

UNIVERSITE DE MONTPELLIER II

U S T L

O R S T O M

Laboratoire d'Hydrologie

D E U S T : GENIE HYDRO - SANITAIRE ET AQUACOLE

**LA MESURE DES PRECIPITATIONS ;
SON EXPLOITATION EN HYDROLOGIE .**

1 - TEXTE DU COURS et corrigés des exercices

(Toute recopie ou reproduction, même partielle, devra être demandée à l'auteur)

Janvier 1994

Yann L' Hôte

Ingénieur de Recherche

SOMMAIRE

	Page
1 - Généralités sur la mesure des précipitations	1
1.1 Définitions . Diversité des hydrométéores.....	1
1.2 Hauteur des précipitations . Unités de mesure	2
1.3 Utilité et utilisations de la pluviométrie.....	3
2 - La mesure des précipitations en un point.....	6
2.1 Les pluviomètres manuels	7
2.2 Les pluviographes enregistreurs	10
3 - Calcul de la pluie moyenne sur un bassin versant.....	11
3.1 Représentativités locale et régionale des mesures	11
3.2 Calcul par la moyenne arithmétique.....	12
3.3 Calcul par la méthode de Thiessen.....	12
3.4 Calcul par la méthode des isohyètes.....	13
3.5 Corrigé de l'exercice sur le tracé des isohyètes et la méthode de Thiessen	14

Annexe 1 - La formation des précipitations dans l'atmosphère	15
A1.1 Définitions et rappels de météorologie.....	15
A1.2 Mécanismes de la formation des précipitations.....	15
Annexe 2 - Critique des données pluviométriques.....	16
A2.1 Objectifs et nécessité d'une critique	16
A2.2 Critique à la réception des bordereaux mensuels.....	17
A2.3 Critique a posteriori. Homogénéisation des données. Méthode des totaux annuels cumulés	18
A2.4 Corrigé de l'exercice sur la méthode des totaux annuels cumulés.....	21
Bibliographie spécifique	24

1 - GENERALITES SUR LA MESURE DES PRECIPITATIONS

1.1 - DEFINITIONS . DIVERSITE DES HYDROMETEORES

Le terme **pluviométrie** désigne indifféremment pour les francophones (M.F. ROCHE, 1986) :

--> tout ce qui concerne la mesure de la pluie (matériel, techniques et procédés de mesure, méthodes de calcul en un point ou sur une surface géographique déterminée...);

--> les résultats de cette mesure ; hauteurs d'eau tombées dans un intervalle de temps précisé par un qualificatif : pluviométrie horaire, journalière, pentadaire (5 jours successifs, du 1 au 5 du mois, puis du 6 au 10, du 11 au 15 etc...), décadaire (du 1 au 10, du 11 au 20 et du 21 au dernier jour du mois), mensuelle, annuelle, inter-annuelle, ...en *M* minutes...

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, bruine) que solide (neige, grêle, grésil).

D'un point de vue physique, **la pluie** peut être définie comme des gouttes d'eau d'un diamètre variant entre 0.5 et 5 mm, tombant ou non sur le sol (reprise par l'évaporation ou par les mouvements de l'atmosphère).

La bruine est une précipitation assez uniforme, caractérisée par de très fines gouttes d'eau rapprochées les unes des autres, qui tombent d'un Stratus (type de nuage bas). Le diamètre des gouttes de bruine varie entre 0.1 et 0.5 mm.

Bien que le terme **averse** soit abondamment employé par les météorologistes, météorologues, climatologues, agronomes, hydrologues etc, c'est dans le dictionnaire qu'il faut aller chercher la définition de ce mot assez courant : pluie soudaine et abondante, (mot créé en 1642 ; de pleuvoir à la verse (*verser*)) ; dans Le Petit Robert (1990) .

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**, selon la saison. Ces quantités, généralement modestes vis à vis des pluies, ne sont pas prises en compte dans les bilans hydrologiques.

Météo-France donne comme consigne à ses observateurs de noter le phénomène (rosée ou gelée blanche) sur le bordereau, mais de ne pas le quantifier, même s'il y a de l'eau au fond de l'appareil : de l'ordre de 0.2 mm. dans la région de Montpellier, par exemple.

Enfin, dans certaines régions montagneuses souvent arides, soumises à une influence océanique et régulièrement ventées, comme les côtes du Chili et du Pérou pour partie, aux Îles Galapagos (au large de l'Equateur), en Afrique du Sud, au Cap-Vert (archipel situé au large de Dakar), au Yémen, etc., une mer de brouillard règne en quasi-permanence. Au dessus de 600 m. environ, ces conditions météorologiques très singulières permettent à la végétation de prospérer malgré de faibles pluies. Arbres et arbustes captent l'eau des **brouillards** et des bruines, donnant naissance à de véritables forêts dites nébuleuses (A. GIODA et al. 1992).

Ces "**brouillards mouillants**" ou "**précipitations occultes**" qui se déposent sur les feuilles des arbres 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.

1.2 - HAUTEUR DES PRECIPITATIONS . UNITES DE MESURE

La hauteur des précipitations qui atteint 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 perte par écoulement, infiltration et évaporation, et si les précipitations solides fondaient sur place.

Dans le Système International d'unités, la hauteur des précipitations est exprimée **en millimètres (mm) et dixièmes de millimètre**. Il s'agit bien d'une unité de longueur (ou plutôt de "hauteur") dont l'équation aux dimensions est : L.

Les médias (TV, presse) donnent parfois des hauteurs de pluies - souvent exceptionnelles et catastrophiques - **en litres par mètre-carré (l / m²)**. Cette unité plus parlante pour tout un chacun, est identique à celle utilisée par les météorologistes (le millimètre), puisqu'en effet :

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

En raisonnant d'après les équations aux dimensions, on a bien :

$$\text{litre} / \text{mètre carré} = L^3 / L^2 = L^3 \times L^{-2} = L.$$

Dans les pays anglo-saxons (Libéria, Ghana en Afrique...) les hauteurs de précipitations ont été et sont encore souvent exprimées en pouces et fractions décimales de pouce.

Les correspondances suivantes sont suffisamment précises pour effectuer les conversions des valeurs :

$$\begin{aligned} 1 \text{ pouce} &= 25.4 \text{ mm.} \\ 1 \text{ mm.} &= 0.04 \text{ pouce.} \end{aligned}$$

1.3 - UTILITE ET UTILISATION DE LA PLUVIOMETRIE

1.3.1 - AU NIVEAU DES PARTICULIERS

Toute personne ayant à sortir de chez elle est intéressée de savoir s'il pleut (pleuvra) ou non sur son parcours et au lieu où elle doit se rendre. C'est, du reste, une des principales informations attendue des bulletins météorologiques terrestres (et marins) de la presse et la T.V.

Pour certains secteurs de l'activité économique, le renseignement quantifié (hauteur des précipitations) peut être important ; et ceci d'autant plus que l'activité est proche de la nature, on dit du "secteur primaire" (producteur de matière non transformée), comme l'**agriculture**, la pêche, les mines et **carrières**.

Le renseignement quantifié peut être utile aussi dans certaines branches du secteur secondaire (producteur de matières transformées), comme le **génie civil**, le **bâtiment** et les **travaux publics**. Nous fournissons ci dessous quelques exemples vécus :

En agriculture :

Dans le Pays de France, au Nord-Ouest de la région parisienne, sur 200 km² environ, nous avons recensé en août 1972 vingt-quatre Agriculteurs effectuant des relevés pluviométriques à titre privé ; leurs intérêts sont les suivants (sans limitation d'exemple) :

- certains traitements anti-parasitaires (doryphores de la pomme de terre) doivent être renouvelés entièrement après une pluie de plus de 20.0 mm., du fait du lessivage du produit utilisé.

- Pour effectuer l'épandage d'engrais, il est recommandé d'agir dans des conditions de pluviométrie assez précises, et si possible avant une petite pluie, ce qui n'est pas évident à prévoir. Cependant après une pluie supérieure à 10.0 - 15.0 mm. tombés peu de temps après l'épandage, il y aura lieu de reprendre celui-ci, l'engrais ayant de fortes chances d'avoir été entraîné par les eaux de ruissellement.

Dans une grande majorité de la France rurale, où l'agriculture est fortement mécanisée, il s'agit pour l'exploitant de définir le matin quel outillage il devra utiliser : enfoncement du tracteur compensé par l'emploi de cerclages ajustés aux roues ; profondeur de travail du soc de la charrue ; parties du terrain probablement inondées...

En Guadeloupe, Département français d'Outre-Mer, la canne à sucre est cultivée dans bons nombres de parties basses et bien arrosées des deux Iles de Grande-Terre et Basse-Terre. Le produit des récoltes est acheminé vers les "Usines" (autrefois des moulins à vent) où la canne est traitée sommairement par extraction du jus (sucre, rhum, etc...).

En 1981, le chef de culture de l'usine B... faisait relever huit postes pluviométriques répartis sur le territoire cultivé . Avec les observations, dont il prenait la moyenne arithmétique, il estimait le rendement prévisible de l'année en cours, par comparaison entre les rendements et la répartition pluviométrique des campagnes des années précédentes.

Carrières

Il est évident qu'un exploitant de carrière (de sable, galets, gypse, argile, calcaire etc...) doit tenir compte de la pluviométrie avant d'envoyer une équipe travailler sur le terrain : possibilités d'évolution des machines et des hommes, crainte d'éboulements sur le front de taille...

Bâtiments, travaux publics et travaux routiers

En Moselle depuis le début des années 1960, l'entreprise W... relève un pluviomètre qui permet au matin d'estimer différents paramètres comme en particulier l'humidité des sols selon leurs natures (sableux au Nord de la région, très argileux au Sud) ; d'où les possibilités de travail des hommes et des machines :

Après une pluie de 10.0 mm. environ, le chef de travaux évitera d'aller sur les chantiers du Sud ; après plusieurs journées de pluie (de l'ordre de 10 mm.) le responsable pourra décider d'arrêter tout travail sur le terrain (débauche d'une partie des équipes). Après une forte averse, il est important d'estimer et vérifier auprès de voisins (téléphone) si une tranchée a pu être inondée, quelles sont les modifications éventuelles des terrains remaniés sur les chantiers routiers...

D'autre part la mesure de la température de l'air permet de prévoir les possibilités (ou impossibilités) de prise du ciment, réduite en cas de températures basses et souvent impossible en dessous de zéro degré (sans adjonction de produits spéciaux, aujourd'hui).

1.3.2 AU NIVEAU DE LA COLLECTIVITE

De nombreux Services Publics utilisent les mesures de précipitation, à l'instar d'autres données météorologiques, mais la pluviométrie tient peut-être une place prépondérante dans les connaissances météorologiques et climatiques.

Parmi ces Services Publics, on doit citer en tout premier lieu Météo-France, dénomination moderne (depuis mars 1990) de l'ancienne Direction de la Météorologie Nationale Française :

Météo - France

Ce Service d'état, dépendant en France du **Ministère des Transports**, est responsable entre autres activités du suivi, de l'archivage et la mise à disposition des données relevées à environ 3 800 postes pluviométriques répartis sur le territoire métropolitain.

Parmi ces stations, 140 sont des stations dites synoptiques, c'est à dire que les observations y sont effectuées souvent en permanence et par des professionnels. D'après le sens courant de l'adjectif "synoptique" (qui permet de voir un ensemble d'un seul coup d'oeil), à la plupart de ces stations - comme dans beaucoup d'autres sur les cinq Continents et naguère en mer - sont effectuées toutes les trois heures (temps universel, TU) des observations de base (pression atmosphérique, température et humidité de l'air, force et direction du vent, pluviométrie...) qui sont envoyées sur les ondes grâce à des messages codés compris sur la terre entière. Il y a environ trente ans, les météorologistes (français en particulier) traçaient avec ces messages des cartes "synoptiques" de l'état de l'atmosphère, ce qui permettait des prévisions ; aujourd'hui, ces cartes sont tracées informatiquement, mais le principe reste le même, et les prévisionnistes sont toujours là.

Parmi les 140 stations synoptiques françaises, 7 postes ont été retenus (dont

Nîmes) pour y effectuer des sondages à l'aide de "ballons-pilotes" lâchés et suivis dans l'atmosphère.

Le nombre et la répartition des stations synoptiques par état a été "recommandé, reconnu et accepté" par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) ; elles sont plus nombreuses dans les états riches et dans l'hémisphère Nord (où la masse continentale est plus importante qu'au Sud) que dans les états dits en voie de développement, en général du Sud.

Les bateaux météorologiques stationnaires étaient en 1990 au nombre de trois dans l'Atlantique. Il n'en existe plus aujourd'hui de français, mais 143 navires (commerce, guerre, pêche) ont été sélectionnés en France pour fournir des "points-météo" lors de leurs parcours.

Enfin, plus proche de nous, le Centre Départemental de la Météorologie (CDM) de l'Hérault situé à l'aéroport de Montpellier-Fréjorgues (Commune de 34 140 Mauguio) a en charge 60 postes climatologiques (avec au moins un pluviomètre et un thermomètre) ; la moitié est gérée sur crédits d'Etat et les trente autres pour le compte du Département. La station de Mauguio aéroport de Montpellier-Fréjorgues est une station synoptique.

D'autre part, Météo-France anime ou assiste d'autres Services Publics ayant à connaître la météorologie (actuelle ou prévue) en général et la pluviométrie en particulier.

Ces Services Publics ont en charge des activités multiples qui sont citées (et succinctement explicitées lorsque nécessaire) ci dessous en recopiant la liste des Commissions spécialisées du Conseil Supérieur de la Météorologie :

Aéronautique

L'accompagnement des aéronefs (disons avions) a souvent été à l'origine de la création et la structuration de nombreux Services Météorologiques dans le monde ; par exemple l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar (ASECNA), centralisée à Dakar (Sénégal) et présente dans pratiquement tous les états francophones du Continent.

Il est en effet très important pour un pilote de savoir, entre autres renseignements météorologiques, s'il pleuvra et selon quelle intensité sur son trajet, et à l'atterrissage.

Agriculture

En dehors des observations privées, les Agriculteurs français peuvent avoir recours à différentes aides météorologiques d'initiatives nationales, régionales ou départementales.

Education-Formation

Il s'agit ici de l'enseignement de la météorologie et climatologie à différents niveaux scolaires ou professionnels.

Energie

A titre d'exemple, les gestionnaires de barrages hydro-électriques suivent en permanence l'évolution de la pluviométrie, mais aussi de la couche de neige amont, grâce à des appareils donnant le stock neigeux, ainsi que sa densité.

Environnement

Hydrologie

Marine

Protection Civile et Prévention

Il s'agit principalement des **Services d'annonce de crue**, qui est de plus en plus fondée sur des mesures pluviométriques en amont du site, mais aussi des prévisions de précipitation faites par satellite ou par radar.

Routes et Génie Civil

Santé- Biométéorologie

Tourisme-Information.

En plus du temps de nos sacro-saintes vacances, en fin de compte même les bureaucrates que nous sommes actuellement vous et moi, souhaitent savoir s'il faut prendre ou non son parapluie (ou son imperméable).

2 - LA MESURE DES PRECIPITATIONS EN UN POINT

Très grossièrement, on pourrait dire que n'importe qui peut "mesurer" approximativement la pluie avec un récipient quelconque, une casserole par exemple, de forme cylindrique de préférence (pour éviter une correction entre la surface captante et la hauteur cumulée) placé dans son jardin - loin des arbres - ou sur une terrasse bien exposée.

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, percé ou ayant débordé 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 comme la France, (l'Autriche, la Suisse etc...).

Nous décrirons successivement les types d'appareils classiques suivants :

- **les pluviomètres manuels** qui permettent de mesurer la hauteur de précipitation globale pendant un temps plus ou moins long. Ils sont relevés en général une à deux fois par jour.

Si l'appareil est relevé moins fréquemment, par exemple tous les 15 jours, tous les mois, voire une à deux fois par an, on dit alors que l'on observe un **pluviomètre totalisateur**.

- Les pluviographes enregistreurs 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.

2.1 - LES PLUVIOMETRES MANUELS

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

2.1.1 - L'ANCIEN PLUVIOMETRE FRANÇAIS, DIT "ASSOCIATION"

Il est décrit sur la figure 1. Utilisé depuis 1867, il doit son nom à l'"Association Scientifique de France" qui en a défini la forme, les dimensions et le procédé de mesure. On le retrouve encore fréquemment en France, dans les DOM-TOM et dans les anciennes colonies.

Bien qu'ancien, 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 cm² recommandés.

Une autre norme de l'OMM stipule 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 vient le vent apportant les pluies : principalement secteurs Ouest et Sud-Ouest en France sous influence océanique plus ou moins forte, plus secteurs Est et Sud-Est en climat méditerranéen.

Sur la figure n° 1, 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 (figure 2 B).

Nous n'avons pas pu vérifier dans l'abondante littérature émanant de l'OMM, si cette modification correspond à une nouvelle norme internationale, ce qui nous a été contesté par un spécialiste de l'OMM. Quoi qu'il en soit, en France aujourd'hui, la norme est de 1.00 mètre au dessus du sol.

A l'usage (près de 130 années), 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, on a même cité 1.7 mm au Sahel) 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 cm² (100π), le second une surface de 400 cm². 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 314 / 400, 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 dans l'annexe 2.

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 Cm²".

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.
- **780 mm en un jour** (de 6 à 6 heures) le 31 octobre 1993, et 794 mm. en 24 heures, au pluviographe de Bavella (1180 mètres d'altitude), sur le bassin de Solenzara en Corse, étudié par l'Ecole Normale Supérieure de Paris.

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. sont opérationnels.

Nous fournissons sur la figure 2 les capacités maximales qui ont été mesurées sur trois types de pluviomètres observés en Guadeloupe en 1981.

2.1.2 - LE PLUVIOMETRE ACTUEL DE METEO-FRANCE : MODELE SPIEA, MOMIFIE METEOROLOGIE NATIONALE R01-2050 A

Il est décrit en B sur la figure 2 . C'est le pluviomètre officiel actuel des stations pluviométriques (manuelles) de Météo-France, soit environ 3 600 postes en 1984. SPIEA signifie : Syndicat Professionnel de l'Industrie des Engrais Azotés. Le modèle original breveté ne comprenait que la bague et le seau transparent ; la Météorologie Nationale l'a adopté en y adjoignant une éprouvette qui permet des mesures fines des petites pluies.

A l'utilisation de ce pluviomètre, on a pu observer les faits suivants :

- a - la condensation de l'air en fin de nuit fraîche laisse un dépôt d'eau de 0.1 à

0.3 mm, qu'on peut assimiler à de la rosée, sans prétendre la mesurer (mesure effectuée avec d'autres appareils standardisés).

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 difficile la lecture directe.

Le relevé effectué une ou deux fois par jour est noté par l'observateur sur son cahier d'après les instructions du Service gestionnaire du réseau pluviométrique. La figure 3 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 la figure 3, 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 la figure 3). Ainsi une pluie relevée le 4 au matin est la pluie de la journée (et la nuit) du 3 ; de même la pluie mesurée le 1^{er} janvier au matin est la pluie tombée le 31 décembre de l'année précédente.

Ceci est une norme internationale ancienne suivie aujourd'hui dans le monde entier, bien qu'elle soit source de nombreuses erreurs de datation de la part des observateurs, et lors des recopies.

2.1.3 - L'ANCIEN PLUVIOMETRE "DECUPLATEUR" (DE MANGOT)

Présenté en A sur la figure 2, il est ainsi appelé car la surface de la bague est 10 fois supérieure à la surface des réservoirs inférieurs de stockage et de mesure. Il s'agit d'un ancien modèle de la Météorologie Nationale qui a pratiquement disparu en France métropolitaine. Sa conception palliait l'inconvénient n°1 § 2.1.1 ci-dessus d'utilisation d'une éprouvette.

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

2.1.4 - QUELQUES MODELES DE PLUVIOMETRES RECENSES DANS LE MONDE

Pour des raisons historiques et pratiques, **chaque état utilise des types de pluviomètres qui sont différents** les uns des autres dans le détail, comme on le voit sur la figure 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 la figure 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, dans l'Air en particulier).

On peut légitimement déduire de la conclusion de cette étude de l'OMM que les

résultats d'observations effectuées dans différents états peuvent être comparés, ou plutôt peuvent être traités ensemble, par exemple lors du tracé d'une carte des pluies sur une superficie comprenant plusieurs états.

2.2. - LES PLUVIOGRAPHES ENREGISTREURS

Avec un pluviographe enregistreur, on obtient des graphiques ou aujourd'hui des enregistrements sur mémoires. On peut ainsi non seulement déterminer le total des précipitations sur un temps donné (par exemple la journée de 7 heures à 7 heures le lendemain), mais de plus étudier l'intensité de la pluie sur différents intervalles de temps, pratiquement d'une minute à plusieurs heures.

L'unité pour exprimer une intensité de pluie est : millimètres / heure sur M minutes ou H heures.

Les études des intensités de pluies 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'assainissement sont dimensionnés (diamètre des tuyaux) d'après différents facteurs, dont le plus important est l'intensité de pluie d'une durée de retour choisie (en général 10 années) lue sur des **courbes dites "IDF", pour Intensités, Durées, Fréquences**. Ces courbes IDF sont tracées d'après les observations pluviographiques en un lieu ou une région climatique.

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

Ces essais mis en défaut sur le terrain, ont été abandonnés (pour l'instant) et laissent toujours la place au pluviographe à augets basculeurs, très ancien dans sa conception (fin des années 1600 par l'anglais R. Hooke, d'après L'Hôte, 1990).

La figure 5 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 (5.1, figure 5). 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, de came et levier est enregistré sur un cylindre enregistreur (B fig.5.2) effectuant une rotation complète soit en une semaine, soit en un jour, ou moins (une heure).

- A noter que pour une bague d'entonnoir d'une surface de 2 000 cm², 20 g ou 20 cm³ équivalent à 0.1 mm. de pluie, et pour une bague de 400 cm² à 0.5 mm.

Le diagramme enregistré, ou pluviogramme, est représenté en A sur la figure 6. 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 la figure 6.

Ce tableau permet de tracer un graphique en barres représentant l'évolution de

l'intensité de pluie en fonction du temps. Ce graphique, ou **hyétogramme**, présenté sur la figure 7 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**, tout en conservant l'auge basculeur. Chaque basculement d'auge entraîne une impulsion électrique qui est enregistrée en horaire exact (horloge à quartz) sur la mémoire.

La figure 8 reproduit 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.

D'autre part les Services d'annonce de crue (à Nîmes et Toulouse, près de nous) gèrent en routine des appareils de ce type connectés par exemple au satellite METEOSAT (disponible en permanence), et disposés judicieusement en amont des points où doivent être émises les prévisions en hauteur ou/et débit.

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 mesure ponctuelle aura une superficie variable selon la densité du réseau de postes d'observations : de quelques hectares sur un bassin d'étude, à un poste pour environ 150 Km² en moyenne sur le réseau français (3 600 postes sur 550 000 Km²), et enfin de un poste pour 3 à 5 000 Km² dans les régions africaines les mieux observées (près des côtes et des capitales), voire un poste pour 50 000 à 150 000 Km² 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 la figure 9, la pluie sur le bassin calculée par cette méthode, avec les six postes est de : $7\,270 / 6 = 1\,211.7 \text{ mm}$.

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 la figure 9. 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 des deux extrémités A et B d'un segment de droite AB, AC, BC, etc..(utilisation du compas).

Pour le calcul des pourcentages (ou poids) à appliquer à chaque poste, on doit déterminer sur carte la surface totale du bassin et les surfaces de chaque polygone, **par planimétrie** ou plus rustiquement par utilisation d'un papier millimétré transparent comme cela sera montré en T.D., si nous en avons le temps :

- Si "S" est la surface totale du bassin (40.8 cm² sur la figure 9, soit 10.2 Km² 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 la figure 9, 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	7 270	<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 la figure 10.

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 courbes isohyètes.

D'après le tracé des isohyètes de la carte A de la figure 10, on a établi après planimétrage le tableau B qui est dépouillé par l'une des deux méthodes suivantes :

3.4.1 PREMIERE METHODE DE RESOLUTION (IDENTIQUE A THIESSEN)

Elle est portée sur la droite du tableau B de la figure 10, en colonnes 4 à 6 : on applique aux surfaces comprises entre deux isohyètes Ci en % (colonne 4), la moyenne des valeurs des deux isohyètes encadrantes (colonne 5) .

Comme dans la méthode de Thiessen, le total des pluies partielles de la colonne 6 donne la pluie moyenne sur le bassin.

3.4.2 DEUXIEME METHODE DE RESOLUTION

Sur papier millimétré (ou quadrillé) Cf. C de la figure 10, on porte en ordonnées

les surfaces cumulées en % (colonne 3), en fonction de la pluviométrie (colonne 1) en abscisses.

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 la figure 10, la 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 $800 + 290 = \underline{1090 \text{ mm}}$.

Sur le graphique C de la figure 10, on a tracé un rectangle dont le petit coté = pluie moyenne, et le grand coté = l'amplitude des ordonnées (100 %) ; 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 - CORRIGE DE L'EXERCICE SUR LES ISOHYETES ET LA METHODE DE THIESSEN

Ce corrigé est effectué au cours du Travail Dirigé.

ANNEXE 1 - LA FORMATION DES PRECIPITATIONS DANS L'ATMOSPHERE

N.B. : cette annexe est inspirée du cours : "Météorologie générale" dispensé par Météo-France et le Centre National d'Enseignement à Distance, CNED, 1990.

A1.1 - DEFINITIONS ET RAPPELS DE METEOROLOGIE

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 13-1, **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. 13-2. 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 / Kg	0.8	1.8	3.8	7.8	14.8	27.4

A1.2 - 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 13-2, 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 2 microns à 0.2 mm (soit 200 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 5 mm, pour qu'il y ait précipitation, il faut nécessairement que le volume de chaque vésicule augmente de 15 000 à 15 milliards 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 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*.

ANNEXE 2 - CRITIQUE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

A2.1 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).

A2.2 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.

A2.2.1 Classiquement, à la réception des fiches mensuelles, le Service gestionnaire reporte les valeurs journalières sur des bordereaux mensuels identiques à celui présenté sur la figure 14 pour le département de l' Hérault. Ce travail de disposition différente des observations est effectué dans le but de détecter par comparaison inter-postes 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 la figure 15 qui correspond à une étude sur un petit bassin versant de 9 Km² 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.

A2.2.2 En France par exemple, **le Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale** (en juin 1984 : 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 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 un indice d'homogénéité mensuel, égal au rapport de la pluie observée à la pluie théorique du même poste.

La figure 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 mensuels 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.

A2.2.3 Actuellement, compte-tenu des absences (compréhensibles les fins de semaine et pendant les congés annuels) 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 immédiate envisagée pour environ 500 stations importantes automatisées, **et en temps différé** pour les autres, sera basée principalement sur les vérifications suivantes :

- les types de temps : perturbations d'Ouest, orages, avancées d'air maritime sur le Languedoc-Roussillon, etc...
- la méthode AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie, 1986) qui prend en compte une information extérieure pour améliorer la cartographie des isohyètes, en l'occurrence l'effet du relief ;
- l'imagerie satellitaire infra-rouge METEOSAT, (semblable à 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 au sol.

A2.3 - CRITIQUE A POSTERIORI, HOMOGENEISATION DES DONNEES, METHODE DES TOTAUX ANNUELS CUMULES.

A2.3.1 - COMPARAISONS INTERPOSTES

Les méthodes de vérifications "rustiques" évoquées ci-dessus, de comparaisons journalières et/ou mensuelles interpostes, 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...).

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

A2.3.2 - 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.

La figure 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 observé seulement les postes A, B et C, puis pendant 5 ans A, B, C et D, puis pendant 10 ans A, D et E etc... Les moyennes calculées sur 20 ans en A, 10 ans en B, et 10 ans en E n'ont 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.

A2.3.3 - COMPARAISON DES TOTAUX ANNUELS AUX POSTES

PLUVIOMETRIQUES ; TOTAUX ANNUELS COMPARES 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 (100 (500) x 100 (500) km. par exemple), 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 (excepté en climat méditerranéen) .

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 séries, on peut établir un **graphique des totaux (annuels) comparés** tel que celui présenté en A de la figure 18, correspondant aux données de précipitations annuelles à Metz et Nomeny, fournies sur la figure 19.

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 les années les plus récentes - 1901 à 1908 - sont séparées des années antérieures et 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 18 en B, l'anomalie autour de 1900 est bien mise en évidence par une différence de pente dans la représentation chronologique des cumulés.

A2.3.4 - 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 dans l'exercice d'application (tome 2, Figures et énoncé des exercices) .

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 mensuelles et/ou journalières 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 Cm² / 300 Cm² 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.

La figure 20 donne un exemple d'application sur quatre postes du Togo ; à souligner que les cumulés 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 du corriger ces valeurs annuelles en les multipliant par un facteur de 0.85, et la moyenne interannuelle est passée de 1400 à 1330 mm. pour ce poste.

A2.3.5 - 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...

Pour réduire le nombre de graphiques à tracer, 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 postes de la région, y compris les stations utilisées dans la série de base, et on réduit par ce procédé le nombre de graphiques au nombre de stations à tester.

La figure 21 donne un exemple de totaux cumulés de 5 postes A à E, comparés à un groupe de base formé des moyennes des pluies d'un certain nombre de postes jugés sûrs dans la région. Cette figure donne en outre des clés d'interprétations des graphiques des totaux annuels cumulés.

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.

A2.4 - CORRIGE DE L'EXERCICE SUR LA METHODE DES TOTAUX ANNUELS CUMULES

Sur la figure ci-jointe, en regardant les tracés 1, 2 et 3 (visée avec la méthode d'un menuisier), on voit qu'il y a rupture de pentes sur chaque graphique où NOMENY est pris en considération ; on en déduit que ce sont les relevés de NOMENY qui sont défectueux, avant ou après l'année 1900 environ. De plus on peut dire qu'il s'agit d'une erreur systématique, puisque les points s'alignent bien sur deux périodes assez longues.

Il reste à déterminer la nature de cette erreur systématique (due à un appareillage défectueux ou à une autre cause), grâce à un calcul du rapport des pentes avant et après rupture, ainsi que la période à incriminer, qui sera soit corrigée, soit supprimée pour les calculs ultérieurs.

L'année 1900 participe au changement de pente dans le tracé effectué avec METZ, et n'y participe pas avec AMANCE ; ce point devra être reconsidéré ultérieurement.

Sur le tracé 1 (en bas), les pentes avant et après rupture peuvent être calculées comme suit, sur les triangles rectangles dessinés :

- pour la valeur de la pente avant 1899 = coté O / coté A = 46 / 50mm ; et pour la pente après 1899 : coté O' / coté A' = 61 / 50 mm. En effet dans un triangle rectangle, le rapport du coté opposé (O) sur le coté adjacent (A) est égal à la tangente de l'angle α , et la pente de l'hypoténuse est égale à cette tangente.

Pour calculer le rapport des pentes, comme on a pris soin de considérer des cotés $A = A' = 50$ mm, on peut écrire que le rapport des pentes est égal au rapport des cotés opposés O / O' ou O' / O , soit $46 / 61$ mm = 0.754 ou l'inverse $61 / 46 = 1.326$

Sur le tracé 3, le rapport des pentes avant et après 1900 est de : $51 / 38.5 = 1.325$ ou l'inverse $38.5 / 51 = 0.755$

On remarque que dans les deux cas, les rapports des pentes sont très voisins d'une valeur d'erreur d'éprouvette recensée, correspondant à une non concordance de la surface de la bague du pluviomètre ASSOCIATION avec l'éprouvette de mesure, soit un rapport de $400 \text{ Cm}^2 / 314 = 1.273$, ou l'inverse $314 / 400 = 0.785$

Pour savoir quelle est la période défectueuse, on compare sur la figure 19 les données annuelles aux trois stations. On voit que les totaux annuels de 1900 à 1908 sont faibles à NOMENY, par rapport aux deux autres stations, principalement de 1904 à 1908, ce qui n'est pas le cas pour les années antérieures ou postérieures à ces périodes. On peut donc supputer que les relevés de 1900 à 1908 ont été "sous estimés" à NOMENY.

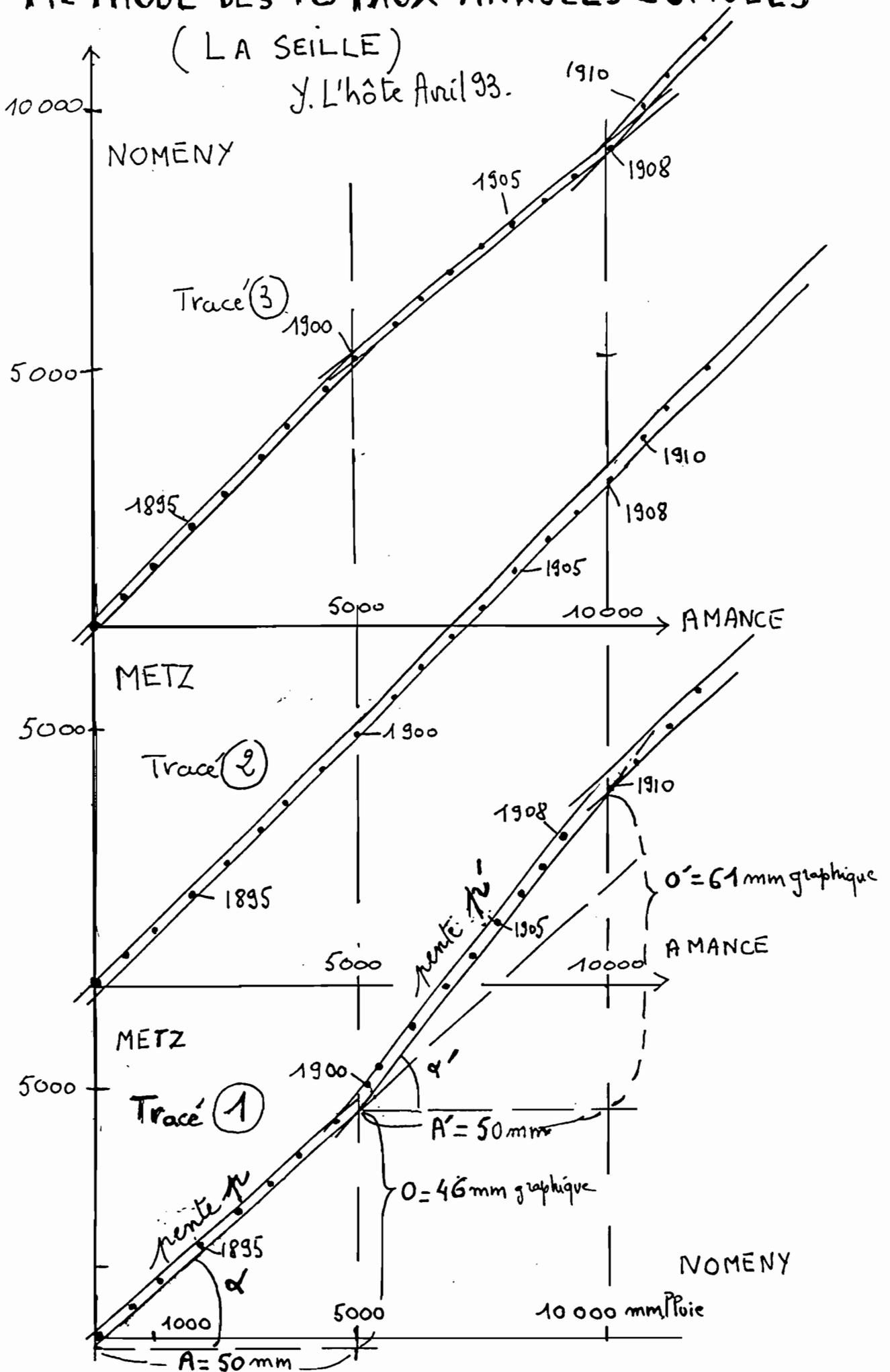
D'autre part dans les archives, on a relevé que l'éprouvette avait été cassée et remplacée le 11 juillet 1900.

De tous ces constats, on peut conclure qu'il faut corriger, en les multipliant par 1.273 (et non l'inverse) tous les relevés journaliers, puis mensuels et annuels entre le 12 juillet 1900 et le 31 décembre 1908 .

MÉTHODE DES TOTAUX ANNUELS CUMULÉS

(LA SEILLE)

J. L'hôte Avril 93.



BIBLIOGRAPHIE SPECIFIQUE

DUBREUIL P. (1974) Initiation à l'analyse hydrologique. (Dix exercices suivis des corrigés). Chapitres I et II. Masson & Cie et ORSTOM Ed. Paris ; 216 p. N° ISBN : 2-225-40 140-3.

GIODA A., ACOSTA-BALADON A., FONTANEL P., HERNANANDEZ-MARTIN Z., SANTOS A. (1992). L'arbre fontaine, In La Recherche n°249, vol. 23, décembre 1992, pp. 1400-1408.

L'HOTE Y. (1990). Historique du concept de cycle de l'eau et des premières mesures hydrologiques en Europe. In Hydrologie Continentale, vol. 5, n° 1, 1990, pp. 13-27, N° ISSN 0246-1528.

LA METEOROLOGIE (1980). Numéro spécial : "Précipitations et hydrologie", VI ème série, N° 20-21, mars et juin 1980, 334 p. Société Hydrotechnique de France SHF 92100 Boulogne. N° ISSN : 0026-1181

METEO-FRANCE, CENTRE NATIONAL D'ENSEIGNEMENT A DISTANCE (CNED) (1992). Formation de base à la météorologie. 3 Tomes, Coordonnateurs C. BILLARD et J. HOFFMAN. Ministère de l'Education Nationale, Ministère des Transports, dépôt légal septembre 1990, n° ISBN : 2-908541-00-9.

ROCHE M. (1963). Hydrologie de surface. Chapitre I. Gauthier-Villars, Paris. 429 p. N° de code 550-23.

ROCHE M.F.(1986). Dictionnaire français d'hydrologie de surface, avec équivalents en anglais, espagnol, allemand. 288 p., Masson Editeur. N° ISBN : 2-225-80739-6.

UNIVERSITE DE MONTPELLIER II

U S T L

O R S T O M

Laboratoire d'Hydrologie

D E U S T : G E N I E H Y D R O - S A N I T A I R E E T A Q U A C O L E

**LA MESURE DES PRECIPITATIONS ;
SON EXPLOITATION EN HYDROLOGIE .**

2 - FIGURES DU COURS et énoncés des exercices

(Toute recopie ou reproduction, même partielle, devra être demandée à l'auteur)

Janvier 1994

Yann L' Hôte

Ingénieur de Recherche

EXERCICES D'APPLICATION

1 - TRACE DES ISOHYETES ET METHODE DE THIESSEN

Sur la carte de la figure 11 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.**

La figure 11 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 la figure 12, **on calculera la pluie moyenne sur le bassin par trois méthodes :**

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

2 - MISE EN OEUVRE 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 la figure 19.

La période retenue ira de 1893 à 1908 (ou 1910) inclusivement.

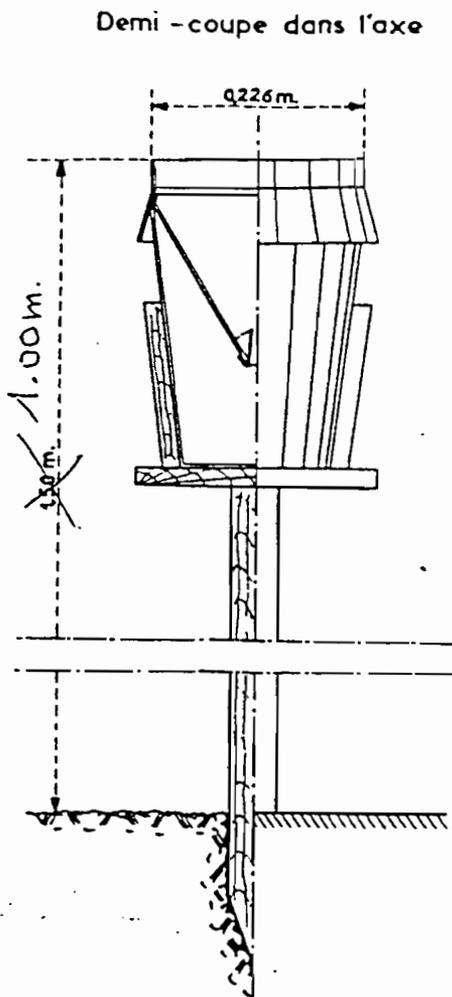
Pour faciliter les tracés et l'interprétation, on prendra successivement les couples suivants :

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.

FIGURE 1

Le pluviomètre « Association »



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 cm².

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

FIGURE 2

TROIS PLUVIOMETRES

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

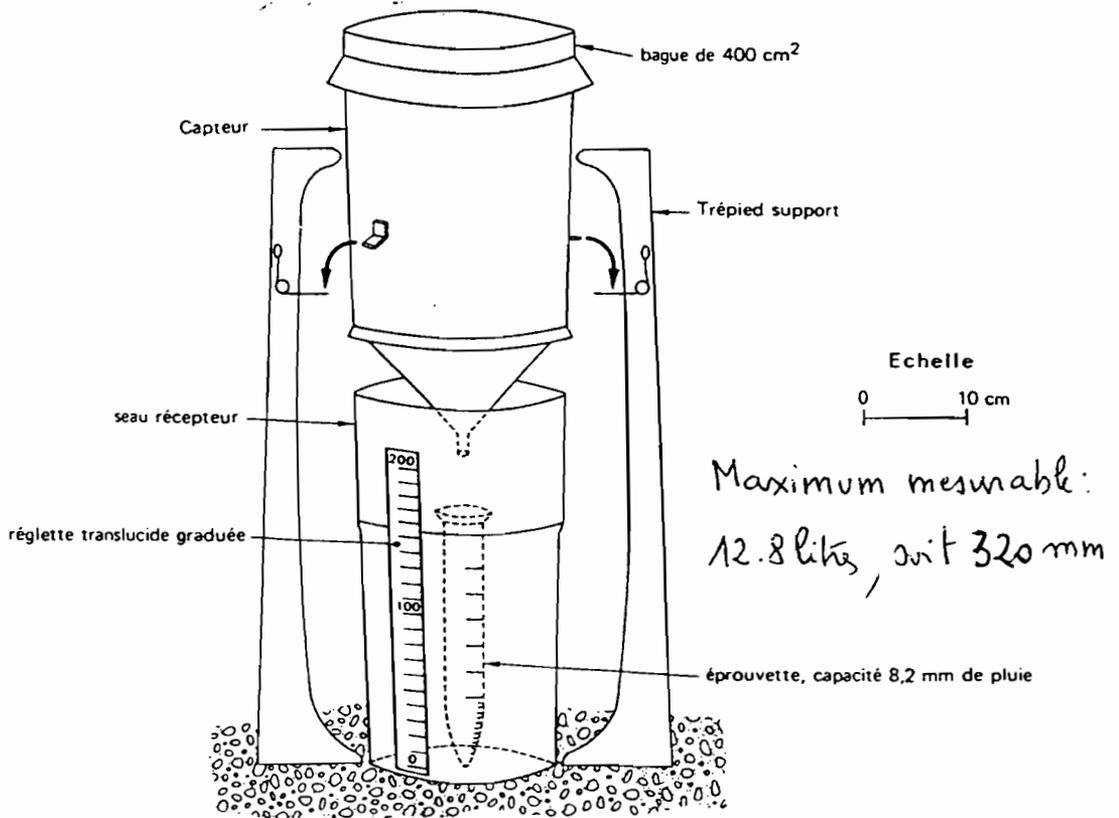
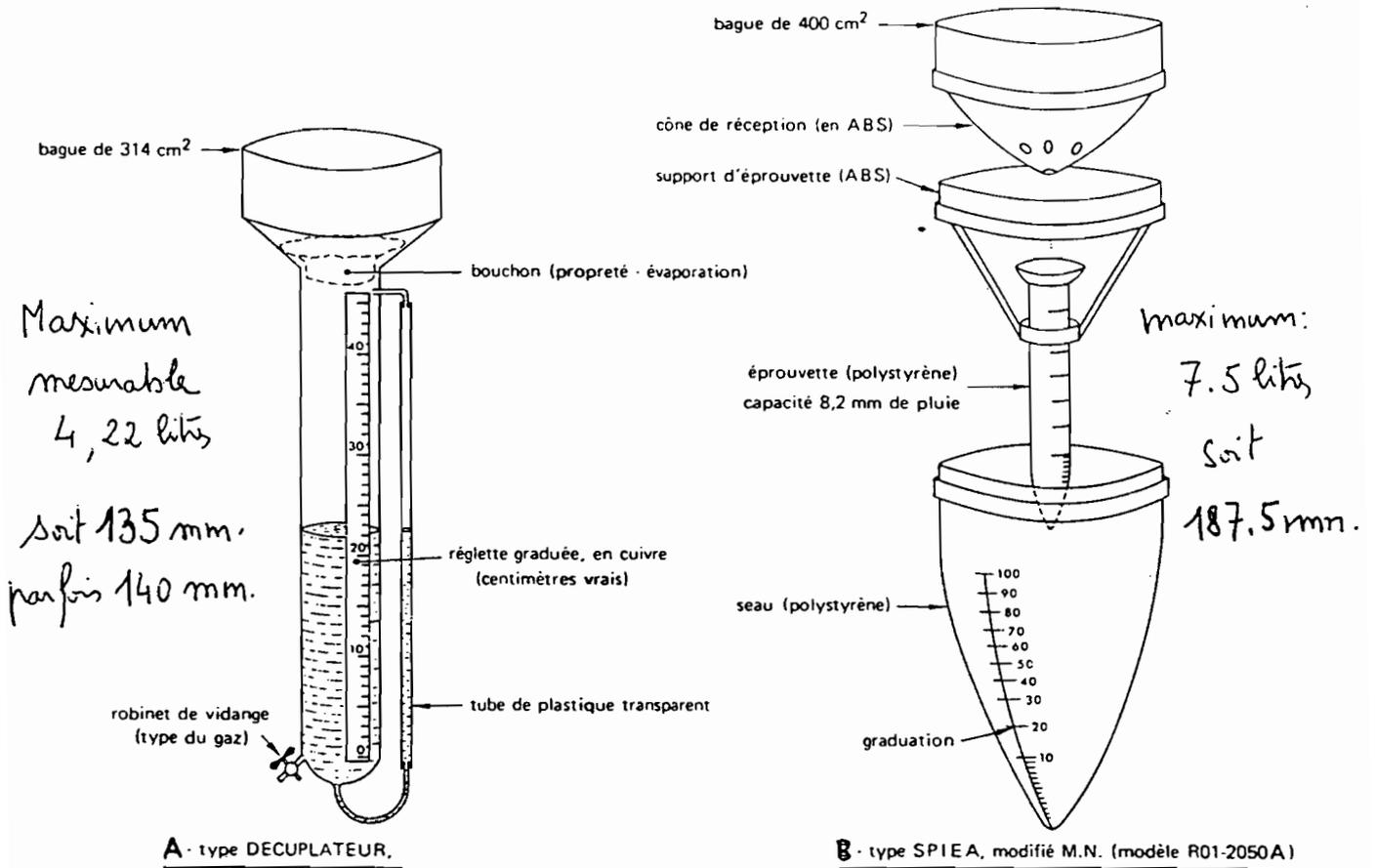


FIGURE 3

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; ☞ ● 1150 à 1400 forte
2		3			
3	5,6	4	15,8	21,4	☞ ● 1200 à 1305 faible; ● 1915 à nuit 3/4
4	2,0	5		2,0	● 0810 à 0855 faible; ☞ nuit 4/5
5		6			
6	12,8	7		12,8	☞ ● 1050 à 1300 modéré; ● 1504 à 1530 faible
7		8	50,0	50,0	☞ ● nuit 7/8 forte
8		9			☞ 1700 à 1900 le 8 vers le Sud
9		10			
10		11			
11	12,0	12	75,5	87,5	☞ ● 1605 à 2015 forte
12	TR	13	TR	TR	● 0900 à 1000 fine; ☞ ● 1915 à 1945 fine
13	TR	14		TR	● 0900 à 0915 faible
14		15			☞ 1635 à 2000 le 14 vers Ouest
15		16			☞ 1430 à 1700 le 15 au Sud
16	17,0	17	48,0	65,0	☞ ● 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; ☞ nuit 18/19
19	2,6	20		2,6	● 0900 à 1100 fine; ● 1400 à 1515 faible
20	5,8	21		5,8	☞ ▲ 1400 à 1420 forte, grêlons de 1 cm de diamètre
21		22			
22		23			☞ nuit 22/23
23		24			
24	2,8	25	5,3	8,1	☞ ● 1527 à 2115
25	38,0	26	2,8	40,8	● 0815 à 0915 forte; ☞ ● 1130 à 1240
26		27			☞ 1730 à 2400 le 26
27		28			☞ 0000 à 0045 le 27
28		29			
29		30			☞ nuit 29/30
30	8,1	31	36,4	45,5	☞ ● 1200 à 1920 faible; ● 2030 à 2200
31	17,2	1	TR	17,2	● 0900 à 1200 modéré; ● 1900 à 1915
TOT.	200,8 ^{mm}		294,8 ^{mm}	495,4 ^{mm}	

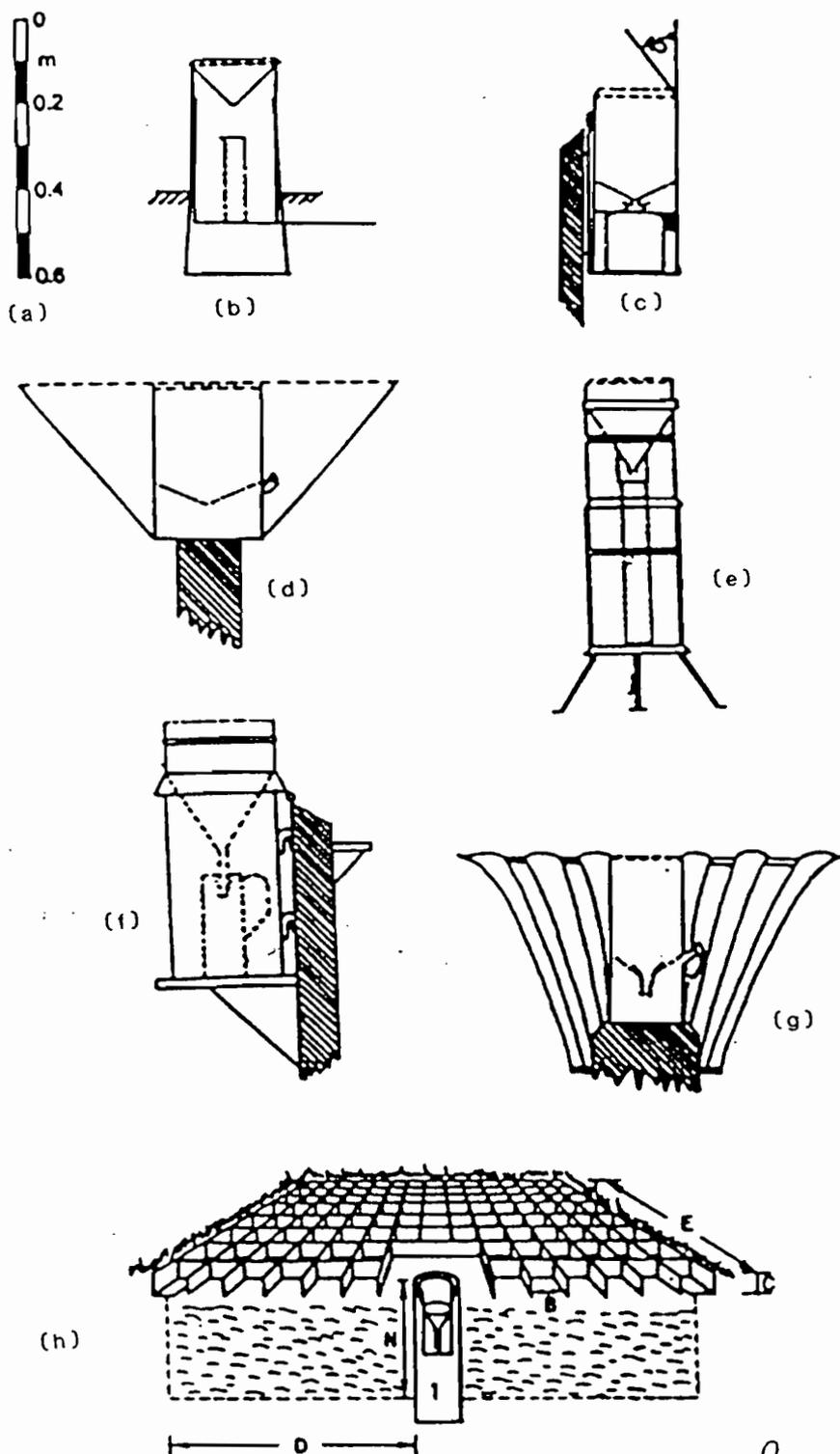
NOM de l'Observateur : C. ANTOINE Qualité ou Profession : Infirmier de santé

RÉCAPITULATION						
Hauteur Totale du Mois	Maximum quotidien	Date du Maximum	NOMBRE DE JOURS			
			de pluie ●	avec orage ☞	avec éclair sans tonnerre ☞	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

FIGURE 4

DIFFERENTS TYPES DE PLUVIOMETRES RECENSES DE PAR LE MONDE



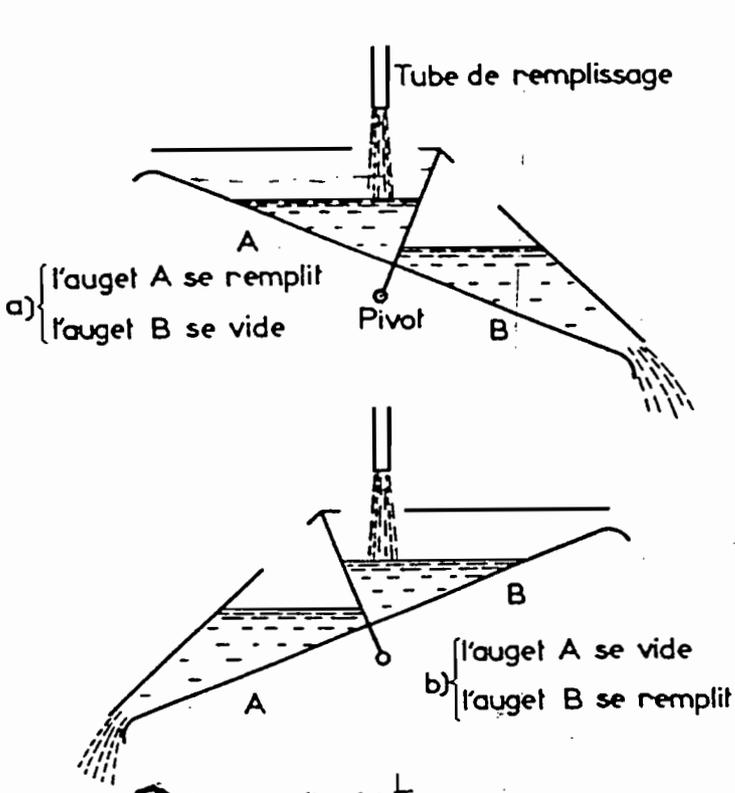
- | | |
|--|------------------------|
| - b) pluviomètre australien | (203 cm ²) |
| - c) pluviomètre Hellmann - Allemagne de l'Ouest | (200 cm ²) |
| - d) pluviomètre finlandais | (500 cm ²) |
| - e) pluviomètre du Weather Bureau - USA | (324 cm ²) |
| - f) pluviomètre bulgare | (500 cm ²) |
| - g)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

Surface de la bague réceptrice:

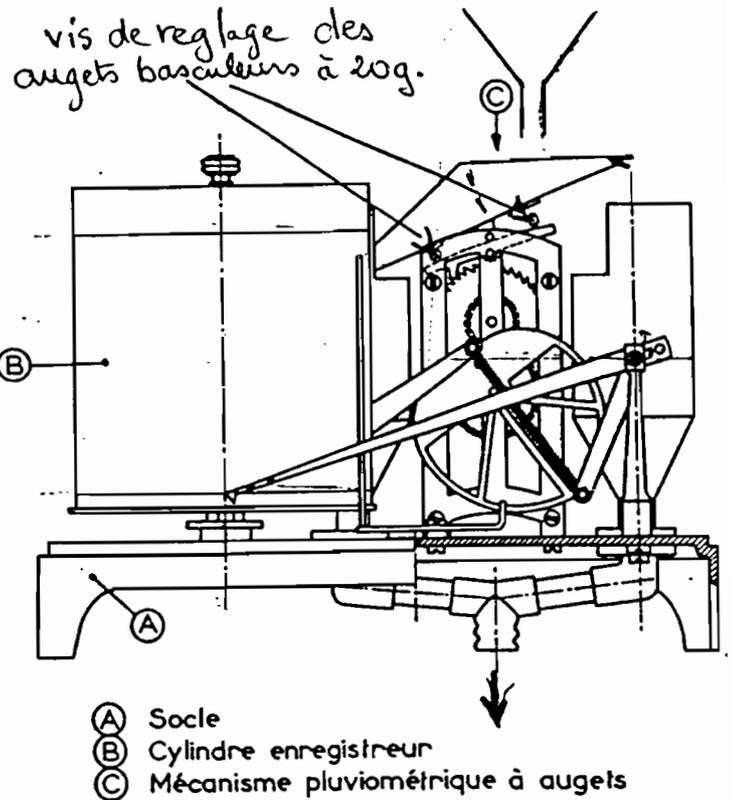
Le pluviomètre Nipher d'USSR est semblable au pluviomètre finlandais (d)

FIGURE 5

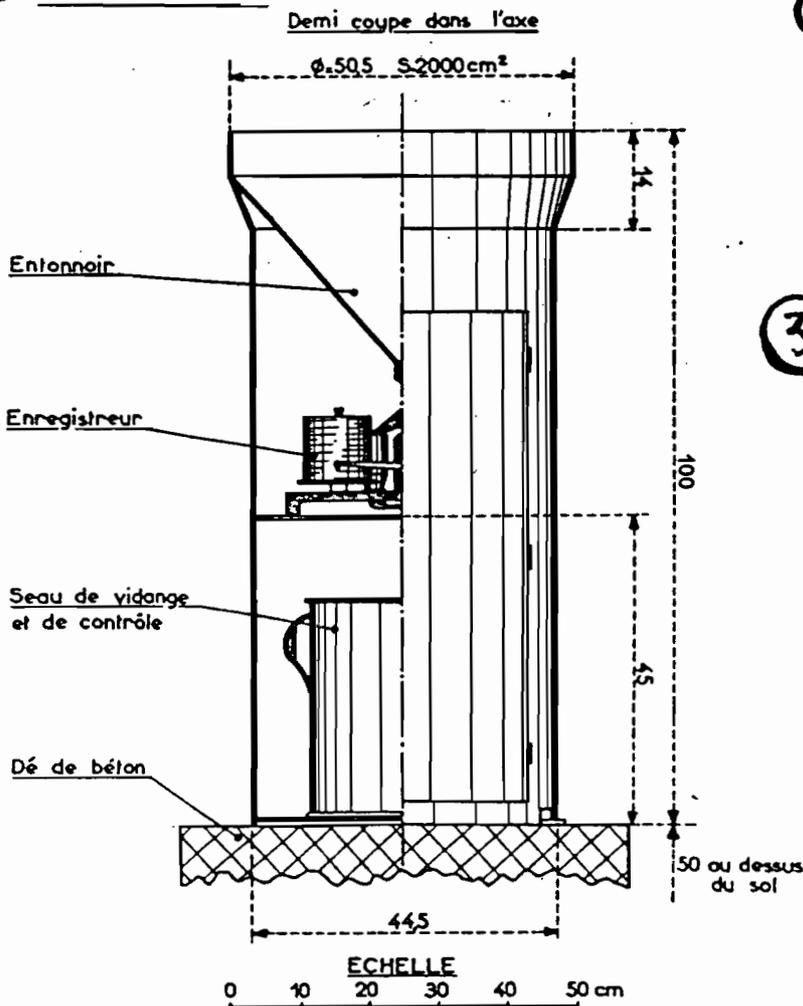
Pluviographe type R-208 A à augets basculeurs de la Météorologie Nationale



① Les augets



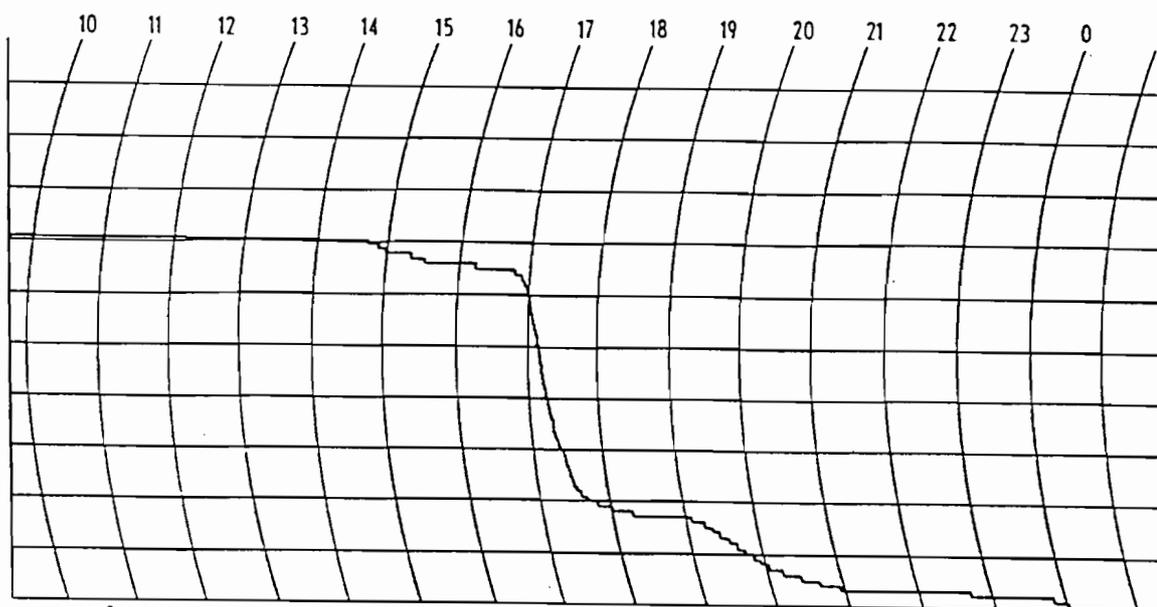
② le mécanisme d'inscription



③ vue d'ensemble

d'après Remenieras
1960-1965-1976

FIGURE 6



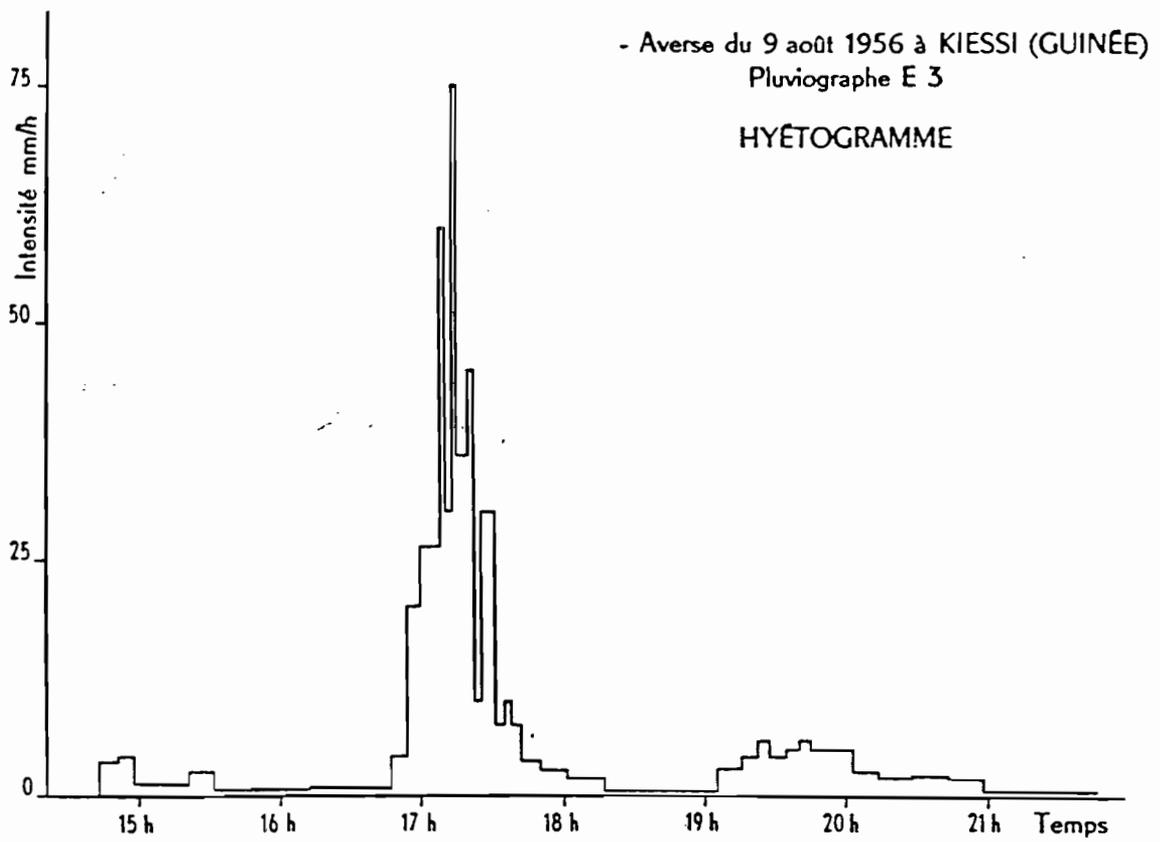
A Diagramme enregistré au pluviographe F. 3. - Averse du 9 août 1956 à KIESSI (Guinée)

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

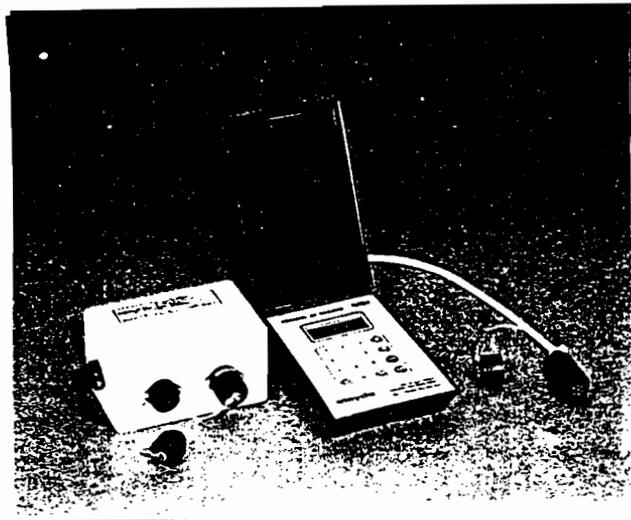
FIGURE 7



d'après Roche 1963

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

NOTE TECHNIQUE ENREGISTREUR PLUVIO 91



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

- * 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)

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

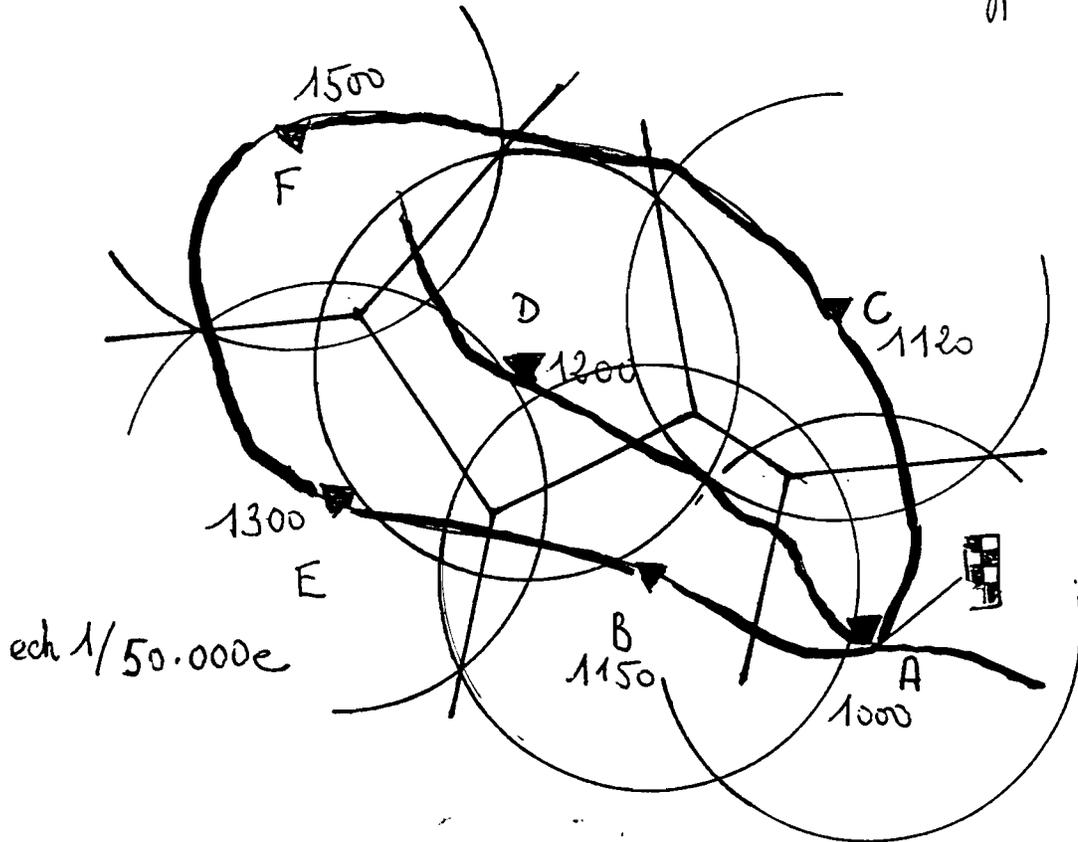
3) POSSIBILITE D'EFFACER LA MEMOIRE ET DE REINITIALISER L'ENREGISTREUR

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.

FIGURE 9

Calcul de la pluie moyenne sur un bassin
par la methode des polygones de Thiessen
 - Détermination des coefficients.

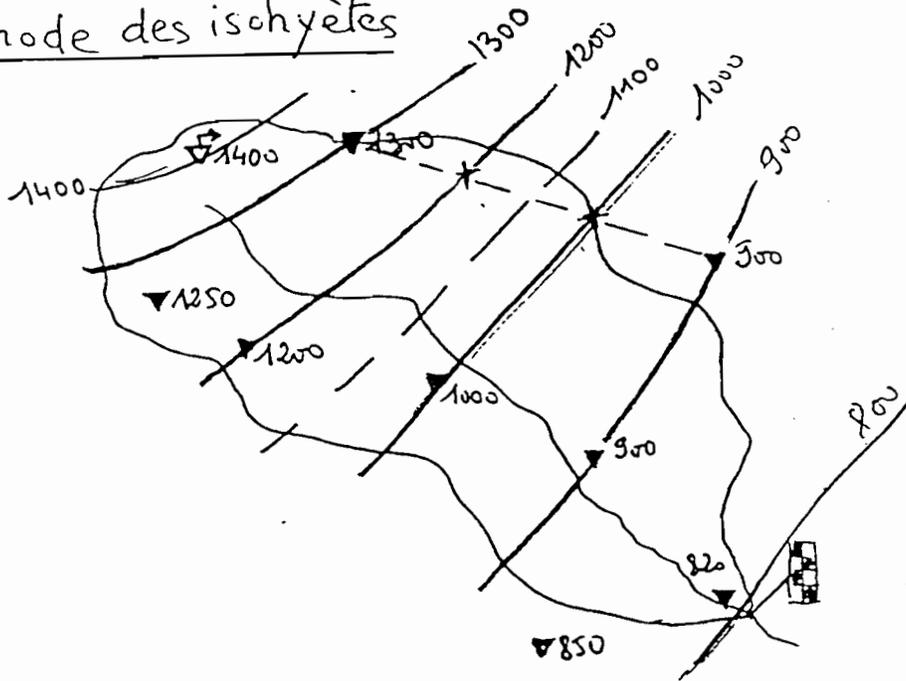


Poste	Surface en cm^2	Coefficients de Thiessen
A	3.10	0.08
B	5.76	0.14
C	5.72	0.14
D	12.62	0.31
E	6.51	0.16
F	7.10	0.17
Total	40.81	1.00

FIGURE 10

Méthode des isohyètes

A



B

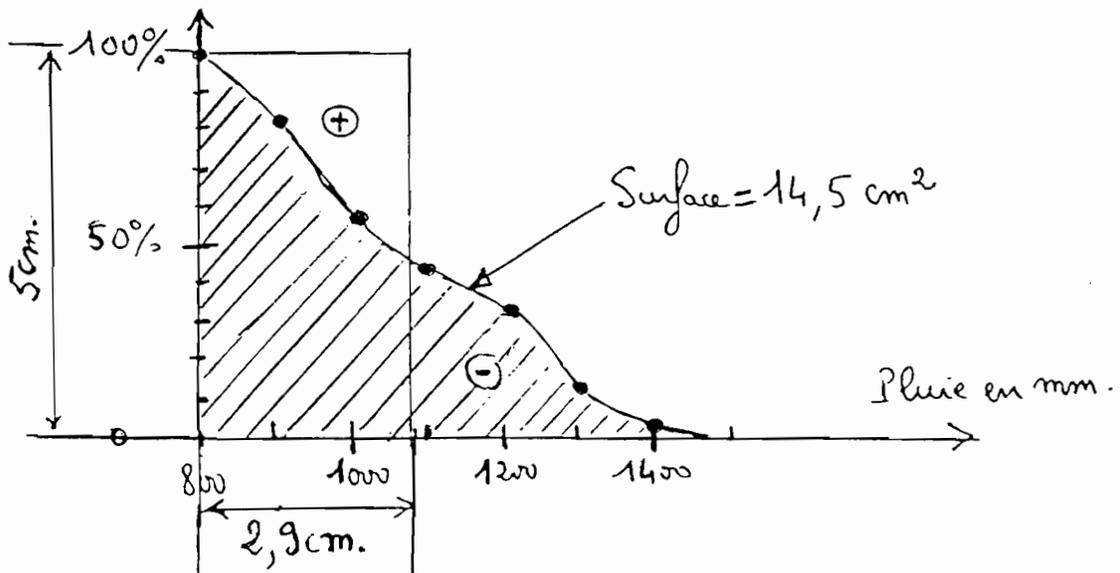
Colonne 1	2	3	4	5	6
Hauteur de pluie, en mm	Surface sur carte en cm ²	% cumulé de Surf. totale	Surf. entre 2 isohyètes, en % (C _i)	Pluie à appliquer (P _i)	Pluie partielle (C _i × P _i)
> 1500	0.	0.00			
> 1400	0.5	0.02	0.02	1420	28.4
> 1300	2.8	0.11	0.09	1350	121.5
> 1200	8.3	0.32	0.21	1250	262.5
> 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

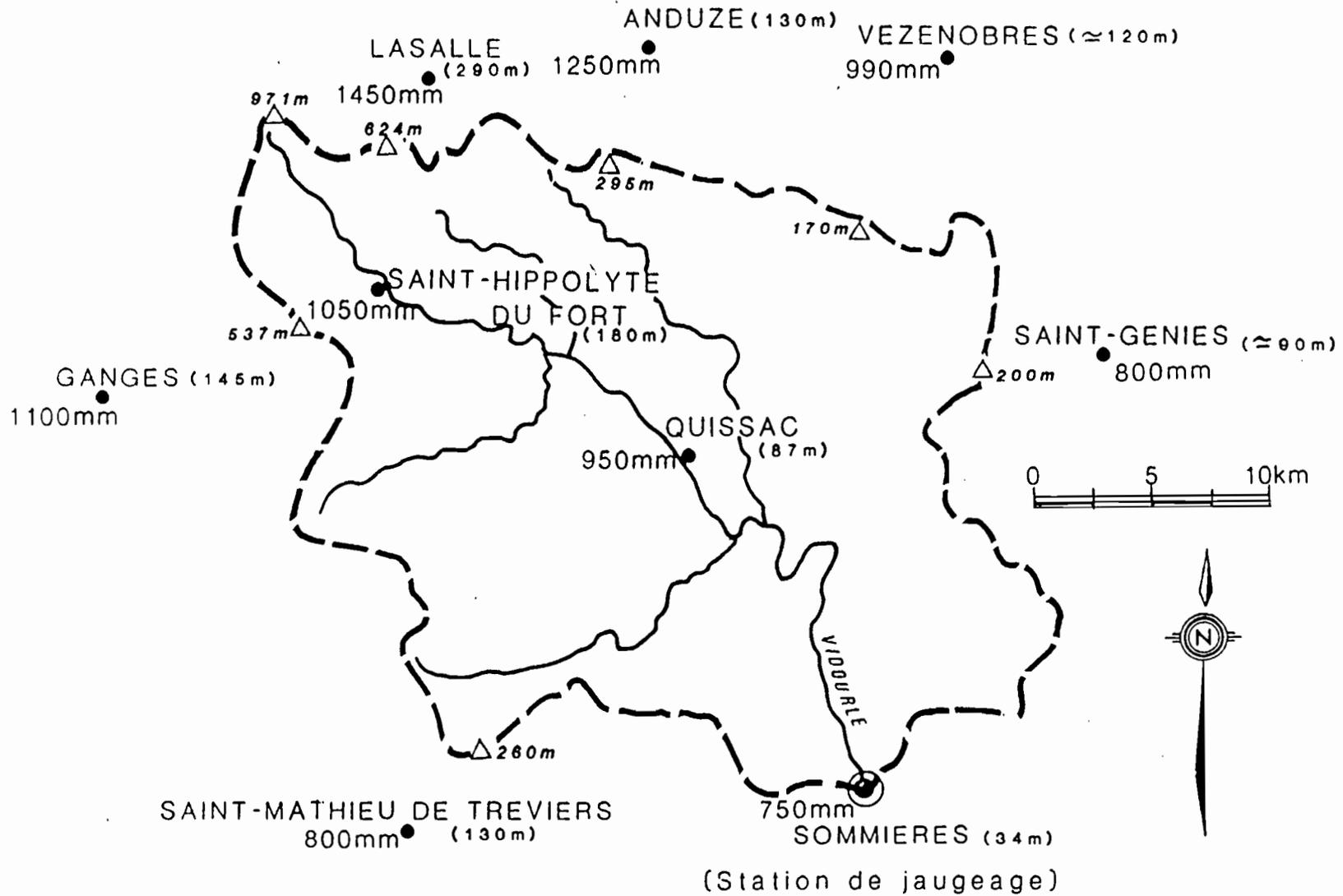
1080.4

Total = Pluie moyenne

C



PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE.



BASSIN VERSANT DU VIDOURLE A SOMMIERES
(630 km²)

FIGURE 11

FIGURE 12

BASSIN VERSANT DU VIDOURLE A SOMMIERES (630 km²)

Planimétrage des surfaces isohyètes

Hauteur de pluie en mm.	Surface en cm ²	% 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 ^t Hippolyte	0,21	Anduze	0,05
Sommières	0,17	Vezenobres	0,03
S ^t Mathieu	0,06	S ^t Genies	0,07
Ganges	0,01		
		TOTAL	1,00

FIGURE 13

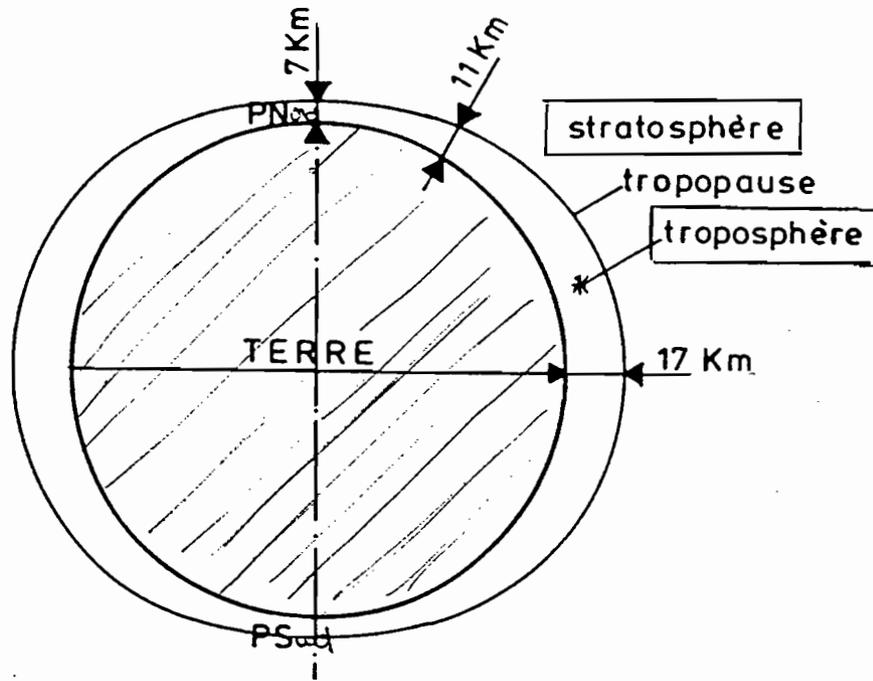
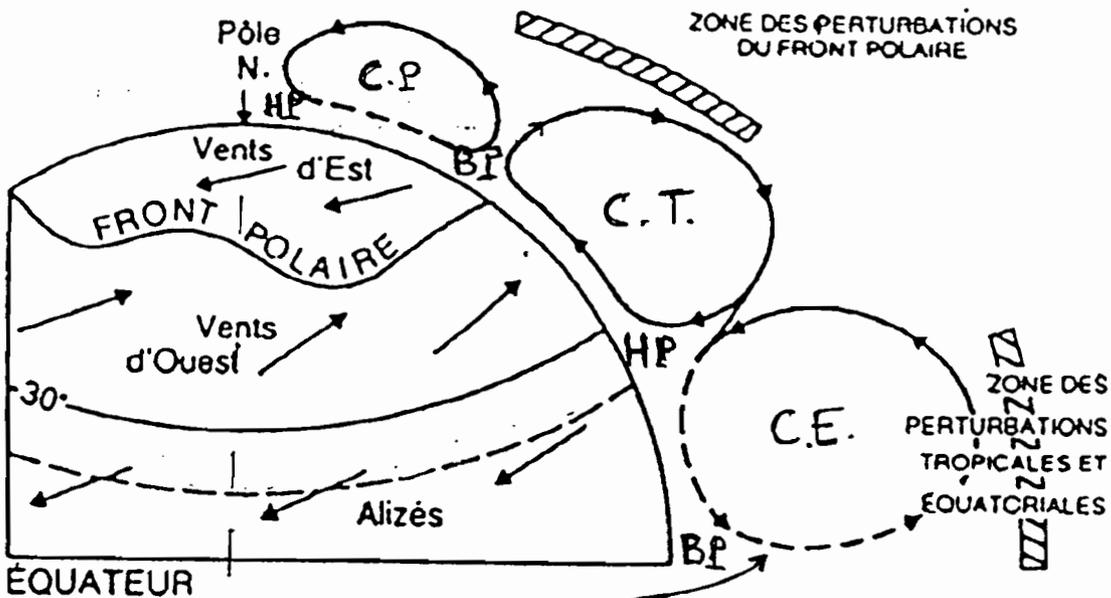


Fig. 1 Les deux couches inférieures de l'atmosphère (d'après I. VIRGATCHIK, 1981)



En Coupe:

→ Vents d'Ouest ← Vents d'Est

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

BP = Basses Pressions (60° N et Equateur)
 HP = Hautes Pressions (25° N et Pôle)

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

FIGURE 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 (Bassin Rond)	Aigues-Vives	Aniane (RC)	Assas (RC)	Avène (Truscas, RC)	Beaufort (RC)	Bédarieux	Béziers (Ville, RC)	Béziers (La Courtade)	Le Bousquet-d'Orb (RC)	Brenas (RC)	Cabrerolles (Fabrègues, RC)	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													
Déc. 1													
Total													
Déc. 2													
Total													
Déc. 3													
TOTAL													
MOIS													

FIGURE 15

BASSIN VERSANT DE LA K O Z A à KPADAVO

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 -*

NOVEMBRE 1982

MEUSE

55

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	
BRAQUIS	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-LES-COTES	550931	*** 0.0 ***	83.3	** 0.00 **	77
CHAUMONT-SUR-AIRE	551081	100.5	88.9	1.13	
CLACON (LF) (SN)	551162	107.4	94.8	1.13	
CLERMONT-EN-ARGONNE	551171	104.9	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	106.7	89.9	1.18	
DIEUE (ECL. 15)	551541	87.3	89.3	.98	
DOMBASLE (SN)	551551	103.2	88.8	1.16	
DOMMARTIN-LA-MONTAGNE	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	

FIGURE 16

FIGURE 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 détariage.

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

PLUIES EN MILLIMETRES/OU DEBITS EN M³/S :

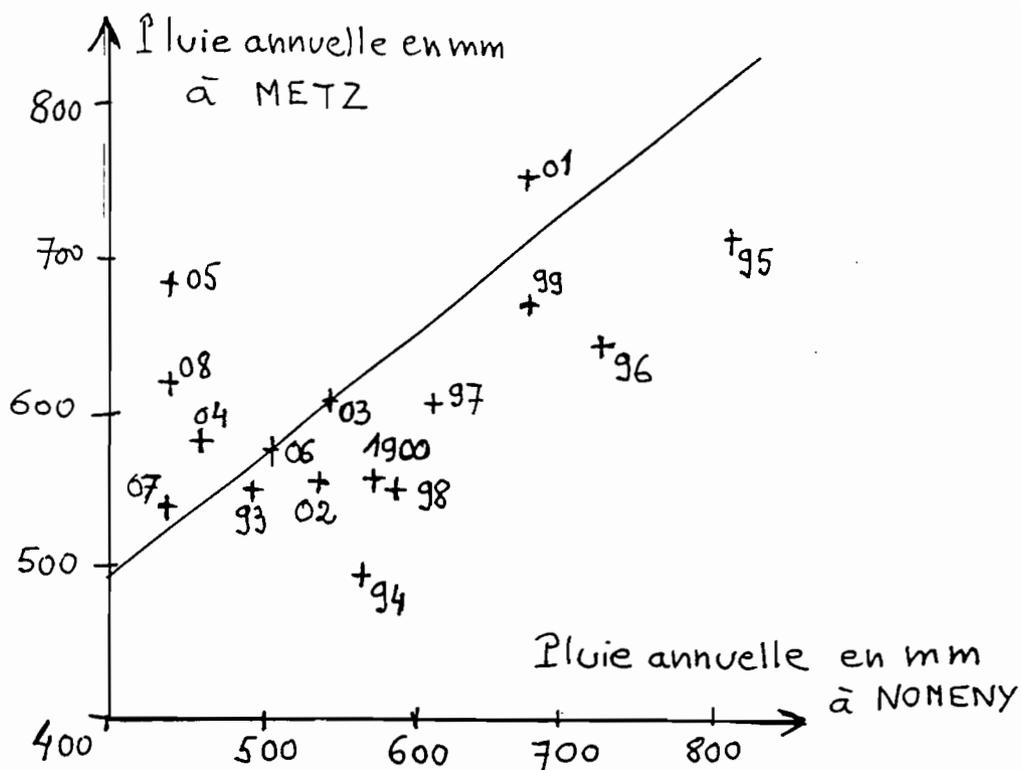
15 premières années	15 années suivantes ; CAS 1	15 années suivantes ; CAS 2
1900. 1320. 1620.	1500. 1960. 1620.	1725. 2254. 1863.
1680. 1520. 1710.	2000. 1920. 1560.	2300. 2208. 1794.
1140. 1940. 1500.	1720. 1520. 1600.	1978. 1748. 1840.
1560. 2000. 1460.	1400. 1140. 1700.	1610. 1311. 1955.
1670. 1450. 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

FIGURE 18

A. Méthode des totaux annuels Comparés



B. Méthode des totaux annuels Cumulés

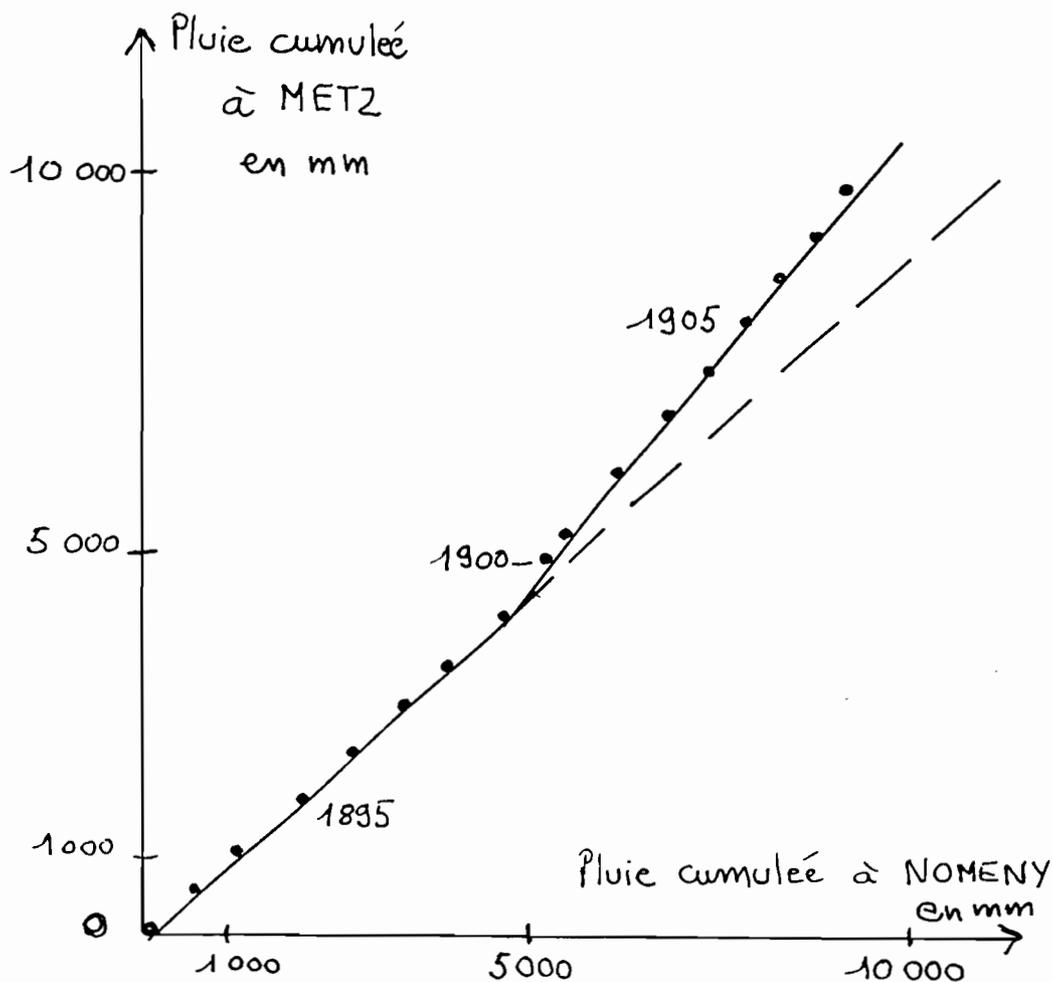


FIGURE 19

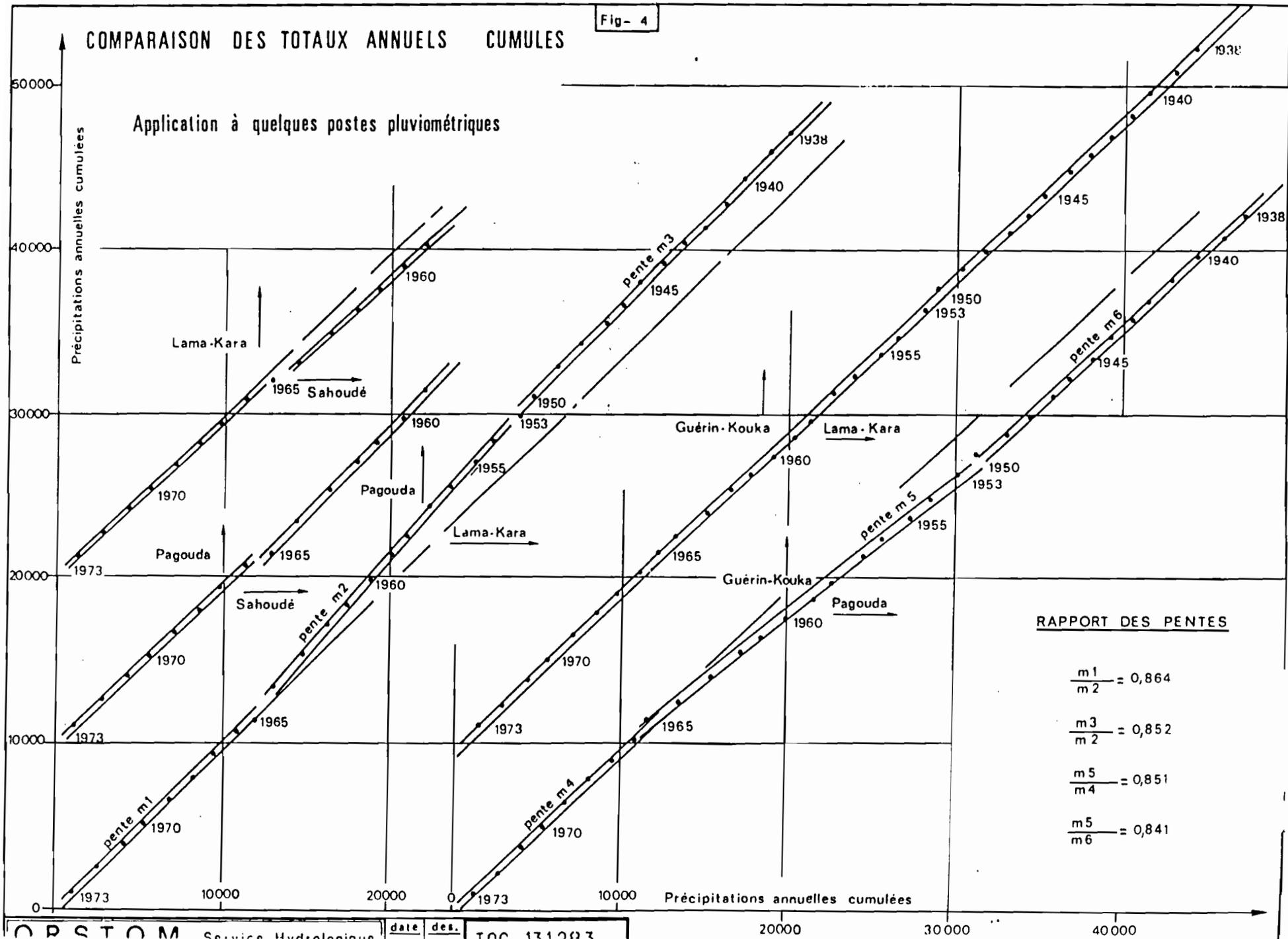
Données anciennes de pluviométrie annuelle
sur le bassin de la Seille (Lorraine) - FRANCE

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

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

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

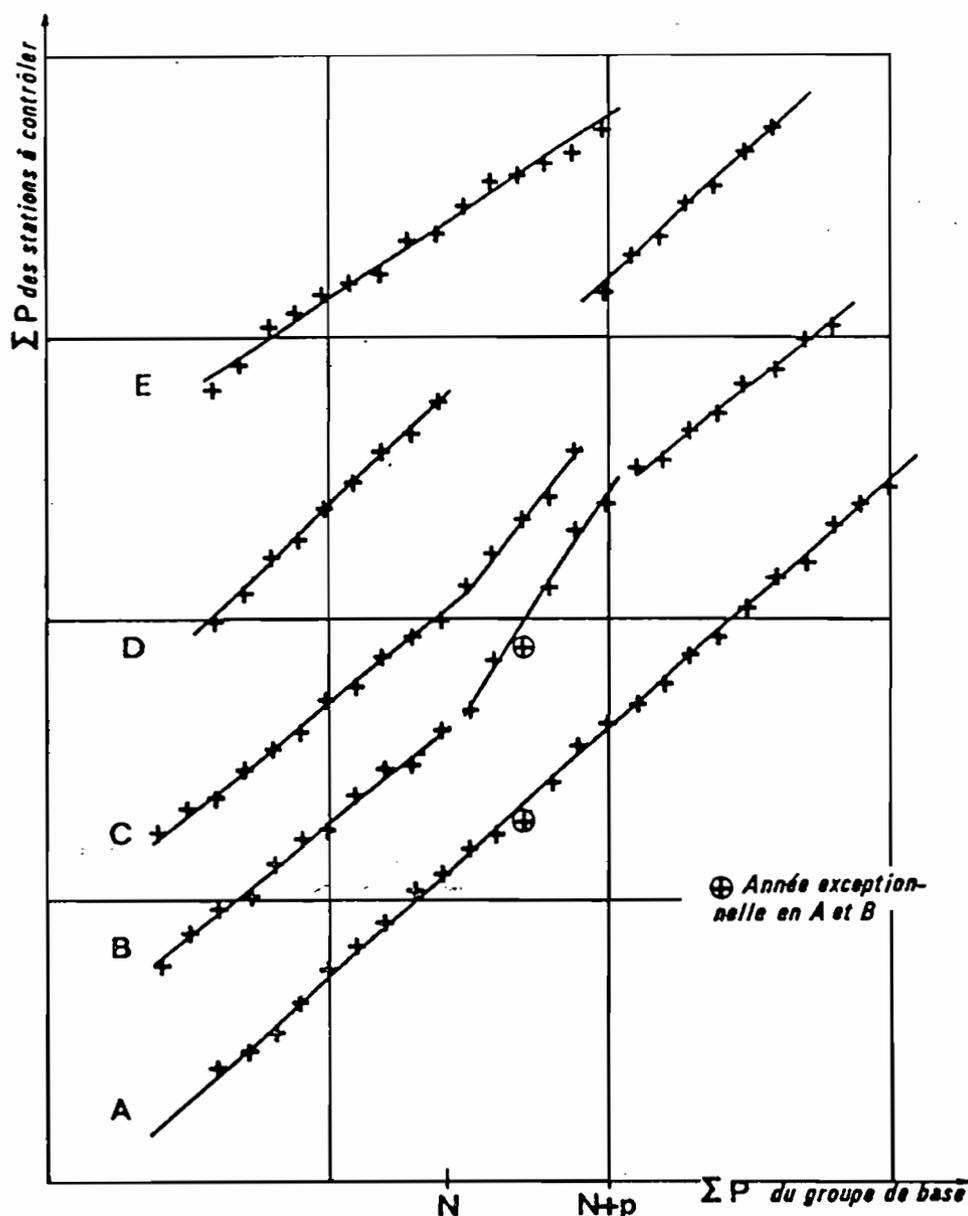
$$\frac{m5}{m4} = 0,851$$

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

FIGURE 20

FIGURE 21

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



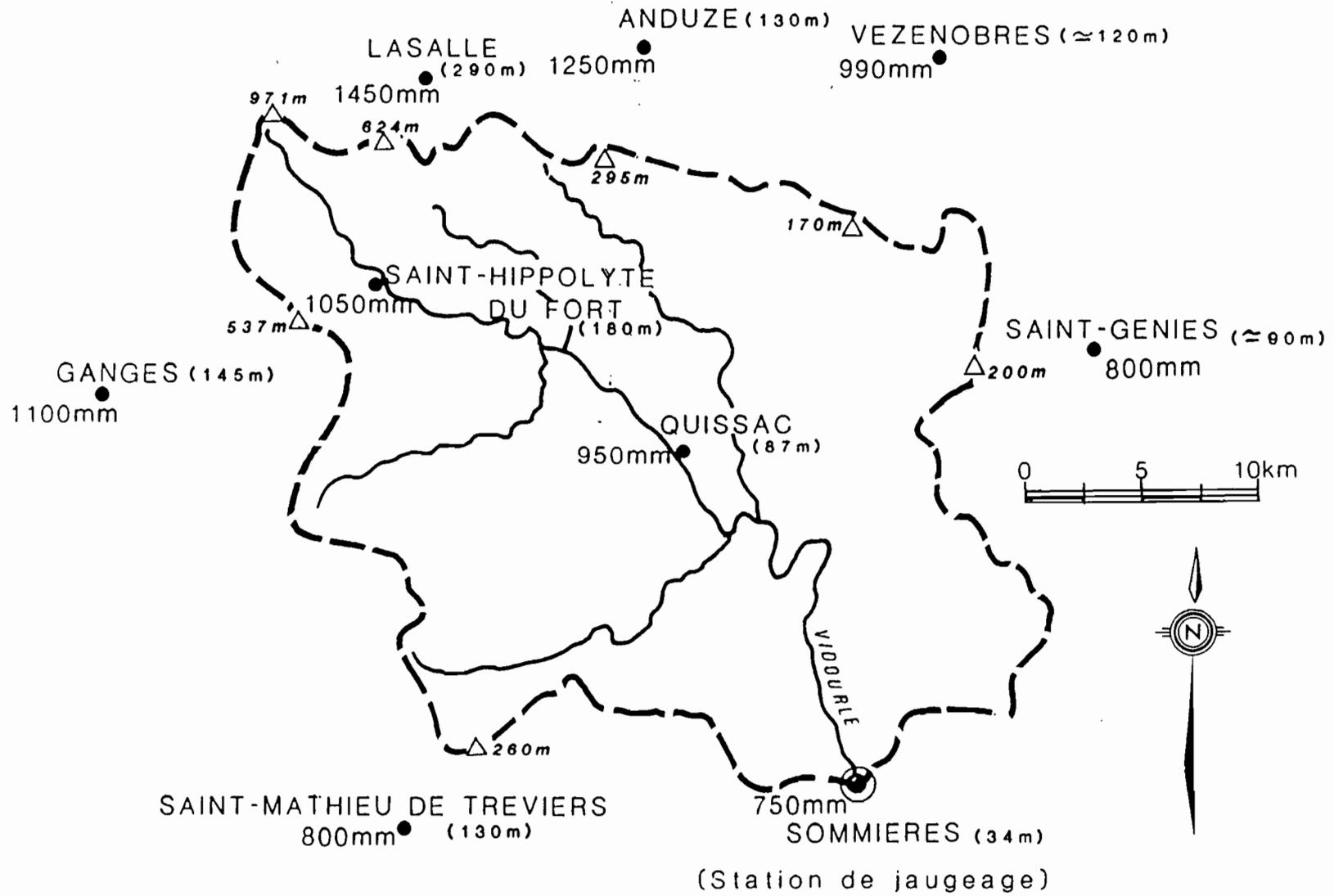
Ceci est illustré par la figure, sur laquelle sont reportées en comparaison d'un groupe de base, 5 stations :

- 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.

PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE.



BASSIN VERSANT DU VIDOURLE A SOMMIERES
(630 km²)

FIGURE 11 Bis