques avant utilisation.

Parmi elles, nous avons retenu pour sa pertinence et sa simplicité, le test graphique des doubles cumuls ou de cumul simple des totaux pluviométriques annuels. Il s'agit de savoir si les données d'observation sont fiables, donc utilisables telles quelles.

En effet, les changements d'observateurs, de déplacements et de fermetures de postes, avaries sur le matériel ou panne d'un pluviomètre qu'on attend plusieurs semaines avant de remplacer, occasionnent de ruptures de continuité dans les séries. Ces aléas peuvent expliquer la présence d'hétérogénéité dans les données.

L'intérêt des conclusions des tests apparaît au cours de la classification des régimes pluviométriques et lors de la constitution de la matrice des données en vue d'une étude globale de l'organisation du champ pluviométrique.

II. Les méthodes de comblement de lacune dans les données pluviométrique (méthode de moindre carré) :

II.1. Méthode des moindres carrés :

A. Définition :

La méthode des moindres carrés est une des méthodes pour obtenir un ajustement affine d'une série statistique double. C'est celle qui donne le « meilleur » ajustement. Elle consiste à calculer, pour chaque point du nuage, sa « distance » par rapport à une droite donnée puis à rendre minimale la somme de ces distances.

Méthode des moindre carrés, locution sens la méthode des carrés est une notion mathématique permettant d'apporter à un nombre d'éléments susceptibles de comporter des erreurs un ajustement afin d'obtenir des données proches de la réalité (mathématique).

Elle permet d'ajuster un nuage de points (observations) représentés sur un plan (diagramme de dispersion) où l'axe des abscisses (x) représente la variable explicative (les données de la station référence) et où l'axe des ordonnées (y) représente la variable dépendante (ou variable expliquée). Le centre de gravité de ce nuage est représenté par le point dont les coordonnées sont (moyenne des x_i , moyenne des y_i).

La méthode des moindres carrés consiste à rechercher la relation affine qui lie les variables x et y ; ce qui revient à définir l'équation de la droite du type $y = ax + b$, qui passe le plus près possible de tous les points, autrement dit qui rend la plus faible possible la somme des carrés des écarts des valeurs observées. La droite alors dessinée et qui passe par le centre de gravité du nuage décrit la tendance calculée des ventes sur la base des résultats passés.

La méthode des moindres carrés, indépendamment élaborée par Legendre en 1805 et Gauss en 1809, permet de comparer des données expérimentales, généralement entachées d'erreurs de mesure, à un modèle mathématique censé décrire ces données.

Ce modèle peut prendre diverses formes. Il peut s'agir de lois de conservation que les quantités mesurées doivent respecter. La méthode des moindres carrés permet alors de minimiser l'impact des erreurs expérimentales en « ajoutant de l'information » dans le processus de mesure.

B. Explication de la méthode :

Dans le cas le plus courant, le modèle théorique est une famille de fonctions $f(\mathbf{x}; \mathbf{o})$ d'une ou plusieurs variables muettes x , indexées par un ou plusieurs paramètres \mathbf{o} inconnus. La méthode des moindres carrés permet de sélectionner parmi ces fonctions, celle qui reproduit le mieux les données expérimentales. On parle dans ce cas d'ajustement par la méthode des moindres carrés. Si les paramètres \mathbf{o} ont un sens physique, la procédure d'ajustement donne également une estimation indirecte de la valeur de ces paramètres.

La méthode consiste en une prescription (initialement empirique), qui est que la fonction $\mathbf{f}(\mathbf{x}; \mathbf{o})$ qui décrit « le mieux » les données est celle qui minimise la somme quadratique des déviations des mesures aux prédictions de $\mathbf{f}(\mathbf{x}; \mathbf{o})$. Si, par exemple, nous disposons de N mesures $(\mathbf{y}_i)_{i=1, \dots, n}$, les paramètres \mathbf{o} « optimaux » au sens de la méthode des moindres carrés sont ceux qui minimisent la quantité :

$$\mathbf{S}(\mathbf{o}) = \sum_{i=1}^n (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i; \mathbf{o}))^2 = \sum_{i=1}^n \mathbf{r}_i^2(\mathbf{o})$$

Où les $\mathbf{r}_i(\mathbf{o})$ sont les *résidus* du modèle, i. e. $\mathbf{r}_i(\mathbf{o})$ est l'écart entre la mesure \mathbf{y}_i et la prédiction $\mathbf{f}(\mathbf{x}; \mathbf{o})$ donnée par le modèle. $\mathbf{S}(\mathbf{o})$ peut être considéré comme une mesure de la distance entre les données expérimentales et le modèle théorique qui prédit ces données.

La prescription des moindres carrés commande que cette distance soit minimale. si, comme c'est généralement le cas, on dispose d'une estimation de l'écart-type α_i du bruit qui affecte chaque mesure \mathbf{y}_i , on l'utilise pour « peser » la contribution de la mesure au χ^2 . Une mesure aura d'autant plus de poids que son incertitude sera faible :

$$\chi^2(\mathbf{o}) = \sum_{i=1}^n (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i; \mathbf{o}) / \alpha_i)^2 = \sum_{i=1}^n \mathbf{W}_i (\mathbf{y}_i - \mathbf{f}(\mathbf{x}_i; \mathbf{o}))^2$$

La quantité \mathbf{W}_i , inverse de la variance du bruit affectant la mesure \mathbf{y}_i , est appelée *poids* de la mesure \mathbf{y}_i . La quantité ci-dessus est appelée **khi carré** ou **khi-deux**. Son nom vient de la loi statistique qu'elle décrit, si les erreurs de mesure qui entachent les \mathbf{y}_i sont distribuées suivant une loi normale (ce qui est très courant). Dans ce dernier cas, la méthode des moindres carrés permet de plus d'estimer quantitativement l'adéquation du modèle aux mesures, pour peu que l'on dispose d'une estimation fiable des erreurs α_i . Si le modèle d'erreur est non gaussien, il faut généralement recourir à la méthode du maximum de vraisemblance, dont la méthode des moindres carrés est un cas particulier.

Son extrême simplicité fait que cette méthode est très couramment utilisée de nos jours en sciences expérimentales. Une application courante est le lissage des données expérimentales par une fonction empirique (fonction linéaire, polynômes ou splines). Cependant son usage le plus important est probablement la mesure de quantités physiques à partir de données expérimentales.

Dans de nombreux cas, la quantité que l'on cherche à mesurer n'est pas observable et n'apparaît qu'indirectement comme paramètre \mathbf{o} d'un modèle théorique $\mathbf{f}(\mathbf{x}; \mathbf{o})$. Dans ce dernier cas de figure, il est possible de montrer que la méthode des moindres carrés permet de construire un estimateur de \mathbf{o} , qui vérifie certaines conditions d'optimalité.

En particulier, lorsque le modèle $\mathbf{f}(\mathbf{x}; \mathbf{o})$ est linéaire en fonction de \mathbf{o} , le théorème de Gauss-Markov garantit que la méthode des moindres carrés permet d'obtenir l'estimateur non biaisé le moins dispersé. Lorsque le modèle est une fonction non linéaire des paramètres \mathbf{o} l'estimateur est généralement biaisé.

Par ailleurs, dans tous les cas, les estimateurs obtenus sont extrêmement sensibles aux points aberrants : on traduit ce fait en disant qu'ils sont non robustes. Plusieurs techniques permettent cependant de rendre plus robuste la méthode.

II.2. Homogénéisation des données pluviométrique

II.2.1. La méthode de double cumule :

A. La définition :

Plus puissante et plus répandue, l'homogénéisation par cette technique graphique nécessite la connaissance d'une série de données annuelles homogènes et observées dans une station de référence dite station témoin, ou station de base, voisine et régionale avec la station à corriger.

La méthode du double cumule a l'avantage de permettre de mettre en évidence la présence d'une anomalie dans la série étudiée et la corriger.

B. Explication de la méthode :

➤ Principe de la méthode :

Il s'agit de comparer la tendance de la station étudiée par rapport à celle de la station témoin, en traçant le graphe des données cumulées à la station étudiée par rapport aux données cumulées de la station témoin.

La méthode est fondée sur le principe qu'en l'absence d'anomalie, deux stations A, B, voisines et régionales mesurent chaque année une pluviométrie annuelle dans un rapport sensiblement constant d'une année à l'autre, que l'année soit sèche ou humide :

Soit donc : $PA(i) / PB(i)$ est pratiquement indépendant de l'année i .

En conséquence les points $M(i)$ de coordonnées les pluies cumulées calculées à chaque station A et B jusqu'à l'année i sont pratiquement alignés. En revanche si une erreur systématique à la station étudiée s'est produite alors la droite des doubles cumuls présenterait une cassure de sa pente à l'année de l'introduction de l'erreur.

➤ Interprétation graphique de la méthode :

Soient 2 stations X et Y ayant fourni les pluies annuelles $X(x_1, \dots, x_n)$ et $Y(y_1, \dots, y_n)$. **net** le nombre d'observations annuelles communes à X et Y, et soit X la station de base.

On veut donc homogénéiser la station Y à partir des données de la station X.

La corrélation graphique obtenue en représentant le cumul des y_i en fonction du cumul des x_i devrait être linéaire si les deux stations sont situées dans la même région climatique et à une distance relativement faible.

1 - S'il n'existe pas d'anomalie dans la série Y alors la pente de la droite sera constante.

2- Dans le cas où la série étudiée a été perturbée par une modification des conditions de mesures, la droite de double cumul présentera une ou plusieurs points de cassures qui vont être mis en relief par un changement de la pente de la droite. La figure 1 illustre ce cas.

➤ Procédure de l'homogénéisation :

Dans le cas de présence de points de cassure, deux questions se posent :

- Quelle portion du graphe faudrait-il corriger, soit donc sur quelle période d'observation il faut corriger les observations de la série Y ?
- Et comment procéder à la correction ?

En général, on regarde l'historique de la station : récente, contexte modifié ou non, arrêt du fonctionnement de la station pour une certaine période ou non ...etc. La procédure consiste à chercher des éléments indicatifs pouvant faciliter la prise de décision sur la période à partir de laquelle on soupçonne l'introduction d'erreurs systématiques dans les mesures.

Dans le cas où aucun élément indicatif n'est disponible, on considérera que les données les plus récentes sont les plus fiables.

Afin de minimiser l'influence des erreurs systématiques qui existeraient dans l'une ou l'autre des stations jugées de référence (si plusieurs existent), il est préférable d'élaborer une station témoin par la moyenne de ces stations.

La procédure générale d'homogénéisation des données par la courbe des doubles masses consiste à comparer chaque station à la moyenne des autres, la corriger et ensuite corriger chaque station successivement .Le processus est répété jusqu'à homogénéisation de toutes les stations.

Ainsi, on peut conclure que le choix d'un groupe de base exige au préalable la comparaison deux à deux de tous les postes susceptibles d'être intégrés dans ce groupe .A défaut, on peut se contenter d'un poste de base par région.

➤ Comment procéder à l'homogénéisation ?

La procédure de correction des données de la portion du graphe non fiable se fait en prolongeant la pente la plus fiable selon la formule :

$$P \text{ corrigé} = (m \text{ ajusté} / m \text{ observé}) * P \text{ observé}$$

-**m ajusté** : est la pente de la portion du graphe fiable

-**m observé** : est la pente de la portion du graphe à corriger

Le graphe de la figure1 indique trois tronçons linéaires avec deux points de cassure A et B

On doit donc corriger les données observées sur cette période seulement par :

$$P \text{ corr} = (m1/m2) P \text{ observée}$$

L'homogénéisation doit se faire après avoir comblé les lacunes ou l'insuffisance d'observations de certaines stations en prenant en considération les observations sans lacune et de longue durée effectuées en d'autres stations.

C/Contrôle de la fiabilité des séries pluviométriques :

Toute étude climatique ou hydrologique est basée sur l'exploitation de séries de données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues, continues ou discontinues. Les méthodes statistiques d'analyse de ces séries, exigent une homogénéité de leurs composantes, il est donc nécessaire, avant toute utilisation des variables pluviométriques, de contrôler leur qualité par l'emploi d'outils statistiques et graphiques, afin de réduire les erreurs systématiques qui pourraient les affecter.

La méthode des **double cumuls** est la plus utilisée , et la courbe des double cumuls est obtenue en portant en abscisses les totaux annuels cumulés de la station de base , et en ordonnées les totaux annuels cumulés de la station ; si les points sont distribués de façon linéaire , on conclut que la série est homogène , au contraire , s'il apparait une ou plusieurs cassures dans la distribution des points , la série n'est pas homogène .

Pour rendre les séries homogène il faut affecter la valeur du rapport correctif, selon le cas, m/m' ou m'/m , aux totaux annuels considérés comme erronés.

Pour corriger les séries des pluies, nous avons procédé à deux démarches différentes, selon le cas qui se présente :

- Tantôt en corrigeant pour surestimer les valeurs douteuses afin de tomber en adéquation avec l'objectif du travail (valeurs extrêmes)
- Tantôt en sous_ estimant les valeurs de pluies ayant recours à des périodes plus longues ou plus récentes.

CHAPITRE 03

I. Exemple de traitement d'un cas réel :

Exemple01 : comblement de lacune (méthode de moindre carrée)

	station A	station B
année	pluie (mm)	pluie (mm)
1960	800	869
1959	549	596
1958	858	
1957	540	643
1956	657	
1955	677	
1954	702	699
1953		546
1952	820	953
1951	841	
1950	732	945
1949	459	694
1948	522	
1947	540	849
1946	511	791

	station C	station D
année	pluie (mm)	pluie (mm)
1960	800	869
1959	549	596
1958		994
1957	540	
1956	657	736
1955	677	734
1954		699
1953	393	
1952	820	953
1951	841	
1950	732	
1949	459	
1948		875
1947	540	849
1946	511	791

Tableau01 : Tableau02 :

Tableau01: les donnée pluviométrique (station A et station B)

Tableau02 : les données pluviométrique (station C et station D)

On prend toujours la station A comme station de référence, car elle est caractériser par une série de données pluviométrique longue,

On constate l'absence de quelques données dans les deux tableaux, ces dernier seront calculer par la méthode des moindres carrées :

Tableau01:

Années	Station-A	Station-B	Station-C	Station-D
1960	800	869	800	869
1959	549	596	549	596
1958	858			994
1957	540	643	540	
1956	657		657	736
1955	677		677	734
1954	702	699		699
1953		546	393	
1952	820	953	820	953
1951	841		841	
1950	732	945	732	
1949	459	694	459	
1948	522			875
1947	540	849	540	849
1946	511	791	511	791

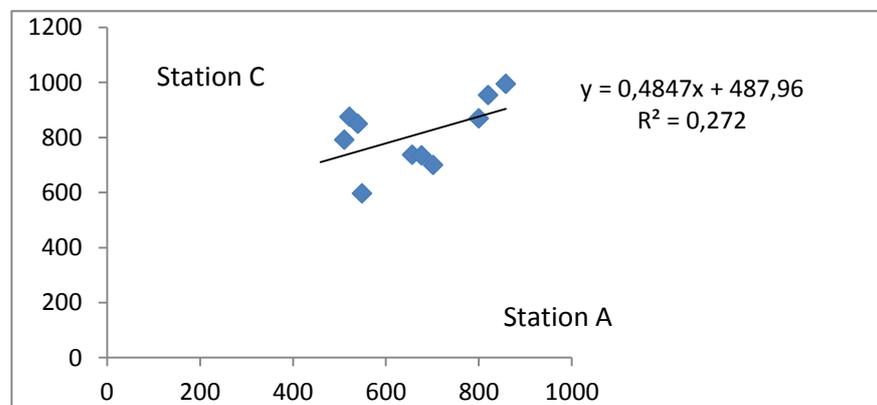
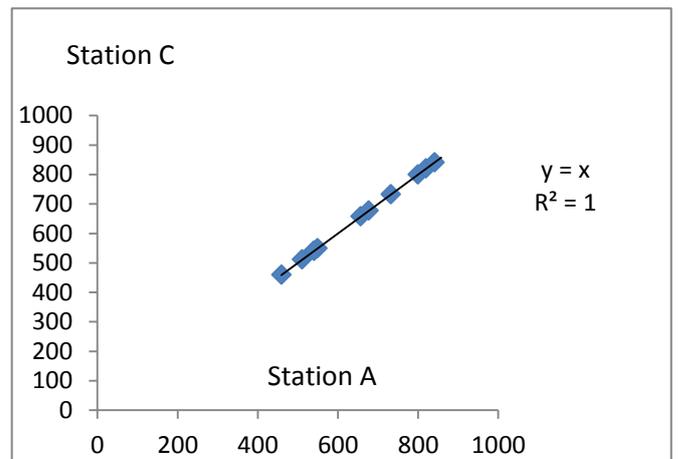
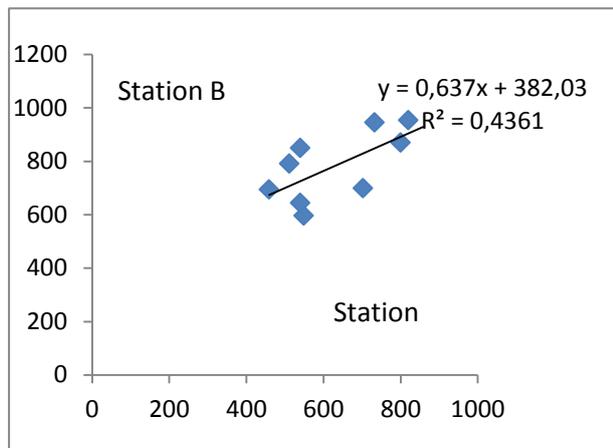


Figure.3.1. Courbe de régression linéaire

Tableau02:les séries des données après comblement des lacune

années	S-A	S-B	S-C	S-D
1960	800	869	800	869
1959	549	596	549	596
1958	858	928,546	858	994
1957	540	643	540	749,32
1956	657	800,509	657	736
1955	677	813,249	677	734
1954	702	699	702	699
1953	257,42543	546	393	612,55391
1952	820	953	820	953
1951	841	917,717	841	895,004
1950	732	945	732	842,248
1949	459	694	459	710,116
1948	522	714,514	522	875
1947	540	849	540	849
1946	511	791	511	791

Exemple.2. homogénéisation des données pluviométriques

(Méthode du double cumul)

Tableau.1. Les données pluviométrique (station A et station B)

année	station A pluie (mm)	station B pluie (mm)	cumul Station A	cumul StationB
1960	800	869	800	869
1959	549	596	1349	1465
1958	858	994	2207	2459
1957	540	643	2747	3102
1956	657	736	3404	3838
1955	677	734	4081	4572
1954	702	699	4783	5271
1953	393	546	5176	5817
1952	820	953	5996	6770
1951	841	882	6837	7652
1950	732	945	7569	8597
1949	459	694	8028	9291
1948	522	875	8550	10166
1947	540	849	9090	11015
1946	511	791	9601	11806

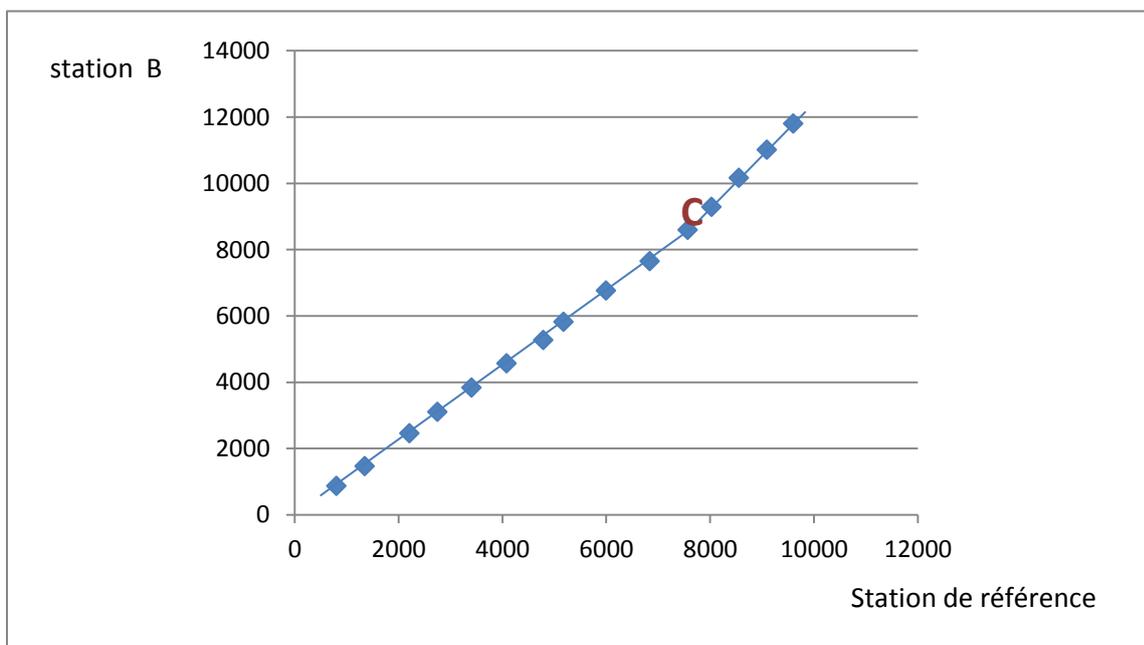


Figure.1. : graphe des doubles cumuls : station hétérogène

Le point C sur la figure représente une cassure.

Il y a une cassure à partir de l'année 1950, donc il y a des anomalies dans la station B, pour corriger ces anomalies, on multiplie les données de la station B par le rapport $m1/m2$ à partir de cette année.

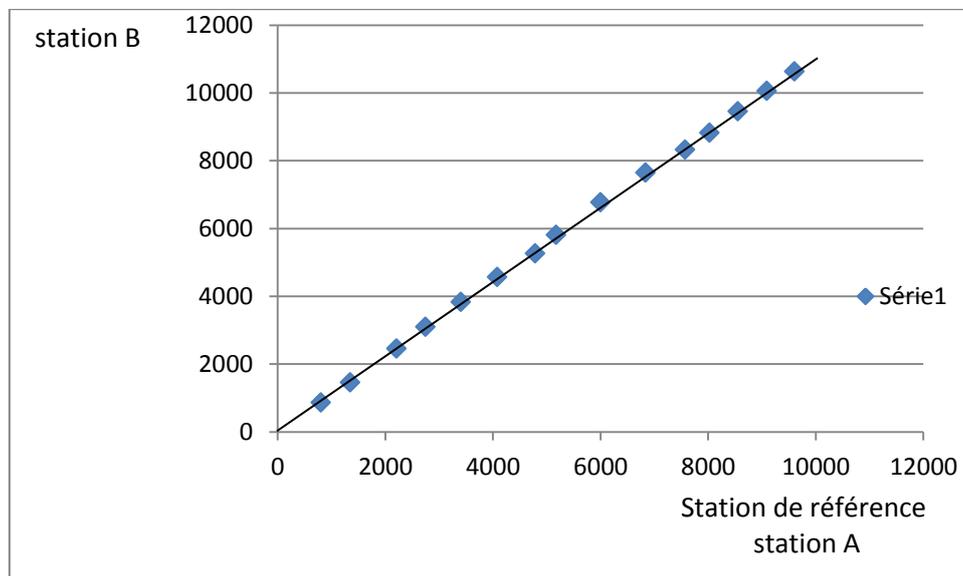
$$AN/ \quad m1 = \Delta y / \Delta x = \text{tg } \alpha \quad \rightarrow \quad m1 = 1.12896276 \quad \text{et} \quad m2 = 1.57222222$$

$$\rightarrow \quad m1/m2 = 0.71806819$$

Tableau 02 : homogénéisation des données par la méthode des doubles cumules

année	station A pluie (mm)	station B pluie (mm)	cumul Station A	cumul Station B	Station B Corrigée	Cumul station B corrigée
1960	800	869	800	869	869	869
1959	549	596	1349	1465	596	1465
1958	858	994	2207	2459	994	2459
1957	540	643	2747	3102	643	3102
1956	657	736	3404	3838	736	3838
1955	677	734	4081	4572	734	4572
1954	702	699	4783	5271	699	5271
1953	393	546	5176	5817	546	5817
1952	820	953	5996	6770	953	6770
1951	841	882	6837	7652	882	7652
1950	732	945	7569	8597	678.574435	8330.57443
1949	459	694	8028	9291	498.33932	8828.91376
1948	522	875	8550	10166	628.309662	9457.22342
1947	540	849	9090	11015	609.639889	10066.8633
1946	511	791	9601	11806	567.991934	10634.8552

La figure ci-après la droite après la correction :



**Figure02 : graphe des doubles cumuls : station homogène
(Après homogénéisation)**

Conclusion générale :

L'inventaire et l'exploitation des données d'observation des ressources en eau du Algérie, s'appuient sur l'élaboration d'une base de données hydro climatologiques. L'objectif de ce mémoire est prend en charge la revue bibliographique de ces méthodes ainsi que des applications possibles à titre illustratif, Aussi présenter les conceptions générales qui ont orienté la réalisation des systèmes de traitement des données pluviométriques actuellement contenues dans cette base.

L'étude de l'évolution des précipitations ne peut utiliser les données hétérogènes. Plusieurs méthodes statistiques permettent de tester l'homogénéité des séries pluviométriques avant utilisation. Parmi elles, nous avons retenu pour sa pertinence et sa simplicité, le test graphique des doubles cumuls ou de cumul simple des totaux pluviométriques annuels. Il s'agit de savoir si les données d'observation sont fiables, donc utilisables telles quelles. En effet, les changements d'observateurs, de déplacements et de fermetures de postes, avaries sur le matériel ou panne d'un pluviomètre qu'on attend plusieurs semaines avant de remplacer, occasionnent de ruptures de continuité dans les séries. Ces aléas peuvent expliquer la présence d'hétérogénéité dans les données. L'intérêt des conclusions des tests apparaît au cours de la classification des régimes pluviométriques et lors de la constitution de la matrice des données en vue d'une étude globale de l'organisation du champ pluviométrique.

Sommaire :

Introduction générale01

Chapitre01 :

Introduction.....03

I. Précipitation et donnée pluviométrique.....04

I. 1/Définition de précipitation.....04

1-1/définition.....04

1-2/types de précipitation.....04

1-3/la mesure de précipitations.....04

1-4/précipitation en algerie.....05

2/Différent types de pluviomètre05

2-1/ le pluviomètre.....05

A/ définition de pluviomètre.....05

B/ les différents types de pluviomètre.....06

C/ le rôle du pluviomètre.....08

2-2/ le pluviographe.....08

2-2-1/ définition de pluviographe.....08

2-2-2/ les types de pluviographe.....08

3/Lacunes dans les données pluviométriques,

nature et causes.....10

3-1/définition de lacune.....10

3-2/les types d'erreur dans les données

Pluviométriques10

chapitre02 :

Introduction.....13

I.	Les méthodes de comblement de lacune dans les données pluviométrique (méthode de moindre carré).....	14
	1/ Méthode des moindres carrés	
	A/Définition.....	14
	B/Explication de la méthode.....	14
II.	2/Homogénéisation des données pluviométriques (Double cumule).....	16
	2-1/ Méthode de double cumule	
	A/ Définition.....	16
	B/ Explication de la méthode.....	16
	➤ Principe de la méthode	16
	➤ Interprétation graphique de la méthode.....	16
	➤ Procédure de l'homogénéisation.....	17
	➤ Comment procéder à l'homogénéisation ?.....	17
	C/ Contrôle de la fiabilité des séries	
	Pluviométriques.....	18

Chapitre03 :

I.	Exemple de traitement d'un réel.....	20
	Exemple01 : comblement de lacune	
	(Méthode de moindre carré)	20
	Exemple02 : homogénéisation (méthode de double cumule).....	23

Conclusion générale.....26

Référence bibliographique

P.N.U.D/O.P.E., (1987). Ressource «en eau dans les pays de l’Afrique du Nord.
Côte, M. (1983). *Communication au colloque sur les eaux I.S.T.* Université de Constantine.

Seltzer, P. (1949). *LE climat de l’Algérie.* Alger

Dubreuil, P. (1974). *Initiation à l’analyse hydrologique,* Masson. Paris.

Remeniras, G. (1979). *L’hydrologie de l’ingénieur, Eyrolles.* Paris.

Laborde, J.P. (2003). *Hydrologie de surface.* Université nice-sofiaantipolis.

Anonyme, (1998). Dictionnaire Larousse.

BENCHAIBA, L., (2006). Thèse mag : Condition d’écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau Bassin versant de l’oued Bouhamdene (W. DE GUELMA, EST ALGERIEN).

Christian Mallet et Marcel Gautier., (Octobre1947). Les problèmes de l’eau en Algérie.

Durand, R. et Dimacopoulos, G., (1969). Elément de météorologie agricole. .Ed Editeurs. Paris.

SERHIR, N. Traitement statistique des données. **Site Web:**
<http://numenor.me/cours/S3/Hydrologie/Cours/Trait-Stat.pdf>.

SERHIR, N. Traitement statistique des données. **Site Web:**
<http://numenor.me/cours/S3/Hydrologie/Cours/Trait-Stat.pdf>.