

La mesure correcte des précipitations

Pluviomètre horizontal et pluviomètres inclinés

Correct rainfall measurements

PAR L. SERRA

CHEF DE LA DIVISION « HYDROLOGIE » AUX ÉTUDES ET RECHERCHES D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

English synopsis, p. 112

A part quelques exceptions assez rares (mesures de pluviosité en plaine), les pluviomètres en service dans toutes les parties du monde se trouvent sur des versants à pente plus ou moins inclinée.

A l'origine, tous les réseaux météorologiques ne comportaient que des appareils à surface réceptrice horizontale. Depuis quelque temps, une tendance nouvelle se fait jour : certains préconisent le pluviomètre à surface parallèle à la pente du terrain.

Lors de l'Assemblée générale de l'U.G.G.I. à Bruxelles en août 1951, les deux tendances se sont affrontées : personnellement, je m'étais dé-

claré — et je reste encore — résolument partisan du pluviomètre horizontal.

M. HOECK, de son côté, avait préparé un rapport plutôt favorable au pluviomètre incliné. Le décès de l'auteur, très peu de temps avant l'Assemblée de Bruxelles, n'a pas permis que s'engage une discussion générale.

La question mérite cependant d'être examinée à fond car elle met en jeu le principe même des mesures pluviométriques. Et il appartient au « Comité des Précipitations » (*), dont la mission est précisément l'étude des appareils et des méthodes de mesure, d'émettre un avis et des recommandations sur le choix du type d'appareil à utiliser.

I. — LES DIVERS TYPES DE PLUVIOMÈTRES

A. — LE PLUVIOMÈTRE A SURFACE RÉCEPTRICE HORIZONTALE

Si l'on se rapporte aux définitions mêmes admises par l'Organisation Météorologique Internationale, la précipitation est la quantité d'eau météorique, liquide ou solide, qui traverse une surface horizontale donnée, la section pluviométrique.

Cette surface est matérialisée par l'ouverture réceptrice horizontale du pluviomètre et subsidiairement, quand il s'agit de précipitations solides, par la surface horizontale aussi sur laquelle elles se déposent.

Cette définition est très nette et serait de nature à elle seule à mettre fin à toute controverse : si la surface de l'appareil récepteur n'est

en effet pas horizontale, on mesurera évidemment quelque chose, mais ce ne sera pas la précipitation.

Il serait cependant trop simple de s'en tenir là — et l'on peut se demander si, en fait, il suffit de mesurer cette « autre chose », à condition que la mesure en soit commode, facilement utilisable pour les applications et, en tout cas, suffisamment représentative du phénomène pluie.

* Ce « Comité de Précipitations » de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale a la composition suivante :

MM. G. S. BENTON (U.S.A.); T. BERGERON (Suède); A. JAKHELLN (Norvège); R. K. LINSLEY (U.S.A.); J. LUGEON (Suisse); G. DE MARCHI (Italie); L. PONCELET (Belgique); L. SERRA (France); Ch. THAMS (Suisse).

B. -- LES PLUVIOMÈTRES INCLINÉS

Ils se rattachent à deux types principaux. On peut, en effet :

- Soit utiliser un pluviomètre normal à ouverture circulaire de section S et l'incliner

simplement sans lui apporter d'autre modification. C'est ce type qui paraît avoir été le plus fréquemment employé.

- Soit encore couper, par un plan oblique parallèle au terrain, un tube vertical de section S de façon à obtenir une surface réceptrice de forme elliptique.

II. — ÉTUDE COMPARATIVE DES TROIS TYPES DE PLUVIOMÈTRES

1) Une telle étude peut être abordée de deux façons :

- L'une expérimentale, et c'est la plus courante. Elle consiste à disposer côte à côte deux pluviomètres, l'un à ouverture horizontale, l'autre à ouverture inclinée; on compare ensuite les résultats globaux relevés sur chacun d'eux, et l'on en tire des conclusions... définitives mais pas toujours très logiques.
- L'autre méthode est plus théorique : c'est celle que j'ai adoptée dans ma dernière communication, ce que l'on m'a d'ailleurs un peu reproché.

Ouvrant une parenthèse à ce sujet, je dirai seulement que toute Science — si elle est vraiment digne de ce nom — doit comporter une base théorique. Par la suite, et dans les applications, on pourra être conduit après certaines simplifications à énoncer des « règles pratiques à l'usage de l'utilisateur moyen », mais ces règles ne sauraient avoir comme assise le dosage plus ou moins empirique de recettes de cuisine expérimentales.

Cela dit, quelles sont les grandeurs intervenant dans la mesure des précipitations? Je les rappelle brièvement. Ce sont :

- L'angle α , pente du terrain variant de 0 (terrain horizontal) à $\pi/2$ (falaise verticale).
- L'angle θ , angle que fait avec l'horizontale la trajectoire d'une goutte de pluie arrivant au sol. θ est inférieur à $\pi/2$ lorsque la pluie attaque le versant de face, et supérieur pour des pluies arrivant à contre-pente.
- Enfin, un troisième angle φ , que l'on pourrait appeler « angle d'orientation de la pluie » et dont je reparlerai plus loin.

2) Supposons que nous placions côte à côte trois pluviomètres. L'un horizontal de surface S

(figuré par sa coupe OH), le second de même surface S mais incliné suivant la pente α (figuré par OI avec : $OI = OH$), le troisième incliné aussi mais de surface $S' = S/\cos \alpha$ (figuré par

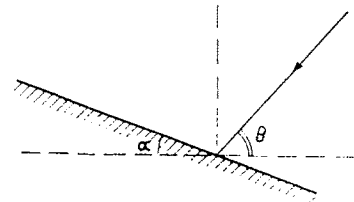


FIG. 1.

OE avec : OF (projection horizontale de OE) = OH).

Les précipitations reçues par chacun d'eux seront respectivement : P_{II} P_I P_E .

$$\text{Evaluons les rapports } \varphi_I = \frac{P_I}{P_{II}} \text{ et } \varphi_E = \frac{P_E}{P_{II}}$$

En admettant une répartition égale des gouttes de pluie tout le long de la base du nuage N, les rapports des précipitations définies ci-dessus

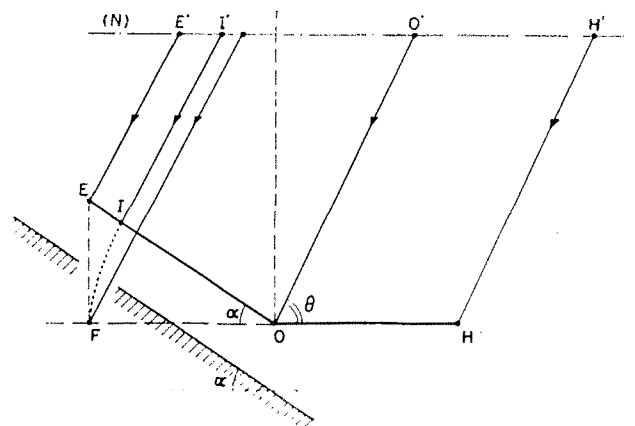


FIG. 2.

sont respectivement égaux aux rapports des longueurs :

$$\frac{O'I'}{O'H'} \text{ et } \frac{O'E'}{O'H'}$$

ce qui donne, en fonction de α et θ :

$$\rho_I = \cos \alpha \left(1 + \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \theta} \right) \quad (1)$$

$$\rho_E = 1 + \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \theta} \quad (2)$$

Ces résultats sont traduits par les graphiques I et II dessinés en coordonnées polaires, ce qui a pour avantage de visualiser les positions par rapport au terrain, de la trajectoire des gouttes de pluie et du pluviomètre lui-même.

La courbe notée (α) est tangente à l'origine à la droite OB faisant l'angle α avec l'horizontale.

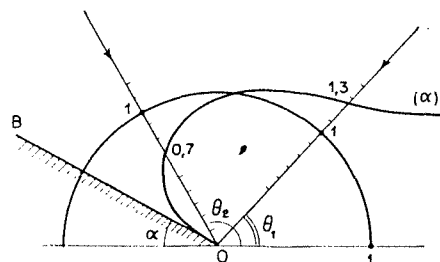
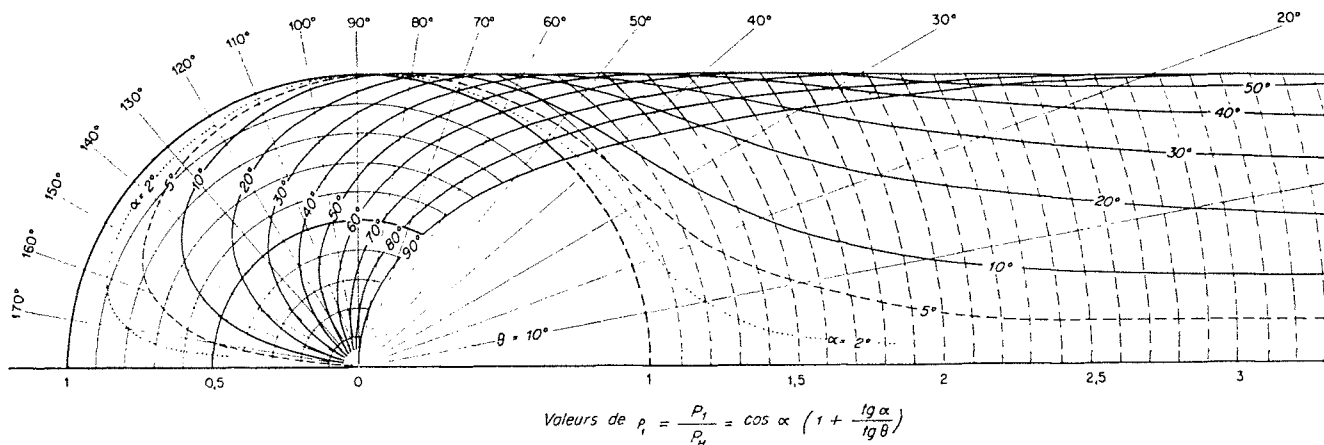


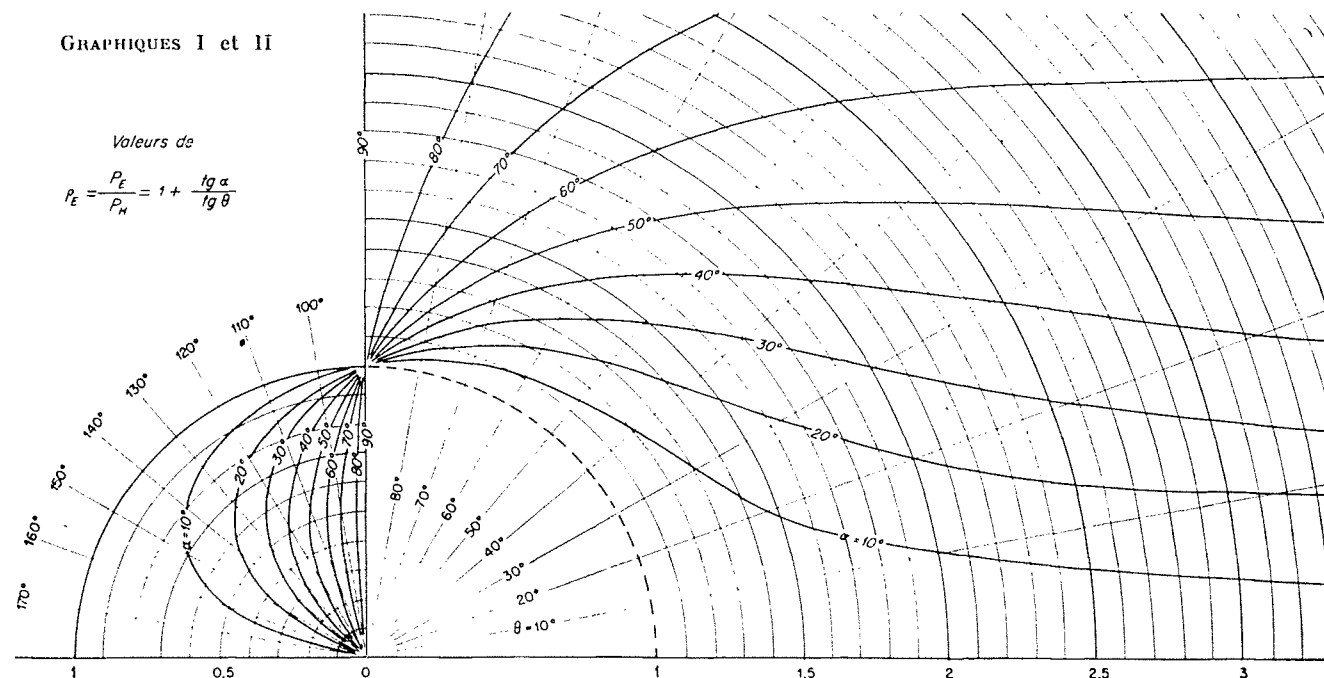
FIG. 3.

Pour une pluie tombant sous l'angle θ_1 , le rapport des précipitations sera par exemple 1,3, c'est-à-dire que le pluviomètre incliné reçoit 1,3 fois plus d'eau que le pluviomètre horizontal.

Si la pluie tombe sous l'angle θ_2 , ce sera au contraire le pluviomètre horizontal qui sera le mieux alimenté puisqu'ici le rapport ρ vaut environ 0,7.



GRAPHIQUES I et II



3) Les graphiques I et II suffisent à expliquer tous les résultats de mesure obtenus par divers expérimentateurs. Ils dispensent à l'avenir de toute mesure comparative supplémentaire entre pluviomètres horizontaux et inclinés.

Quelques exemples le montreront :

a) Prenons d'abord les chiffres cités par M. HOECK pour la Baye de Montreux (voir son « Rapport » à l'Assemblée de Bruxelles 1951 - U.G.G.I., tome III, p. 83).

Si l'on groupe les stations 2 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 qui présentent à peu près les mêmes caractéristiques au point de vue altitude et orientation sur un versant ouest, on voit que :

$$\rho_I = \frac{P_I}{P_H} = 1,08$$

On pouvait s'attendre à trouver une telle valeur. La pente moyenne du versant est en effet 30 à 35°. Avec une inclinaison moyenne des gouttes de 65° environ, valeur très plausible pour des gouttes de dimensions « moyennes » et un vent de l'ordre de 6 à 7 m/s (voir la figure 9 de ma communication précédente), on trouve bien, d'après le graphique I, une valeur de ρ_I de l'ordre de 1,10.

Avec le groupe des stations 1 - 3 - 4 (stations de sommet), on a :

$$\rho_I = \frac{P_I}{P_H} = 1,78$$

La pente moyenne est ici de 40°. D'autre part, l'accélération du vent au voisinage du sommet couche davantage les trajectoires des gouttes sur l'horizontale (le vent moyen qui était sur le versant de 6 à 7 m/s doit atteindre en haut 8 à 10 m/s, ce qui correspond à un angle θ voisin de 35°).

On retrouve encore sur le graphique la valeur obtenue expérimentalement pour ρ_I .

Tout en louant le souci d'exactitude qui a présidé aux mesures faites à la Baye de Montreux, on peut regretter que seules aient été observées des valeurs globales de précipitations : la mesure simultanée d'autres éléments météorologiques, et en particulier du vent, aurait pu permettre des comparaisons extrêmement intéressantes.

b) Autre exemple :

Dans une note adressée à l'Association Météorologique Internationale (Toronto 1947), MM. HESSELBERG et LANGLO présentent les résultats de mesures comparatives effectuées à Bergen.

Les deux pluviomètres, horizontal et incliné, étaient situés sur une pente de 1/10, les vents

pluvieux soufflant dans la direction de la pente maximum. Le calcul des rapports P_I/P_H donne :

Hiver (D.J.F.) . . .	1,08
Printemps.. (M.A.M.) . . .	1,05
Été (J.J.A.) . . .	1,02
Automne... (S.O.N.) . . .	1,03
Année... ..	1,05

Avec une inclinaison des trajectoires des gouttes oscillant autour de 70° — valeur très plausible — on retrouve encore sur le graphique I les valeurs rappelées ci-dessus. Mais comme à la Baye de Montreux il est dommage que le vent n'ait pas été observé.

Il est inutile de poursuivre de tels exemples : toutes les mesures comparatives, si elles sont correctement faites, doivent entrer dans un moule unique synthétisé par le graphique I s'il s'agit d'un pluviomètre simplement incliné, ou le graphique II si on a utilisé un pluviomètre à surface elliptique.

REMARQUE :

Lorsque la pluie, au lieu d'attaquer un versant suivant une direction parallèle à la ligne de plus grande pente, aborde le versant par le travers en faisant avec cette ligne un angle μ , l'angle θ des formules précédentes devra être remplacé par θ_1 (on obtiendra θ_1 , rabattement de θ , par une simple construction graphique telle qu'elle est indiquée sur la figure 4.

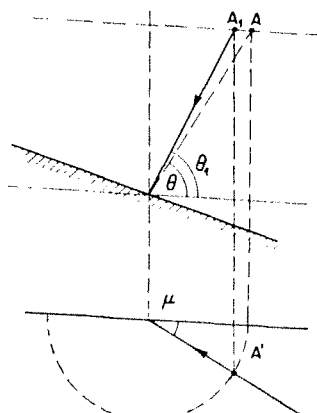


Fig. 4.

Tout se passe comme si les trajectoires de la pluie se rapprochaient un peu plus de la verticale, ce qui aura pour effet d'atténuer les différences de résultats obtenus avec les pluviomètres de divers types.

III. — CONDITIONS PRATIQUES D'EMPLOI DES PLUVIOMÈTRES INCLINÉS

Ainsi donc, il est toujours possible, en principe, de passer, grâce aux relations (1) et (2), des résultats donnés par un pluviomètre d'un certain type à ceux qu'aurait donnés un pluviomètre de type différent.

Dans la pratique, un modèle sera-t-il préférable à l'autre?

C'est précisément à ce souci de plus grande commodité, sinon dans les mesures elles-mêmes du moins dans les applications ultérieures, qu'il faut, semble-t-il, attribuer la tentative d'introduction du pluviomètre incliné dans les réseaux météorologiques. J'ajouterai même, bien qu'à ma connaissance cela n'ait jamais été dit explicitement, qu'il doit y avoir à la base de cette tentative une obscure préoccupation d'hydrologie.

Lorsqu'il s'agit, en effet, d'étudier le bilan hydrologique d'un bassin versant, l'un des termes du bilan est la quantité d'eau reçue par la surface réelle du bassin.

Considérons une partie élémentaire de ce bassin constituée par exemple par un flanc de montagne de pente uniforme α . Les cartes nous donnent la valeur S de la projection horizontale de la surface. La surface réelle vaut $S/\cos \alpha$.

Si l'on dispose d'un pluviomètre incliné du type elliptique, c'est-à-dire de base σ et d'ouverture elliptique dont la surface vaut $\sigma/\cos \alpha$, la quantité d'eau mesurée par cet appareil sera proportionnelle, dans le rapport σ/S , à celle qui est effectivement reçue par le terrain.

Et c'est là que triomphent les partisans du pluviomètre incliné. En effet, disent-ils, avec un tel appareil, une mesure unique de hauteur d'eau est suffisante. Point n'est besoin, comme avec un pluviomètre à ouverture horizontale, d'évaluer aussi l'angle θ de la trajectoire des gouttes, ce qui est d'ailleurs une opération assez délicate et pas toujours bien précise.

C'est évidemment là un argument de poids, mais à l'examen sa portée se révèle très limitée.

Un bassin versant est constitué, nous l'avons vu, d'une multitude d'éléments de terrain de pentes et d'orientations diverses. Or, on ne peut raisonnablement envisager d'installer un pluviomètre sur chacun de ces éléments différents.

Il est cependant facile de voir que les indications données par un appareil ne peuvent être étendues aux autres d'une façon simple. Et j'insiste sur le mot « simple », car théoriquement le problème peut toujours être résolu.

Considérons en effet le cas le plus élémentaire, schématisé par la figure ci-contre où il n'y a qu'une seule rupture de pente sur un versant.

Soient P_A et P'_A les résultats donnés par deux pluviomètres inclinés « elliptiques » situés sur les pentes α et α' . Un troisième pluviomètre auxiliaire à surface horizontale placé en R recevra P_H et l'on a :

$$\frac{P_A}{P_H} = 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \theta} \quad \frac{P'_A}{P_H} = 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \theta}$$

d'où :

$$P'_A = P_A \frac{\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} \alpha}$$

Si l'on ne dispose donc que d'un seul pluviomètre donnant la mesure P_A , on ne pourra en déduire la mesure P'_A de l'autre pluviomètre qu'à la condition d'avoir mesuré aussi $\operatorname{tg} \theta$.

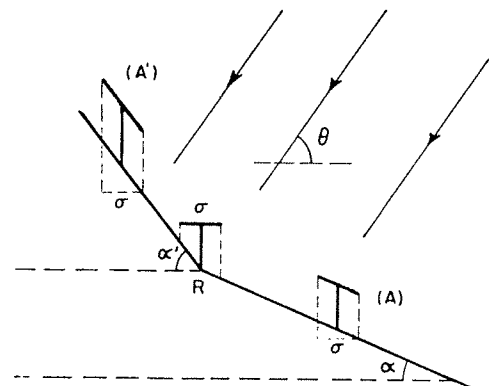


FIG. 5.

C'est ce qu'on était obligé de faire dans le cas du pluviomètre horizontal, ce qui revient à dire, au sujet du pluviomètre incliné, et en parlant comme les joueurs de tennis : « Avantage détruit. »

Si l'on tient cependant à conserver cet avantage, cela ne pourra se faire qu'au prix d'une multiplication — le plus souvent irréalisable — des appareils à mettre en service.

Dans une lettre adressée le 1^{er} décembre 1950 à l'Association d'Hydrologie Scientifique, M. BROOKS, Directeur de l'Observatoire de Blue Hill (Université d'Harvard) et partisan résolu du pluviomètre incliné, admettait que, « pour de simples collines plus ou moins coniques avec des vallées dans des directions variées, il faudrait installer au moins 25 appareils : un dans le bas et un pour les 8 directions sur les parties inférieures des versants, sur les parties moyen-

nes et sur les parties hautes ». Et il ajoutait même : « Des appareils supplémentaires seraient encore nécessaires pour des éléments de versant ayant des pentes sensiblement différen-

tes de la moyenne dans chacune de ces zones. »

C'est là une solution de riche que l'on ne pourra malheureusement pas utiliser bien souvent.

IV. — LE PLUVIOMÈTRE " DOUBLE "

Les deux pluviomètres horizontal et incliné, avec leurs avantages et leurs inconvénients respectifs, font penser à l'aveugle et au paralytique de la fable. Pourquoi dès lors ne pas essayer de les unir et constituer ainsi un dispositif susceptible de donner des observations à la fois précises et facilement exploitables.

C'est cet angle θ_1 qui sera utilisé pour entrer dans le graphique II gradué non plus en valeurs de θ_1 , mais en valeurs de $\text{tg } \theta_1$.

La suite est très simple. A chacun des angles α relatif aux divers éléments du versant correspondra sur le graphique une valeur de P_E/P_H , donc de P_E — d'où l'on déduit par simple proportionnalité la quantité d'eau reçue effectivement par l'élément de pente α .

Deux précautions restent à prendre lors de l'installation du pluviomètre double :

a) La première est plutôt un conseil : il y aura intérêt à ce que la ligne de plus grande pente du plan P et la ligne de plus grande pente du terrain soient situées dans un même plan vertical. La projection horizontale de cette deuxième ligne sert en effet d'axe de référence pour l'angle μ d'orientation de la pluie, et il est inutile d'introduire, avec d'autres axes, des causes d'erreurs supplémentaires.

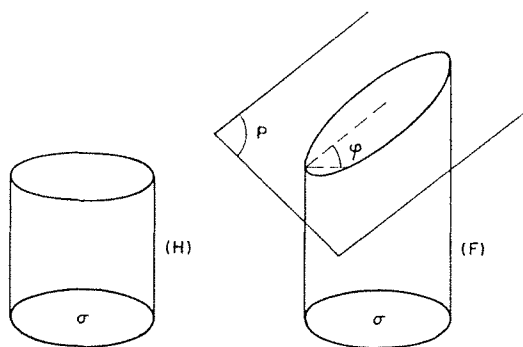


FIG. 6.

Ce dispositif, très simple, peut être réalisé de la façon suivante :

Deux « tubes » cylindriques et parallèles de même section droite σ sont coupés l'un par un plan horizontal, l'autre par un plan P de pente donnée φ .

Les précipitations recueillies par ces deux pluviomètres placés au voisinage l'un de l'autre (par exemple 1 m) sont dans le rapport :

$$\frac{P_F}{P_H} = 1 + \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \theta_1}$$

L'angle φ peut être choisi arbitrairement : en le prenant égal à 45° , on aura $\text{tg } \varphi = 1$, d'où :

$$\text{tg } \theta_1 = \frac{P_H}{P_F - P_H}$$

Les lectures des hauteurs d'eau P_H et P_F recueillies dans chacun des éléments de ce « pluviomètre double » suffisent ainsi à donner une mesure indirecte mais précise de l'angle θ_1 ; angle qui, je le rappelle combine les effets de θ , inclinaison des trajectoires des gouttes sur l'horizontale, et μ angle d'orientation de la pluie.

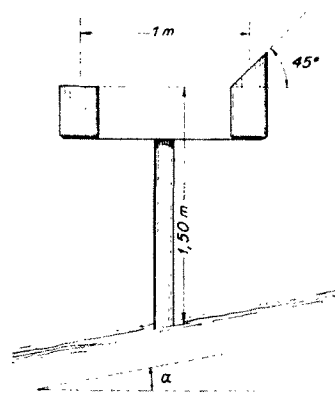


FIG. 7.

b) La deuxième précaution à prendre est impérative : quelle que soit sa position, il est indispensable que le plan de référence P reste fixe. Autrement dit, il faut absolument éviter l'erreur d'imaginer un dispositif permettant d'orienter dans le vent la surface réceptrice du pluviomètre incliné. On ne ferait que mesurer dans ce cas la pluie tombant suivant la ligne de plus grande pente d'un versant toujours orienté face au vent, éliminant ainsi complètement l'influence parfois considérable de l'angle μ d'orientation de la pluie.

V. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

a) Pour mesurer une précipitation — entendue au sens strict de la définition admise par tous les organismes météorologiques mondiaux — *seul* peut convenir le pluviomètre à surface réceptrice horizontale.

b) Dans des cas bien déterminés — et ces cas visent surtout l'hydrologue qui cherche à évaluer la quantité d'eau effectivement reçue par une surface réelle — il peut être commode d'utiliser les indications de pluviomètres à surface réceptrice inclinée. Le type à choisir est le plu-

viomètre à surface elliptique. L'autre (pluviomètre circulaire simplement penché) introduit des complications inutiles.

c) On ne touchera donc pas aux réseaux météorologiques existants pour lesquels on dispose souvent de longues séries de mesures statistiques. Mais l'introduction de « pluviomètres doubles » peut être de nature à donner des indications faciles à obtenir et d'utilisation commode dans tous les cas d'application.

Discussion

M. le Président MASSÉ estime que le meilleur pluviomètre pour les hydrologues est celui qui donne, non le plus de pluie, mais le renseignement le plus utile.

M. FERRY précise que, même pour l'hydrologue, l'utilisation du pluviomètre incliné qui ne représente qu'une aire limitée de même pente autour de lui, ne s'impose que dans des cas tout à fait exceptionnels : ceux où l'on cherche une analyse très poussée et très fine d'un bassin de superficie réduite; c'est le cas de la Baye de Montreux, bassin expérimental en Suisse, où M. HOECK a été conduit à adopter le pluviomètre incliné.

M. HUPNER rappelle que l'utilisation des pluviomètres à section elliptique, introduit une innovation dans la normalisation des dimensions et des dispositions des pluviomètres qui, jusqu'à une date récente, était considérée comme réglée.

Dans ces conditions, M. HUPNER demande si l'on a fait des expériences pour voir, comme on l'a constaté pour les essais de matériaux ou pour l'évaporation, si des mesures faites avec des pluviomètres de plus grande dimension présenteraient une dispersion moins grande que celle que M. SERRA, dans une séance précédente, a signalée, pour un assez grand nombre de pluviomètres installés sur une surface horizontale assez restreinte.

M. SERRA répond qu'on a effectivement trouvé des différences relatives entre les lectures de pluviomètres de diamètres différents, de quelques décimètres jusqu'à 2 mètres, placés côte à côte, mais la rareté de ces comparaisons ne permet pas de conclure sur la grandeur optimum des pluviomètres.

M. REMENIERAS demande si les conclusions de M. SERRA, basées uniquement sur une étude géométrique de la pluie, restent valables *grosso modo* si l'on tient compte, en outre des phénomènes aérodynamiques dus à l'action du vent aux abords du pluviomètre.

M. SERRA estime, d'après les essais de pluviomètres en soufflerie, que ces conclusions doivent subsister d'une façon assez grossière, le flux des gouttelettes n'étant tordu ou soufflé qu'à la fin de la trajectoire, c'est-à-dire à 50 cm environ au-dessus du pluviomètre, ce qui ne doit guère changer la quantité de pluie recueillie.

M. TISSIER se demande si la méthode de calcul de l'angle θ d'après les lectures de deux pluviomètres associés, distants d'un mètre environ, ne serait pas faussée

par la dispersion des résultats entre pluviomètres très rapprochés que vient de rappeler M. HUPNER.

M. SERRA répond que les études sur cette dispersion se poursuivent et permettront prochainement de fixer la distance maximum des deux pluviomètres associés pour le calcul de θ , celle-ci étant évaluée entre temps à 1 mètre dans le seul but de fixer les idées. Un pluviomètre double est en cours d'installation au cap Fréhel, site particulièrement exposé au vent.

M. BATIGLE pense que l'angle θ est la véritable donnée du problème puisque la densité de la pluie perpendiculairement à sa direction est la quantité intéressante et qu'elle est indépendante de la forme du sol. Pour éliminer la dispersion, il suffira de répartir sur la surface considérée un certain nombre de ces doubles pluviomètres et intégrer leurs résultats.

M. le Président rappelle que les averses n'ont pas toujours la même direction, ce qui nécessiterait soit un relevé des pluviomètres doubles après chaque averse, soit un enregistrement de leurs résultats.

M. BOURRIER pense que pour une averse déterminée, l'angle θ est aussi fonction du diamètre des gouttes exposées au vent.

M. MORLAT s'associe à la remarque de M. FERRY : l'utilisation de pluviomètres inclinés ne prend toute sa valeur que si l'on désire analyser les précipitations sur un versant : il est malheureusement assez rare que la répartition des points de mesures autorise une telle analyse.

Dans les autres cas, le pluviomètre horizontal constitue en principe l'appareil adéquat pour l'évaluation de la pluie tombée sur l'ensemble d'un bassin. Il reste la possibilité que le pluviomètre incliné permette une correction meilleure de l'effet perturbateur du vent.

M. ROBERT demande si on a expérimenté l'influence sur le champ de pluie, donc sur les mesures, de l'insertion du pluviomètre lui-même dans ce champ.

M. SERRA indique que les essais en soufflerie avec vent de 20 à 25 mètres par seconde, révèlent un déficit de l'ordre de 5 % sur un pluviomètre ordinaire. Ces essais se poursuivent.

M. le Président conclut que les suggestions émises au cours du débat tracent à M. SERRA un programme de perfectionnement des résultats déjà satisfaisants qu'il vient d'exposer.