

**UNIVERSITE DE MONTPELLIER II  
USTL**

**ORSTOM  
Laboratoire d'Hydrologie**

**DEUST - GENIE HYDRO SANITAIRE ET AQUACOLE**

**MESURE ET ETUDE DES PRECIPITATIONS  
EN HYDROLOGIE**

**JANVIER 1993**

**Yann L'HÔTE  
Ingénieur de Recherche**

## SOMMAIRE

	page
<b>1 La formation des précipitations dans l'atmosphère.....</b>	<b>1</b>
1.1 Définitions et rappels de météorologie .....	1
1.2 Mécanismes de la formation des précipitations .....	1
<b>2 Mesure des précipitations en un point.....</b>	<b>2</b>
2.1 Définitions .....	2
2.2 Les pluviomètres et pluviographes .....	3
<b>3 Calcul de la pluie moyenne sur un bassin versant.....</b>	<b>6</b>
3.1 Représentativités locale et régionale des mesures .....	6
3.2 Calcul par la moyenne arithmétique.....	7
3.3 Calcul par la méthode de Thiessen .....	7
3.4 Calcul par la méthode des isohyètes .....	8
3.5 Exercice d'application : isohyètes et méthode de Thiessen .....	9
<b>4 Critique des données pluviométriques .....</b>	<b>9</b>
4.1 Objectifs et nécessité d'une critique.....	9
4.2 Critique à la réception des bordereaux mensuels.....	9
4.3 Critique a posteriori. Homogénéisation des données. Méthode des totaux annuels cumulés .....	11
4.4 Exercice d'application de la méthode des totaux annuels cumulés .....	14

# 1 LA FORMATION DES PRECIPITATIONS DANS L'ATMOSPHERE

## 1.1 DEFINITIONS ET RAPPELS DE METEOROLOGIE :

On englobe sous le terme de **précipitations**, toutes les eaux météoriques, ou hydrométéores, qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie) que solide (neige, grêle, grésil).

**L'atmosphère** est la masse d'air qui entoure la Terre.

Sa limite supérieure ne peut pas être définie physiquement ou chimiquement; on estime actuellement que l'atmosphère s'étend sur quelques 1 500 Km. Toutefois, comme il y a raréfaction progressive de l'air à mesure qu'on s'élève en altitude, on admet couramment que *l'atmosphère météorologique* a une épaisseur de 30 Km.

Il a été mis en évidence dans l'atmosphère, un certain nombre de couches caractérisées par leur profil thermique vertical ; en particulier, sur la figure 1 de l'annexe 1, **la troposphère** au sein de laquelle la température décroît régulièrement de 6.5 °C en moyenne par kilomètre d'altitude. La température croît ensuite dans la stratosphère (inversion de gradient), à partir de la limite thermique que représente la tropopause.

La **troposphère** a une épaisseur variable suivant le lieu et le jour, de 7 à 8 Km aux Pôles (température au sommet de l'ordre de - 50°C) et de 17 à 18 Km à l'Equateur (température de l'ordre de - 80°C).

La troposphère est le siège de nombreux mouvements : vents horizontaux et courants ascendants ou descendants verticaux tels qu'ils sont schématisés sur la fig 2 de l'annexe 1. C'est dans la troposphère que se produisent les phénomènes météorologiques intéressant le globe, en particulier les nuages, origines des pluies, les vents etc...

*L'air atmosphérique est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau.*

La quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air atmosphérique est variable selon la température. Le tableau ci-dessous fournit pour certaines températures la quantité maximale d'eau que peut contenir un Kilogramme (un peu moins d' 1 m3) d'air sec à la pression de 1 000 hPa (hecto Pascal, équivalent aux anciens millibars). Pour ces teneurs en eau à ces différentes températures, on dit que **l'humidité relative** de l'air est de 100%, ou que *l'air est saturé* en eau :

T. en °C	- 20	- 10	0	+ 10	+ 20	+ 30
g / m3	0.8	1.8	3.8	7.8	14.8	27.4

## 1.2 MECANISMES DE LA FORMATION DES PRECIPITATIONS

Raisonnons sur le tableau ci-dessus : soit un air situé au sol ayant une température de + 30° C et contenant 14.8 g de vapeur d'eau par Kg d'air sec ; cet air n'est pas saturé, il lui faudrait 27.4 g pour l'être et son humidité relative est de  $14.8 / 27.4 = 54\%$ .

Si cet air est porté en altitude, par exemple par des courants ascendants tels qu'ils existent à l'Equateur ou par 60° N sur la figure 2 de l'annexe 1, sa température décroît. Lorsque celle-ci sera de + 20°, l'air sera saturé et aura un degré d'humidité de 100%. Lorsque la température sera de + 10°, 7.8 g de vapeur d'eau seront nécessaires pour entretenir la saturation de l'air, et 7.0 g (14.8 - 7.8) seront disponibles pour se condenser

et former un nuage.

La cause principale de formation d'un nuage est donc le refroidissement

Schématiquement, on peut dire qu'un nuage est un aérosol de fines gouttelettes d'eau et de petits cristaux de glace de diamètres moyens de 10 à 30 microns. Cet aérosol présente le plus souvent une bonne stabilité grâce aux micro-turbulences atmosphériques.

Les gouttes de pluie ayant des diamètres moyens de 0.5 à 2 mm, pour qu'il y ait précipitation, il faut que le volume de chaque vésicule augmente de 5 000 à 8 millions de fois. Deux mécanismes concourent à cet accroissement :

1 - certaines particules grossissent par condensation sur leur surface de l'eau provenant, soit directement de l'air environnant, ou indirectement des particules voisines en cours d'évaporation (*effet Tor - Bergeron*);

2 - du fait des micro-turbulences de l'atmosphère, une multitude de petites particules s'agglomèrent entre elles par un processus dit de *coalescence ou captation*.

## 2 MESURE DES PRECIPITATIONS EN UN POINT

### 2.1 DEFINITIONS

La hauteur des précipitations qui atteignent le sol pendant une période donnée est définie comme l'épaisseur que celles-ci couvriraient sur un plan horizontal, s'il n'y avait pas de pertes par écoulement, infiltration et évaporation, et si les précipitations solides fondaient sur place.

Dans le Système Universel, cette hauteur de précipitation est exprimée en millimètres (mm) et dixièmes de millimètre.

Les médias (TV, presse) donnent parfois des hauteurs de pluies - souvent exceptionnelles et catastrophiques - en litre par mètre-carré (l / m<sup>2</sup>) ; cette unité plus parlante, est identique à celle utilisée par les météorologues (le millimètre), puisqu'en effet :

$$\begin{aligned} 1 \text{ litre} &= 1 \text{ dm}^3 = 10^2 \text{ mm} \times 10^2 \text{ mm} \times 10^2 \text{ mm} = 10^6 \text{ mm}^3 \\ 1 \text{ m}^2 &= 10^3 \text{ mm} \times 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ mm}^2 \\ \text{et } 1 \text{ l / m}^2 &= 10^6 \text{ mm}^3 / 10^6 \text{ mm}^2 = \underline{1 \text{ mm}} \end{aligned}$$

D'autre part, dans certaines conditions, la vapeur d'eau des basses couches de l'atmosphère se condense directement sur les surfaces froides du sol ou des végétaux, sous forme de rosée ou de gelée blanche. Ces quantités, généralement modestes vis à vis des pluies, ne sont pas mesurées avec les pluviomètres classiques et ne sont donc pas prises en compte dans les bilans hydrologiques.

Toutefois, dans certaines régions tropicales montagneuses (au dessus de 600 m) proches des Océans, ces "précipitations occultes" ou "brouillards mouillants" peuvent

représenter un pourcentage important du total des eaux disponibles pour la végétation, et aller même jusqu'à dépasser le total des précipitations mesurées classiquement.

## **2.2 LES PLUVIOMETRES ET PLUVIOGRAPHES :**

Nous décrivons successivement les types d'appareils suivants :

- **les pluviomètres** qui donnent la hauteur de précipitation globale pendant un temps plus ou moins long ; il est relevé en général une à deux fois par jour.

Si l'appareil est relevé moins fréquemment, par exemple tous les 15 jours ou tous les mois, on dit alors que l'on observe un **pluviomètre totalisateur**.

- **Les pluviographes** qui permettent, en plus du total journalier, d'étudier l'intensité des pluies sur différents intervalles de temps, en général de la minute à plusieurs heures.

### **2.2.1 LES PLUVIOMETRES**

On les dit "journaliers" car on s'efforce de les relever tous les jours.

Théoriquement n'importe quel récipient pourrait être utilisé en guise de pluviomètre, et cette remarque peut être utile dans des cas extrêmes tels qu'une pluie exceptionnelle tombée loin d'un poste pluviométrique officiel ou privé, une défaillance de l'appareil (seau renversé par le vent, ou percé etc...). Toutefois pour permettre des observations précises et surtout comparables entre elles, il est indispensable d'utiliser des pluviomètres "normalisés", au moins à l'échelle d'un état.

**2.2.1.1** - Ainsi, en France, **le pluviomètre dit "Association"** présenté en annexe 2 est utilisé depuis 1867. On le retrouve encore fréquemment en France, dans les DOM-TOM et dans les anciennes colonies.

Ce pluviomètre correspond aux principales normes fixées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, créée en 1878), en particulier la surface de la bague est comprise entre les 200 et 500 cm<sup>2</sup> recommandés.

Une autre norme de l'OMM est que le pluviomètre doit être situé à une distance D égale ou supérieure à 4 fois la hauteur H de l'obstacle le plus proche ( $D \geq 4H$ ). En réalité, il est préférable de situer l'appareil le plus loin possible de tout obstacle (bâtiment, arbres) surtout si celui-ci est situé du côté d'où viennent les pluies (d'Ouest pour la France).

Sur l'annexe n° 2, nous avons rectifié la hauteur de la bague au dessus du sol de 1.50 m à 1.00 m, pour suivre les consignes données par **Météo-France** dans sa notice R01-2050-1 d'octobre 1983, accompagnant le pluviomètre de même code qui sera décrit ci-dessous (annexe 3 B). Nous n'avons pas pu vérifier dans l'abondante littérature émanant de l'OMM, si cette modification correspond à une nouvelle norme internationale; quoi qu'il en soit, en France, la norme est de 1.00 mètre au dessus du sol.

Les inconvénients du pluviomètre Association se sont révélés être les suivants :

1 - on doit utiliser une éprouvette de lecture d'une capacité maximale de 8.2 mm (autrefois 10.0 mm), ce qui peut occasionner des pertes d'eau irréparables lors des mesures de fortes pluies nécessitant plusieurs versements de l'eau recueillie dans une éprouvette, au col parfois étroit.

2 - En climats chauds, méditerranéens, tropicaux et sahéliens par exemple, une petite pluie ( jusqu'à 0.5 - 0.8 mm ) peut être évaporée avant la lecture. Ceci a conduit à effectuer deux mesures dans la journée : à 7 heures et 18 heures locales.

3 - Dans les mêmes climats que ci-dessus, où les averses sont souvent abondantes, ainsi qu'en climats équatoriaux, de mousson ou marqué par les ouragans ou cyclones (Nouvelle-Calédonie, Antilles...), il peut arriver que le pluviomètre soit rempli en quelques heures, puisque sa capacité maximale au débordement correspond à 175 mm.

Si on n'y prend garde, il y a alors perte d'eau et l'observateur marque une valeur proche de 175 mm, par méconnaissance de ce "détail".

Pour pallier cet inconvénient, il a été créé (au cours de la deuxième guerre mondiale) un pluviomètre Association "tropicalisé", identique au seau classique, mais sur lequel est soudé un manchon de 10 cm de hauteur, soit une mesure possible de 275 mm.

4 - Le dernier inconvénient du pluviomètre Association est qu'il en a existé successivement dans le temps deux types, le premier ayant une surface de bague réceptrice de 314 cm<sup>2</sup> ( $100 \pi$ ), le second une surface de 400 cm<sup>2</sup>. Or les premières éprouvettes étant en verre, donc relativement fragiles, ont été parfois changées par des éprouvettes non en conformité avec la bague, si bien que l'opérateur faisait sans s'en douter des observations journalières (donc mensuelles et annuelles) erronées de 27% (rapport 400 / 314 ou son inverse).

Ces erreurs dites systématiques, portant parfois sur plusieurs années, peuvent être mises en évidence par la méthode des totaux annuels cumulés dont il sera question ci-dessous au § 4.3.

Pour pallier cet inconvénient la Météorologie Nationale française a mis en service l'éprouvette en plastique modèle MN-R3-204 de 8.2 mm de contenance totale, dans le corps de laquelle est moulée l'expression : "Millimètres de pluie sur 400 Cm<sup>2</sup>".

L'inconvénient évoqué en 3 ci-dessus, de capacité maximale d'un pluviomètre est très important, par exemple en climat méditerranéen, puisqu'il a été observé récemment :

- au moins 420 mm en 6 heures 30 (pluviomètre relevé plusieurs fois a néanmoins débordé), à Nîmes Mas de Ponge, lors de la crue catastrophique du 3 octobre 1988;
- 447 mm en 18 heures au Caylar (département de l'Hérault, Causse du Larzac), le 22 septembre 1992.

Pour permettre de mesurer des valeurs de cette importance, sans risque d'erreur humaine (compréhensible dans des conditions difficiles), seuls les pluviographes enregistreurs décrits ci-dessous en 2.2.2. sont opérationnels.

Je fournis en annexe 3 les capacités maximales que j'ai mesurées sur trois types de pluviomètres observés en Guadeloupe en 1981.

**2.2.1.2 - Le pluviomètre** présenté en A de l'annexe 3, dit "**décuplateur**" puisque la surface de la bague est 10 fois supérieure à la surface des réservoirs inférieurs de stockage et de mesure, est un ancien modèle de la Météorologie Nationale française qui a pratiquement disparu en France métropolitaine. Sa conception palliait l'inconvénient n°1 ci-dessus d'utilisation d'une éprouvette.

Les types de pluviomètres B et C de l'annexe 3 pallient par leur conceptions aux inconvénients 1 (perte d'eau), 2 (évaporation) et 4 (erreur d'éprouvette) évoqués ci-dessus.

**2.2.1.3 - En B, le pluviomètre SPIEA modifié Météorologie Nationale R01-2050 A** est le pluviomètre officiel des stations de Météo-France, soit environ 3 600 postes (SPIEA pour Syndicat Professionnel de l'Industrie des Engrais Azotés). J'ai pu observer à l'utilisation de ce pluviomètre les faits suivants :

- a - la condensation de l'air en fin de nuit froide laisse un dépôt d'eau de 0.1 à 0.3 mm, qu'on peut assimiler à la rosée, sans prétendre la mesurer (mesure effectuée sur des toiles grillagées standardisées).

b - Après quelques années en France, et parfois une seule dans les pays chauds, le seau gradué en polystyrène s'opacifie, ce qui peut rendre impossible la lecture directe.

Le relevé effectué une ou deux fois par jour est noté par l'observateur sur son cahier selon les instructions du Service gestionnaire du réseau pluviométrique. L'annexe 4 est la photocopie de l'exemple de remplissage du bordereau mensuel remis aux observateurs par l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (ASECNA) en Afrique francophone. Un système de calque permet à l'observateur de conserver une trace des relevés originaux, si ceux-ci venaient à disparaître lors de l'expédition postale du premier original. En France l'organisation de la gestion du réseau pluviométrique est sensiblement identique.

On remarque sur le bordereau de l'annexe 4, que la pluie relevée le jour J+1 au matin (par ex. le 4 juillet à 8 h.) est portée et comptée le jour J (le 3 juillet sur l'annexe 4). Ceci est une norme internationale ancienne suivie dans le monde entier, bien qu'elle soit source de nombreuses erreurs de datation de la part des observateurs, et lors des recopies.

**2.2.1.5 -** D'un autre point de vue, il faut signaler que, pour des raisons historiques et pratiques, chaque état utilise des types de pluviomètres qui sont différents les uns des autres dans le détail, comme le montre l'annexe 4.

Une étude effectuée en 1984 sous l'égide de l'OMM, comparant les observations faites dans différents états sur leurs propres appareils avec celles du pluviomètre enterré international Snowdon (h sur l'annexe 4) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les mesures au sol et dans les appareils classiques - excepté peut être au Sahel (études ORSTOM). On peut légitimement déduire de la conclusion de cette étude de l'OMM que les résultats d'observations effectuées dans différents états peuvent être comparées, ou plutôt peuvent être traités ensemble, par exemple lors du tracé d'une carte des pluies sur une superficie comprenant plusieurs états.

## 2.2.2. LES PLUVIOGRAPHES

Rappelons qu'avec un pluviographe, on peut non seulement mesurer le total des précipitations sur un temps donné (en particulier la journée), mais de plus étudier l'intensité de la pluie sur différents intervalles de temps, pratiquement d'une minute à plusieurs heures.

Ces études sont très utiles, en particulier en *hydrologie urbaine*, partie de l'hydrologie qui traite de l'écoulement des eaux usées et pluviales en ville. Pour schématiser, on peut dire que les réseaux d'égouts sont dimensionnés d'après différents facteurs, dont le plus important est l'intensité de pluie d'une durée de retour choisie sur des courbes dites "IDF" pour intensités, durées, fréquences, elles mêmes définies d'après les observations pluviographiques en un lieu ou une région.

Il a été expérimenté toute une gamme de récepteurs reposant sur des principes divers : flotteur avec siphonnage au delà d'un volume donné, pesée de l'eau accumulée dans le temps etc...

Ces essais mis en défaut sur le terrain, ont été abandonnés (pour l'instant) pour laisser la place au pluviographe à augets basculeurs. L'annexe 6 présente les éléments d'un tel appareil, à enregistrement sur bande de papier déroulante :

- l'eau recueillie par un entonnoir se déverse dans un premier auget A (figure 1 annexe 6). Le centre de gravité de l'ensemble étant situé au dessus du point pivot, l'ensemble bascule pour une quantité réglée à 20 grammes, l'auget A se vidange alors, tandis que l'auget B se remplit à son tour, etc... Chaque basculement dans un sens ou dans l'autre fait avancer d'une dent une roue à rochets; ce mouvement transmis par un système d'engrenages, came et levier est enregistré sur un cylindre enregistreur (B fig.2 annexe 6) effectuant une rotation complète soit en une semaine, soit en un jour.

- A noter que pour une bague d'entonnoir d'une surface de 2 000 cm<sup>2</sup>, 20 g ou 20 cm<sup>3</sup> équivalent à 0.1 mm de pluie, et pour une bague de 400 cm<sup>2</sup> à 0.5 mm.

Le diagramme enregistré, ou **pluviogramme**, est représenté en A sur l'annexe 7. Le dépouillement des pluviogrammes est effectué avec un lecteur de courbes et un programme écrit à cet effet, ou manuellement sur un tableau tel que celui présenté en B sur l'annexe 7.

Ce tableau permet de tracer un graphique en escalier représentant l'évolution de l'intensité de pluie en fonction du temps. Ce graphique, ou **hyétogramme**, présenté sur l'annexe 8 est à la base de toute interprétation hydro-pluviométrique sur un bassin versant.

Du point de vue de l'évolution du matériel, les constructeurs ont développé aujourd'hui **des systèmes d'enregistrement automatique sur mémoires de grande capacité**. Chaque basculement d'auge entraîne une impulsion électrique qui est enregistrée en horaire exact (horloge à quartz) sur la mémoire.

L'annexe 9 donne les caractéristiques techniques d'un tel enregistreur autonome. La mémoire peut être connectée soit directement sur un micro-ordinateur, soit sur un émetteur satellite ARGOS interrogeable à distance. Cette dernière possibilité, ainsi que les interrogations annexes (puissance de la batterie, hauteur à la station hydrométrique proche, etc..) sont très utiles pour les Services Hydrologiques qui peuvent ainsi mieux gérer leurs déplacements que par le passé.

### 3 CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE SUR UN BASSIN VERSANT

#### 3.1 REPRESENTATIVITES LOCALE ET REGIONALE DES MESURES

Le but de la mesure des précipitations en un point est d'obtenir un "prélèvement" qui représente les précipitations de toute une région. Cette région représentée par une seule mesure aura une superficie variable selon la densité du réseau de postes d'observations : de quelques hectares sur un bassin d'étude, de un poste pour environ 150 Km<sup>2</sup> en moyenne sur le réseau français (3 600 postes sur 550 000 Km<sup>2</sup>), et enfin de un poste pour 3 à 5 000 Km<sup>2</sup> dans les régions africaines les mieux observées (près des côtes et des capitales), voire un poste pour 50 à 150 000 Km<sup>2</sup> et plus, dans les régions sahéliennes d'Afrique.

Or l'expérience montre que les pluies (averses estivales en France par exemple) sont souvent très variables (hétérogènes) dans l'espace. Par exemple, le cours de l'année 1986-87 dispensé à vos camarades du DEUST s'est déroulé sous une pluie battante, et on a mesuré en 24 heures le 13 novembre 1986 (mesures faites le 14 au matin) :

47.5 mm à l'Aéroport de Fréjorgues (Sud de Montpellier);  
85.3 mm à l'Institut National Agronomique de Montpellier;  
73.0 mm à l'ORSTOM-ZOLAD (Nord de Montpellier) .

Quoi qu'il en soit, le calcul de la pluie moyenne sur une surface plus ou moins étendue repose sur l'**hypothèse** que la pluie ponctuelle est représentative de la région qui lui correspond. La légitimité de cette hypothèse dépend de la densité du réseau de mesure, du type de temps (averse ou régime d'Ouest) et de la topographie de la région. Cette hypothèse doit être examinée dans chaque cas particulier, pour estimer la



précision des résultats présentés dans une étude.

### 3.2 CALCUL PAR LA MOYENNE ARITHMETIQUE

Si la topographie n'est pas trop accidentée et si la répartition des postes est suffisamment homogène sur le bassin, on pourra appliquer une simple moyenne arithmétique des observations faites à tous les postes.

Dans le cas présenté sur l'annexe 10, la pluie sur le bassin calculée par cette méthode, avec les six postes est de :  $7\ 270 / 6 = \underline{1\ 211.7\ mm}$ .

### 3.3 CALCUL DE LA MOYENNE PAR LA METHODE DE THIESSEN

A la méthode arithmétique simple, on préfère employer une autre méthode arithmétique proposée par Thiessen: on attribue à chaque station un **poids** (pourcentage) proportionnel à la zone représentative présumée, telle que tout point de cette zone soit plus près, en distance horizontale, du pluviomètre considéré que tout autre appareil.

Les zones représentatives prennent des formes de polygones, tels qu'on les voit sur l'annexe 10. Ces polygones sont obtenus en traçant entre les stations prises deux à deux, **les médiatrices** qui sont, rappelons-le, les lieux géométriques des points situés à une égale distance de deux points A et B, A et C, etc..(utilisation du compas).

Pour le calcul des pourcentages (ou poids) à appliquer à chaque poste, on doit déterminer sur carte **par planimétrie**, la surface totale du bassin et les surfaces de chaque polygone :

- Si "S" est la surface totale du bassin (40.8 cm<sup>2</sup> sur l'annexe 10, soit 10.2 Km<sup>2</sup> compte-tenu de l'échelle), et "Si" la surface du polygone de Thiessen d'un poste I,
- le coefficient de Thiessen du poste I =  $S_i / S$  ;
- avec la somme des coefficients  $S_i = 1.00$

On calcule la pluie moyenne sur un bassin comprenant "n" stations, en appliquant:

$$P_m = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \cdot P_i$$

Dans l'exemple de l'annexe 10, on calcule ainsi :

Station	Coefficient de Thiessen (Ci)	Pluie en mm au poste (Pi)	pluie partielle ( Ci . Pi )
A	0.08	1 000	80.0
B	0.14	1 150	161.0
C	0.14	1 120	156.8
D	0.31	1 200	372.0
E	0.16	1 300	208.0
F	0.17	1 500	255.0
	----	-----	-----
sommes	1.00	/	<u>1 232.8</u> = moyenne

La pluviométrie moyenne établie par la méthode de Thiessen est de 1232.8 mm, à comparer aux 1211.7 mm calculés par la moyenne arithmétique.

### **3.4 CALCUL DE LA MOYENNE PAR LA METHODE DES ISOHYETES**

**Une courbe isohyète** est le lieu géométrique des points sur lesquels il est tombé la même quantité de pluie, pendant une période donnée.

La période pour lesquelles sont établies les cartes d'isohyètes sont très variables, de la journée sur un bassin d'étude, au mois, à une année donnée : *isohyètes annuelles*, jusqu'à des périodes plus longues, par exemple les moyennes des 30 années 1961-1990 de la dernière série des *isohyètes interannuelles* de référence, retenue par l'OMM.

Pour dessiner les isohyètes sur un bassin (ou un état), on tient compte de la topographie (il pleut plus sur les régions élevées) et d'un certain nombre de stations situées en dehors du bassin, comme cela est présenté sur l'annexe 11.

Pour calculer la pluie moyenne sur le bassin, on dispose de deux méthodes de résolution, comprenant obligatoirement la mesure sur la carte (planimétrage) des surfaces pour lesquelles la pluviométrie est supérieure à une valeur donnée, et ceci pour toutes les isohyètes.

D'après le tracé des isohyètes de la carte A de l'annexe 11, on a établi le tableau B.

#### **3.4.1 PREMIERE METHODE DE RESOLUTION (IDENTIQUE A THIESSEN).**

Elle est comparable à la méthode de Thiessen, et est portée sur la droite du tableau B de l'annexe 11, en colonnes 4 à 6 : on applique aux surfaces comprises entre deux isohyètes  $C_i$  en % (colonne 4), la pluviométrie moyenne des valeurs des deux isohyètes encadrantes (colonne 5) .

#### **3.4.2 DEUXIEME METHODE DE RESOLUTION.**

Sur papier millimétré (ou quadrillé) Cf. C de l'annexe 11, on porte les surfaces cumulées en % (colonne 3) en fonction de la pluviométrie (colonne 1) .

Le planimétrage de la surface comprise entre cette courbe et les deux axes donne une surface X, qui divisée par l'amplitude (100%) des ordonnées, donne une abscisse moyenne proportionnelle à la pluviométrie moyenne recherchée :

Sur l'annexe 11, surface  $X = 14.5 \text{ cm}^2 / 5 \text{ cm} = 2.90 \text{ cm}$  ;  
- ces 2.9 cm reportés à partir de l'origine des abscisses (soit 800mm de pluie), amènent à lire une pluviométrie moyenne d'environ 1080 mm.

Plus précisément, on écrit :

1 cm en abscisse = 100 mm de pluie ;

2.90 cm = 290 mm de pluie ;

et la pluie moyenne sur le bassin = origine des abscisses + 290 mm de pluie, soit  $800 + 290 = 1090 \text{ mm}$ .

Sur le graphique C de l'annexe 11, on a tracé un rectangle dont le petit coté = pluie moyenne et le grand coté = l'amplitude des ordonnées; on détermine ainsi dans la surface X hachurée une "découpe" telle que la surface supprimée (marquée -) est égale à la surface ajoutée (marquée +) .

### **3.5 EXERCICE D'APPLICATION : ISOHYETES ET METHODE DE THIESSEN**

Sur la carte de l'annexe 12 représentant le bassin du Vidourle à Sommières (Gard), pour lequel on dispose de 9 stations pluviométriques de longue durée situées sur ou proches du bassin, **on tracera les isohyètes interannuelles.**

L'annexe 12 bis pourra servir ultérieurement (à la maison ?) pour s'entraîner à tracer les polygones de Thiessen, à l'aide d'un compas.

Enfin, avec les valeurs données dans l'annexe 13, **on calculera la pluie moyenne sur le bassin par trois méthodes :**

- de Thiessen;
- des isohyètes (deux méthodes de résolution).

## **4 CRITIQUE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES**

### **4.1 OBJECTIFS ET NECESSITE D'UNE CRITIQUE**

Avant toute étude statistique, même simple comme le calcul d'une moyenne interannuelle sur une longue chronique de relevés pluviométriques, souvent observés à des pluviomètres manuels pouvant être déplacés facilement, il convient de repérer pour éventuellement corriger ou supprimer :

a - **les erreurs grossières et aléatoires** faites lors de l'observation (pertes d'eau, absence de l'observateur non signalée, décalage de jour, etc...) ou à la recopie et à la saisie des données (oublis, mauvaises interprétations des chiffres et plus grave, de la place de la virgule, etc...)

b - **les erreurs systématiques** dues par exemple au déplacement du site d'observation au cours du temps, ou à des défauts d'appareillage (éprouvette ne correspondant pas au diamètre de la bague, mauvais réglage des augets d'un pluviographe).

### **4.2 CRITIQUE A LA RECEPTION DES BORDEREAUX MENSUELS**

Théoriquement les bordereaux mensuels devraient être vérifiés dès leurs arrivées au Service gestionnaire, ce qui n'est pas toujours possible dans différents états, souvent pour des raisons de manque de personnel.

**4.2.1 Classiquement**, à la réception des fiches mensuelles, le Service gestionnaire reporte les valeurs journalières sur des bordereaux mensuels identiques à celui présenté sur l'annexe 14 pour le département de l'Hérault. Ce travail de disposition différente des observations est effectué dans le but de détecter par comparaison interpostes d'éventuelles erreurs grossières, des lacunes non mentionnées, des décalages de jour, etc...

En fait des bordereaux récapitulatifs avec une présentation par proximité géographique des postes est plus pratique, comme le montre l'annexe 15 qui correspond à une étude sur un petit bassin versant de 9 Km<sup>2</sup> au Togo.

Il est évident que ce travail de "recopie" des observations journalières sur des bordereaux récapitulatifs bénéficie largement aujourd'hui des possibilités de l'informatique.

**4.2.2 En France** par exemple, **le Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale** (3 600 postes, 36 employés) a créé à partir du fichier original brut, **un fichier critiqué** qui va de 1973 à 1988 :

La critique effectuée sur les données journalières saisies informatiquement dans chaque Département, permettait de calculer une valeur plausible pour les totaux mensuels manquants, et de rectifier les anomalies journalières (cumul de pluie, décalage de jour, etc...). Cette critique était basée, pour chaque Département pris séparément, sur le calcul à chaque poste "s" de *la pluie théorique mensuelle*, tenant compte de la pluie observée aux trois postes les plus proches. Il était calculé d'autre part pour chaque poste "s" un indice d'homogénéité mensuel IHMs, égal au rapport de la pluie observée en "s" à la pluie théorique du même poste.

L'annexe 16 donne un exemple de calculs pour le département de la Meuse (55) en novembre 1982. On verra en particulier l'estimation de la pluie mensuelle aux postes non observés, et la valeur des indices d'homogénéité mensuels dans la colonne "coefficient".

Une cartographie départementale des indices d'homogénéité IHMs permettait de détecter un ou des postes défectueux, représentés par des isolignes nombreuses et rapprochées.

Intervenait ensuite une concertation avec le Responsable départemental, pour fixer les compléments et éventuelles *corrections portées dans le seul fichier critiqué, le fichier original restant en l'état.*

Au cours de cette concertation, il était proposé une ventilation des cumuls, et un listing des anomalies restantes, pour complément d'information.

**4.2.3 Actuellement**, compte-tenu des défections nombreuses (et compréhensibles) des observateurs, des charges de travail inhérentes à la méthode des pluies théoriques décrite ci-dessus, et des progrès techniques, **Météo-France**, avec l'appui du Ministère de l'Environnement et d'autres partenaires (Agences de Bassin...), a décidé d'automatiser la moitié de son parc de stations pluviométriques.

La critique journalière envisagée pour environ 500 stations importantes automatisées, et en temps différé pour les autres, sera basée principalement sur des vérifications prenant en compte :

- les types de temps : perturbations d'Ouest, avancées d'air maritime sur le Languedoc, orages, etc...
- l'imagerie satellitaire infra-rouge METEOSAT, (celle qui est présentée chaque jour sur les chaînes de télévision);
- l'imagerie des 16 stations radar actuelles (dont une à Nîmes) du réseau français dit ARAMIS. Cette technique qui permet déjà de connaître la morphologie d'une pluie et ses dimensions jusqu'à 200 Km environ du point d'observation, est très prometteuse quant à la connaissance des quantités tombées par référence à seulement quelques postes de mesure.

### **4.3 CRITIQUE A POSTERIORI, HOMOGENEISATION DES DONNEES, METHODE DES TOTAUX ANNUELS CUMULES.**

4.3.1 Les méthodes de vérifications évoquées ci-dessus peuvent être mises en oeuvre a posteriori, c'est à dire longtemps après les relevés, une à plusieurs années ou dizaines d'années.

Cependant ces méthodes facilitant la mise en évidence des erreurs aléatoires ne permettent pas de détecter des **erreurs systématiques** dues soit à un déplacement du site d'observation, soit à une modification défectueuse d'appareillage (éprouvette ne correspondant plus au diamètre de la bague, mauvais réglage des augets du pluviographe...).

Ces erreurs systématiques sont détectables, dans un premier travail à une échelle de temps plus grande que le mois, et on a choisi l'année et la méthode des totaux annuels cumulés.

### **4.3.2 HOMOGENEISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES**

Comme il a déjà été dit : avant d'effectuer toute étude statistique même simple (calcul d'une moyenne) sur une série de données pluviométriques annuelles par exemple, il y a lieu de vérifier si cette série fait bien partie d'une même population statistique, ou s'il y a plusieurs populations, du fait :

- d'un déplacement du site d'observation ;
- d'une erreur d'appareillage pendant X années ; etc...

Pour ne pas avoir effectué ces vérifications préliminaires, on risque de travailler sur une série non homogène, comprenant des éléments de plusieurs populations statistiques réunies.

L'annexe 17 au cas 2, présente un exemple de résultats erronés que donnerait la non vérification d'homogénéité d'une série de 30 années.

A plus forte raison, lorsqu'on s'intéresse à la pluie moyenne sur un bassin ou une région, il peut très bien se faire que par exemple pendant les 5 premières années on ait seulement les postes A, B et C, puis pendant 5 ans A, B, C et D, puis pendant 10 ans A, B, D et E etc... Les moyennes calculées sur 20 ans en A, 10 ans en B, et 10 ans en E, n'auront pas les mêmes significations si les 10 premières années ont été en moyenne plus fortes que les 10 dernières (exemple de la sécheresse actuelle au Sahel).

Aussi définissons nous deux types d'homogénéisations :

- l'homogénéisation du premier ordre, par laquelle on vérifie que la série correspond bien à une seule population mère ;
- l'homogénéisation du second ordre, dans laquelle on détermine sur une même période commune la plus longue possible (ici 20 ans) les caractéristiques statistiques de chaque station, en particulier la moyenne interannuelle sur 20 ans, l'écart-type et l'estimation des données manquantes.

### **4.3.3 COMPARAISON DES TOTAUX ANNUELS AUX POSTES PLUVIOMETRIQUES, TOTAUX ANNUELS COMPARE ET CUMULES**

Si deux postes sont situés dans une même région climatique, et à une distance pas trop éloignée à l'échelle de la région (sous-continent), il existe une liaison positive significative entre leurs totaux annuels pluviométriques. On exprime ceci en disant qu'il y a 5% de chances, par exemple, pour que les séries soient complètement indépendantes,

ou présentent des variations de sens contraires.

D'autre part, les séries de totaux pluviométriques annuels présentent généralement des distributions statistiques peu dissymétriques, donc proches de la loi normale, en particulier en France où la loi de Gauss est souvent la mieux adaptée aux séries annuelles.

Dans ces conditions, la régression entre deux séries a de fortes chances d'être linéaire, et on peut exprimer le degré de liaison de cette régression par le coefficient de corrélation. Il en est de même pour toute combinaison linéaire des termes correspondants de ces séries, et en particulier, les totaux cumulés à partir d'une date donnée.

- Pour visualiser la liaison entre deux postes, on peut établir **un graphique des totaux annuels comparés** tel que celui présenté en A de l'annexe 19, correspondant aux données de précipitations annuelles à Metz et Nomeny, fournies sur l'annexe 18.

Sur ce graphique on voit une dispersion assez importante des points représentant les années 1893 à 1908, puisqu'on calcule un coefficient de corrélation de 0.54 (donc éloigné de 1.00). On voit d'autre part que ce sont surtout les années les plus récentes - 1901 à 1908 - qui sont situées en haut de la droite de corrélation tracée; on peut en déduire que la relation P.Metz - P.Nomeny a été différente avant et après 1900 environ, mais il est difficile de chiffrer cette variation et de l'attribuer la première ou la deuxième période.

De plus ce procédé graphique est d'autant plus difficile à exploiter que les séries comparées sont longues (imbroglio des points représentatifs).

- Il est préférable d'établir **un graphique des totaux annuels cumulés**, pour déceler la date d'une anomalie éventuelle. Ainsi, sur l'annexe 19 en B, l'anomalie autour de 1900 est bien mise en évidence par une différence de pente dans la représentation chronologique des cumulés.

#### 4.3.4 ANALYSE ET INTERPRETATION DES GRAPHIQUES DE TOTAUX ANNUELS CUMULES

Dans le cas étudié ci-dessus des deux séries de Metz et Nomeny, pour déterminer quel est le poste qui a une anomalie avant ou après 1900, et éventuellement corriger ou supprimer des observations douteuses, il faut ajouter des comparaisons deux à deux des totaux cumulés à une troisième station, on choisira Amance, comme cela est proposé en 4.3.6 avec l'exercice d'application.

D'une manière plus générale si les stations A et B, connues entre les années 1 à n, ont des **séries homogènes** entre elles, le graphique des totaux cumulés de B en fonction de A présentera (n-1) **points alignés** autour d'une droite de pente "p" égale au rapport  $P_{Ma} / P_{Mb}$  des moyennes interannuelles de A et B.

Par contre, la prise en compte d'une station C présentant une **hétérogénéité** à partir de l'année "i" (entre 1 et n) introduira des **ruptures de pente** au niveau de l'année "i", dans les graphiques des totaux cumulés : A / C et B / C.

On peut faire plusieurs hypothèses concernant ces ruptures de pente, hypothèses qui doivent être vérifiées d'après les données journalières ou mensuelles originales :

- Si le rapport des pentes avant et après rupture est voisin d'un rapport d'appareillage connu (1.27 ou son inverse 0.785, soit 400 Cm<sup>2</sup> / 300 Cm<sup>2</sup> ou 314/400), on peut légitimement supposer une erreur d'éprouvette, et après vérifications diverses, corriger (dans le bon sens) par ce rapport toutes les valeurs annuelles, mensuelles et journalières, puisqu'il y a eu erreur tous les jours.

- Si le rapport des pentes ne correspond pas à une valeur d'erreur d'appareillage recensée, on devra rechercher s'il n'y a pas eu changement d'environnement ou déplacement du poste, surtout si le changement de pente intervient après une lacune d'observation. Dans l'affirmative, les corrections, portées sur le seul fichier critiqué ou "opérationnel", sont alors faites sur les seuls totaux annuels, et mensuels pour éventuellement conserver une cohérence de son travail. Par contre on n'effectuera pas de correction journalière systématique dans ces cas là.

L'annexe 20 donne un exemple d'application sur quatre postes du Togo; à souligner que les cumuls ont été faits "en remontant le temps", de 1973 vers 1938, pour faciliter le graphisme. A la station de Pagouda, qui est la seule à entraîner un changement de pente sur plusieurs années, les années 1954 à 1963 ont été jugées surestimées par rapport aux stations voisines. Dans l'étude relative au dimensionnement d'un barrage, on a dû corriger ces valeurs annuelles en les multipliant par un facteur de 0.85, et la moyenne interannuelle est passée de 1400 mm à 1330 pour ce poste.

#### 4.3.5 CHOIX D'UNE SERIE DE BASE HOMOGENE, VECTEURS REGIONAUX

Quand le nombre de stations à comparer deux à deux dépasse 3 ou 4, le nombre de graphiques devient vite important, puisqu'il est égal au nombre de combinaisons de "n" éléments pris 2 à 2, ou encore :

$$C_n^2 = n! / 2!(n-2)!$$

soit, après calculs, 10 graphiques pour 5 stations, 15 pour 6 postes, 21 pour 7 stations, etc...

Il est donc nécessaire de trouver dans la région soit un poste dont on est particulièrement sûr de l'homogénéité dans le temps (ce qui est très rare compte tenu des variations d'environnement), soit un composé de plusieurs postes sûrs, par exemple les moyennes annuelles successives des 4 stations les mieux observées. Cette série servira de référence pour comparer tous les autres postes de la région, y compris les stations utilisées dans la série de base. On réduit par ce procédé le nombre de graphiques au nombre de stations à tester.

L'annexe 21 donne un exemple de totaux cumulés de 4 postes A à D, comparés à un groupe de base formé des moyennes des pluies d'un certain nombre de postes jugés sûrs dans la région. Cette annexe fournit en outre des clés d'interprétations des graphiques de doubles cumuls (ancien nom des totaux cumulés, par une mauvaise traduction du terme anglais "double mass curves", où mass aurait dû être traduit par le verbe "ajouter, cumuler" et non par le nom "masse").

La généralisation de la recherche d'une série de base homogène (pour diminuer le nombre de graphiques) a amené les Hydrologues de l'ORSTOM à définir une station fictive représentative de la région à étudier. Ceci a conduit plusieurs auteurs à proposer ce qu'on appelle globalement des **vecteurs régionaux** :

- En 1977, G. HIEZ a proposé son vecteur régional, basé sur l'étude de la matrice des données, principalement sur la détermination d'une série chronologique synthétique représentative des variations annuelles des pluies (vecteur régional), et la détermination d'une caractéristique de chaque poste prise égale au mode de sa série. Le vecteur régional est utilisé pour la critique des données annuelles de chaque poste, par une méthode comparable à celle des totaux annuels cumulés.

- En 1979, Y. BRUNET-MORET a proposé un vecteur d'indices annuels de précipitations, chaque indice annuel étant la moyenne des pluviosités (pluie de l'année / pluie moyenne) de chaque station observée cette année là. Ici aussi, le vecteur que l'on

cherche à obtenir sans lacune, est comparé avec chaque poste qui a permis de le constituer.

Ces différentes méthodes ont été programmées, et en particulier la méthode HIEZ, sous le nom de MVR 1.5 (pour Méthode du Vecteur Régional, version 1.5), utilisable actuellement avec des données annuelles.

#### **4.4 EXERCICE D'APPLICATION DE LA METHODE DES TOTAUX ANNUELS CUMULES**

**On tracera sur papier millimétré, les graphiques de totaux annuels cumulés appliqués à trois stations abandonnées de Lorraine : Metz-Ecluse, Nomeny et Amance, selon les valeurs fournies dans l'annexe 18.**

La période retenue ira de 1893 à 1908 inclusivement.

Pour faciliter les tracés et l'interprétation, on prendra successivement les couples suivants :

Numéro de tracé	Ordonnée	Abscisse
1	Metz	Nomeny
2	Metz	Amance
3	Nomeny	Amance

Il est demandé de **formuler des propositions de corrections, aux différentes échelles de temps** : annuelle, mensuelle et journalière.

\*\*\*\*\*



# ANNEXE 1

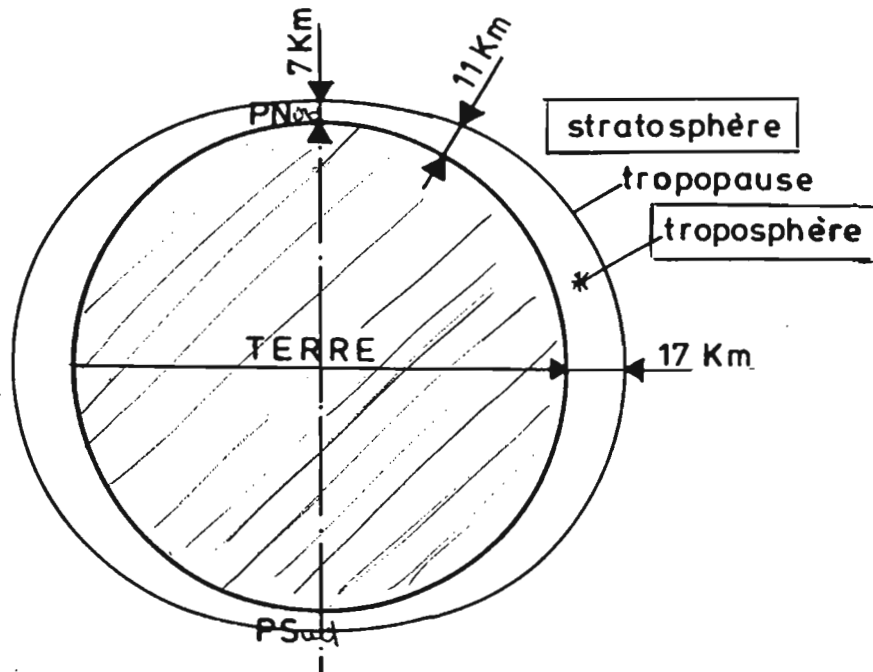
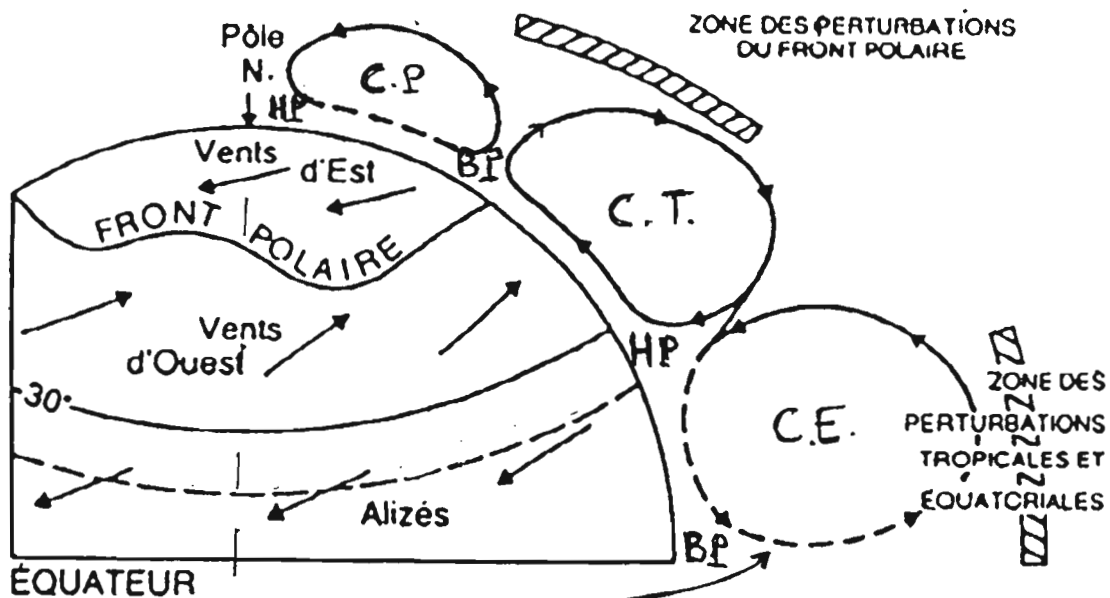


Fig. 1 Les deux couches inférieures de l'atmosphère  
(d'après I. VIRGATCHIK, 1981)



En Coupe:

→ Vents d'Ouest    ← Vents d'Est

- C.P. = Cellule Polaire
- C.T. = Cellule Tempérée
- C.E. = Cellule Equatoriale

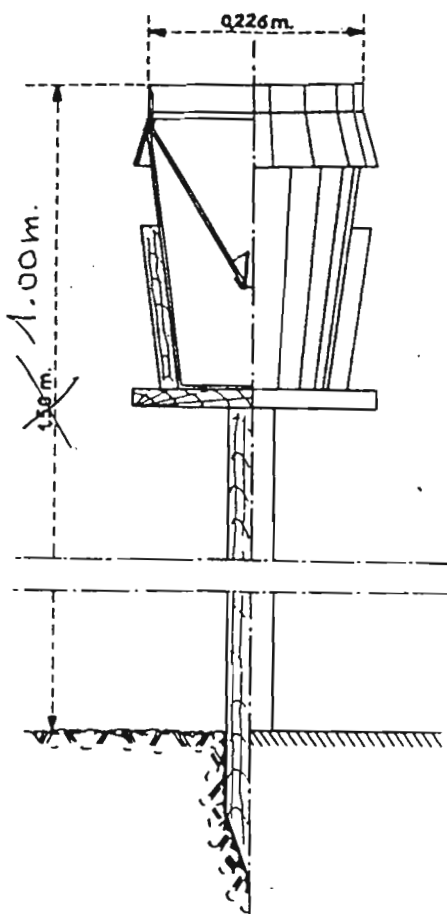
BP = Basse Pressions (60°N et Equateur)  
HP = Haute Pressions (25°N et Pôle)

Fig. 2 Circulation générale dans l'atmosphère  
selon ROSSBY 1930, (dans Traité de Méétéorologie  
Tropicale - G. DHONNEUR, 1985)

## ANNEXE 2

### Le pluviomètre « Association »

Demi - coupe dans l'axe



Cet appareil, couramment utilisé en France, est représenté par la figure il a été répandu autrefois par les soins de l'« Association scientifique de France » d'où le nom de pluviomètre « Association » sous lequel on le désigne souvent.

Il est composé de trois parties :

- 1) Un seau en zinc.
- 2) Un entonnoir de même métal formant surface collectrice et comportant un trou assez petit (pour diminuer les pertes par évaporation) protégé par une toile métallique.
- 3) Une bague circulaire à bords presque tranchants de 226 mm de diamètre, limitant la surface de réception de 400 cm<sup>2</sup>.

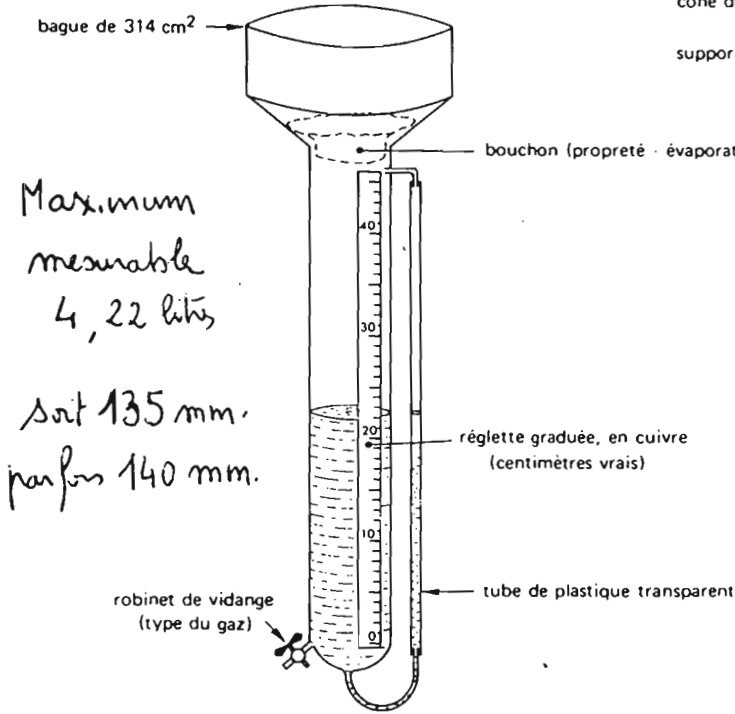
La mesure de la hauteur d'eau tombée est faite deux fois par jour, à 7 heures et à 19 heures (temps local). Pour effectuer la mesure, on retire la bague et l'entonnoir collecteur et on verse soigneusement le contenu du seau (on prendra soin de faire fondre la neige, s'il s'en trouve, en transportant le seau dans une pièce chauffée) dans une éprouvette graduée. Cette éprouvette est graduée de façon à donner directement en millimètres et en dixièmes de millimètre la hauteur de la pluie tombée.

d'après Remenieras 1960-65-76

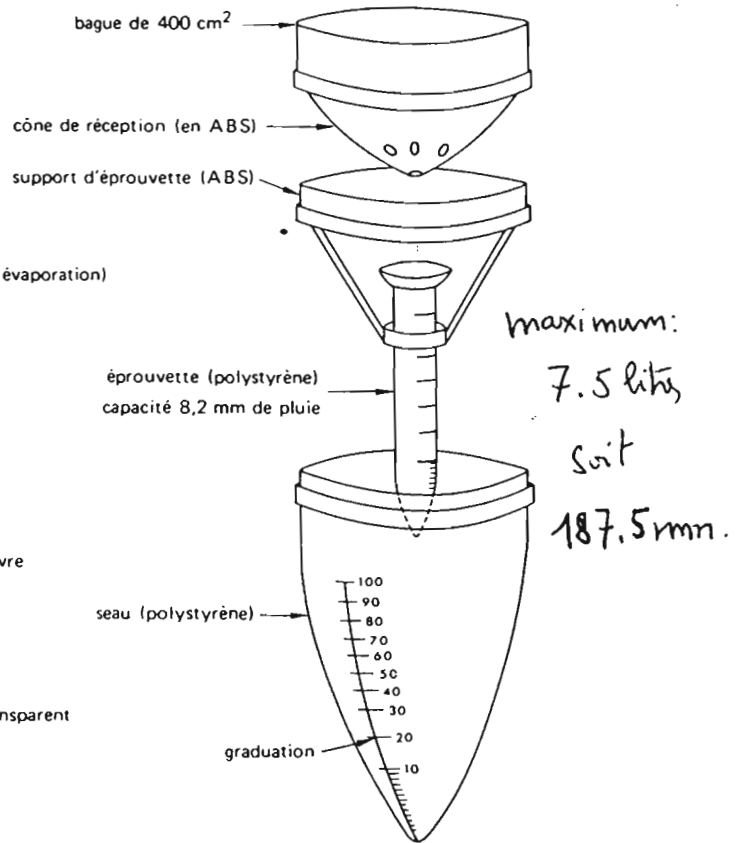
# ANNEXE 3

## TROIS PLUVIOMETRES

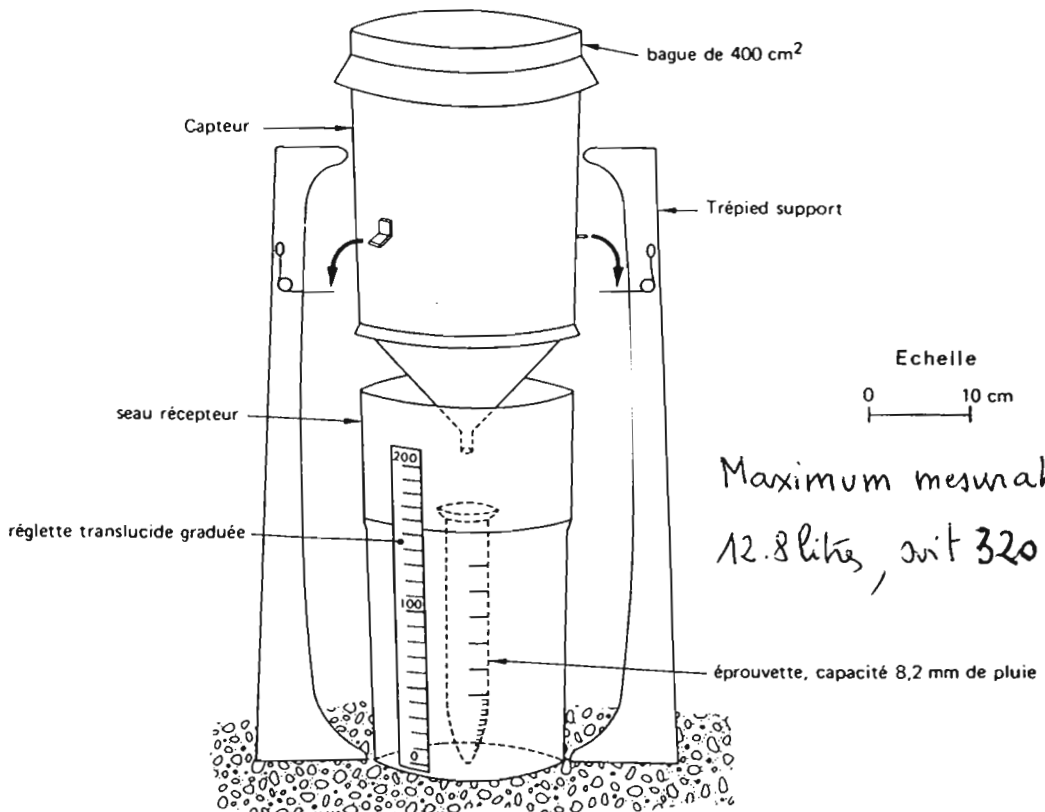
NE NECESSITANT PAS L'UTILISATION D'UNE EPROUVETTE DE MESURE



**A** - type DECUPLATEUR,



**B** - type SPIEA, modifié M.N. (modèle R01-2050A)



**C** - type M.N. R03-2030A

# ANNEXE 4

## ASECNA - MÉTÉOROLOGIE

RÉPUBLIQUE du MALI LOCALITÉ DIAMOU MOIS DE Juillet 19 64

HAUTEUR D'EAU MESURÉE				HAUTEUR TOTALE (2) + (4) (5)	PHÉNOMÈNES OBSERVÉS Heure de début, de la fin, direction d'où ils viennent, intensité, dégâts causés etc... (6)
le (1)	à 18 heures (2)	le (3)	à 08 heures (4)		
1	53,2	2		53,2	● 0815 à 0920 modéré; $\mathcal{R}$ ● 1150 à 1400 forte
2		3			
3	5,6	4	15,8	21,4	$\mathcal{R}$ ● 1200 à 1305 faible; ● 1915 à nuit 3/4
4	2,0	5		2,0	● 0810 à 0855 faible; $\leftarrow$ nuit 4/5
5		6			
6	12,8	7		12,8	$\mathcal{R}$ ● 1050 à 1300 modéré; ● 1504 à 1530 faible
7		8	50,0	50,0	$\mathcal{R}$ ● nuit 7/8 forte
8		9			$\leftarrow$ 1700 à 1900 le 8 vers le Sud
9		10			
10		11			
11	12,0	12	75,5	87,5	$\mathcal{R}$ ● 1605 à 2015 forte
12	TR	13	TR	TR	● 0900 à 1000 fine; $\mathcal{R}$ ● 1915 à 1945 fine
13	TR	14		TR	● 0900 à 0915 faible
14		15			$\leftarrow$ 1635 à 2000 le 14 vers Ouest
15		16			$\mathcal{R}$ 1430 à 1700 le 15 au Sud
16	17,0	17	48,0	65,0	$\mathcal{R}$ ● 1530 à 1950
17	12,5	18	10,8	23,3	● 1500 à 1900 modéré
18	10,0	19	50,2	60,2	● 1510 à 2000 forte; $\leftarrow$ nuit 18/19
19	2,6	20		2,6	● 0900 à 1100 fine; ● 1400 à 1515 faible
20	5,8	21		5,8	$\mathcal{R}$ ▲ 1400 à 1420 forte, grêlons de 1 cm de diamètre
21		22			
22		23			$\leftarrow$ nuit 22/23
23		24			
24	2,8	25	5,3	8,1	$\mathcal{R}$ ● 1527 à 2115
25	38,0	26	2,8	40,8	● 0815 à 0915 forte; $\mathcal{R}$ ● 1130 à 1240
26		27			$\mathcal{R}$ 1730 à 2400 le 26
27		28			$\mathcal{R}$ 0000 à 0045 le 27
28		29			
29		30			$\leftarrow$ nuit 29/30
30	9,1	31	36,4	45,5	$\mathcal{R}$ ● 1200 à 1920 faible; ● 2030 à 2200
31	17,2	1	TR	17,2	● 0900 à 1200 modéré; ● 1900 à 1915
TOT.	200,6 <sup>mm</sup>		294,8 <sup>mm</sup>	495,4 <sup>mm</sup>	

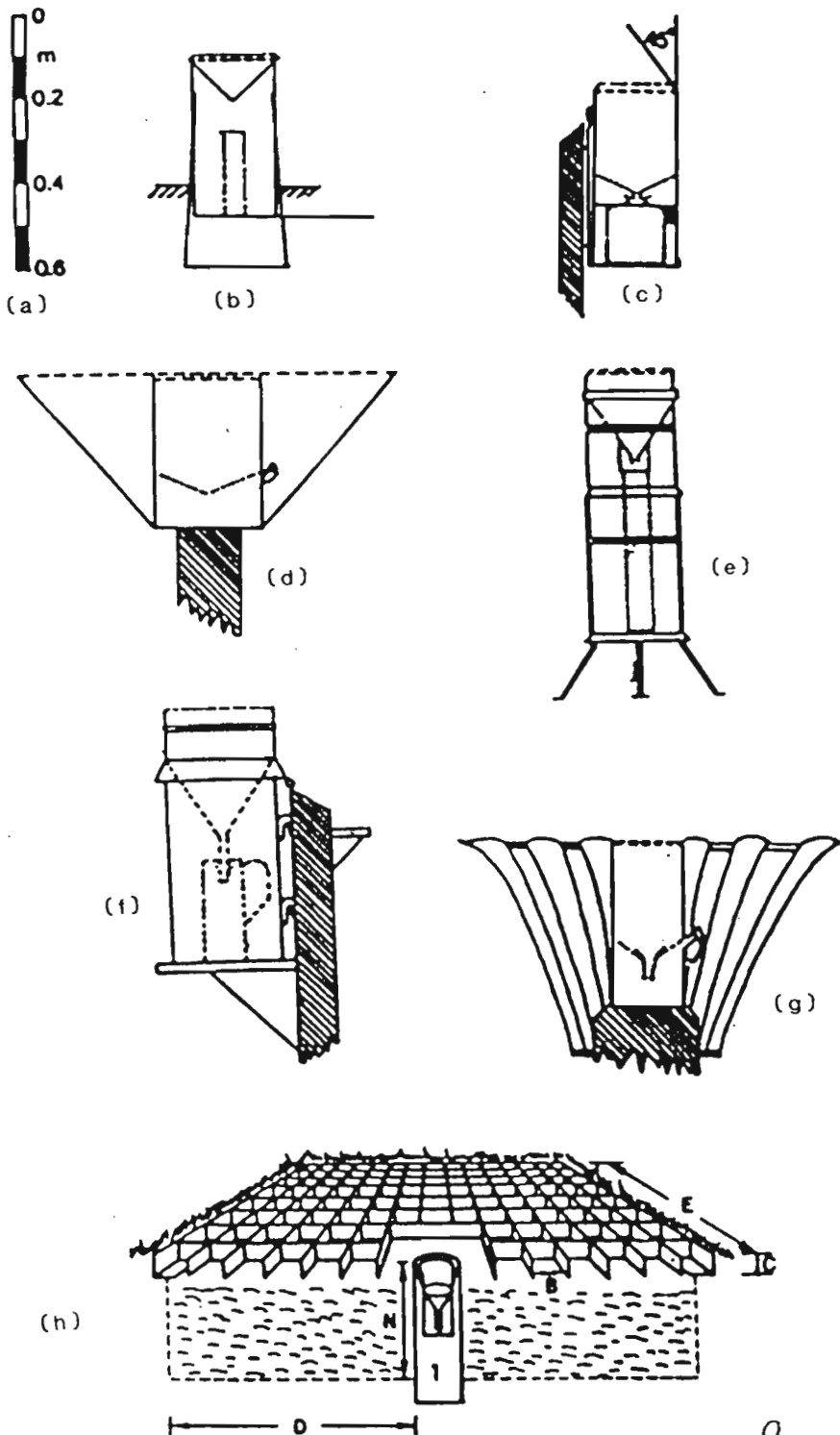
NOM de l'Observateur : C. ANTOINE Qualité ou Profession : Infirmier de santé

RÉCAPITULATION						
Hauteur Totale du Mois	Maximum quotidien	Date du Maximum	NOMBRE DE JOURS			
			de pluie ●	avec orage $\mathcal{R}$	avec éclair sans tonnerre $\leftarrow$	av. grêle ▲
mm 495,4	mm 87,5	11	15	14	6	1

CUMUL	
du 1er janvier au dernier jour du mois	
Hauteur d'eau	Nombre de jours de pluie
mm 548,7	25

# ANNEXE 5

DIFFERENTS TYPES DE PLUVIOMETRES RECENSES DE PAR LE MONDE



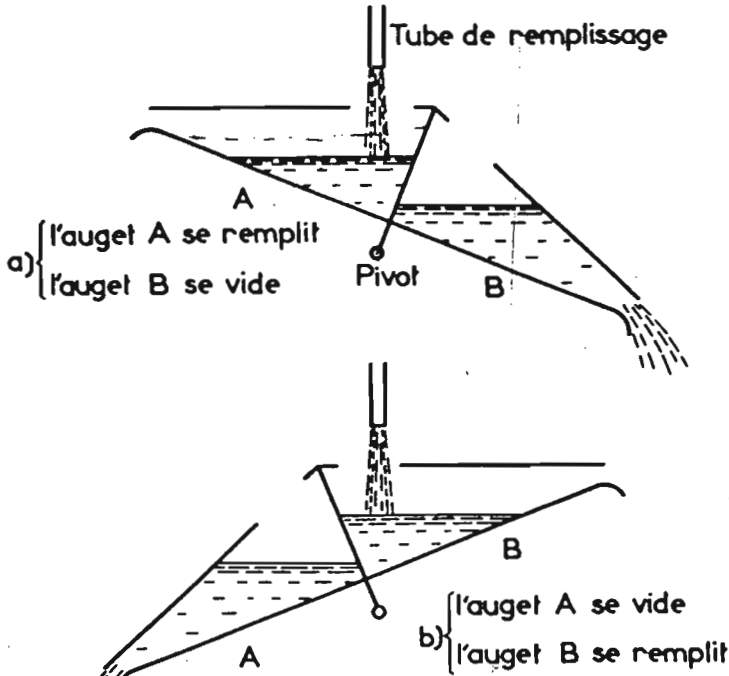
*Surface de la bague réceptrice:*

- b) pluviomètre australien (203 cm<sup>2</sup>)
- c) pluviomètre Hellmann - Allemagne de l'Ouest (200 cm<sup>2</sup>)
- d) pluviomètre finlandais (500 cm<sup>2</sup>)
- e) pluviomètre du Weather Bureau - USA (324 cm<sup>2</sup>)
- f) pluviomètre bulgare (500 cm<sup>2</sup>)
- g) pluviomètre Tretyakov - URSS ? (200 cm<sup>2</sup>)
- h) pluviomètre enterré international (Snowdon) (120 cm<sup>2</sup>)

Le pluviomètre Nipher d'USSR est semblable au pluviomètre finlandais (d)

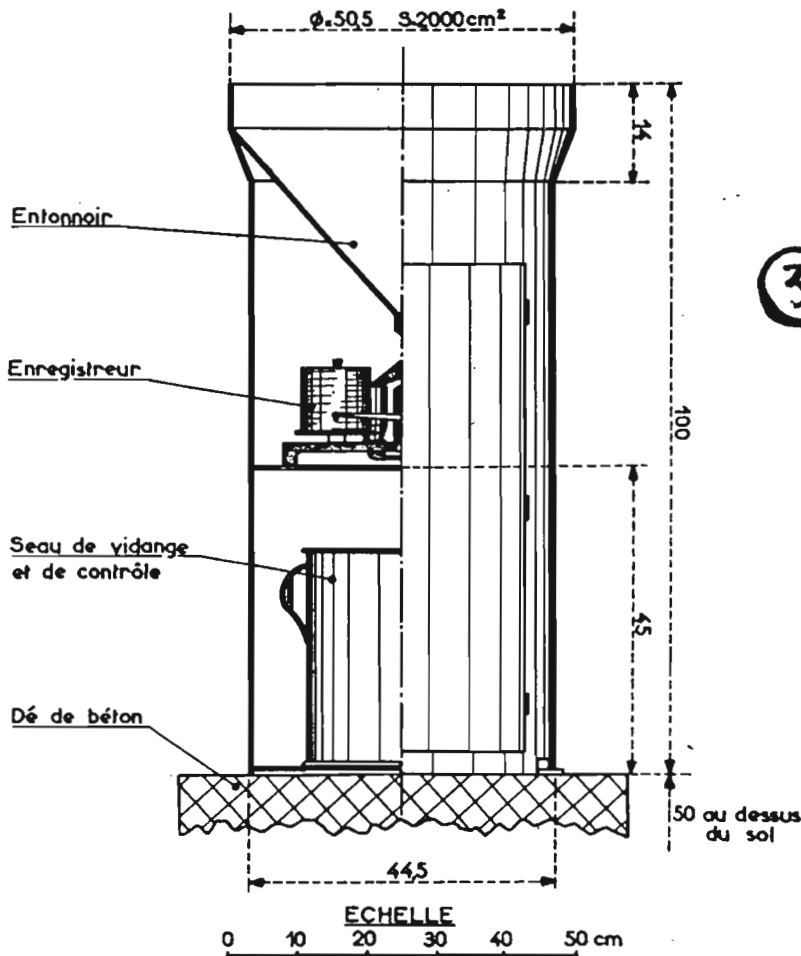
# ANNEXE 6

## Pluviographe type R-208 A à augets basculeurs de la Météorologie Nationale

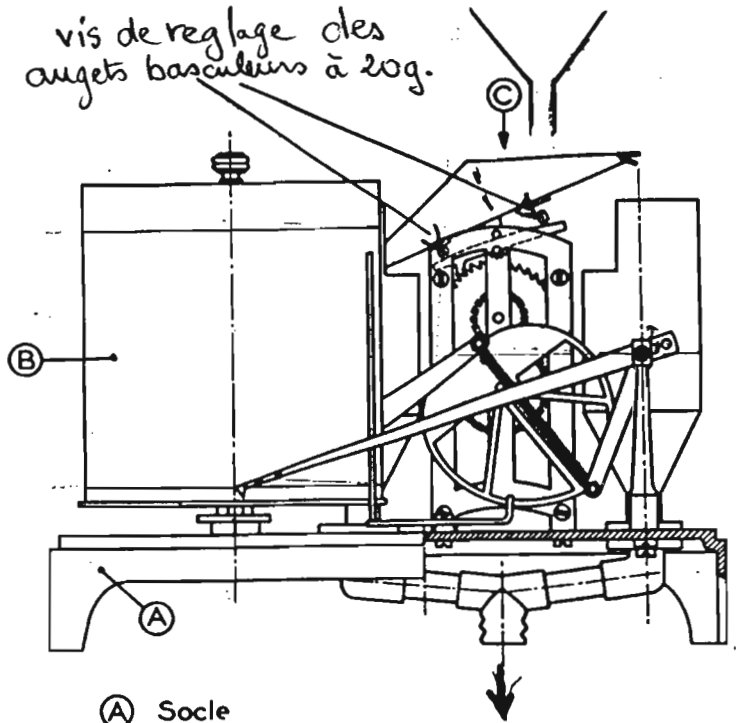


### ① Les augets

Demi coupe dans l'axe



vis de réglage des augets basculeurs à 20g.

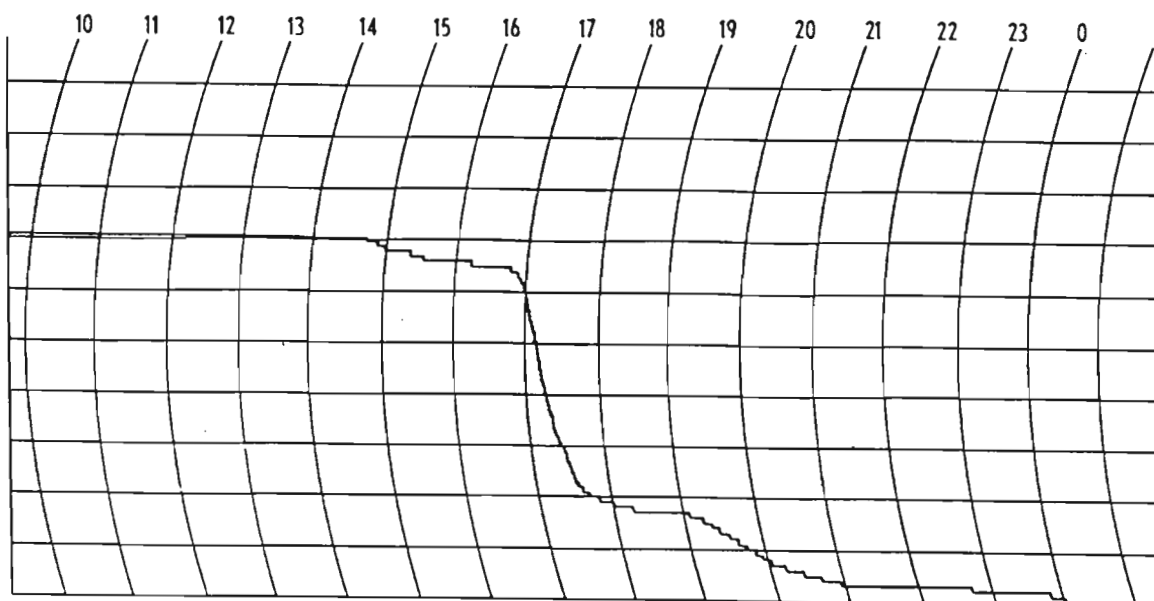


### ② le mécanisme d'inscription

### ③ vue d'ensemble

d'après  
Remenieras  
1960-1965. 1976

## ANNEXE 7



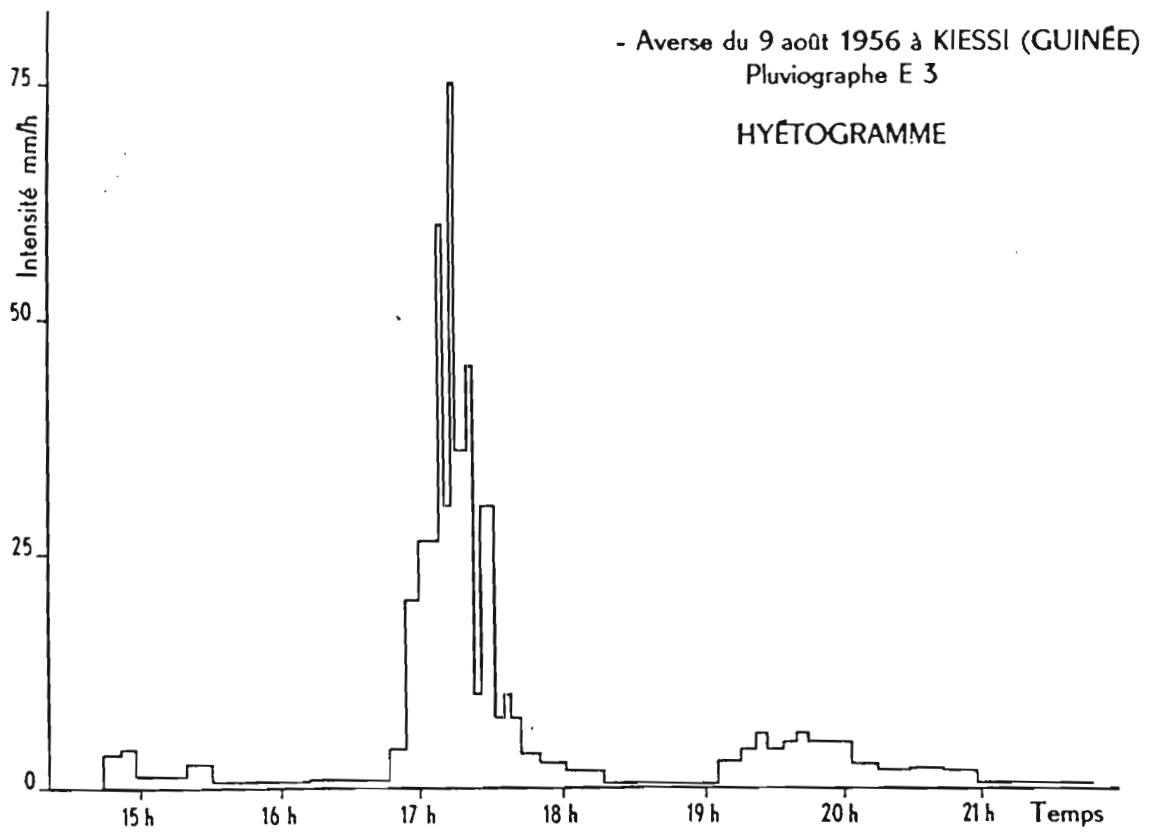
**A** Diagramme enregistré au pluviographe F. 3. - Averse du 9 août 1956 à KIessi (Guinée)

**TABLEAU B**

Heure	Pluie (mm)	Temps partiel (min)	Pluie partielle (mm)	Intensité (mm/h)	Heure	Pluie (mm)	Temps partiel (min)	Pluie partielle (mm)	Intensité (mm/h)
14 h 43	0,5	8	0,5	3,7	17 h 42	25	8	0,5	3,7
14 h 51	1	7	0,5	4,3	17 h 50	25,5	11	0,5	2,7
14 h 58	1,5	22	0,5	1,4	18 h 01	26	16	0,5	1,9
15 h 20	2	11	0,5	2,7	18 h 17	26,5	48	0,5	0,6
15 h 31	2,5	41	0,5	0,7	19 h 05	27	10	0,5	3,0
16 h 12	3	35	0,5	0,9	19 h 15	27,5	7	0,5	4,3
16 h 47	3,5	7	0,5	4,3	19 h 22	28	5	0,5	6,0
16 h 54	4	6	2	20,0	19 h 27	28,5	7	0,5	4,3
17 h 00	6	8	3,5	26,3	19 h 34	29	6	0,5	5,0
17 h 08	9,5	2	2	60,0	19 h 40	29,5	5	0,5	6,0
17 h 10	11,5	3	1,5	30,0	19 h 45	30	6	0,5	5,0
17 h 13	13	2	2,5	75,0	19 h 51	30,5	6	0,5	5,0
17 h 15	15,5	5	3	36,0	19 h 57	31	6	0,5	5,0
17 h 20	18,5	2	1,5	45,0	20 h 03	31,5	11	0,5	2,7
17 h 22	20	3	0,5	10,0	20 h 14	32	15	0,5	2,0
17 h 25	20,5	6	3	30,0	20 h 29	32,5	14	0,5	2,1
17 h 31	23,5	4	0,5	7,5	20 h 43	33	15	0,5	2,0
17 h 35	24	3	0,5	10,0	20 h 58	33,5	47	0,5	0,6
17 h 38	24,5	4	0,5	7,5	22 h 45	34			

*d'après Roche 1963*

## ANNEXE 8

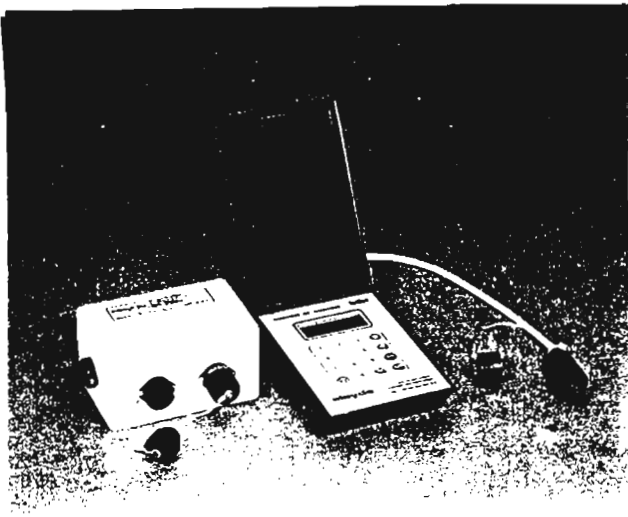


d'après Roche 1963



93, Route de Corbeil  
91700 STE-GENEVIEVE-DES-BOIS  
Tél. : (1) 69 04 93 93

### NOTE TECHNIQUE ENREGISTREUR PLUVIO 91



- \* SYSTEME AUTONOME D'ENREGISTREMENT ET DE TRANSMISSION D'INFORMATIONS PLUVIOMETRIQUES
- \* SE CONNECTE A TOUT PLUVIOMETRE A AUGET DELIVRANT DES IMPULSIONS.
- \* ENREGISTREMENT SUR MEMOIRE FIXE ET NON VOLATILE (technologie EEPROM)
- \* CAPACITE DE STOCKAGE IMPORTANTE : 11 000 IMPULSIONS DATEES
- \* BASE DE TEMPS CALENDRAIRE

#### EN OPTION :

- \* TERMINAL DE POCHE TD 91
- \* INTERFACE POUR EMETTEUR SATELLITE ARGOS
- \* LIAISON MODEM (en développement)

PLUVIO 91 est un enregistreur autonome destiné à être connecté à un pluviomètre à augets basculeurs équipé d'un contacteur.

Le support de mémorisation est constitué par 4 mémoires fixes effaçables électriquement (Technologie EEPROM). Ce support statique et non-volatile est particulièrement bien adapté aux environnements sévères.

PLUVIO 91 enregistre systématiquement la date de chaque impulsion générée par l'auget du pluviomètre. Cet histogramme permet, lors du dépouillement de la mémoire, de reconstituer un pluviogramme et de traiter les intensités de pluie sur des périodes de temps variables.

PLUVIO 91 possède une base de temps calendaire. La date de chaque basculement est exprimée en heures, minutes, secondes, le changement de jour en année, mois, jour.

Une capacité mémoire de 32 kilo-octets permet le stockage de 11 000 impulsions soit, pour un auget de 0,5 mm, un équivalent "hauteur d'eau" de 5,50 m.

De façon à renseigner l'opérateur sur les différents paramètres de fonctionnement et des données enregistrées, un terminal de poche muni d'un clavier et

d'un affichage alpha-numérique se connecte à l'enregistreur. Il permet d'accéder aux fonctions suivantes :

#### 1) AFFICHAGE :

- N° de série, état du système.
- Durée de fonctionnement, date du dernier basculement et Cumul.
- Histogramme en mm de pluie par jour, possibilité de "Zoom" sur les heures.
- Etat de remplissage de la mémoire.
- Visualisation des tensions (piles, batterie).

#### 2) MISE A L'HEURE DE L'HORLOGE

#### 3) POSSIBILITE D'EFFACER LA MEMOIRE ET DE REINITIALISER L'ENREGISTREUR

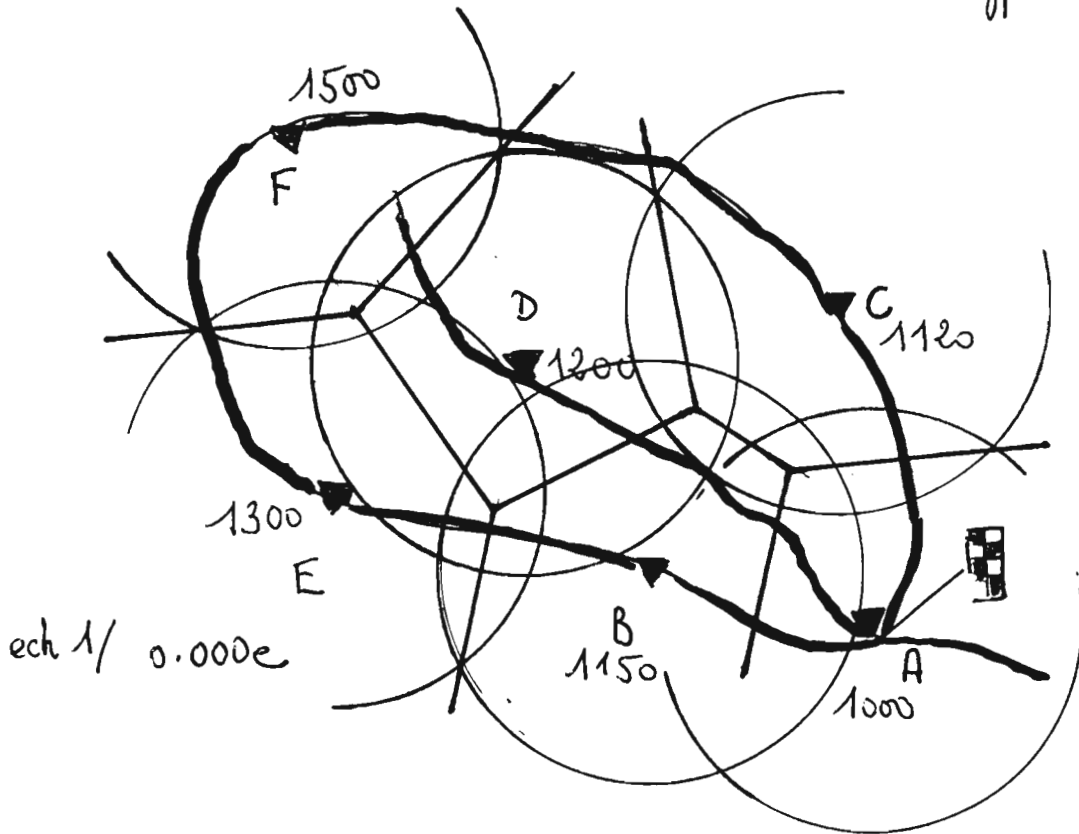
PLUVIO 91 est muni d'une liaison RS232C lui permettant d'être connecté à n'importe quel micro-ordinateur de façon à dépouiller les données enregistrées et d'accéder à toutes les fonctions du Terminal.

PLUVIO 91 a été conçu pour s'interfacer à un émetteur satellite ARGOS. En option, il peut être intégré dans une armoire étanche et verrouillable renfermant la batterie, l'émetteur, et supportant l'antenne ARGOS.

## ANNEXE 10

Calcul de la pluie moyenne sur un bassin  
par la méthode des polygones de Thiessen

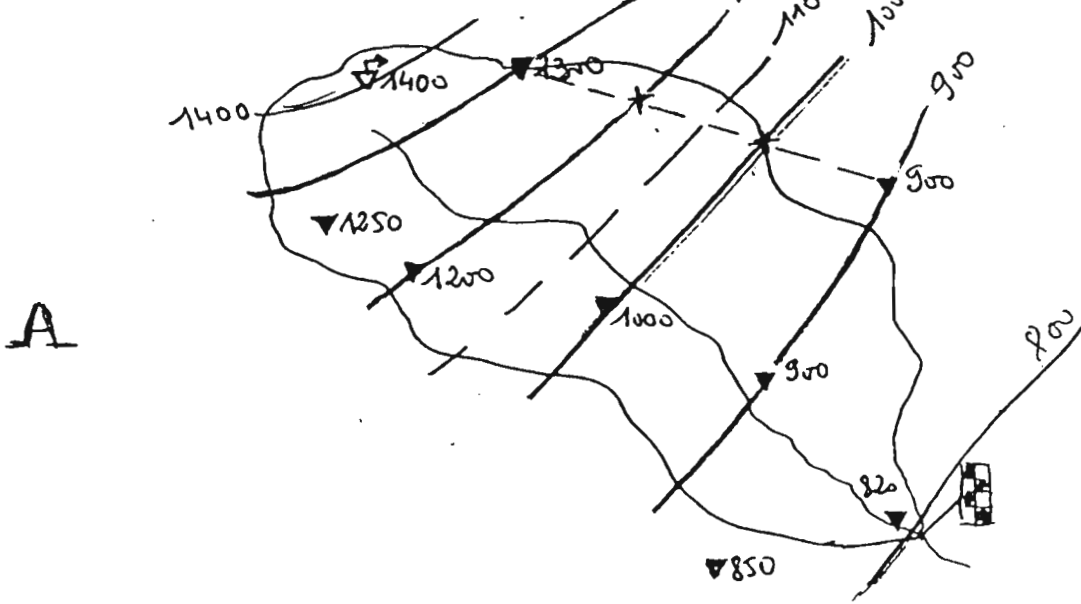
- Détermination des coefficients.



Poste	Surface en $\text{cm}^2$	Coefficients de Thiessen
A	3.10	0.08
B	5.76	0.14
C	5.72	0.14
D	12.62	0.31
E	6.51	0.16
F	7.10	0.17
Total	40.81	1.00

# ANNEXE 11

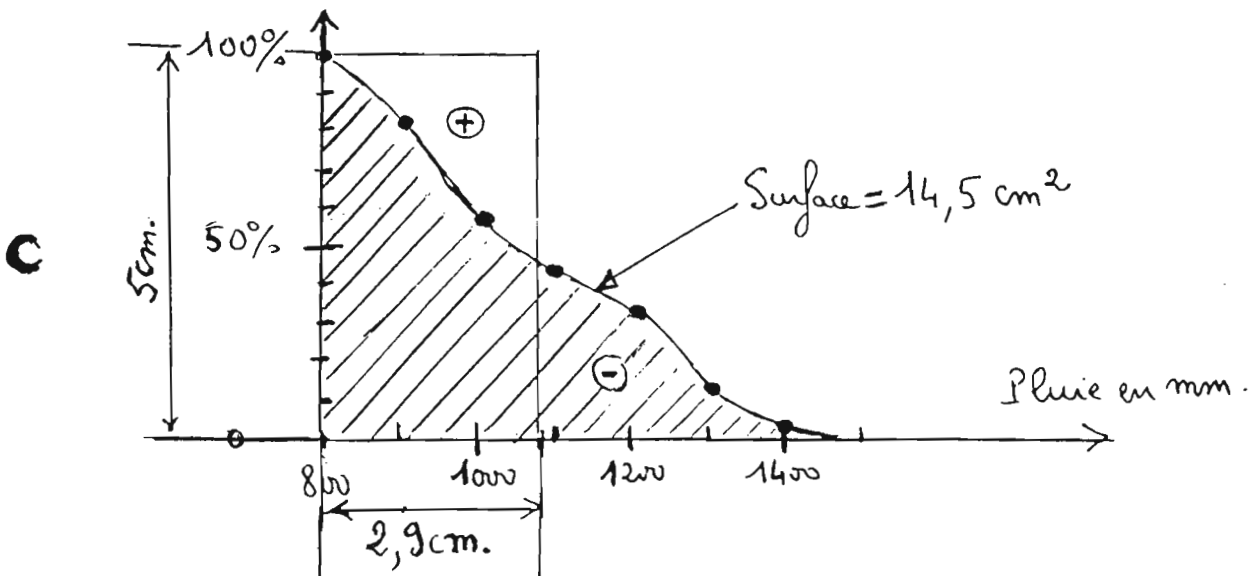
## Méthode des isohyètes



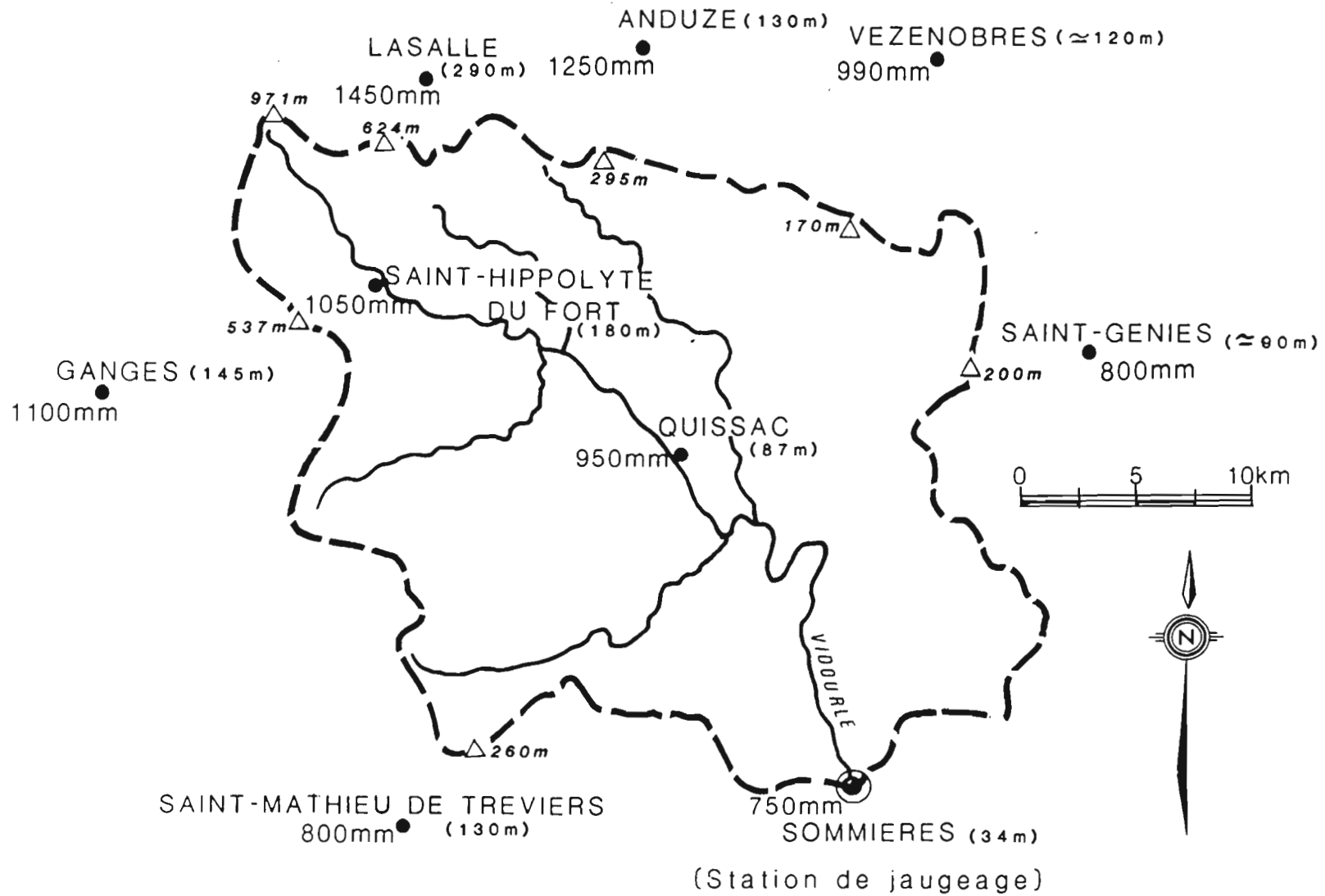
B

Colonne 1	2	3	4	5	6
Hauteur de pluie, en mm	Surface sur carte en cm <sup>2</sup>	% cumulé de surf. totale	Surf. entre 2 isohyètes, en % (C <sub>i</sub> )	Pluie à appliquer (P <sub>i</sub> )	Pluie partielle (C <sub>i</sub> × P <sub>i</sub> )
> 1500	0.	0.00			
> 1400	0.5	0.02	0.02	1420	28.4
> 1300	2.8	0.11	0.09	1350	121.5
> 1200	8.3	0.32	0.21	1250	262.5
> 1100	11.5	0.44	0.12	1150	138.0
> 1000	15.3	0.59	0.15	1050	157.5
> 900	21.7	0.83	0.24	950	228.0
> 800	26.2	1.00	0.17	850	144.5
			total = 1.00		1080.4

Total = Pluie moyenne

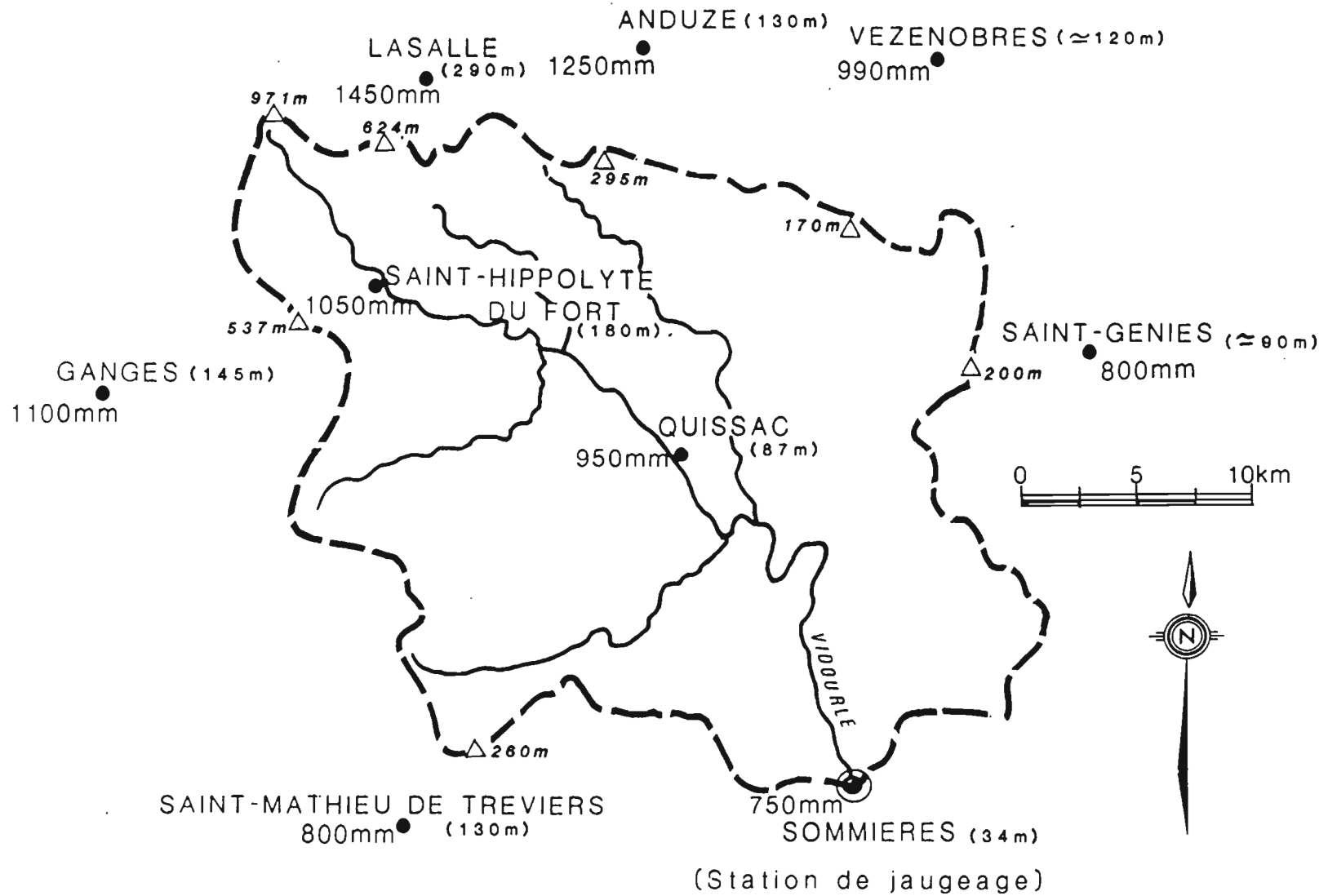


PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE.



BASSIN VERSANT DU VIDOURLE A SOMMIERES  
(630 km<sup>2</sup>)

PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE.



BASSIN VERSANT DU VIDOURLE A SOMMIERES  
(630 km<sup>2</sup>)

## ANNEXE 13

BASSIN VERSANT DU VIDOURLE A SOMMIERES (630 km<sup>2</sup>)

### Planimétrage des surfaces isohyètes

Hauteur de pluie en mm.	Surface en cm <sup>2</sup>	% cumulé de la surf. totale
> 1500	0	0.000
> 1400	0,4	0.004
> 1300	2,4	0.022
> 1200	6,2	0.058
> 1100	14,6	0.135
> 1000	33,0	0.306
> 950	55,8	0.517
> 900	68,6	0.636
> 850	80,9	0.750
> 800	93,9	0.870
> 750	107,9	1.000

### Coefficients de Thiessen

Quissac	0,35	Lasalle	0,05
S <sup>t</sup> Hippolyte	0,21	Anduze	0,05
Sommières	0,17	Vezenobres	0,03
S <sup>t</sup> Mathieu	0,06	S <sup>t</sup> Genies	0,07
Ganges	0,01		
		TOTAL	1,00

# ANNEXE 14

HAUTEUR DES PRÉCIPITATIONS (en millimètres et dixièmes)

Page n° 1 / 6

Région : **6 - SE** Département : **34 - HERAULT** Mois : \_\_\_\_\_ 19\_\_

ALT. M	4	124	68	65	301	92	212	89	21	246	370	180	878
IND. INSEE	0031	0071	0101	0141	0191	0261	0281	0321	0322	0381	0401	0442	0461
STATION ou POSTE	Agde ( <i>Bassin Rond</i> )	Aigues-Vives	Aniane (RC)	Assas (RC)	Avène ( <i>Truscas, RC</i> )	Beaufort (RC)	Bédarieux	Béziers ( <i>Ville, RC</i> )	Béziers ( <i>La Courtade</i> )	Le Bousquet-d'Orb (RC)	Brenas (RC)	Cabrerolles ( <i>Fabrigues, RC</i> )	Cambon-et-Salvergues (RC)
DATE													
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
Total DEC. 1													
Total DEC. 2													
Total DEC. 3													
TOTAL MOIS													

S. N. n° 715 000 00667 0010 (197 ca. - 10-79)

# ANNEXE 15

BASSIN VERSANT DE LA K O Z A à KPADAYO

Relevés Journaliers des Précipitations (en mm.)

A V R I L 1975

J	Pluviomètre N°								Moyenne
	1	2	3	4	5	6	7	8	sur
	(Seau)				(M. N.)				B. V.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7	—	3,6	0	4,7	7,8	8,7	5,8	30,0	4,4
8									
9									
10	—							7,7	0
11									
12									
13									
14							0,3		0
15									
16	—	6,3	6,4	7,6	8,2	—	5,2	7,5	7,0
17	—	—	88,9	74,9	74,9	61,9	88,0	37,3	76,5
18									
19									
20									
21	—	—	29,0	17,1	14,1	15,1	15,2	33,0	15,7
22									
23									
24									
25									
26									
27	—	—	22,7	18,3	18,2	24,3	18,6	20,3	21,0
28									
29									
30									
T	—	—	147,0	122,6	123,2	110,0	133,1	135,8	124,6

— Représente une observation non effectuée

*Etude de la Kozza - 1975  
- Togo -*



STATION	NUMERO	PL.REELLE(MM)	PL.THEOR.(MM)	COEFFICIENT	PL.ESTIMEE
AVOCOURT(SN)	550231	96.3	95.1	1.01	
BAR-LE-DUC(LYC. AGRIC.)	550296	87.9	101.5	.87	
BAZINCOURT-MONTPLONNE(SN)	550351	106.2	113.2	.94	
BELPUPT-FN-VERDUNOIS	550451	*** 0.0 ***	89.2	** 0.00 **	96
BIENCOURT-SUR-ORGE(SN)	550511	107.0	100.9	1.06	
BOULIGNY	550631	79.0	83.4	.95	
BOVIOLLES	550671	97.2	101.2	.96	
BRAOUIS	550721	*** 0.0 ***	89.2	** 0.00 **	97
BRAS-SUR-MEUSE	550731	99.7	88.9	1.12	
BRAUVILLIERS	550751	98.5	113.4	.87	
BRIZEAUX	550811	*** 0.0 ***	95.1	** 0.00 **	105
BUXIERES-SOUS-LFS-COTES	550931	*** 0.0 ***	83.3	** 0.00 **	77
CHAUMONT-SUR-AIRE	551081	100.5	88.9	1.13	
CLACN(LF)(SN)	551162	107.4	94.8	1.13	
CLERMONT-EN-ARGONNE	551171	104.8	99.8	1.05	
COMBLES-EN-BARROIS	551201	*** 0.0 ***	101.1	** 0.00 **	92
COMMERCY	551221	67.6	82.5	.82	
CUISY	551371	*** 0.0 ***	95.1	** 0.00 **	93
DAMVILLERS	551451	106.2	89.9	1.18	
DIEUE(ECL. 15)	551541	87.3	89.3	.98	
ODMBASLE(SN)	551551	103.2	88.8	1.16	
DOMMARTIN-LA-PONTAGNE	551571	*** 0.0 ***	83.3	** 0.00 **	86
DUN-SUR-MEUSE(GEND.)	551671	68.9	95.9	.72	
ERNEVILLE-AUX-BOIS(LOXEVILLE MN)	551791	101.5	92.5	1.10	

## ANNEXE 17

### INTERET DU CONTROLE DE L'HOMOGENEITE D'UNE SERIE DE PLUIES ANNUELLES OU DE DEBITS MOYENS ANNUELS.

Soit une station ayant 30 années de relevés .

**CAS 1 :** Le pluviomètre n'a pas été déplacé au cours du temps / ou la station hydrométrique n'a pas présenté de détarage.

**CAS 2 :** Le pluviomètre a été déplacé entre la 15<sup>e</sup> et 16<sup>e</sup> année et le nouvel emplacement reçoit en moyenne 15 % de plus dans l'année / ou le détarage n'a pas été repéré.

PLUIES EN MILLIMETRES/OU DEBITS EN M<sup>3</sup>/S :

15 premières années	15 années suivantes ; CAS 1	15 années suivantes ; CAS 2
1900. 1320. 1620.	1500. 1960. 1620.	1725. 2254. 1863.
1680. 1520. 1710.	2000. 1920. 1560.	2300. 2208. 1794.
1140. 1940. 1500.	1720. 1520. 1600.	1978. 1748. 1840.
1560. 2000. 1460.	1400. 1140. 1700.	1610. 1311. 1955.
1670. 1450. 1550.	1300. 1620. 1440.	1495. 1863. 1656.
N = 15	N = 15	N = 15
moyenne = 1601 mm	moyenne = 1600 mm	moyenne 1840 (env. 1600 x 1,15)
écart-type = 230,2 mm	écart-type = 239,4 mm	écart-type = 275,3 mm

**CAS 1 :** Echantillon homogène.

N= 30, moyenne = 1600,7 mm

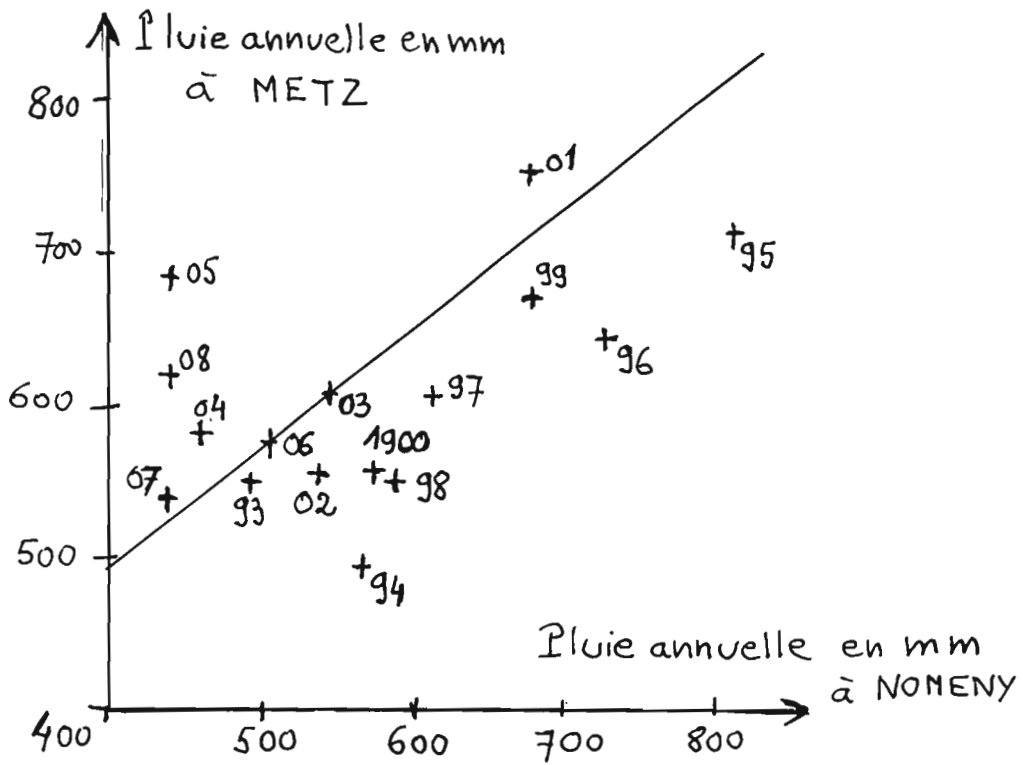
Ecart-type = 230,8 mm

**CAS 2 :** Echantillon hétérogène, extrait de deux populations différentes

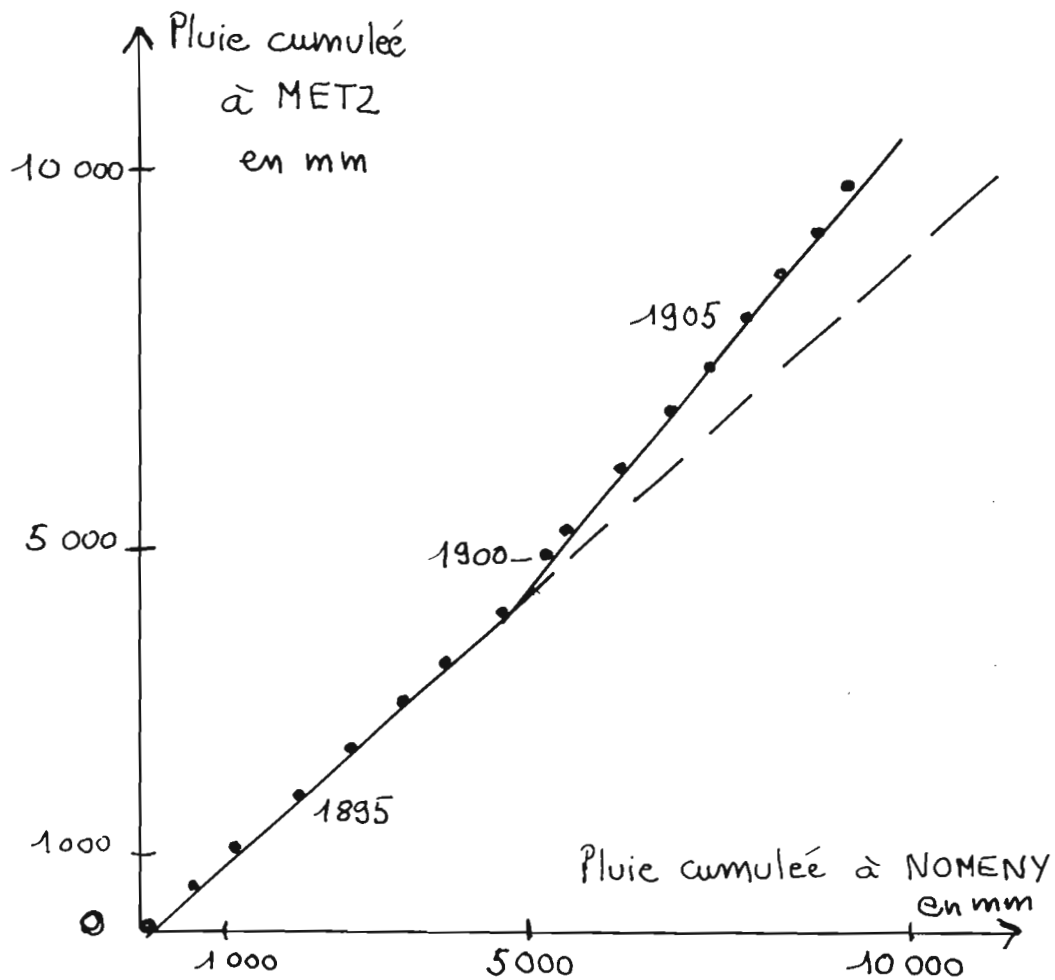
N = 30, moyenne = 1721 mm, écart-type = 277,3 mm

## ANNEXE 18

### A. Méthode des totaux annuels Comparés



### B. Méthode des totaux annuels Cumulés



## ANNEXE 19

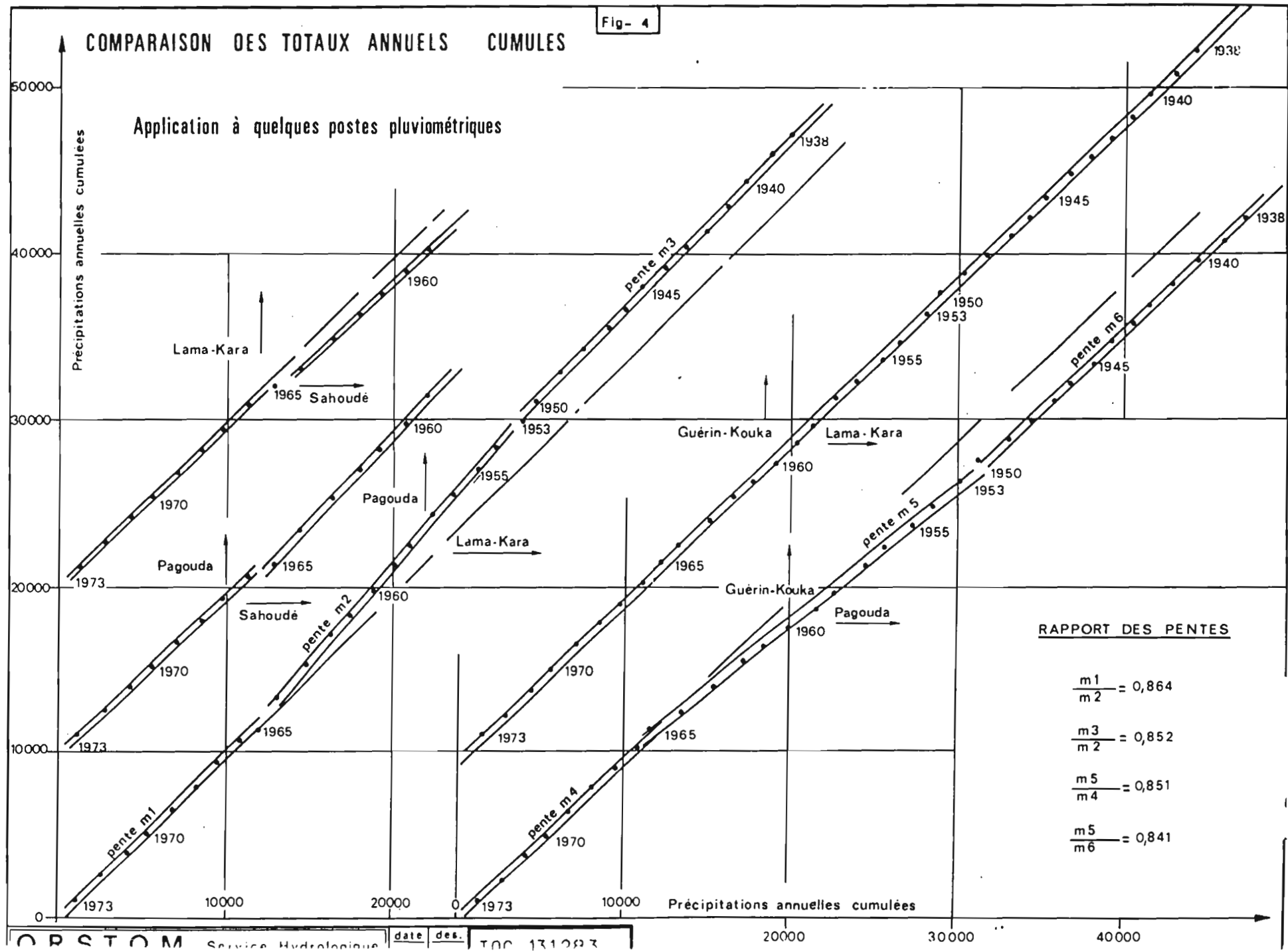
Données anciennes de pluviométrie annuelle  
sur le bassin de la Seille (Lorraine) - FRANCE

Année	METZ-Ecluse (170 m)	Cumul à METZ	NOMENY (186 m)	Cumul à NOMENY	AMANCE (310 m)	Cumul à AMANCE
		0		0		0
1893	553	553	591	591	547	547
1894	497	1050	569	1160	552	1099
1895	714	1764	820	1980	743	1842
1896	646	2410	727	2707	647	2489
1897	607	3017	611	3318	686	3175
1898	549	3566	588	3906	556	3731
1899	670	4236	689	4595	756	4487
1900	654	4890	578	5173	569	5056
1901	757	5647	678	5851	848	5904
1902	554	6201	537	6388	510	6414
1903	607	6808	547	6935	601	7015
1904	581	7389	458	7393	587	7602
1905	684	8073	442	7835	655	8257
1906	579	8652	506	8341	724	8981
1907	538	9190	439	8780	494	9475
1908	621	9811	445	9225	705	10180
1909	678	-	-	-	685	-
1910	898	10709	887	10112	713	10893
1911	608	11317	543	10655	445	11338
1912	686	12003	702	11357	777	12115
1913	718		544		-	
1914	704		-		-	
1915	633		-		-	

Fig- 4

COMPARAISON DES TOTAUX ANNUELS CUMULES

Application à quelques postes pluviométriques



RAPPORT DES PENTES

$$\frac{m1}{m2} = 0,864$$

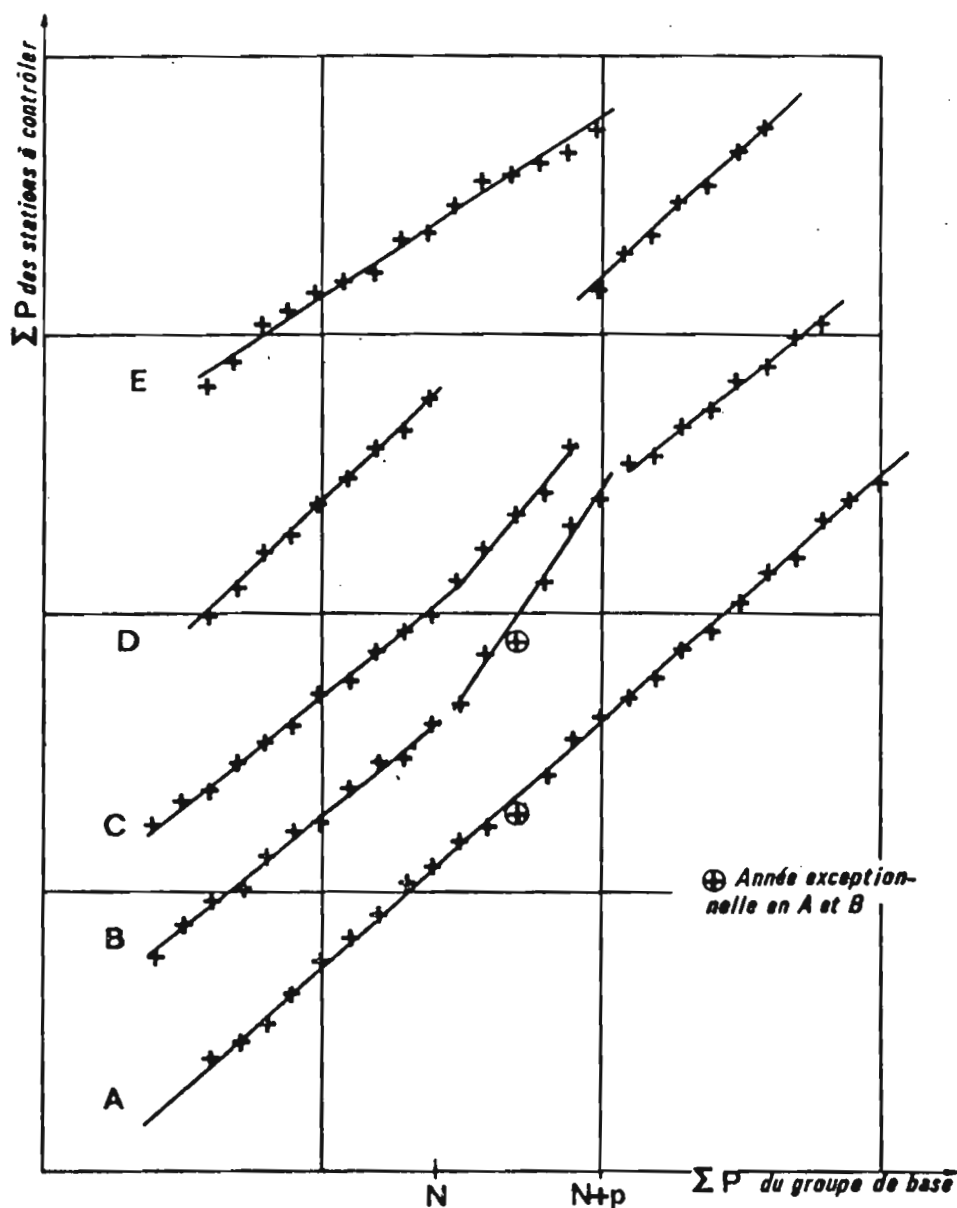
$$\frac{m3}{m2} = 0,852$$

$$\frac{m5}{m4} = 0,851$$

$$\frac{m5}{m6} = 0,841$$

## ANNEXE 21

*Application régionale de la méthode de comparaison des totaux annuels cumulés.*



Ceci est illustré par la figure, sur laquelle sont reportées en comparaison d'un groupe de base, 5 stations :

- A station homogène
- C station présentant une cassure nette
- B station présentant deux cassures nettes, avec rétablissement de la pente la plus fréquente
- D station avec lacune offrant deux périodes de même pente donc homogènes
- E station en régime pluviométrique particulier (dispersion élevée des points) mais paraissant homogène.

On y remarque également que les années situées entre l'année  $N$  et l'année  $N+p$  sont les plus perturbées (cassures de B et C, lacune de D) par suite ici de modification notable dans la gestion du service.

Certaines années exceptionnelles (points cerclés) apparaissent de-ci, de-là sans affecter l'homogénéité des périodes.

P. Dubreuil - 1974