

Pierre POURRUT \*

# Utilisation pratique de l'humidimètre à neutrons pour les mesures hydrologiques

## Premiers résultats obtenus sur le bassin versant représentatif de la Tafäina (République Malgache)

---

Campagne 1966-1967

---

\* Ingénieur hydrologue à l'O.R.S.T.O.M.

On admet dans cette note que la théorie des mesures neutroniques et la description détaillée des appareillages sont connues du lecteur. Celui-ci voudra bien se reporter à la littérature spécialisée, et entre autres parmi les publications à diffusion interne du Service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. à la Note Technique n° 10 (1) dans laquelle J. HERBAUD fait le point de cette question fin 1967. Il n'est donc pas question ici de revenir sur ces problèmes, mais simplement de faire part aux futurs utilisateurs de l'expérience acquise par un hydrologue ayant effectué une année de mesures sur le terrain dans des conditions météorologiques diverses, en période de sécheresse comme sous la pluie. Nous nous efforcerons également de consigner le plus brièvement possible les résultats déjà obtenus et les espoirs permis.

Il faut préciser que, dès 1961, M. RIVIÈRE, pédologue O.R.S.T.O.M., employait la sonde à neutrons sur le bassin versant d'Androvakely. Ces mesures poursuivies pendant un an ont été abandonnées, l'appareillage n'étant pas encore tout à fait au point et les résultats obtenus sont peu valables.

En 1966, le programme de la Section d'Hydrologie du Centre O.R.S.T.O.M. de Tananarive comporte l'étude du bilan hydrique total du bassin versant représentatif de la Tafaina. Cette étude nécessite, entre autres, la mesure de l'humidité dans le sol. L'emploi de la tarière pour l'exécution d'un profil hydrique classique étant difficile à réaliser, vu l'hétérogénéité du sol même à très faible échelle (stone-lines gênant l'enfoncement de l'appareil), le seul instrument capable de donner des mesures d'humidité comparatives en un même point était l'humidimètre à neutrons. Des contacts furent pris avec le Laboratoire de Radio-Isotopes qui mit à notre disposition un ensemble IP et HP 110. L'installation de quatre tubes de mesures commençait en août 1966.

Nous remercions ici le Laboratoire de Radio-Isotopes de Madagascar et plus particulièrement, M. DELORME, Directeur du Laboratoire, MM. BUSCARLET et MOUTONNET du Service de Radio Agronomie et M. SEREN, responsable de l'Électronique.

## I. - MODE OPÉRATOIRE

### 1.1. — Étalonnage.

Malgré les explications détaillées de la note technique n° 10, nous nous permettons d'insister sur ce point, parce qu'il est capital et que de nombreux tâtonnements ont été nécessaires avant d'arriver à des résultats satisfaisants. La facilité de l'opération est très théorique et, sur le terrain, il en va autrement, surtout si le sol est très hétérogène.

Dans le cas précis du bassin versant de la Tafaina, nous avons pourtant la chance d'être guidés par M. BUSCARLET qui, de son côté, essayait de mettre au point une méthode d'étalonnage en laboratoire. Tout a été mis en œuvre : DP 310 et densimètre à membrane, prélèvements de plusieurs centaines de kilogrammes de terre pour mesures en petits et grands fûts, sols reconstitués, tamisés ou broyés, avec mélange de polystyrène expansé en plus ou moins grande quantité destiné à représenter l'eau dans le sol.

Alors que les résultats ont été bons pour des terrains plus homogènes, les mesures en laboratoire sur sol de la Tafaina ont montré une dispersion inacceptable. *Nous conseillons donc* aux futurs utilisateurs *de procéder à « l'étalonnage en champ »* et, si possible, *de suivre le processus suivant :*

a) Ne pas essayer d'implanter des tubes de mesure n'importe où. Dans la mesure du possible, préférer *un endroit relativement plat*, où quelques sondages à la tarière auront prouvé que les cailloux ne sont pas trop nombreux et que la tranche superficielle du sol, sur au moins cinquante centimètres, semble assez homogène (2).

---

(1) « Renseignements concernant les humidimètres à neutrons et les densimètres à rayons  $\gamma$  adaptés aux mesures dans le sol » par Jacques HERBAUD, septembre 1967.

(2) Ceci est une difficulté pour les terrains peu homogènes, à horizon superficiel peu épais et très différent des horizons suivants, par exemple (N.D.L.R.).

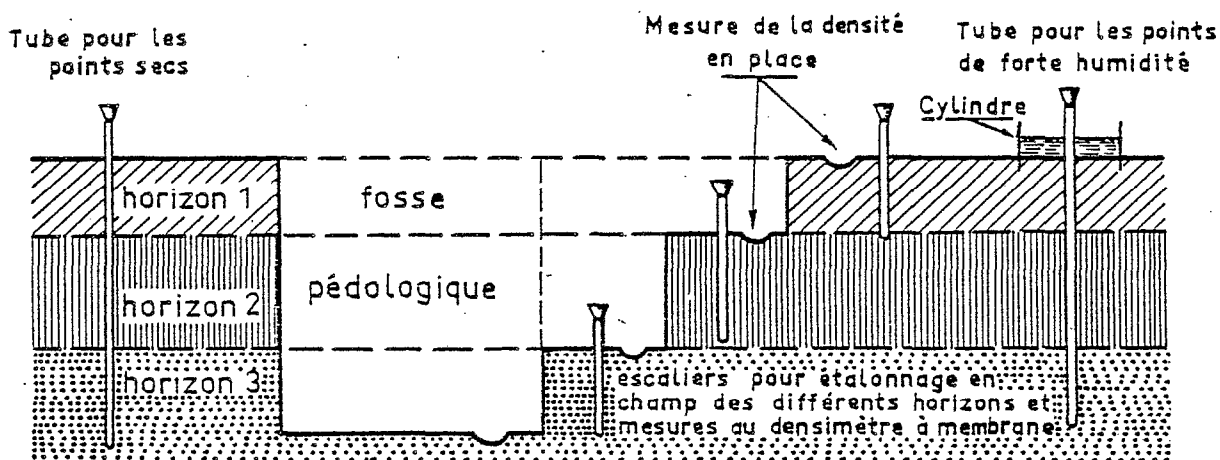


FIG. 1. — Schéma du dispositif utilisé sur la TAFAINA pour l'étalonnage en champ.

b) *Mettre en place les tubes.* Les installer le plus longtemps possible avant la période envisagée pour les mesures. La tarière utilisée doit avoir un diamètre correspondant au diamètre extérieur du tube. Mieux vaut en effet mettre en place celui-ci légèrement en force plutôt que d'avoir des vides trop nombreux qui, s'ils ne sont pas comblés, risquent de provoquer des perturbations dans les profils.

c) *Creuser une fosse* de 1,5 mètre de long sur 1 mètre de large, la profondeur étant fonction de la longueur du tube prévu pour la mesure.

d) Faire appel à un pédologue qui, après examen visuel et à l'aide de prélèvements, décrira le profil et déterminera les limites entre tranches de sol pouvant être considérées comme grossièrement identiques. Des marches d'escalier latérales seront utilisées pour la mesure de la densité en place à l'aide d'un densimètre à membrane.

Si les horizons sont trop nombreux, il vaut mieux choisir un autre emplacement car à chaque horizon va correspondre une courbe d'étalonnage différente (1).

e) *Étalonner en place*, suivant le nombre de tranches de sol définies (fig. 1). Au cours du forage à la tarière pour l'implantation des tubes, prélever des échantillons tous les vingt centimètres pour détermination en laboratoire de la quantité d'eau contenue. Dès que le tube est installé, faire une mesure à l'humidimètre à chaque point de prélèvement des échantillons.

Ce profil n'est pas très valable car le tube n'est pas encore en place, mais il donne une première indication que l'on compare avec les résultats obtenus en laboratoire sur les échantillons prélevés.

f) *De fréquents arrosages* sont alors nécessaires pour permettre le tassement du sol et le comblement des vides subsistant autour du tube lors du creusement. Un « temps de repos », au minimum égal à un mois, doit être observé.

g) On peut alors procéder à « l'étalonnage en champ » proprement dit. Pour cela, on compare les mesures à l'humidimètre et le profil tracé à partir de l'humidité moyenne de trois échantillons prélevés en triangle à égale distance du tube et le plus près possible de celui-ci.

h) Pour obtenir un meilleur étalonnage sur une gamme plus étendue d'humidité, on installe deux tubes à proximité de la fosse. L'un servira pour l'étalonnage pendant une période sèche.

(1) Il y a beaucoup de terrains où ce choix n'est pas possible (N.D.L.R.).

L'autre sera placé à l'intérieur d'un cylindre d'un mètre de diamètre environ, de 50 cm de hauteur et enfoncé dans le sol d'environ 20 cm. Le sol à l'intérieur du cylindre sera humecté par un apport quotidien, pendant une semaine, de 50 litres d'eau. On peut ensuite faire des mesures de référence le long du profil pour les points humides.

i) On obtient, pour chaque horizon, une courbe d'étalonnage dont l'équation est de la forme  $y = ax + b$ . Ainsi, pour le bassin versant de la Tafaina, sur la parcelle n° 1 (voir fig. 2), nous avons :

$$\begin{array}{ll} \text{de 0 à 1 m (colluvions)} & H_v = 22,1 R - 2,65 \\ \text{au-dessous de 1 m (zone de départ)} & H_v = 30,06 R - 7,15 \end{array}$$

R est, pour chaque point de mesure, le rapport lecture/lecture de référence étui.  
 $H_v$  est l'humidité volumique partielle, l'eau de composition n'étant pas incluse.

Cette eau de composition est connue par dessiccation des échantillons à 850° C. Pour  $H_w$ , humidité volumique totale, les deux formules ci-dessus sont transformées en :

$$\begin{array}{ll} H_w \text{ surface} & = 22,1 R + 9 \\ H_w \text{ profondeur} & = 30,06 R - 1,05 \end{array}$$

j) Récemment une nouvelle méthode d'étalonnage, basée sur l'analyse chimique des sols, a été mise au point par P. COUCHAT au Centre de Recherches Nucléaires de Gadarrache. Nous lui

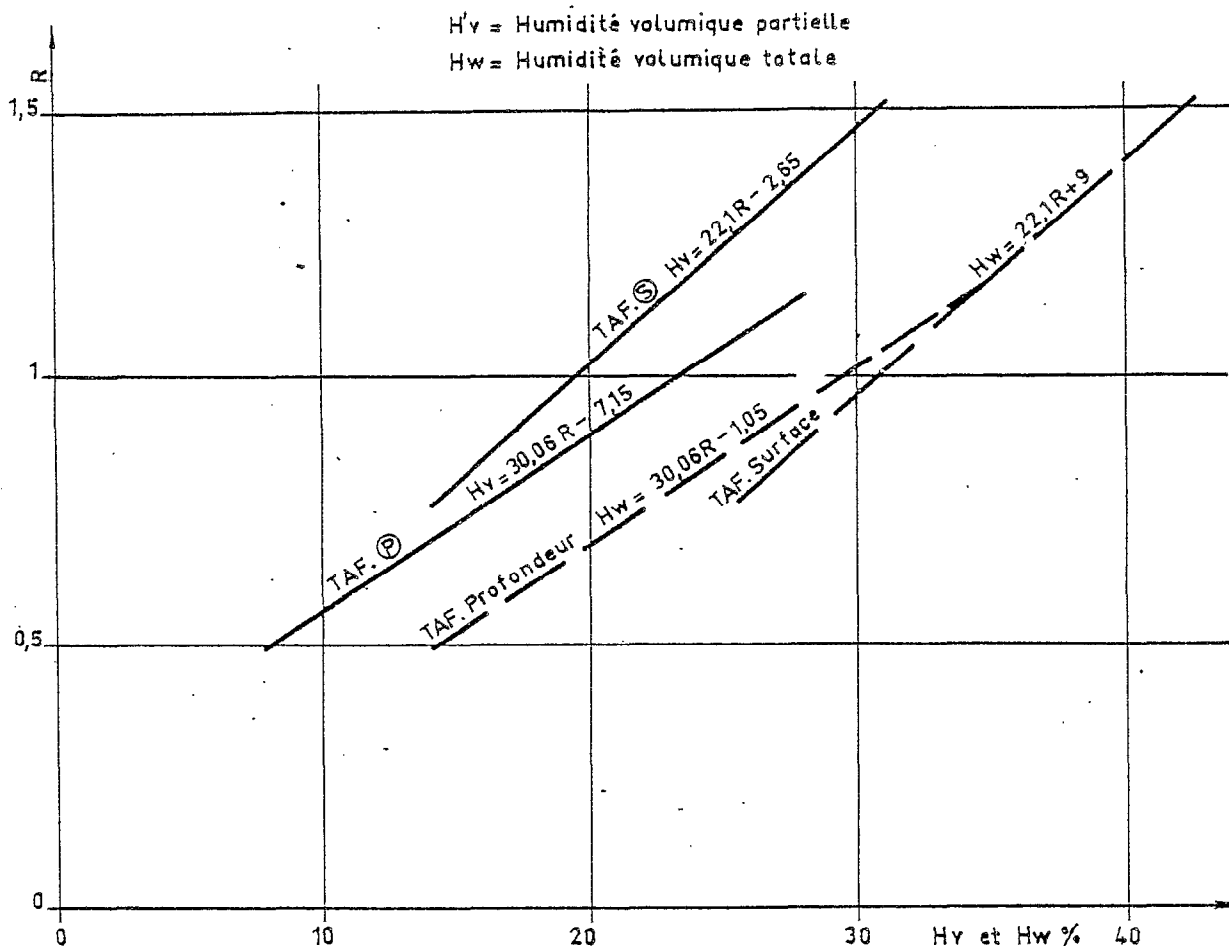


FIG. 2. — Sol de la TAFAINA. Courbes d'étalonnage.

avons fourni les analyses correspondant aux divers horizons des sondages du Bassin de la Tafaiña, et il doit en déduire les paramètres des formules de calcul de  $a$  et  $b$ , valables pour toutes les variantes de composition chimique susceptibles d'être rencontrées dans la zone étudiée. Nous n'avons pas encore les résultats mais l'étalonnage calculé, ne nécessitant pour un nouvel emplacement qu'une série d'analyses de laboratoire doit, dans tous les cas, pouvoir être comparé très utilement avec l'étalonnage en champ.

## 1.2. — Appareillage utilisé et modifications apportées en cours d'utilisation.

a) *Humidité en profondeur.* L'équipement HP, IP et EC 310 a été décrit dans la Note Technique n° 10. Moderne, l'IP 310 a l'avantage de posséder une gamme étendue, des constantes de temps réglables. On peut de plus lui adjoindre une échelle de comptage qui simplifie les lectures. Il a malheureusement l'inconvénient d'être alimenté par une batterie. Inconvénient mineur si on travaille en laboratoire, majeur pour un hydrologue installé en brousse avec des sources d'électricité sujettes à des pannes plus ou moins fréquentes (1). Le modèle antérieur : IP 110, a une gamme plus réduite allant jusqu'à 500 C/s. Par contre, il est plus léger et est alimenté par une série de quatre piles rondes ordinaires de 1,5 volts, avantage certain pour travailler sur le terrain. Les lectures sont plus longues (temps de stabilisation) et plus fastidieuses qu'avec une échelle de comptage car elles demandent une attention soutenue pour repérer le maximum et le minimum d'impulsions par seconde. C'est ce dernier équipement qui est utilisé sur le bassin versant de la Tafaiña.

Il a, en saison sèche, donné toute satisfaction. En saison des pluies, par contre, les pannes dues à des chutes de tension brutales, provoquées par des amorçages dans la plaque très haute tension, ont été fréquentes. Ces amorçages avec la masse résultent d'une diminution de l'isolement par suite de l'humidité régnant à l'intérieur de l'appareil malgré les soins apportés pour sa protection pendant les mesures.

De là un impératif catégorique : *étanchéité absolue de l'intégrateur.* Bien que cet appareil soit donné pour parfaitement étanche, notre expérience nous a appris qu'il valait mieux prendre certaines mesures de sécurité. Les points par lesquels l'humidité pénètre le plus facilement sont les prises pour le branchement du câble et de l'enregistreur. La marque donnant actuellement le maximum de garanties est la « DEUTSCH », surtout si on enduit ses éléments de graisse au silicone. Une précaution supplémentaire indispensable est l'enrobage de la plaquette T.H.T., soit avec de l'araldite, soit avec de la résine S.I. 184 (2). Nous préférons cette dernière, plus souple et qui, s'enlevant en lamelles, facilite le dépannage. Enfin, et dans le cas où l'intégrateur tomberait quand même en panne, il faut avoir une plaquette T.H.T. en réserve. Son remplacement, d'une extrême facilité, peut être fait par n'importe qui en quelques minutes.

L'humidimètre pose moins de problèmes. Cependant, afin de pouvoir changer la profondeur de mesure au cours d'une pluie battante sans risquer la pénétration d'eau dans l'étui, une gaine de plastique transparent de 60 à 80 cm de diamètre et de 1 m de long est utile. Cette gaine recouvrira la partie supérieure de l'humidimètre et une partie du câble. Nous attirons l'attention sur la nécessité absolue de ne pas brutaliser le câble et d'éviter en particulier la formation de coques.

Pour suivre l'évolution de l'humidité à une profondeur donnée, nous avons également utilisé un enregistreur MECI alimenté par une batterie de 12 V 180 A/h, dont le courant continu était transformé en courant alternatif par un convertisseur R.C.A.

Depuis novembre 1967, nous utilisons, pour l'alimentation de l'enregistreur, un groupe électrogène HONDA, 250 W, 220 V alternatif, 12 V continu. D'un transport facile et d'un encombrement minimal, son fonctionnement est satisfaisant, mais il faut malgré tout adjoindre un régulateur de tension, qui peut, dans certains cas, faire partie de l'enregistreur.

Cet équipement assez encombrant nécessiterait, pour une exploitation facile, un véhicule spécialement aménagé. Son utilisation avec un pick-up Land Rover ordinaire pose parfois quelques

(1) Des batteries de qualité peuvent se trouver maintenant dans le commerce, et cet inconvénient doit disparaître (N.D.L.R.).

(2) A employer avec le catalyseur XY 23 A. fourni par la Société Industrielle des Silicones, 10, avenue Franklin-Roosevelt, Paris (8<sup>e</sup>).

problèmes, surtout en ce qui concerne le transport sur mauvaises pistes. Il existe des appareils de terrain convenant beaucoup mieux aux conditions de travail des hydrologues. Ce sont des enregistreurs potentiométriques portatifs à transistors type E.T.P. 3, fabriqués par S.R.A.T. (1), avec batterie interne. L'autonomie est de 45 heures, le poids total de 12 kg et l'encombrement très faible.

b) *Humidité en surface.* Le problème des mesures de surface est complexe. Nous avons essayé l'humidimètre HS 310. Sans vouloir dénigrer l'intérêt de cet appareil, il ne peut être utilisé qu'en saison sèche et pour une surface préalablement aplanie et nue. Il semble donc assez peu approprié aux mesures de terrain. Sur la Tafaïna, nous nous sommes contentés de faire des mesures à 10 cm de profondeur avec le HP 110. Une courbe corrective (voir fig. 3) tracée en laboratoire avec l'aide de réflecteurs en graphite placés en surface, nous donne l'humidité moyenne pour les dix premiers centimètres.

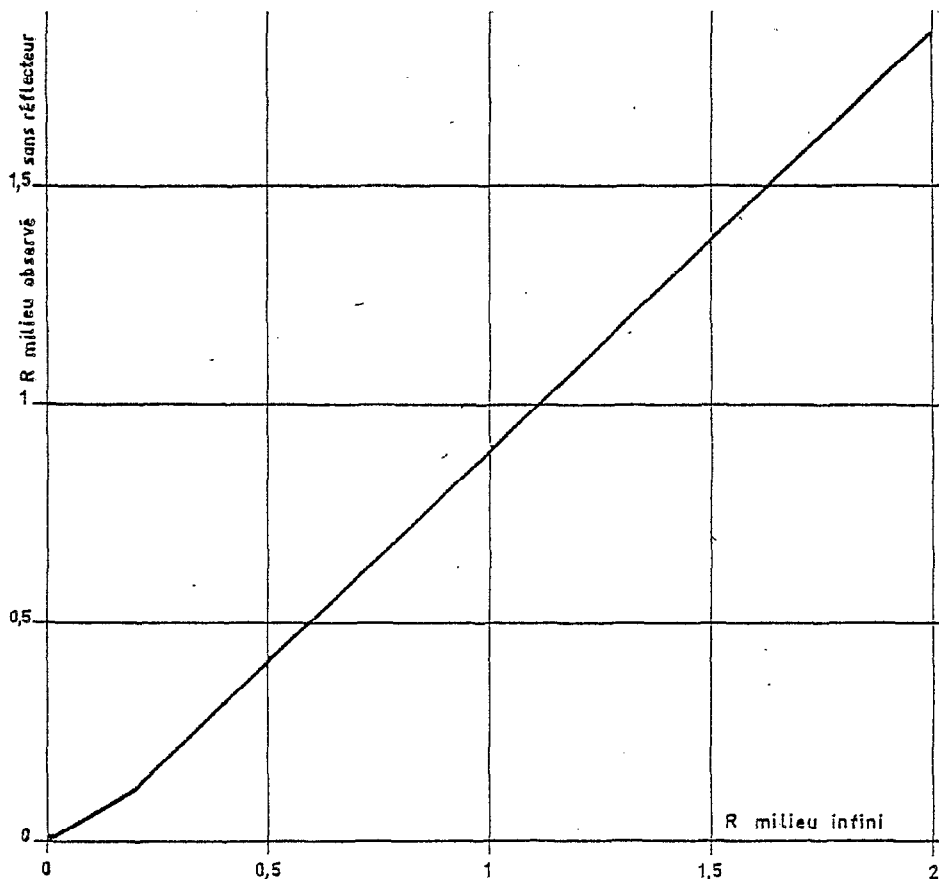


FIG. 3. — Correction à apporter aux mesures faites à 10 cm de profondeur.

Dans le but d'améliorer la précision des mesures d'humidité dans les dix premiers centimètres de sol, nous avons demandé à M. MOURONNET, spécialiste de la question, la mise au point d'une sonde à pointe. Cette sonde, constituée par une source Am.Be placée au bout d'une pointe métallique de 10 cm de long, explore une sphère de diamètre réduit. Le détecteur de neutrons ralentis est placé à la surface du sol. En cours d'étalonnage, nous pourrions l'utiliser très prochainement.

(1) Société de Recherches et d'Applications Techniques, 41, rue Emeriau, Paris (15<sup>e</sup>).

### 1.3. — Précautions à prendre sur le terrain.

Sans demander une extrême minutie, certaines précautions doivent être prises :

- Élimination des gouttelettes d'eau de condensation qui peuvent se déposer sur les parois internes du tube à l'aide d'une éponge ou peau de chamois fixée à une tige métallique.
- L'humidimètre posé sur le tube, placer l'intégrateur à l'abri du soleil ou de la pluie (soit dans une cabane prévue à cet effet, soit tout simplement dans le véhicule). Vérifier que la source est bien verrouillée à l'intérieur de l'étui. Le câble doit passer sur la crosse prévue à cet effet pour éviter la rupture des isolants.
- Si la sonde n'est pas neuve, le câble a pu être amputé d'une longueur C. Dans ce cas se souvenir que :

$$R = Z + H + C$$

R est le repère lu sur le câble,

Z est la profondeur réelle de mesure,

H est la hauteur aérienne du tubage.

- Avant de faire la première lecture étui de référence, une durée de chauffage de vingt minutes est nécessaire.
- Après chaque déplacement de la sonde, attendre environ trois minutes la stabilisation des indications de l'ictomètre. La lecture proprement dite se fait après ces trois minutes d'attente et dure deux minutes, au cours desquelles on repère le maximum et le minimum d'impulsions / seconde. On note la moyenne de ces deux indications.

## II. - PREMIERS RÉSULTATS OBTENUS SUR LE BASSIN VERSANT REPRÉSENTATIF DE LA TAFAINA

Cette première campagne de mesures conduite avec un appareillage encore au stade expérimental et dont les possibilités étaient sinon inconnues du moins très critiquées, a constitué une « période de rodage ». Cependant, malgré les tâtonnements inévitables et les mises au point successives exposées dans le paragraphe précédent, les résultats obtenus sont très encourageants. Ces résultats sont quelquefois différents de l'idée a priori que nous avons. Ainsi, à moins de mettre en doute la validité des mesures faites, la perte en eau au cours d'une averse et dans les heures suivantes paraît trop forte (paragraphe 2.2.). L'interprétation de certains phénomènes peut également paraître osée (paragraphe 2.5.). Nous insistons sur le fait qu'il s'agit là d'hypothèses de travail provisoires qui demandent naturellement, pour être confirmées ou infirmées, une expérimentation plus poussée.

### 2.1. — Installations utilisées (fig. 4) sur le bassin versant de la TAFAINA.

Trois tubes de mesures ont été installés à l'intérieur d'une parcelle de ruissellement de 100 m<sup>2</sup> recouverte par la végétation naturelle. Un pluviographe CERF à augets basculeurs donne toutes les indications utiles sur la hauteur pluviométrique et la répartition dans le temps de l'averse. Le ruissellement est collecté dans une cuve de 2 m<sup>2</sup> de section et d'un volume de 1,5 m<sup>3</sup>. L'observateur note le début de ruissellement, puis à intervalles réguliers, la hauteur d'eau dans la cuve. Pour les très fortes averses (lame d'eau écoulée supérieure à 15 mm), il a été prévu un canal de sortie avec déversoir triangulaire de 45° d'ouverture, la hauteur de la lame d'eau étant mesurée grâce à un limnigraphe rapport 1/1 construit à partir d'un pluviographe à siphon.

Deux tubes sont en polyéthylène; profonds de 1,1 m, ils ont été utilisés pour les mesures en cours de saison des pluies : humidité préalable à 10 cm de profondeur, évolution de cette humidité en cours d'averse, gain du profil après l'averse. Un tube en duralumin de 5,5 m a été suivi régulièrement en saison sèche, le dessèchement du profil hydrique étant mesuré tous les quinze jours.

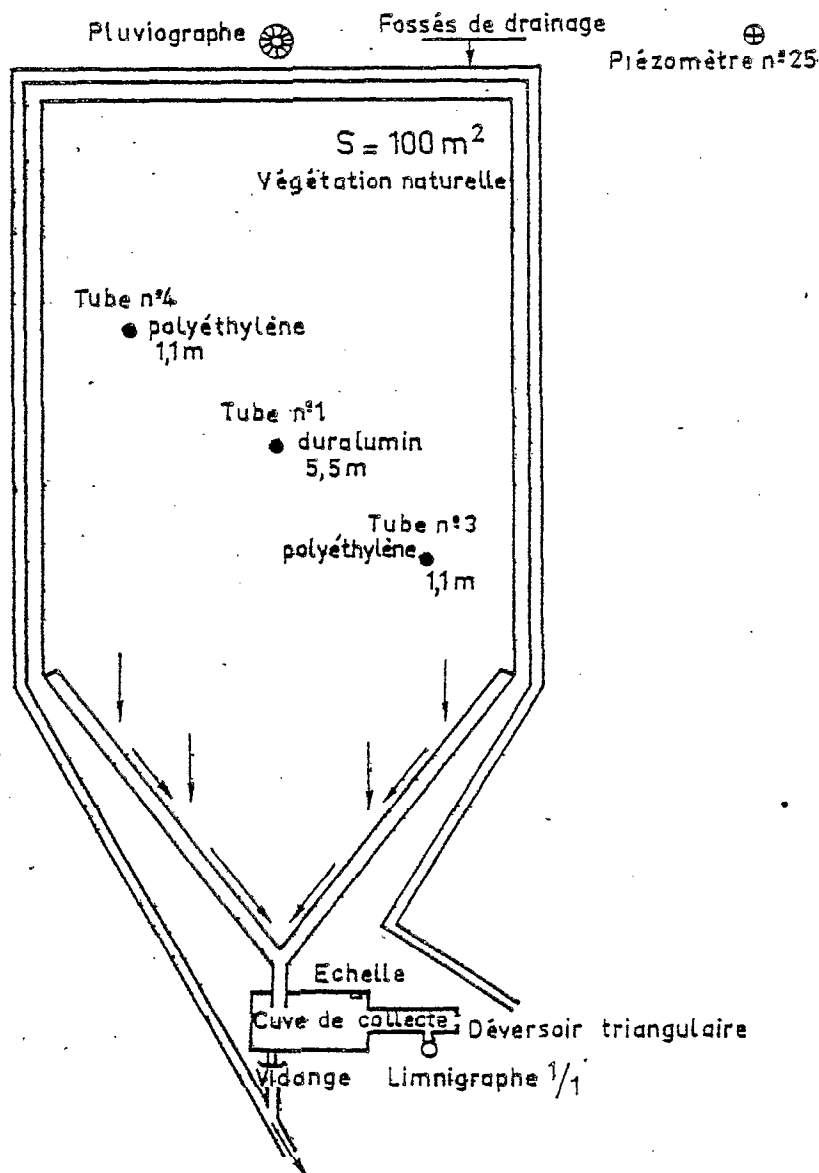


FIG. 4. — Parcelle de ruissellement. Implantation des tubes des mesures pour l'humidimètre à neutrons.

## 2.2. — Évolution d'un profil hydrique. Bilan sur une parcelle pour une averse donnée.

L'utilisation de l'humidimètre à neutrons permet de mesurer l'humidification ou la dessiccation d'un profil hydrique sur une verticale donnée matérialisée par le tubage. On entrevoit immédiatement les avantages considérables de l'emploi de cet appareil : verticale immuable, rapidité de l'opération, sol non remanié, pas de manipulations de laboratoire.

Dans le but d'approcher le bilan hydrique d'une averse isolée, nous avons installé les tubes de mesures dans une parcelle de ruissellement. La différence entre les profils hydriques mesurés avant et après la pluie nous donnant la quantité d'eau mise en réserve dans le sol, nous pouvons alors boucler le bilan propre à l'averse considérée tombant sur la parcelle.



On trouvera sur les figures 5 à 7 une succession de quatre profils exécutés les 19 et 20 décembre 1966. L'examen visuel des phénomènes est assez spectaculaire : gain d'humidité après l'averse (fig. 5), dessiccation en surface et gain en profondeur après une période sans pluie (fig. 6), poursuite du phénomène en profondeur et gain en surface immédiatement après une faible averse (fig. 7).

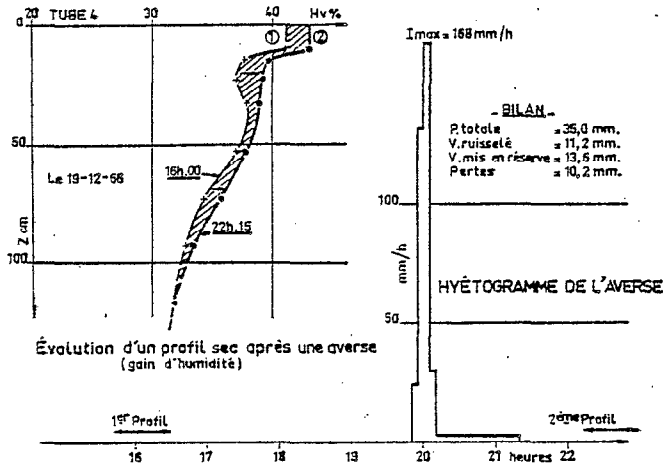


FIG. 5.

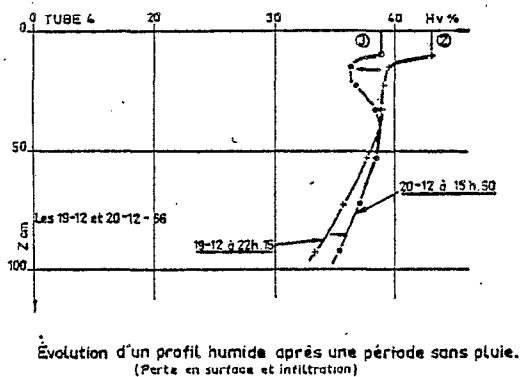


FIG. 6.

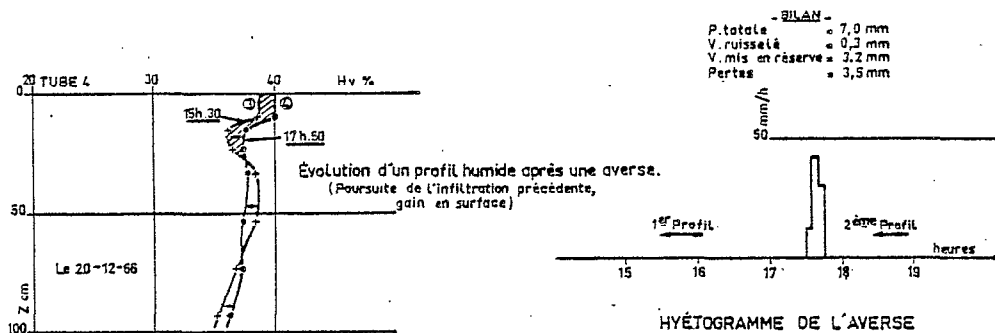


FIG. 7.

Le bilan hydrique des averses des 19 et 20 décembre a été résumé dans le tableau suivant :

Date	Hauteur de la précipitation (mm)	Volume ruisselé (mm)	Déficit d'écoulement	
			Variation estimée de la lame d'eau en réserve (en mm) (1)	Pertes (mm) (E.T.R.?)
19-12-66	35,0	11,2	13,6	10,2
20-12-66	7,0	0,3	3,2	3,5

On se trouve en présence de pertes importantes : 30 % dans le premier cas, 50 % dans le second, pertes qui peuvent paraître très fortes aux hydrologues d'autant plus qu'elles vont encore être augmentées, une partie du volume mis en réserve en surface étant destiné à rejoindre l'atmosphère. Ces pertes peuvent être constituées :

- par de l'eau gravifique utilisant les macroconduits du sol et atteignant très rapidement les couches inférieures;
- par l'évapotranspiration : interception par le feuillage, évaporation directe sur le sol.

Le premier phénomène peut avoir lieu en des points préférentiels d'infiltration : trous de racines, etc. L'évapotranspiration paraît malgré tout constituer la majeure partie des pertes mesurées et la part qui lui revient dans le bilan hydrique total d'un bassin versant semble être primordiale.

Mais, comme on le verra plus loin (2.4.) le calcul des pertes effectué sur les figures 5 et 7 est entaché d'imprécision car le profil hydrique observé ne descend pas jusqu'à la nappe; les pertes respectives de l'infiltration profonde et de l'évapotranspiration ne peuvent être bien différenciées.

### 2.3. — Influence de l'humidité préalable du sol sur le ruissellement.

A priori, le taux d'humidité de la tranche superficielle du sol doit jouer un rôle dans le ruissellement. De deux averses identiques, celle tombant sur un sol très humide au départ ruissellera plus que celle tombant sur un sol sec.

Ne disposant pas d'appareil permettant de mesurer l'humidité ponctuelle en surface, nous avons fait nos mesures à l'aide de la sonde HP en plaçant la source à une profondeur de 10 cm (voir chapitre 1.2.). Bien qu'il n'ait pas été possible de faire des mesures nombreuses, il nous a semblé intéressant d'exposer ici les quelques résultats obtenus entre décembre 1966 et mars 1967 (voir fig. 8) pour des précipitations supérieures à 20 mm.

Pour les prochaines campagnes, nous aurons à notre disposition une sonde à pointe et espérons pouvoir mettre en évidence une corrélation plus serrée et statistiquement valable.

### 2.4. — Approche de la valeur de l'évapotranspiration réelle.

Tant que nous ne posséderons pas de tubes de mesure atteignant la nappe, il nous sera impossible, en saison des pluies, de séparer à partir d'un profil *très humide* la partie qui sera reprise par l'évapotranspiration de celle qui s'infiltrera et profitera effectivement à la recharge des eaux souterraines. Avec un tube de quinze mètres de profondeur, nous aurions une vision plus claire de la répartition de l'eau dans le sol et de ses migrations verticales. Les problèmes techniques d'une telle installation sont à l'étude et nous espérons pouvoir la réaliser dans un proche avenir.

Au cours d'une saison sèche de longue durée pendant laquelle les apports météoriques sont très faibles, la régression des profils hydriques nous apporte, pendant cette période, des données très importantes pour la connaissance de l'E.T.R. Travaillant sur le tube n° 1, de 5,5 m de profondeur, nous avons effectué entre le 15 mars et 15 septembre 1967 des mesures assez régulières, tous les quinze jours environ suivant la disponibilité de l'appareillage.

(1) Mesurée par planimétrie des surfaces hachurées, figures 5 et 7. Il est évident que 3,2 le 20-12-66 est une estimation approchée par défaut.

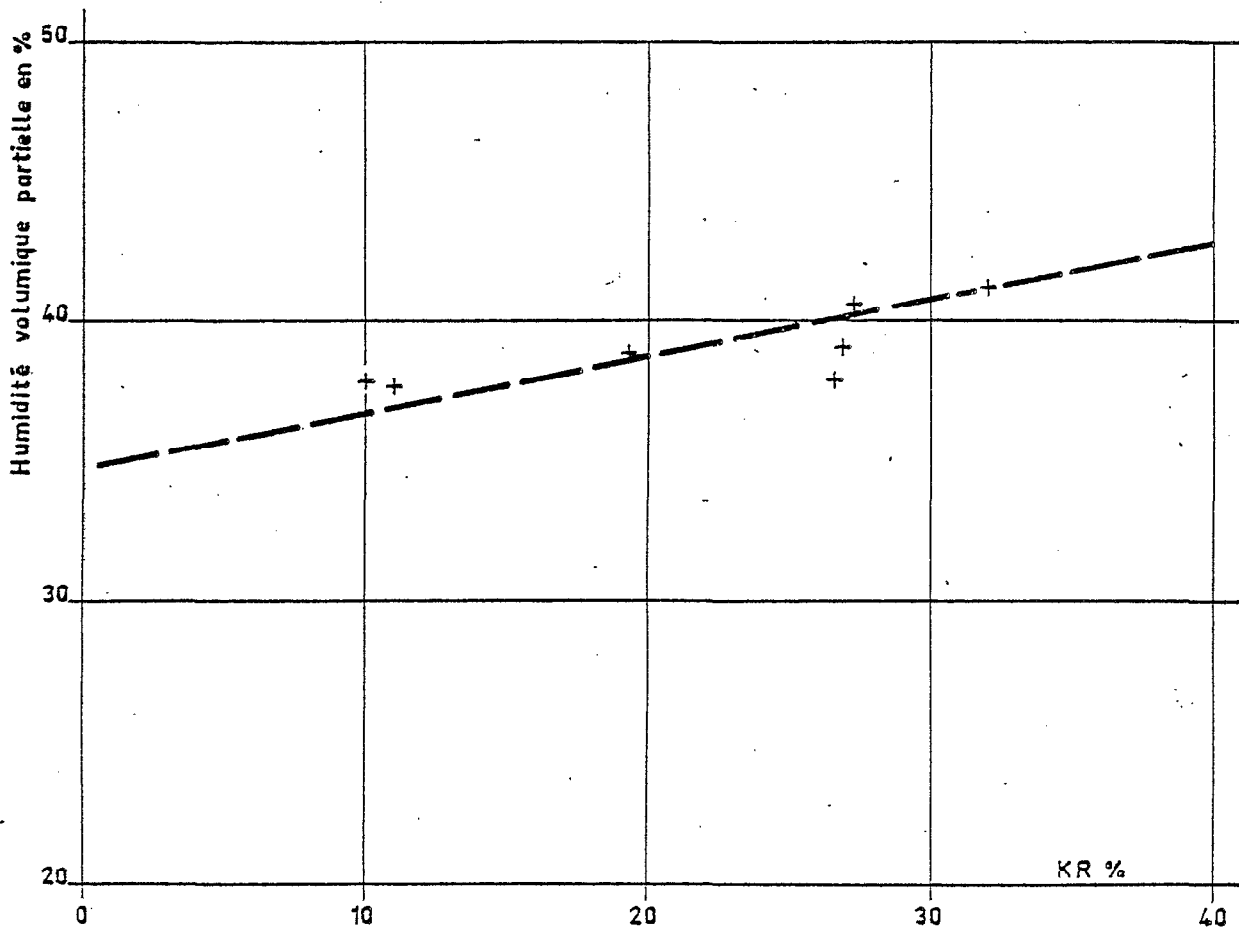


Fig. 3. — Corrélation entre l'humidité préalable à 10 cm de profondeur et le coefficient de ruissellement pour des pluies supérieures à 20 mm.

Premier résultat notable : nous nous sommes aperçus qu'en dessous de 2,30 m de profondeur, même en fin de saison sèche, le sol était toujours à la capacité maximale de rétention : humidité volumique totale voisine de 50 %. Si on place la source à 2,20 m, le taux de comptage baisse de façon spectaculaire et l'humidité se situe aux alentours de 30 %. Ne pouvant, pour l'instant du moins, défoncer la parcelle de ruissellement pour nous rendre compte « de visu » de la cause du phénomène, nous pensons provisoirement qu'il peut être provoqué par rupture capillaire au niveau d'un « stone-line ». Cette hypothèse semble confirmée par la coupe pédologique faite à proximité immédiate de la parcelle.

La figure 9 montre la dessiccation du profil au tubage n° 1 entre le 22 mars et le 21 août 1967. Il faut noter qu'à partir du 21 août et jusqu'aux premières pluies de septembre le profil reste statique : nous avons probablement là, à peu de choses près, le profil correspondant au début du flétrissement de la végétation.

En tenant compte de la pluviométrie, très réduite et à intensités faibles, et grâce à la régression du profil, nous pensons être arrivés à déterminer une *valeur approchée* de l'évapotranspiration réelle. Le principal avantage de cette approximation semble être le fait qu'elle s'appuie sur des données d'observation au lieu d'être calculée à partir d'une formule, même si cette dernière fait intervenir des paramètres météorologiques ; cette méthode permet de contrôler les résultats que donnent les formules.

On trouve ci-après deux tableaux : le premier concerne les périodes comprises entre les mesures, le second est un essai d'extrapolation des valeurs mensuelles et quotidiennes moyennes :

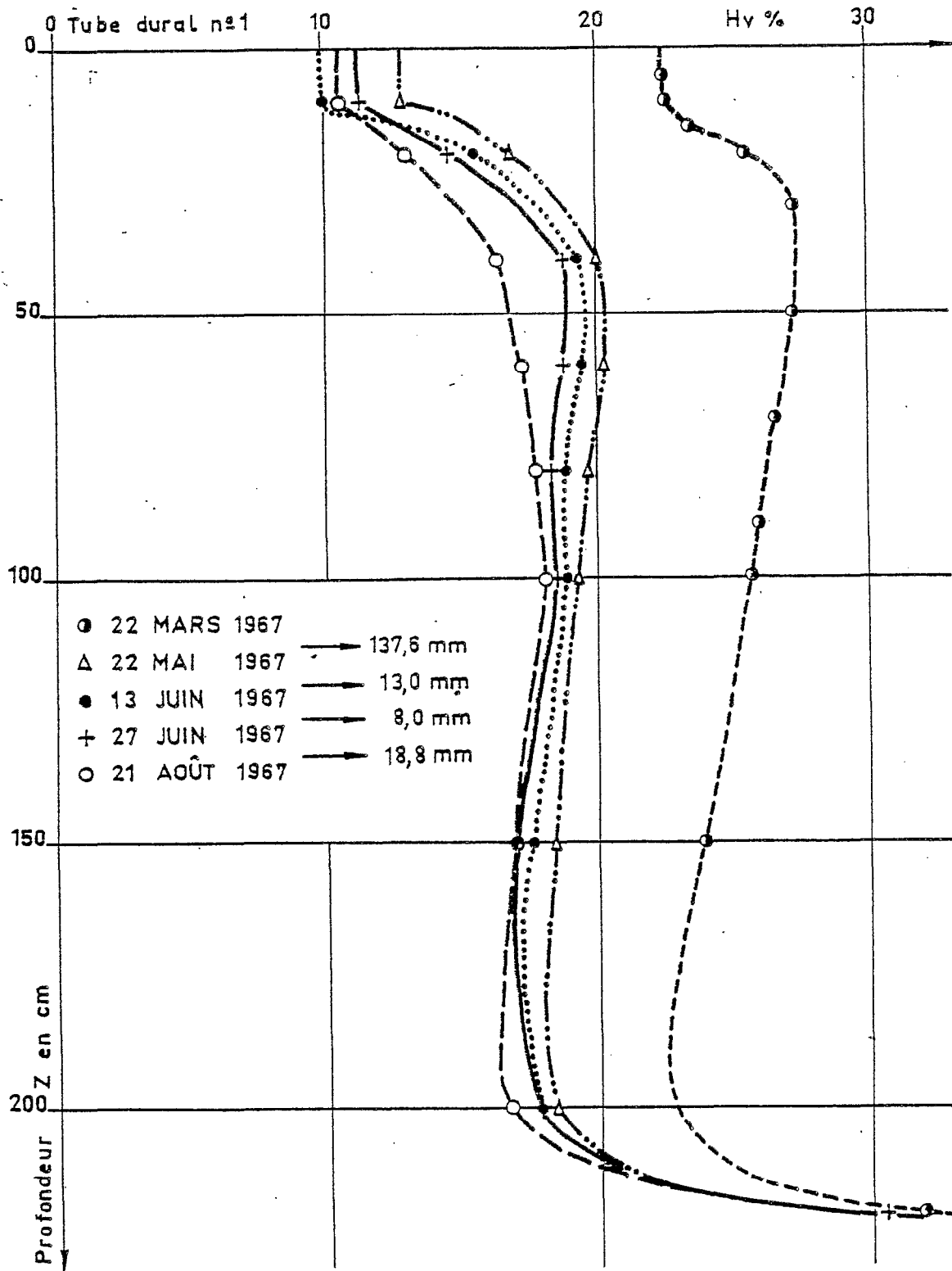


FIG. 9. — Dessiccation du profil au tubage n° 1 en saison sèche.

Période	Dessiccation du profil (mm)	Pluie probablement évapotranspirée (mm)	Total (mm)	Moyenne (mm/jour)
22 mars-22 mai 1967 61 jours	137,6	Mars   40,0 Avril   20,0 Mai   1,0	198,6	3,26
22 mai-13 juin 1967 22 jours	13,0	0,8	13,8	0,63
13 juin-27 juin 1967 14 jours	8,0	1,1	9,1	0,65
27 juin-21 août 1967 54 jours	18,8	1,3	20,1	0,37
Total : 151 jours	177,4	64,2	241,6	1,60

Période	Moyenne journalière (mm/j)	Total mensuel (mm)
9 derniers jours de :		
Mars	5,00	45
Avril	3,00	90
Mai	2,00	62
Juin	0,65	19,5
Juillet	0,50	15,5
Août	0,25	7,8
151 jours	1,60	239,8 très proche de 241,6

## 2.5. — Essai d'interprétation : mode de pénétration de l'eau dans le sol.

Lorsque nous avons disposé de l'enregistreur et que des averses bien individualisées ont eu lieu, nous avons procédé, sur le tube n° 4, à des mesures continues à 10 cm de profondeur. Ceci nous a permis d'observer les variations du taux d'humidité pour un point donné pendant la durée de la précipitation.

Examinons la figure 10. Nous assistons à une montée brutale du taux d'humidité correspondant à un accroissement de l'intensité pluviométrique. L'humidité volumique passe par un maximum, décroît assez rapidement puis, alors que l'intensité de la pluie reste constante et faible, se remet à croître lentement. Comment expliquer cette augmentation précédée d'une baisse de l'humidité?

Nous pensons en effet qu'il y a, lors de la montée brutale, superposition de deux modes de pénétration de l'eau :

- d'une part, mise en eau des gros conduits (forte porosité tubulaire ou macroporosité),
- d'autre part, remplissage des micropores (porosité capillaire ou microporosité).

La forte porosité tubulaire serait responsable de la transmission rapide à des niveaux inférieurs d'une partie de l'eau. En deçà d'un certain seuil d'intensité, l'approvisionnement n'étant plus suffisant, il se produirait un ressuyage des gros tubes provoquant la baisse observée. La fin

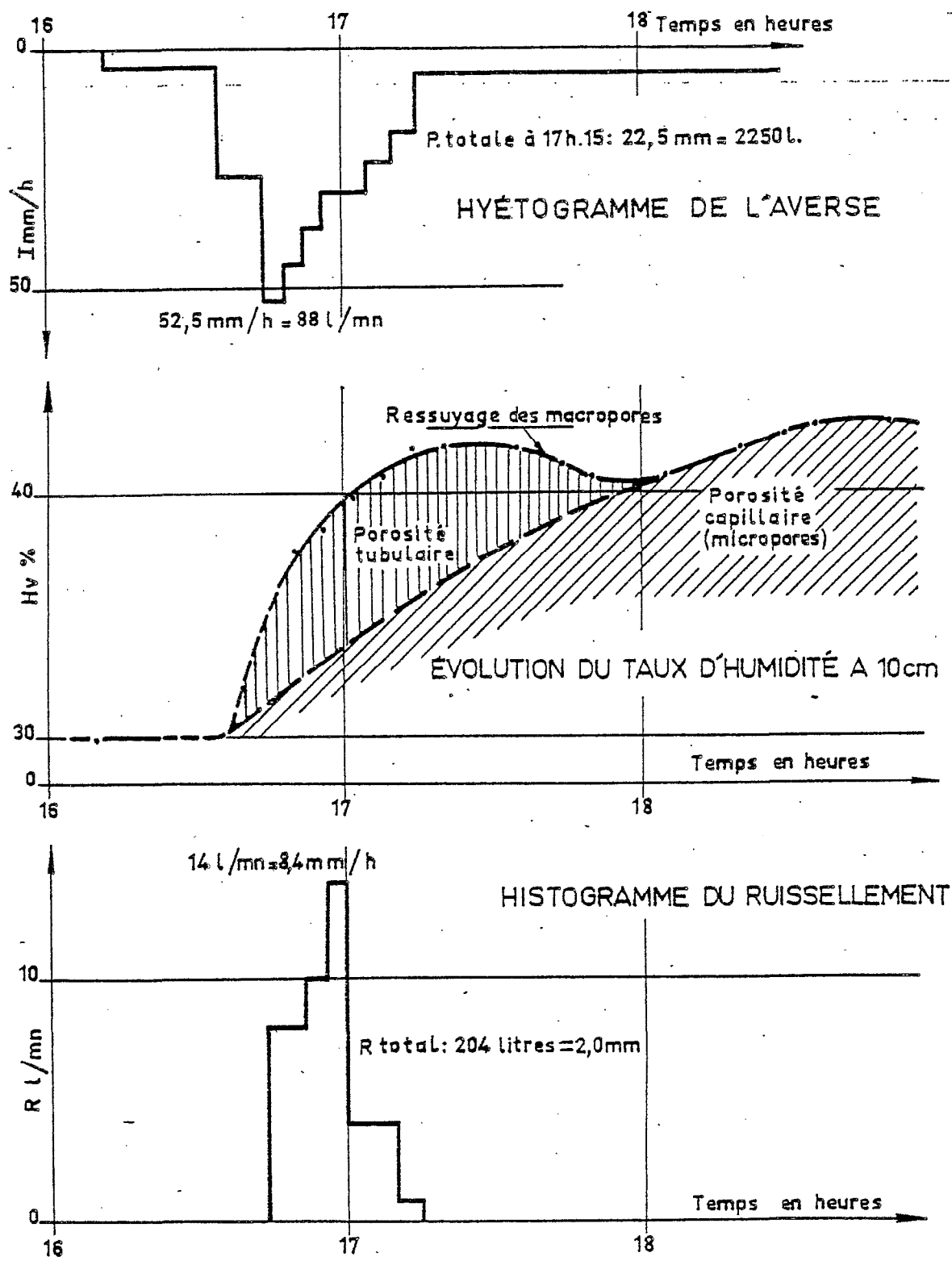
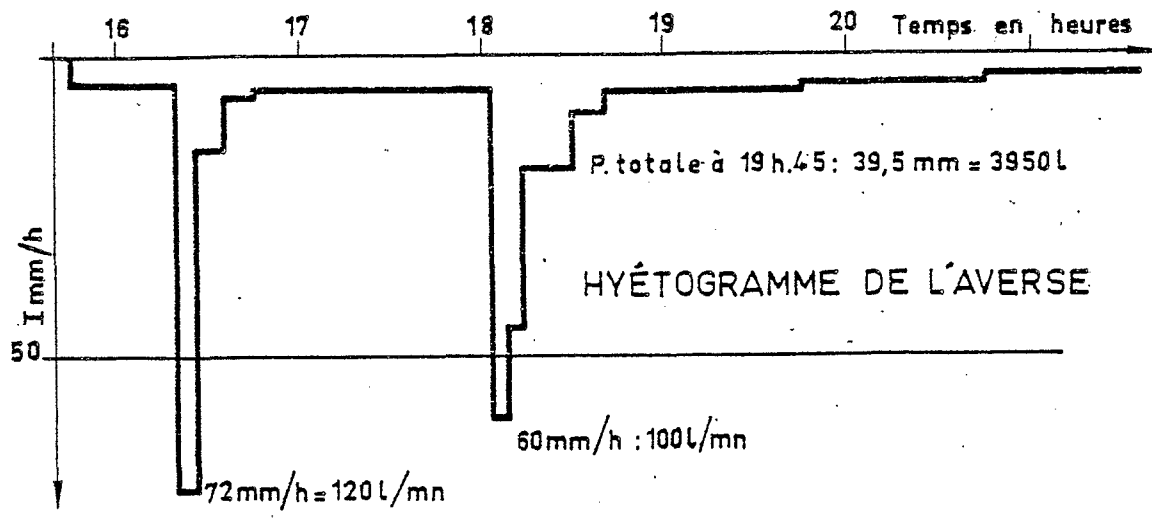
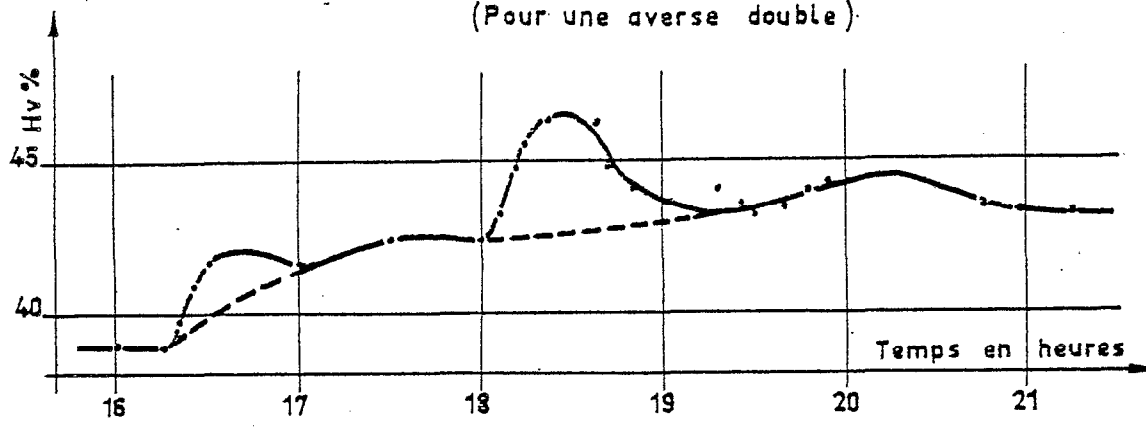


FIG. 10. — Bassin versant de la TAFAINA le 24-11-66 ( $K_r = 8,9 \%$ ).



ÉVOLUTION DU TAUX D'HUMIDITÉ A 10 cm.  
(Pour une averse double).



HISTOGRAMME DU RUISSELLEMENT

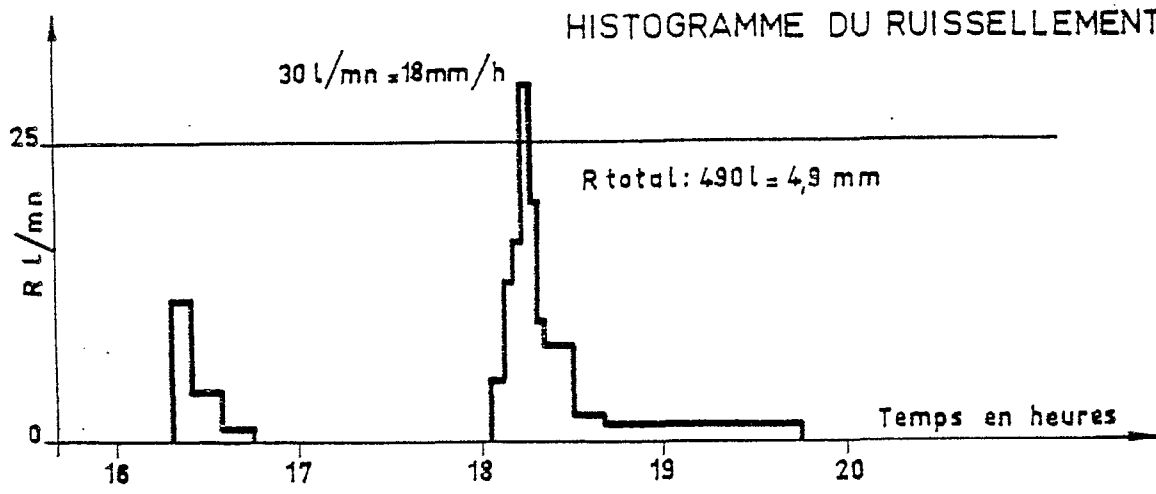


Fig. 11. — Bassin versant de la TAFAINA le 23-12-66 ( $K_r = 12,4\%$ ).

de l'averse, bien que faible, serait suffisante pour continuer à alimenter les micropores d'où reprise de la croissance du taux d'humidité. La figure 11, qui concerne une pluie double ne paraît pas démentir cette idée qui, nous le répétons, reste une hypothèse de travail et qui devra être vérifiée par de nombreuses mesures sur le terrain.

### 2.6. — Mesure de la vitesse d'infiltration.

Le processus est extrêmement simple. Il suffit de placer la sonde à une certaine profondeur : 20 cm par exemple, et de noter, soit visuellement, soit à l'aide d'un enregistreur, le moment où le taux d'humidité commence à augmenter. A ce moment, la source est descendue dans le tube d'une profondeur connue et on attend la nouvelle remontée du taux d'humidité; on recommence ainsi pour différentes profondeurs (voir fig. 12). On a intérêt à travailler lors d'averses supérieures à 15 mm, d'intensités assez fortes et homogènes. Ces conditions sont rarement satisfaites et c'est la raison pour laquelle nous ne donnerons pas ici les mesures trop peu nombreuses

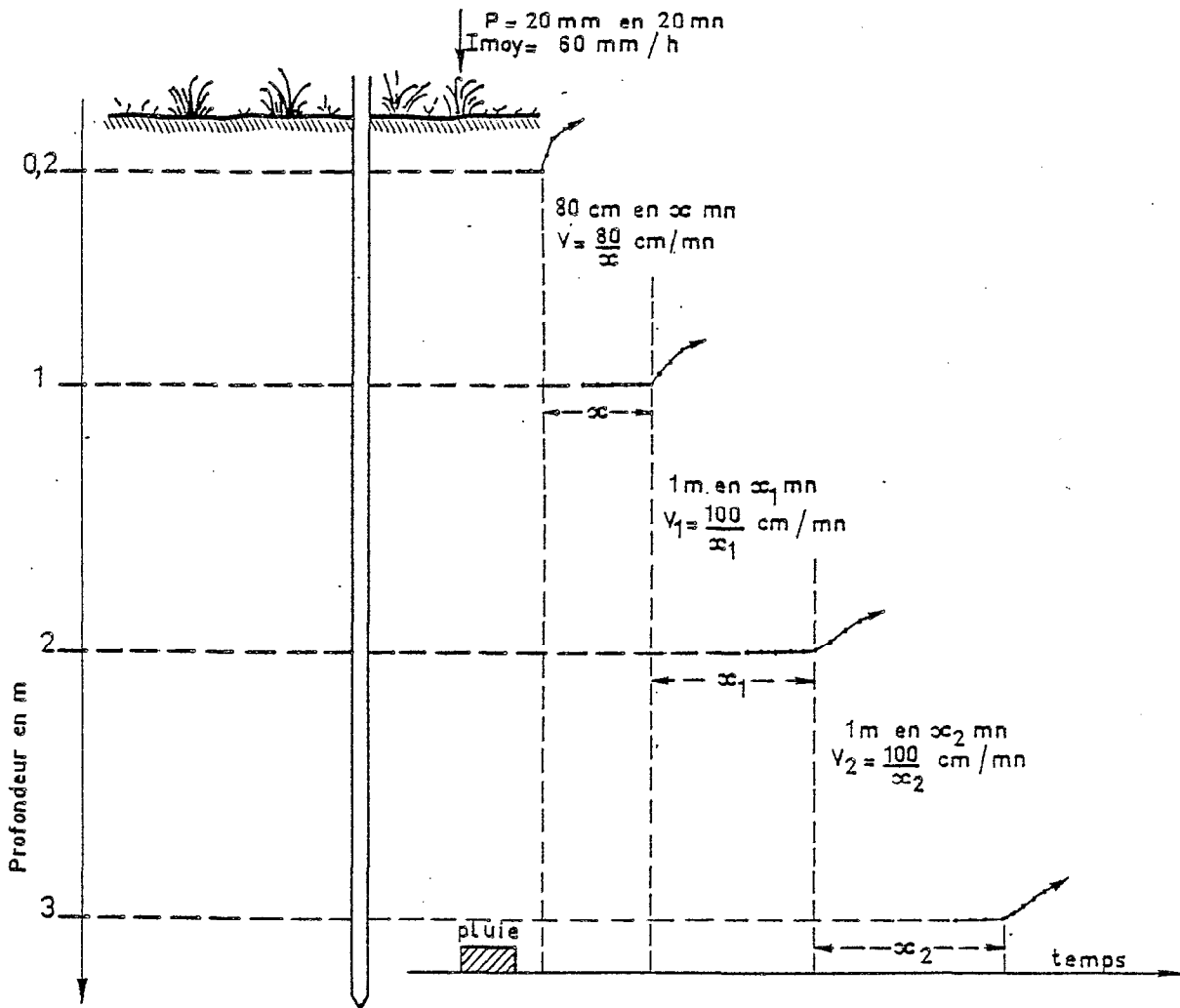


FIG. 12. — Mesure de la vitesse d'infiltration. (figure théorique).



réalisées sur le bassin versant de la Tafaiña. Pour obtenir rapidement des résultats significatifs, nous envisageons de procéder artificiellement. L'emploi d'un simulateur de pluie perfectionné serait idéal. Son prix étant prohibitif pour une utilisation aussi restreinte, nous pensons construire dans un premier stade un appareil plus sommaire ayant pour bases : une pomme d'arrosoir, un fût de 200 litres et un robinet permettant de régler l'alimentation. La surface arrosée, de 0,5 m<sup>2</sup>, sera limitée par un cylindre enfoncé autour du tube de mesure, l'aspersion d'un anneau de garde de 2 m de diamètre environ devant limiter les fuites latérales. Après étude des résultats et si ceux-ci sont prometteurs, l'amélioration de l'équipement de simulation de pluie sera entreprise afin que l'on s'éloigne le moins possible des conditions naturelles (vitesse des gouttes, énergie cinétique, dimensions, etc.).

*En conclusion*, nous espérons que cette note, malgré les lacunes dues à une expérimentation trop courte, aura attiré l'attention des hydrologues sur l'intérêt que peut présenter actuellement et dans un proche avenir l'emploi de l'humidimètre à neutrons. Les quelques résultats obtenus sur le bassin versant de la Tafaiña ont été exposés non pas tellement pour leur valeur intrinsèque mais surtout dans le but de faire connaître une partie des possibilités d'utilisation de cet appareil, la plupart de celles-ci restant à découvrir. Nous serions très reconnaissants aux utilisateurs, présents ou futurs, de bien vouloir nous soumettre leurs critiques et, dans la mesure du possible, leurs résultats, que ceux-ci confirment ou infirment nos hypothèses.