

Pierre DUBREUIL*

Détermination des paramètres du sol influant sur le cycle hydrologique dans les bassins représentatifs et expérimentaux

protocoles de mesures

La note intitulée « Point de vue théorique sur le rôle du sol dans le cycle hydrologique » [1] tentait de répondre au problème hydrologique suivant : le devenir de l'eau de pluie, sous forme de ruissellement, d'infiltration ou d'évapotranspiration dépendant, entre autres choses, des propriétés du sol, peut-on valablement représenter cette influence du sol par un certain nombre de paramètres quantitatifs ?

En conclusion de cette note, une liste non exhaustive de paramètres du sol a été établie. D'un commun accord entre hydrologues et pédologues, il a été décidé de tester l'utilité des paramètres de cette liste. Une première campagne de mesures systématiques est prévue en 1967 sur 25 ensembles de bassins représentatifs ou expérimentaux. A l'issue de cette campagne, une confrontation des éléments caractéristiques du régime hydrologique de ces 25 bassins, avec les paramètres ainsi mesurés, sera entreprise au Bureau Central d'Hydrologie. Ses conclusions permettront de poursuivre les mesures systématiques sur tous les bassins représentatifs et expérimentaux des valeurs des paramètres de sol selon un programme vraisemblablement modifié.

* Directeur de Recherches, Chef du département de la Recherche appliqué au Service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.

La présente note a pour objet de permettre la détermination des paramètres du sol, retenus dans la 1^{re} liste, sur les 25 ensembles de bassins de la 1^{re} étape de cette vaste opération de recherche.

Cette note donne des indications générales à suivre en ce qui concerne la densité des points de prélèvements et l'échelle de cartographie des sols; elle décrit les protocoles de mesures à appliquer, brièvement quand il s'agit de travaux classiques à réaliser par les pédologues, de manière détaillée pour les paramètres dont la détermination incombe aux hydrologues.

- Les paramètres dont la détermination est envisagée dans ce programme sont les suivants :
- profondeurs du sol au-dessus du substratum, avec indication des profondeurs relatives aux divers horizons;
 - répartition granulométrique en exprimant les pourcentages relatifs des divers éléments constitutifs du sol (argile, limon, sable, etc.);
 - densité apparente;
 - porosité totale;
 - indice d'instabilité structurale IS de HÉNIN;
 - coefficient K de HÉNIN (perméabilité sur échantillon remanié et saturé d'eau mesurée *in vitro*);
 - taux de matières organiques;
 - teneur en eau à la capacité de rétention;
 - teneur en eau au point de flétrissement;
 - profondeur de la nappe s'il y a lieu, avec mention de la date du prélèvement pour situation dans l'année hydrologique et, si possible, indication des valeurs extrêmes moyennes de la fluctuation de cette nappe;
 - coefficient K de DARCY, dit coefficient de perméabilité, à mesurer *in situ* selon la méthode PORCHET;
 - potentiel capillaire ψ et conductivité capillaire λ .

Cette note a été établie après consultation et avis des pédologues A. COMBEAU, F. FOURNIER et P. SEGALIN chargés par leur Comité technique de suivre avec nous l'action concertée inter-comités évoquée au début de cette introduction.

I. — ÉCHELLE DE CARTOGRAPHIE ET DENSITÉ DES POINTS DE MESURE

La signification de régressions entre éléments hydrologiques et paramètres du sol ne peut être bien appréhendée que si la précision sur la détermination des uns et des autres est connue.

L'objectif souhaitable est de pouvoir attribuer une précision aux valeurs mesurées des divers paramètres. Cette précision dépend d'une part de la méthode de détermination (précision intrinsèque), d'autre part de la représentativité spatiale de la mesure ponctuelle.

Les causes d'erreur propres à la méthodologie de la détermination d'un paramètre (*in situ* et *in vitro*) peuvent déjà être estimées, compte tenu de l'expérience acquise par les pédologues.

Mais la difficulté est dans l'appréciation quantitative de cette erreur. Il serait souhaitable que l'on puisse donner, pour chaque paramètre mesuré, l'erreur moyenne c'est-à-dire l'erreur-type (quotient de l'écart-type par la racine carrée du nombre de mesures considérées). MM. AUDRY et VAN DEN DRIESSCHE travaillent cette question à l'O.R.S.T.O.M., mais ils n'ont pas encore atteint des conclusions qui puissent être justifiées. On peut espérer que la 1^{re} étape de ce programme améliorera nos connaissances en la matière et permettra de présenter, pour les étapes suivantes, les valeurs probables des diverses erreurs-types.

Le second aspect de la précision est beaucoup plus difficile à saisir. Il s'agit de répondre à la question suivante : connaissant tel paramètre p_i mesuré en n points sur un bassin de surface S , de combien la valeur moyenne p de ce paramètre

$$p = \sum \frac{n_i p_i}{n}$$

(moyenne arithmétique à pondérer par la prise en compte des aires d'influence respectives des divers points de prélèvements) s'écarte-t-elle de la vraie valeur du paramètre ?

Problème classique d'échantillonnage insoluble *a priori*, la moyenne vraie étant inconnue, mais dont une solution approchée sera accessible quand on possèdera de nombreux échantillons.

Actuellement, on se contente de donner quelques indications sur la densité des points de mesures de laquelle dépend évidemment la précision sur la représentativité des mesures ponctuelles. Cette densité doit être d'autant plus élevée que les sols du bassin sont hétérogènes. La configuration topographique et géologique du bassin permet, *a priori*, d'évaluer cette hétérogénéité. On pourrait donc suggérer une densité minimale à respecter par type de sol, densité variable avec la complexité du bassin et avec le paramètre étudié, certains variant spatialement beaucoup plus vite que d'autres.

Ici également, nos connaissances ne permettent pas de répondre avec précision et dans les détails. Le Groupe d'Étude des Problèmes de Pédologie Appliquée recommande les densités suivantes :

	Densité moyenne : 1 pt d'observation pour	Densité minimale : 1 pt d'observation pour
Étude de reconnaissance au 1/100 000 ^e .	100 ha	250 ha
Échelle du 1/25 000 et du 1/50 000 ^e	5 ha	10 ha
Échelle détaillée du 1/5 000 ^e	0,5 ha	1 ha

Sans autre indication, on pourrait s'en tenir à la densité minimale recommandée pour les bassins homogènes et à la densité moyenne pour ceux qui offrent une réelle hétérogénéité de leur sol de couverture.

Un bassin d'essai judicieusement choisi pourrait d'ailleurs faire l'objet d'une campagne de mesures à très forte densité; on en déduirait une meilleure estimation de la gamme des densités de points d'observation à conseiller pour les régions intertropicales.

Des résultats de la première étape du programme de recherche, on peut espérer obtenir une approximation pas trop grossière de la précision atteinte sur la connaissance des paramètres du sol. On rectifiera alors les consignes de densité de prélèvements pour rester dans les limites admissibles d'erreurs.

Pour la détermination des caractères physiques et morphologiques des bassins versants, on a admis comme acceptable une erreur maximale probable (intervalle de confiance à 95 % correspondant au double de l'erreur-type) de ± 25 %. Il serait souhaitable d'atteindre également un tel seuil pour la plupart des paramètres de sol, sans dépasser ± 40 % pour ceux dont la variabilité serait grande ou la mesure délicate.

La définition d'une densité minimale de points de mesure est liée au choix d'une échelle pour cartographier les sols du bassin. L'objectif visé étant la préhension d'une valeur moyenne (intégrale sur l'ensemble du bassin) de chaque paramètre avec une certaine précision, il ne paraît pas nécessaire de détailler exagérément la carte des sols. Une échelle maximale, compte tenu de l'hétérogénéité du bassin, peut cependant être recommandée. Elle ne saurait de toute façon excéder celle qui est admise comme limite acceptable pour la détermination des paramètres physiques et morphologiques rappelée ci-dessous :

Échelle	Surface minimale de bassin en km ²
50 000 ^e	1,6
25 000 ^e	0,40
10 000 ^e	0,07

On pourrait adopter ces échelles de cartographie et les densités de prélèvement correspondantes recommandées ci-dessus. En pratique, chaque pédologue reste libre du choix de la densité de points d'observations à choisir pour un bassin donné. On peut simplement suggérer, dans un souci de simplification, que le nombre de points d'observations soit compris entre 10 et 30, selon l'hétérogénéité des sols du bassin. Par point d'observations, on entend un site où le pédologue exécute un profil de sol pour un examen visuel, et prélèvements d'échantillons à diverses profondeurs, où l'hydrologue exécute une série de profils hydriques et de mesures de perméabilité.

Pour le choix de la densité minimale de prélèvements et de l'échelle de cartographie, les considérations précédentes s'appliquent à des bassins représentatifs ou expérimentaux de faible superficie (moins de 100 et la plupart du temps moins de 50 km²) ayant fait l'objet d'études intensives d'hydrologie à résultats satisfaisants. Mais certains bassins n'ont fait l'objet que d'études extensives ou de courte durée; de même certains ensembles de bassins comprennent, outre la zone réduite d'études intenses, un grand bassin enveloppe (100 à 1 000 km² environ), objet d'études extensives.

Pour ces 2 cas, il est évident qu'une valeur indicative des paramètres du sol (relativement aux valeurs des zones à études intenses) est suffisante; en conséquence, densité minimale de prélèvements et échelle de cartographie peuvent être choisies beaucoup plus libéralement.

Les densités recommandées pour l'étude de reconnaissance au 1/100 000^e constituent, à notre avis, des maximums pour ces cas particuliers; le choix d'une gamme de profils, inscrite entre 6 et 20, par exemple, paraît raisonnable en la matière.

II. — OPÉRATIONS A EXÉCUTER PAR LES PÉDOLOGUES

Pour chaque bassin, un pédologue stagiaire, supervisé par un chercheur confirmé, sera chargé de réaliser le problème d'études.

Ce programme comprend une série d'opérations groupées en 2 ensembles :

- a) des opérations de terrain comportant la reconnaissance, le choix des profils de prélèvements et de mesures *in situ*, les prélèvements pour analyse, les notations géomorphologiques en vue de la cartographie;
- b) des opérations de laboratoire pour déterminer les paramètres physiques du sol.

La présence d'un hydrologue (un agent technique peut suffire en cas d'absence de chercheur dans le pays) au cours de l'une des opérations de terrain est requise. C'est en effet aux lieux et places indiqués par le pédologue qu'il devra pratiquer les mesures de certains paramètres. (Cf. paragraphe 3).

Dans l'ensemble, les paramètres physiques qu'il convient de mesurer n'exigent pas de précautions particulières autres que le respect des profondeurs des divers horizons. Seules, les déterminations de la densité apparente nécessitent un prélèvement particulièrement soigné, et plus spécialement dans les sols contenant une certaine proportion de cailloux.

Parmi les paramètres dont la détermination incombe aux pédologues, on peut faire 3 distinctions :

- a) ceux qui se mesurent sur le terrain; il s'agit de la profondeur du sol et de celle de la nappe, qui doivent être prises en tout site de profil retenu.
- b) ceux qui se mesurent en laboratoire systématiquement sur la plupart des échantillons prélevés en chaque profil, selon les nécessités requises par les objectifs. Il s'agit des constituants révélés par l'analyse granulométrique, des densités apparente et réelle (pour la porosité), de l'indice d'instabilité structurale et du coefficient K de HÉNIN, du taux de matières organiques;
- c) ceux qui se mesurent en laboratoire sur les prélèvements effectués par les hydrologues (Cf. paragraphe 3); il s'agit du potentiel capillaire ψ et des teneurs en eau.

Pour tous ces paramètres, la détermination doit systématiquement porter sur l'horizon A, mais l'horizon B sous-jacent doit également, dans la mesure du possible, être caractérisé étant donné son influence fréquente sur les phénomènes hydriques (sauf pour le taux de matières organiques).

Il est presque certain que, dans la grande majorité des cas, les analyses et observations devront porter sur plusieurs échantillons prélevés à des profondeurs différentes dans le profil. C'est particulièrement le cas des déterminations de taux d'humidité pour établissement des profils hydriques, donc également des mesures de densité apparente, et de potentiel capillaire.

Le pédologue est juge du nombre d'échantillons à prélever dans un profil. Il faut qu'il garde comme critère que ses analyses n'ont pas pour objectif de déterminer les causes de la pédogenèse mais d'aider l'hydrologue à la compréhension des mouvements ascendant et descendant de l'eau dans le sol, de la surface jusqu'à la nappe.

En ce qui concerne la *densité apparente*, cette caractéristique pourra être déterminée dans les fosses d'observation du profil, par prélèvement d'échantillons de sol de volume connu à différents niveaux (enfouissement d'un cylindre de volume 100 cm³ par exemple). Il est souhaitable

que les profondeurs de mesure soient choisies en fonction des valeurs qui seront conseillées aux hydrologues, pour l'établissement des profils hydriques.

La *porosité* pourra être déduite de la connaissance, d'une part de la densité apparente, d'autre part de la densité réelle (méthode du pycnomètre).

La technique de mesure de l'*indice d'instabilité structurale* est celle exposée dans « Le Profil Cultural » de S. HÉNIN [2] (détermination des taux d'agrégats stables à l'eau avec et sans prétraitement, du taux de dispersion, et de la teneur en sables grossiers). La mesure du coefficient de filtration K est décrite dans le même ouvrage (percolation sous charge constante dans un tube contenant 50 g de terre tamisée, mise en place dans l'eau). Voir également [3].

La *teneur en matières organiques* sera déduite du taux de carbone total (méthode de WALKLEY et BLACK, ou méthode de ANNE).

III. — OPÉRATIONS A EXÉCUTER PAR LES HYDROLOGUES, SOUS CONTROLE DES PÉDOLOGUES

Aux lieux et emplacements indiqués par le pédologue, c'est-à-dire à proximité du site retenu pour chaque profil de sol, l'hydrologue réalise des séries de profils hydriques à intervalles déterminés et des séries de mesures de perméabilité en une seule fois.

3.1. — Profils hydriques.

La périodicité d'exécution de ces séries de profils hydriques doit être choisie de manière que l'évolution dans le temps de la teneur en eau du sol puisse être bien connue. On peut adopter le schéma suivant :

- a) phase de dessèchement commençant le dernier mois de la saison des pluies et pouvant durer de 2 à 3 mois selon l'aridité des climats : pratiquer une série de profils tous les mois jusqu'à assèchement à peu près complet des réserves en eau du sol.
- b) phase de réhumectation commençant avec les premières pluies : pratiquer 3 séries de profils espacées de 1 mois environ, en s'arrangeant pour que la 3^e série coïncide avec la partie intense de la saison des pluies. A ce moment, il est admis en climat tropical que le sol est à la capacité de rétention 24 heures après une bonne pluie (on couvre le sol durant ces 24 heures avant la mesure pour éliminer l'évaporation).

Les prélèvements d'échantillons de sol en vue de l'établissement du profil hydrique seront exécutés à la tarière. Dans la grande majorité des cas, il est indispensable que les tranches de sol étudiées soient nombreuses : on peut considérer qu'un prélèvement pour chaque tranche de 10 cm constitue un optimum, tout au moins dans la partie supérieure du profil (jusqu'à 60 ou 80 cm selon les cas), par tranches de 20 cm au-delà de cette profondeur. On arrive ainsi à une moyenne d'une douzaine d'échantillons par profil. Il est souhaitable de prévoir 4 répétitions pour chaque site étudié, de sorte que l'établissement d'une série complète de profils hydriques entraîne approximativement 50 dosages d'humidité.

Par 4 répétitions, il faut entendre 4 profils à la tarière exécutés successivement à quelques mètres les uns des autres, pour réduire la dispersion propre à un seul profil.

Il est particulièrement recommandé de conserver, lors du prélèvement à chaque profondeur, une partie de l'échantillon de sol en vue des déterminations correspondantes du pF . Chaque profil hydrique pourra alors être comparé directement au profil de chaque valeur de pF et être lui-même transformé en profil de pF en fonction de la profondeur.

Les prélèvements pour mesures des teneurs en eau doivent être déposés dans des boîtes à humidité, d'une étanchéité parfaite (les prélèvements pour mesure de potentiel n'ont pas besoin d'être protégés contre les variations d'humidité). On emploie soit des boîtes métalliques, soit des boîtes en verre avec fermeture de caoutchouc, ébonite ou sparadrap...

Il suffit de faire les prélèvements complémentaires, pour mesure de potentiel, une seule fois par site de profils hydriques.

Tous les échantillons ainsi prélevés sont remis au laboratoire d'analyse pédologique qui procédera aux déterminations suivantes :

- teneurs en eau en % pour les diverses profondeurs de chaque profil;
- teneur en eau à la capacité de rétention (cas du profil de saison des pluies);
- teneur en eau au point de flétrissement (potentiel capillaire $pF = 4,2$) et autres valeurs de potentiel capillaire.

En ce qui concerne le *potentiel capillaire*, les techniques généralement utilisées sont celles mises au point au laboratoire de Riverside (U. S. A.), basées sur l'extraction de l'eau des échantillons sous pression.

En exécutant chaque profil hydrique, l'hydrologue s'arrête s'il y a lieu au niveau de la nappe phréatique et en note la profondeur.

3.2. — Mesures de perméabilité.

Les mesures de perméabilité doivent être exécutées à proximité des sites où auront été effectués des profils hydriques. On utilisera la méthode PORCHET. On effectuera 3 trous, voisins de plusieurs mètres, pour éviter les impondérables (racines, trous d'animaux) causes de résultats aberrants, et les mesures seront menées simultanément sur les 3 trous (ce qui est possible en décalant les débuts des relevés sur chaque trou de quelques minutes entre eux).

La mesure de perméabilité sera faite sur la totalité de l'horizon A puis après approfondissement du trou, sur l'horizon B seul, s'il offre des différences notables avec l'horizon de surface.

3.2.1. — Rappel de la théorie de la méthode PORCHET [4] figure 1.

On creuse dans le sol, à l'aide d'une tarière de rayon R (en mètres), un trou d'une certaine profondeur H'; on remplit d'eau ce trou et on suit l'infiltration de l'eau dans le sol en fonction du temps t.

La loi de DARCY donne :

$$Q/s = K_{m/s} \cdot S_m^2 \cdot I$$

La surface d'infiltration est égale à la surface des parois augmentée de la surface du fond :

$$S = 2\pi R h + \pi R^2$$

si h est la hauteur d'eau en mètres à l'instant t.

En admettant que la pente motrice I est peu différente de 1, la relation s'écrit :

$$Q = K \times S = K (2\pi R h + \pi R^2)$$

$$Q = 2 K \pi R (h + R/2) \quad (1)$$

Pendant le temps dt, le plan d'eau baisse de dh et le débit est donc :

$$Q = - \pi R^2 \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

Le signe — s'explique par le fait que Q est essentiellement positif, alors que la variation de h est négative.

Donc :

$$Q = K \pi R \left(h + \frac{R}{2} \right) = - \pi R^2 \frac{dh}{dt} \text{ en égalant (1) et (2)}$$

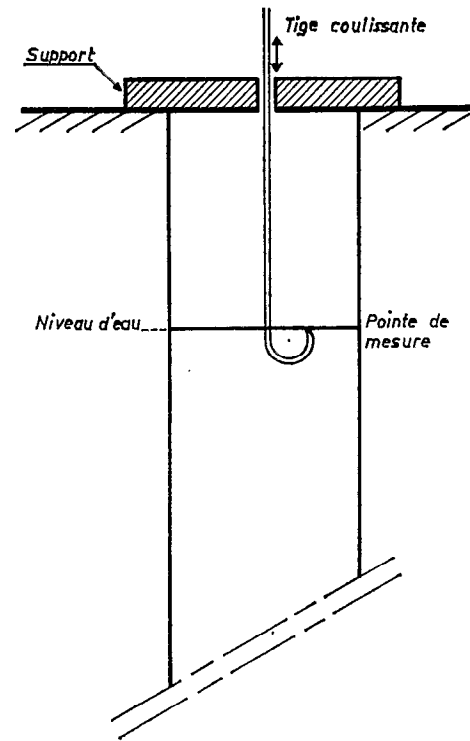
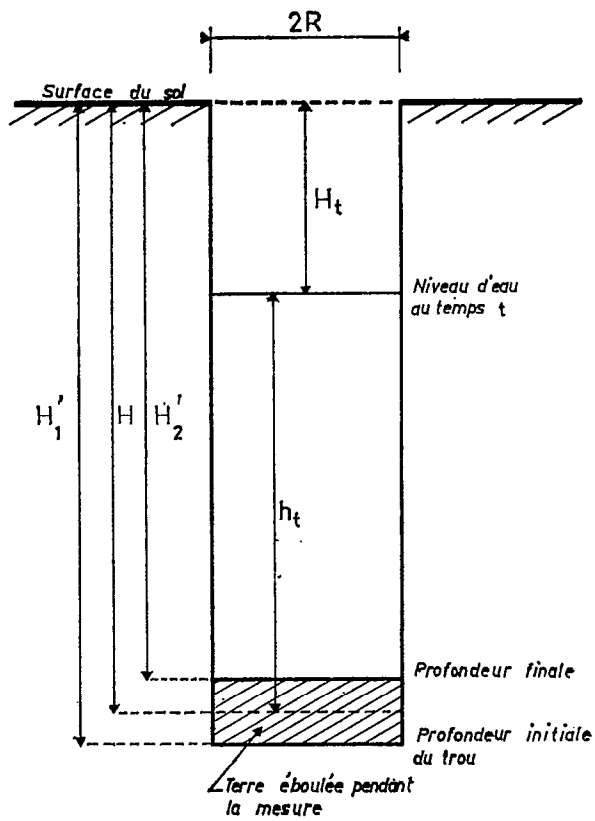
$$\frac{2K}{R} dt = - \frac{dh}{h + \frac{R}{2}}$$

En intégrant :

$$\frac{2K}{R} t = - L \left(h + \frac{R}{2} \right) + Cte$$

Pour t = 0, h = h₀ hauteur d'eau initiale, et par conséquent :

$$Cte = L \left(h_0 + \frac{R}{2} \right)$$

Schéma explicatif d'une mesure de perméabilité PORCHET

$$\frac{2K}{R} t = -L\left(h + \frac{R}{2}\right) + L\left(h_0 + \frac{R}{2}\right)$$

Si nous passons aux logarithmes décimaux :

$$\log\left(h + \frac{R}{2}\right) = \log\left(h_0 + \frac{R}{2}\right) - \frac{2K}{2,3R} t \quad (3)$$

2,3 est l'expression simplifiée de $\frac{1}{\log e} = 2,30103$.

Cette équation est de la forme $Y = A - B t$, avec $Y = \log\left(h + \frac{R}{2}\right)$, $A = \log\left(h_0 + \frac{R}{2}\right) = Cte$,

$$B = \frac{2K}{2,3R} = Cte.$$

Si nous portons les valeurs de $\log\left(h + \frac{R}{2}\right)$ obtenues en fonction de t sur un papier millimétré où l'on a tracé deux axes de coordonnées gradués en temps pour les abscisses, et logarithmiquement en ordonnées, nous obtiendrons une droite dont la pente, $tg \alpha$, compte tenu des unités employées, sera égale à $\frac{2K}{2,3R}$, R étant en mètres, ainsi que h .

D'où :

$$K = \frac{2,3R}{2} tg \alpha. \text{ En calculant } tg \alpha, \text{ on en déduit } K.$$

3.2.2. — Exécution pratique de la mesure.

Quelques précautions matérielles sont à respecter pour une bonne exécution :

- Nettoyage préalable de la surface du sol sans arrachage de l'herbe;
- Ne pas piétiner le sol au droit du trou à faire;
- Remplir le trou d'eau à l'aide d'un entonnoir placé au centre.

Pratiquement, après avoir creusé le trou de profondeur H'_1 , on remplit le trou d'eau et l'on mesure à l'instant 0 le niveau de l'eau par rapport à un repère fixe, soit au moyen d'une règle, soit, ce qui est plus précis, au moyen d'une tige montée sur flotteur coulissant librement dans un bâti gradué (fig. 1); la tige est recourbée en forme d'hameçon, et on note le renseignement quand le bout de l'hameçon perce le niveau de l'eau.

Soit H_0 la hauteur lue.

On recommence à des intervalles de temps réguliers et, à la fin de l'expérience, on note la nouvelle profondeur du trou H'_2 .

La différence $H'_1 - H'_2$ vient des éboulements en cours d'expérience.

$$\text{On prend } H = \frac{H'_1 + H'_2}{2}.$$

On a $h_0 = H - H_0$

$$h_1 = H - H_1, \text{ etc.}$$

$$h_t = H - H_t$$

et l'on peut construire le tableau suivant :

t	H_i	h_i	$h_i + \frac{R}{2}$
t_0	H_0	$H - H_0$	$h_0 + R/2$
t_1	H_1	$H - H_1$	$h_1 + R/2$
t_2	H_2	$H - H_2$	$h_2 + R/2$
t_3	H_3	$H - H_3$	$h_3 + R/2$
t_4	H_4	$H - H_4$	$h_4 + R/2$
t_5	H_5	$H - H_5$	$h_5 + R/2$

On porte en abscisse le temps t , et en ordonnée les valeurs de $\log (h + R/2)$ en utilisant du papier semi-logarithmique.

Les points représentatifs se disposent suivant une ou plusieurs droites successives, la vitesse de filtration atteignant une certaine stabilité au bout d'un certain temps; il y aura donc plusieurs valeurs de K pour un même sol, K_1, K_2, \dots . Il peut être intéressant de connaître même les valeurs du début (perméabilité en sol sec).

En fait, seule la perméabilité en sol saturé constitue un phénomène stable et comparable; c'est elle qu'il importe de mesurer; elle correspond évidemment au « régime de croisière » atteint par la décroissance $H(t)$ et que représente la droite (le long de laquelle s'alignent les points de mesures) ayant la plus faible pente. Suivant les terrains, on atteint ce régime en quelques minutes (30 au plus).

Pour connaître K , il faut mesurer la vraie pente de la droite correspondante et pour cela tenir compte des unités employées :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y/U_y}{x/U_x}$$

U_x étant l'unité utilisée pour les abscisses et U_y celle des ordonnées.

$$\text{D'où : } K = \frac{2,3 R}{2} \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot U_x \cdot \frac{1}{U_y} \text{ m/s}$$

R étant en mètres, et $\operatorname{tg} \alpha_1$ la pente de la droite mesurée sur le papier, égale à $\frac{y}{x}$.

3.2.3. — Protocole de CHEVRON-VILLETTE et ROEDERER.

Ce protocole a pour but l'étude de la perméabilité des sols à une cadence assez rapide puisque chaque mesure demande 20 minutes. Il est donc recommandé de l'employer pour ce programme de recherches.

La mesure sur le terrain se fait avec une tarière de 8 cm, les mesures étant faites à 15 s, 30 s, 45 s, 1 mn, 2 mn, 3 mn, 4 mn, 5 mn, 6 mn, 8 mn, 9 mn, 10 mn, 15 mn, 20 mn.

Les mesures du début, rapprochées, sont destinées à avoir la (ou les) première portion de droite correspondant au sol sec, afin de réduire l'erreur commise sur le coefficient de la dernière droite : au début, la pente est forte et produirait une erreur sur le coefficient K normal du sol si l'on n'y faisait pas attention. Cette correction n'est importante que pour un temps de mesure aussi court que celui employé.

Bien que la perméabilité sur sol sec, donnée par la première droite à forte pente, soit d'un certain intérêt, l'objectif primordial de la mesure est la perméabilité sur sol saturé que donne la dernière droite à pente plus modérée.

Si la stabilité ne paraît pas bien assurée au bout de 20 minutes (descente encore trop rapide de l'eau), on peut prolonger la mesure jusqu'à 30 minutes (lectures à 25 et 30 minutes), ou remplir à nouveau le trou et refaire un essai de 10 minutes (1 lecture par minute) selon le protocole de BOUCHARD et autres [5].

Ce 2^e protocole paraît beaucoup plus sûr et devra être utilisé de préférence.

Le graphique de calcul est construit avec, pour abscisse, 1 cm pour 1 minute et pour l'ordonnée, 1 unité logarithmique égalant 25 cm.

Le graphique une fois construit, on lui superpose l'abaque ci-joint; cet abaque (fig. 2) est valable pour n'importe quelle profondeur à condition de mettre le point 0 de l'abaque sur le point où la droite construite coupe l'axe des ordonnées (voir exemple).

Il suffit de lire en 10^{-6} les valeurs de K données par l'abaque.

Remarques :

Dans le cas où l'on emploie une tarière de diamètre D différent de 8 cm, il suffit de multiplier le résultat obtenu par D/8.

De la même façon, si l'on emploie une autre échelle des temps, il suffira de multiplier le résultat trouvé par l'abaque par le rapport des unités U' (nouvelle échelle) sur U (échelle de l'abaque).

Si l'on emploie une autre échelle logarithmique, on multipliera le résultat lu sur l'abaque par le rapport :

$$\frac{U \text{ (échelle de l'abaque)}}{U' \text{ (échelle nouvelle)}}$$

L'exécution des campagnes de mesures de perméabilité et des profils hydriques peut faire l'objet de modifications, dues aux contingences locales, à apporter aux protocoles optimaux qui viennent d'être décrits.

La sujétion viendra toujours des profils hydriques puisque les mesures de perméabilité, qui ne sont pas à renouveler, peuvent être faites à une époque quelconque. En effet, le protocole optimal d'établissement des profils hydriques demande 6 séjours sur le bassin (d'une semaine environ). Parmi eux, le séjour du centre d'hivernage est indispensable : obtention de la capacité au champ; il en est de même de celui survenant environ 3 mois après la fin des pluies qui caractérise l'état moyen de saison sèche.

La densité des prélèvements au cours d'un profil hydrique peut également être réduite, pour des raisons matérielles : 1 prélèvement chaque 20 ou 30 cm par exemple sur 2 m, puis chaque 50 cm au-delà, s'il y a lieu.

Le texte consacré aux mesures de perméabilité fait de larges emprunts à P. ROEDERER [4].

La méthode PORCHET a l'inconvénient de détruire la croûte superficielle du sol, que conserverait assez bien la méthode MUNTZ, mais elle se prête mieux à des opérations répétées, c'est l'une des raisons de son choix.

IV. — PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les conclusions de l'étude pédologique d'un bassin se présenteront sous la forme de carte, rapport et résultats d'analyse :

- carte des sols du bassin avec indication des points de mesure et de prélèvement;
- rapport explicatif de la cartographie et interprétatif des résultats d'analyse;
- tableaux des résultats d'analyse offrant les valeurs déterminées pour tous les paramètres du sol.

Le rapport doit avoir comme objectif d'interprétation de fournir les éléments de réponse propres à la pédologie quant au problème posé : le devenir de l'eau de pluie.

Le rapport et la carte (si nécessaire) indiqueront également la nature et la localisation des terrains géologiques sous-jacents.

On devra y trouver également :

- un avis sur le degré d'érosion subi par les sols (existence de l'érosion en nappe, en rigole ou en ravin et degré atteint);
- un aperçu sur le couvert végétal naturel et sur les cultures pratiquées.

Les tableaux de résultats d'analyse sont à joindre en annexe au rapport; ils contiendront tous les résultats obtenus par le pédologue et ceux relatifs à la perméabilité qui auront été calculés directement par l'hydrologue.

Aucun résultat de mesure ne doit être omis, afin de faciliter l'étude de dispersion et de précision à laquelle se livrera le Bureau Central Hydrologique.

Ultérieurement, ce Bureau Central procédera à la confrontation de ces résultats avec les caractéristiques hydrologiques. En vue de l'établissement des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux, tous ces éléments seront répertoriés et regroupés sur une fiche signalétique du milieu physique du bassin (géologie — sols — végétation — climat régional) associée à une ou plusieurs cartes (sols, géologie et couvert végétal si nécessaire) et où figureront au moins les principales valeurs des paramètres du sol (de l'horizon A au moins) pour l'ensemble du bassin. Le modèle de cette fiche est en préparation.

A ce sujet, le rapport pourrait utilement contenir en annexe soit :

- une fiche descriptive de profil de sol, selon la procédure en vigueur à la section de Pédologie HANN-DAKAR par exemple [6], caractéristique de chaque unité cartographiée,

soit :

- une synthèse de toutes les fiches descriptives de profil en une fiche « moyenne » pour chaque unité de sol cartographiée.

Il est bien entendu que les protocoles de mesures décrits dans cette note s'appliquent, en général, à tous les bassins versants représentatifs. Pour certains d'entre eux à objectif bien particulier et pour les bassins expérimentaux, on peut concevoir des mesures plus complètes ou plus détaillées. Des consignes particulières pourront être dictées dans ces cas particuliers.

La fiche descriptive de profil établie par VAN DEN DRIESSCHE peut également être employée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DUBREUIL (P.). — 1967. — « Point de vue théorique sur le rôle du sol dans le cycle hydrologique ». Cahiers O.R.S.T.O.M.. Série Hydrologie, vol. IV, n° 1, pp.
- [2] HÉNIN (S.). — 1960. — « Le profil cultural » S.E.I.A. — Paris.
- [3] A. COMBEAU, G. MONNIER. — 1961. — « Méthode d'étude de la stabilité structurale. Application aux sols tropicaux ». Sols africains. — B.I.S. Vol. VI, n° 1, p. 5-32.
- [4] . — 1956. — « Perméabilité des sols (Méthode PORCHET) » d'après MM. de BEAUCORPS, de CHEVRON-VILLETTE, LANGLE, PUJOS et ROEDERER, méthodes recueillies par P. ROEDERER. — Rabat. — Mai 1956, 9 p. + annexes, tirage ozalid.
- [5] BOUCHARD, TREYER, de CASABIANCA, ANDRIAMIHAINGO, ROCHE « Étude pédologique de la plaine de Mahabo (Préfecture de Morondava). Échelle 1/5 000^e » I.R.A.T., I.R.A.M. 1962-63. — L'Agronomie tropicale, n° 3, mars 1964, p. 227-252.
- [6] Section de Pédologie de HANN-DAKAR « Description des profils de sols sur fiche de prospection ». O.R.S.T.O.M. — Bull. bibliographique de Pédologie. Tome XV. Fasc. 1, 1^{er} trimestre 1966.

ANNEXE

Liste de matériel nécessaire à l'exécution des profils hydriques
et des mesures de perméabilité PORCHET sur le terrain.

1. — PROFILS HYDRIQUES

- 2 Tarières (diamètre recommandé : 8 mm) avec 3 rallonges métriques;
- 2 Doubles mètres ou décamètres;
- 500 Boîtes à humidité (pour environ 10 séries de 4 profils chaque à 10-12 prélèvements par profil) avec étiquettes d'identification (date, n° du site de mesures, lettre du trou (A, B, C, D), profondeur de prélèvement en cm : 8-7-67 4-B-50 par exemple);
- 500 Sacs pour échantillons destinés aux mesures de pF , avec étiquettes d'identification;
- 1 Bâche de 4 à 5 m².

2. — MESURES PORCHET

- Tarières et doubles mètres (pour mémoire);
- 3 Pointes recourbées avec support à coulisse pour mesure du niveau d'eau;
- 2 Chronomètres (ou montres à aiguille trotteuse);
- 1 Carnet de relevé comportant :
 - date,
 - identification du site par même n° que profil hydrique,
 - identification de l'horizon de sol étudié,
 - identification de l'essai par 1 lettre,
 - par essai — une colonne temps,
 - une colonne profondeur de l'eau H_t ,
 - profondeur du trou avant H'_1 , après H'_2 ,
- 4 Jerrycans de 20 litres.

N. B. — 2 manœuvres opérateurs sont nécessaires à l'exécution de ces deux ensembles de mesures, en plus du technicien.

Abaque de perméabilité PORCHET

Coefficient de perméabilité: $K = X \times 10^{-6}$

