

# Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs de potentiel et la texture des sols sableux du Nord Sénégal

Antoine CORNET  
Chercheur ORSTOM  
ORSTOM, 24 rue Bayard 75008 Paris

## Résumé

*Ce travail, montre, à partir des mesures effectuées sur différents types de sols sableux du Nord Sénégal, les relations existant entre : texture et humidité aux différentes valeurs de potentiel d'une part, et d'autre part entre texture et capacité de rétention.*

*Il est montré que la capacité de rétention ne correspond pas à un pF déterminé. Elle est une grandeur caractéristique des sols, variant en fonction de leur teneur en éléments fins et en matière organique. Il ressort de cette étude que pour les sols considérés, il est possible de calculer les caractéristiques hydriques à partir des résultats de l'analyse granulométrique de ces sols et de leur taux de matière organique.*

**Mots-clés :** Capacité de rétention - Humidité - Potentiel - Texture - Sols sableux - Sénégal.

## Abstract

OBSERVATIONS ABOUT THE FIELD CAPACITY, ITS RELATIONS WITH THE POTENTIAL VALUES AND THE TEXTURES OF THE SANDY SOILS IN THE NORTH OF SENEGAL.

*Starting from the measurements made on different types of sandy soils in the North of Senegal, this work shows the relations existing on the one hand between the texture and the moisture expressed with different potential values and on the other hand between the texture and the field capacity.*

*It is shown that the field capacity does not correspond to a given pF. It is a feature of the soils which varies in relation to their fine component and organic matter content. This study reveals that it is possible to calculate the water features of the soils under consideration from the results of their granulometric analysis and of their rate of organic matter.*

**Key words :** Field capacity - Moisture - Potential - Texture - Sandy soils - Senegal.

## INTRODUCTION

La compréhension de l'alimentation en eau des plantes, notamment en zone aride, est intimement liée à la connaissance des réserves hydriques, à la détermination des teneurs en eau du sol sous des tensions données et en particulier à la capacité au champ.

Si les caractéristiques physiques des sols sont en général bien décrites lors des prospections pédologiques, les caractéristiques hydriques le sont rarement en raison des difficultés que soulève leur étude. Il est donc indispensable d'étudier les caractéristiques physiques susceptibles d'être corrélées aux caractères hydriques.

Divers auteurs : (COMBEAU 1961 ; COMBEAU et QUANTIN 1963 ; CHARREAU 1963 ; DANCETTE 1973) ont montré qu'il existe des relations linéaires étroites entre le taux d'humidité à un pF donné et la texture du sol. Par ailleurs, GRAS (1962), DANCETTE et MAERTENS (1974) ont montré que le pF correspondant à la capacité au champ pour un type de sol déterminé peut être relié à la composition texturale du sol.

En partant de séries d'échantillons de sol de type brun sub-aride ou ferrugineux tropical peu lessivé provenant des stations de Fété-Olé, CRZ de DAHRA et RANCH de DOLI, nous nous sommes proposé d'établir les relations entre pF, capacité de rétention et texture.

## MÉTHODES

Les méthodes de détermination de la capacité de rétention sont très nombreuses et très diverses. Des études récentes, il ressort d'une part : qu'il existe bien une valeur d'humidité caractéristique liée à la dynamique de l'eau dans le sol et qui constitue la capacité au champ. D'autre part, que cette capacité de rétention n'est pas liée à un pF déterminé, mais que le pF à la capacité de rétention varie avec la texture du sol.

FEODOROFF (1965) la définit dans les termes suivants :

« La capacité au champ est la plus forte humidité pour laquelle les transferts d'eau sont lents... Lorsque la teneur en eau d'une couche donnée atteint la capacité au champ, les mouvements de l'eau y deviennent très lents, grâce à cette propriété, la capacité au champ peut être raisonnablement considérée comme la limite supérieure de l'eau mise en réserve par le sol ».

Aux nouvelles définitions basées sur la dynamique de l'eau doivent correspondre de nouvelles méthodes de détermination basées également sur cet aspect dynamique (CORNET 1970).

Nous avons utilisé ici une méthode préconisée par FEODOROFF (1972).

Une parcelle de 2 m<sup>2</sup> sur sol homogène est entourée par une bordure métallique enfoncée verticalement dans le

sol. Elle est arrosée abondamment de façon à amener le sol à une humidité proche de la saturation. La parcelle est ensuite recouverte d'une bâche plastique pour empêcher l'évaporation. On procède à des mesures d'humidité échelonnées dans le temps 12 - 18 - 24 - 36 - 48 - 72 h. après l'arrosage. La capacité de rétention est obtenue pour la valeur d'humidité pour laquelle  $\frac{\Delta H}{\Delta T}$  devient

négligeable. Cette valeur a généralement été obtenue entre 36 et 48 h.

Les échantillons prélevés ont été étudiés au laboratoire ORSTOM de Dakar-Hann pour analyse granulométrique et détermination des humidités au pF : 2,2 - 2,5 - 3,0 - 4,2. La figure 1 montre quelques valeurs obtenues sur les différentes stations, sur échantillons remaniés, par passage à la presse à membrane ou à la presse à plaque de porcelaine poreuse.

## RÉSULTATS

RELATIONS ENTRE L'HUMIDITÉ AUX DIFFÉRENTES pF ET LA TEXTURE DU SOL

La relation signalée antérieurement par de nombreux auteurs, entre le taux d'humidité à un pF donné et la teneur en éléments fins a été vérifiée. Il existe une

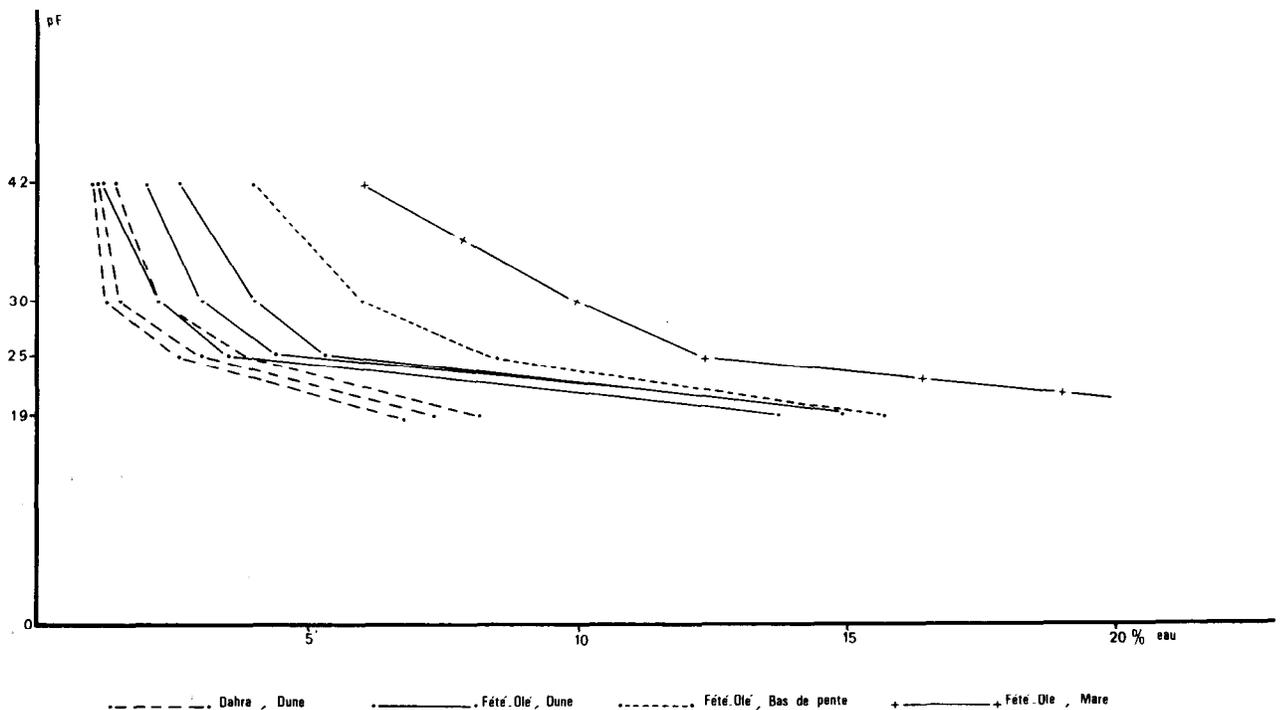


Fig. 1 — Relations pF humidité

corrélation significative entre le taux d'humidité et la teneur en argile (fraction 0-2  $\mu$ ) du sol. L'introduction de la fraction 2-20  $\mu$  (limon fin) entraîne une élévation du coefficient de corrélation et une diminution de la variance résiduelle. Ceci montre que l'effet des limons fins sur la rétention en eau des sols est non négligeable. Le taux de matière organique, faible il est vrai, a peu d'influence.

#### Humidité à pF 4,2 (Point de fanaison permanente)

Si nous désignons par  $Y_4$  l'humidité pondérale à pF 4,2 et par X la teneur en argile + limon fin, nous obtenons les relations suivantes :

- Fété-Olé (sol ferrugineux tropical peu lessivé)

$$Y_4 = 0,229 X - 0,23 \quad \text{nombre d'échantillons } N = 69$$

$$r^2 = 0,92 \quad \text{coefficient de corrélation } r = 0,96$$

L'analyse de variance sur la régression nous donne F calculé = 888,3 pour F 0,01 = 7,1 : Régression très significative.

- Dahra Nord (sol brun sub-aride)

$$Y_4 = 0,215 X - 0,10$$

$$N = 59$$

$$r^2 = 0,85 \quad r = 0,92$$

$$F_c = 292,0$$

- Dahra Sud (sol ferrugineux tropical peu lessivé)

$$Y_4 = 0,229 X - 0,148$$

$$N = 35$$

$$r^2 = 0,90 \quad r = 0,95$$

$$F_c = 113,7$$

- Doli Nord (sol ferrugineux tropical peu lessivé à lessivé)

$$Y_4 = 0,200 X + 0,037$$

$$N = 71$$

$$r^2 = 0,76 \quad r = 0,87$$

$$F_c = 209,5$$

$$F_{0,01} = 7,1$$

Les coefficients de régression de  $Y_4$  par rapport à X étant voisins pour les différentes stations, nous avons testé leur signification par le test de Student Fischer. Le test montre que pour  $P = 0,01$  les quatre coefficients de régression ne sont pas significativement différents. Nous avons pu établir l'équation générale de régression pour l'ensemble des échantillons.

$$Y_4 = 0,216 X - 0,09$$

$$N = 234$$

$$r^2 = 0,88$$

$$r = 0,94$$

$$F_c = 1713,1$$

$$F_{0,01} < 7,1$$

Ces échantillons recourent un éventail de texture assez large : sols bruns sub-aride de dune à Dahra Nord dont la teneur en argile + limon fin est inférieure à 5 % jusqu'au sol de bas-fond hydromorphe de Fété-Olé où la teneur en argile + limon fin, peut atteindre 28 %.

Nous avons réparti les échantillons en trois classes suivant la teneur en éléments fins :

- $\leq 7,5 \%$
- 7,5 à 15 %
- > 15 %

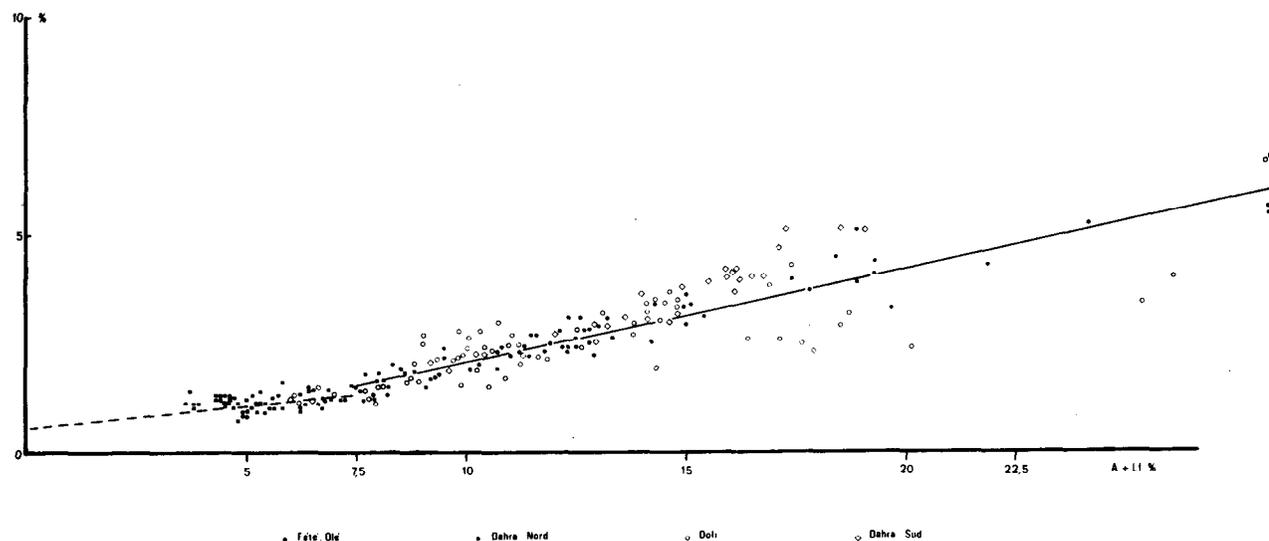


Fig. 2 — Relation entre l'humidité pondérale à pF 4,2 et la teneur en argile + limon fin

Nous obtenons :

$$\text{pour } X \leq 7,5 \% \quad Y_4 = 0,101 X + 0,583 \quad r = 0,51 \\ r^2 = 0,26$$

pour  $7,5 < X < 15 \%$  et  $X > 15 \%$ , les deux coefficients de régression ne sont pas significativement différents à  $P = 0,01$

Nous obtenons donc deux régressions linéaires :

Pour  $X = (\text{teneur en argile et limon fin}) \leq 7,5 \%$

$Y_4 = 0,101 X + 0,583 \quad r = 0,51 \quad r^2 = 0,26$  peu significative et pour  $X > 7,5 \%$

$$Y_4 = 0,217 X - 0,106 \quad (1) \quad r = 0,92 \quad r^2 = 0,85$$

$F_c = 861,6$  très significative.

Il en ressort que l'humidité pondérale à pF 4,2 peut être corrélée de façon étroite avec la teneur du sol en éléments fins, du moins lorsque celle-ci est voisine de ou supérieure à 7,5 %. Pour les sols dont la teneur en éléments fins est très faible, la corrélation devient non significative. On peut alors penser que la rétention de l'eau dans ces sols, par ailleurs pauvres en matière organique, est surtout liée à la granulométrie des sables. Les points représentatifs des échantillons ont été portés sur le graphique figure 2, ainsi que le tracé des droites de régression.

L'étude du bilan hydrique des sols dans les quatre stations montre que la valeur déterminée pour l'humidité au point de fanaison permanente est rapidement atteinte, un à deux mois après la fin de la saison des pluies. Il s'établit ensuite un équilibre sec sensiblement inférieur à cette valeur, qui se maintient durant toute la saison sèche. AUDRY (1967) observe le même phénomène dans des sols comparables au Tchad.

#### Humidité aux différents pF

Si nous désignons par  $Y_3, Y_2, Y_1$  les humidités pondérales correspondant respectivement aux pF : 3,0 - 2,5 - 2,2 -

X désignant la teneur en argile + limon fin exprimée en %.

Nous obtenons les régressions suivantes :

$$\text{Humidité à pF 2,2 (2) } Y_1 = 0,626 X + 1,59 \\ r = 0,97 \quad r^2 = 0,94 \\ F_c = 360,12 \\ \text{Variance résiduelle } S^2_E = 0,739$$

$$\text{Humidité à pF 2,5 (3) } Y_2 = 0,445 X + 0,38 \\ r = 0,97 \quad r^2 = 0,94 \\ F_c = 1\,068,8 \\ \text{Variance résiduelle} = 0,521$$

$$\text{Humidité à pF 3,0 (4) } Y_3 = 0,344 X - 0,108 \\ r = 0,95 \quad r^2 = 0,90 \\ F_c = 1\,937,0 \\ \text{Variance résiduelle} = 0,408$$

#### RELATION ENTRE CAPACITÉ DE RÉTENTION ET TEXTURE DU SOL

Les mesures de capacité de rétention ont été effectuées à Dahra sur les sols bruns sub-arides (Dahra Nord) et sur des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (Dahra Sud). Sur le graphique de la figure 3 ont été portées les valeurs mesurées de capacité de rétention et d'humidité à pF 4,2 en fonction de la teneur en argile + limon fin. Les droites de régression calculées à partir des mesures de laboratoire pour ces échantillons ont été également représentées. Les points représentant la capacité de rétention montrent une assez forte dispersion.

En désignant par  $Y_c$  l'humidité pondérale à la capacité de rétention et par X la teneur en argile + limon fin on obtient la relation :

$$(5) \quad Y_c = 0,398 X + 4,28$$

avec  $r = 0,86 \quad r^2 = 0,74$

$$F_c = 81,09$$

Variance résiduelle = 1,78

Il est donc possible de prévoir l'humidité à capacité de rétention en fonction de la teneur en éléments fins. Cependant la précision de cette prévision est assez faible. Pour l'améliorer, nous avons essayé d'établir une régression multiple ayant comme variables explicatives  $X_1$  la teneur en éléments fins en % et  $X_2$  la teneur en matières organique exprimée en %.

Nous obtenons la relation :

$$(6) \quad Y_c = 0,395 X_1 + 0,872 X_2 + 2,572$$

ou  $r^2 = 0,93$

$$F_c = 173,65$$

Variance résiduelle = 0,427

$$F_{0,01} = 5,66$$

#### Relations entre pF et capacité de rétention

La figure 3 illustre bien le fait signalé par de nombreux auteurs : (GRAS 1962, FEODOROFF 1965) que la capacité de rétention ne correspond pas à une valeur de pF déterminée. Le pF correspondant à la capacité de rétention est lié à la teneur en éléments fins. Il est d'autant plus élevé que la teneur en éléments fins est faible. Pour les sols ayant une teneur en argile + limon fin inférieure à 10 %, le pF correspondant à la capacité de rétention est inférieur à 2,2. Pour les sols dont la teneur est comprise entre 10 et 25 % le pF est situé entre 2,2 et 2,5.

TABLEAU I  
 Comparaison de réserves en mm aux différents pF et à la capacité de rétention pour deux profils de sol type

| Type de sol                                   | Réserve totale sur 100 cm |        |        |       |
|---|---------------------------|--------|--------|-------|
|   | pF 3                      | pF 2,5 | pF 2,2 | CR    |
| Brun sud-aride<br>Dahra Nord                  | 27,0                      | 38,0   | 70,0   | 86,0  |
| Ferrugineux tropical peu lessivé<br>Dahra Sud | 74,0                      | 97,0   | 148,0  | 149,0 |

Le tableau I montre la réserve totale en millimètres contenus dans les cent premiers centimètres de chaque sol pour la valeur de pF = 3,0 - 2,5 - 2,2 et pour la capacité de rétention. On voit l'erreur importante que l'on commet lorsque l'on prend par exemple l'humidité à pF 2,5 comme correspondant à la capacité de rétention.

RELATIONS ENTRE LA RÉSERVE EN EAU UTILE DES SOLS ET LEUR TENEUR EN ÉLÉMENTS FINS ET EN MATIÈRE ORGANIQUE

On désigne par  $Y_u$  la tranche d'humidité pondérale disponible, obtenue pour chaque échantillon par la différence entre l'humidité au point de fanaison permanente et l'humidité à la capacité de rétention,  $X_1$  représentant la teneur en argile + limon fin exprimée en pour cent et  $X_2$  la teneur en matière organique exprimée en pour mille.

(7)  $Y_u = 0,1228 X_1 + 1,0855 X_2 + 2,361$   
 avec  $r^2 = 0,79$

$F_c = 49,5$

Variance résiduelle = 0,363

La mesure de la densité apparente effectuée par la méthode du cylindre, nous permet de déterminer la réserve utile en mm, pour 10 cm de sol. Si l'on désigne par RU cette grandeur.

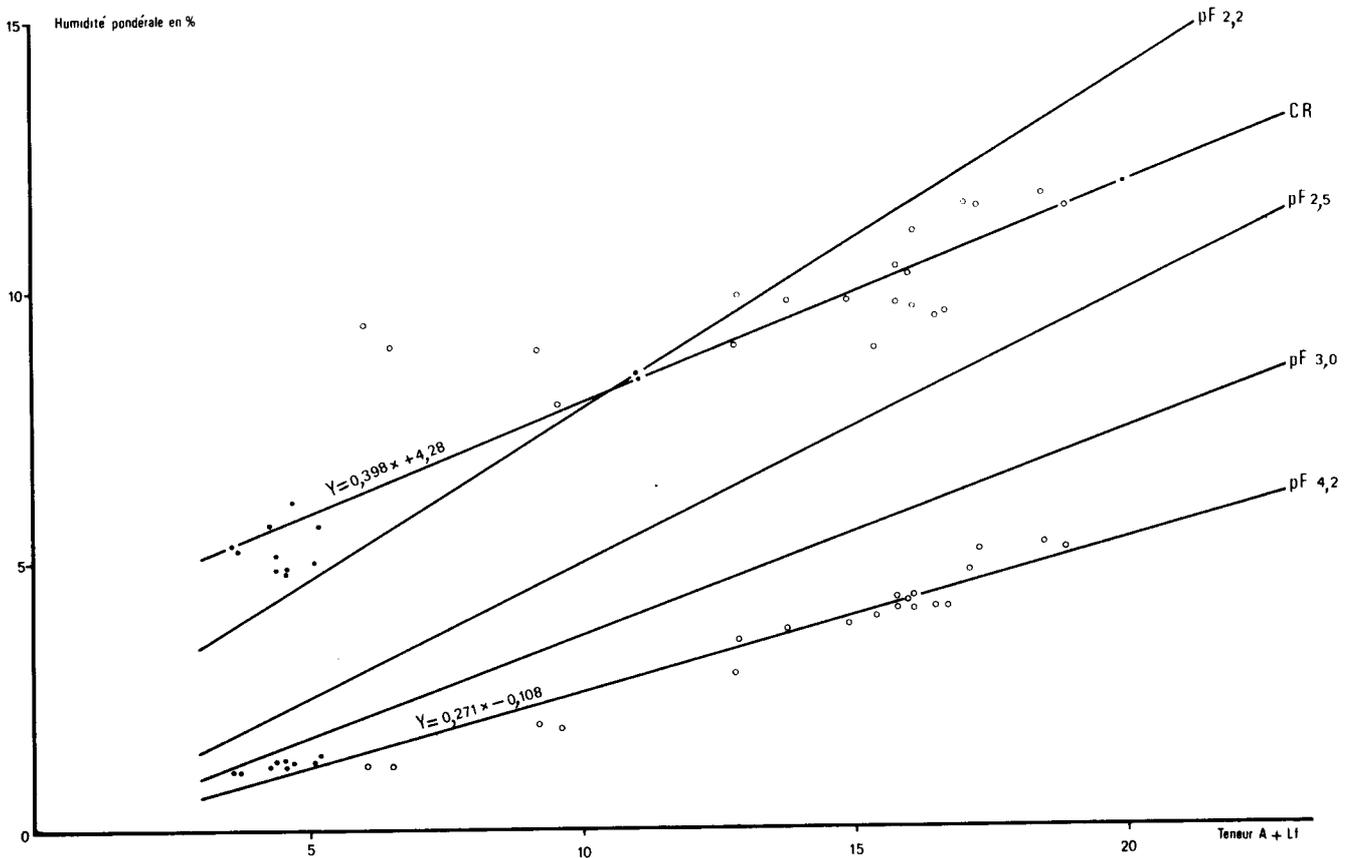


Fig. 3 — Relation entre humidité pondérale à divers pF donnés et à la capacité de rétention et la teneur en éléments fins : argile + limon fin à Dahra.

On calcule la relation :

$$(8) \text{ RU} = 0,199 X_1 + 1,699 X_2 + 3,815$$

$$\text{ou } r^2 = 0,79$$

$$F_c = 51,34$$

$$F_{0,01} = 5,66$$

$$\text{Variance résiduelle} = 0,879$$

Le tableau II montre les comparaisons entre les valeurs mesurées d'humidité au point de fanaison permanente, de capacité de rétention et les valeurs calculées par les relations respectives (1) et (6). Ainsi que la comparaison entre la valeur mesurée de la réserve utile en mm et les valeurs calculées soit à partir de relations (1) et (6) et de la densité apparente (da) mesurée, soit directement à partir de la relation (8).

Les deux séries de valeurs pour chaque élément constituant des séries appariées. On peut les comparer

par la « méthode des couples », en formant pour chaque paire la différence des deux valeurs et en comparant les moyennes des n différences à 0 par l'écart réduit

$$\xi = \frac{m - 0}{S/\sqrt{n}}$$

où m et S désignent la moyenne et l'écart type estimés sur l'échantillon de n différences.

Pour la comparaison entre RU mesurée et RU calculée nous obtenons

$$m = + 0,033 \quad n = 30 \quad S = 0,0921 \quad \xi = 0,197$$

$$\text{pour } P = 0,01 \quad \xi = 1,697$$

$|\xi| < 1,697$  implique que à 1 % près les valeurs calculées et mesurées ne diffèrent pas significativement. Le calcul montre qu'il en est de même pour les valeurs d'humidité aux pF 4,2 et à capacité de rétention.

TABLEAU II

Comparaisons entre valeurs calculées et valeurs mesurées des principaux paramètres hydriques.

| N° Échantillon | Humidité à pF 4.2 |              | Humidité à C. R. |              | Réserve utile en mm pour 10 cm de sol |                       |              |
|----------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------|
|                | Mesurée           | Calculée (1) | Mesurée          | Calculée (6) | Mesurée                               | Calculée (6) - (1) da | Calculée (8) |
| DS 1           | 1.2               | 1.2          | 9.4              | 8.1          | 12.7                                  | 10.7                  | 11.2         |
| DS 2           | 2.0               | 1.9          | 8.9              | 8.7          | 11.3                                  | 11.5                  | 10.6         |
| DS 3           | 3.5               | 2.7          | 9.9              | 9.7          | 10.2                                  | 11.1                  | 10.4         |
| DS 4           | 4.0               | 3.2          | 8.9              | 10.1         | 7.8                                   | 10.9                  | 9.7          |
| DS 5           | 4.1               | 3.5          | 9.5              | 10.4         | 8.6                                   | 11.0                  | 5.6          |
| DS 6           | 4.1               | 3.5          | 9.6              | 10.5         | 8.8                                   | 11.4                  | 9.7          |
| DS 7           | 3.8               | 3.2          | 9.8              | 9.6          | 9.6                                   | 10.4                  | 8.9          |
| DS 8           | 4.3               | 3.4          | 11.1             | 10.1         | 10.9                                  | 10.7                  | 9.2          |
| DS 9           | 5.3               | 3.9          | 11.8             | 11.4         | 10.4                                  | 12.0                  | 10.4         |
| DS 10          | 5.2               | 3.7          | 11.6             | 10.7         | 10.2                                  | 11.2                  | 9.7          |
| DS 11          | 1.2               | 1.3          | 9.0              | 8.8          | 12.1                                  | 11.6                  | 12.2         |
| DS 12          | 1.9               | 2.0          | 7.9              | 8.8          | 11.0                                  | 11.1                  | 10.4         |
| DS 13          | 2.9               | 2.7          | 9.0              | 9.5          | 10.1                                  | 10.8                  | 10.0         |
| DS 14          | 4.1               | 3.3          | 10.4             | 10.4         | 10.1                                  | 10.8                  | 10.0         |
| DS 15          | 4.1               | 3.4          | 9.7              | 10.2         | 9.0                                   | 10.8                  | 9.5          |
| DS 16          | 4.3               | 3.3          | 9.8              | 10.4         | 8.8                                   | 11.4                  | 10.0         |
| DS 17          | 3.7               | 2.9          | 9.8              | 9.2          | 9.8                                   | 10.1                  | 8.8          |
| DS 18          | 4.2               | 3.4          | 10.3             | 10.0         | 9.8                                   | 10.6                  | 9.1          |
| DS 19          | 5.2               | 4.0          | 11.5             | 11.8         | 10.1                                  | 12.5                  | 10.9         |
| DS 20          | 4.8               | 3.6          | 11.6             | 10.7         | 10.9                                  | 11.4                  | 9.8          |
| DN 1           | 1.1               | 0.7          | 5.3              | 6.2          | 8.9                                   | 6.9                   | 8.8          |
| DN 2           | 1.1               | 0.7          | 5.2              | 5.5          | 6.7                                   | 7.8                   | 7.4          |
| DN 3           | 1.2               | 0.8          | 5.7              | 5.6          | 7.3                                   | 7.8                   | 7.3          |
| DN 4           | 1.4               | 1.0          | 5.7              | 5.5          | 7.0                                   | 7.3                   | 6.5          |
| DN 5           | 1.3               | 1.0          | 5.0              | 5.2          | 5.9                                   | 6.8                   | 6.1          |
| DN 6           | 1.3               | 0.9          | 4.9              | 4.9          | 5.7                                   | 6.3                   | 5.9          |
| DN 7           | 1.2               | 0.9          | 4.8              | 4.9          | 5.7                                   | 6.3                   | 5.7          |
| DN 8           | 1.3               | 0.9          | 6.1              | 5.0          | 7.6                                   | 6.5                   | 5.9          |
| DN 9           | 1.3               | 0.9          | 5.1              | 5.2          | 6.0                                   | 6.8                   | 6.5          |
| DN 10          | 1.3               | 0.9          | 4.8              | 5.2          | 5.5                                   | 6.8                   | 6.3          |

## CONCLUSION

Les facteurs qui conditionnent la rétention de l'eau par le sol sont très divers. Cependant en considérant des sols non cultivés, dont la structure diffère peu, et dont l'origine est semblable (évolution de dépôts sableux), les variations de texture permettent d'expliquer la variation de caractéristiques hydriques.

De façon générale, il existe une corrélation significative entre le taux d'humidité d'un sol à un pF déterminé et sa teneur en argile. La fraction 2-20 $\mu$  (limon fin) joue dans ces sols un rôle important dans la rétention de l'eau et l'on obtient une meilleure corrélation avec la fraction 0-20 $\mu$  qu'avec la seule fraction 0-2 $\mu$ . La corrélation entre à un pF déterminé et la teneur en éléments fins est d'autant plus étroite que le pF est plus élevé. Par ailleurs le coefficient de régression augmente lorsque le pF diminue. Ce fait se traduit par une augmentation des différences de teneur en eau entre deux valeurs consé-

tives de pF lorsque le taux d'éléments fins augmente (voir fig. 3).

La capacité de rétention est une grandeur caractéristique des sols, déterminable expérimentalement in situ. Sa variation est expliquée en grande partie par la teneur en éléments fins du sol et par la teneur en matière organique. La capacité de rétention du sol ne correspond pas à un pF déterminé. Le pF correspondant à celle-ci augmente avec le taux d'éléments fins contenu dans le sol. Dans les sols très sableux il peut atteindre des valeurs très faibles voisines de 2,0.

De cette étude il ressort que la prévision des principales caractéristiques hydriques des sols sableux du Nord Sénégal peut être réalisée de façon satisfaisante grâce à des relations statistiques simples à partir de leur teneur en éléments fins (argile + limon fin) et du taux de matière organique.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM, le 12 janvier 1980.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUDRY (P.), 1967. — Observations sur le régime hydrique comparé d'un sol ferrugineux tropical faiblement lessivé sous savane et sous culture. C.R. Colloque « Fertilité des sols tropicaux ». Tananarive — TOME : 1 591-1 613.
- CHARREAU (C.), 1963. — Dynamique de l'eau dans deux sols du Sénégal — *Agronomie Tropicale* — XIX : 63-120.
- COMBEAU (A.), 1961. — Observations sur certains facteurs de la rétention d'eau par le sol pour diverses valeurs remarquables du pF — Application à quelques types de sols tropicaux — Rapp. ronéo — ORSTOM — Paris — 22 p. + annexes.
- COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.), 1963. — Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapprochement avec les courbes pF humidité. *Science du sol* — Versailles 1 : 1-7.
- CORNET (A.), 1970. — Méthodes de détermination de la capacité de rétention en eau du sol. Rapp. de D.E.A. — ORSAY — 34 p. — Ronéo.
- DANCETTE (C.), 1973. — Principales études de l'IRAT au Sénégal, portant sur les caractéristiques hydriques et hydrodynamiques des sols et sur leurs aptitudes à l'irrigation. *Agron. Trop.* XXVIII, 9 : 887-893.
- DANCETTE (C.), 1970. — Détermination au champ de la capacité de rétention après irrigation dans un sol sableux du Sénégal. Intérêt Agronomique de cette mesure et application à une culture d'arachide. *Agron. Trop.* XXV, 3 : 225-40.
- DANCETTE (C.) et MAERTENS (C.), 1974. — Méthode d'estimation de la capacité au champ pour l'eau à partir du pF 3. *Science du Sol* 3 : 165-171.
- FEODOROFF (A.), 1967. — Capacité de rétention et pF — Inédit INRA.
- FEODOROFF (A.) et GUYON (G.), 1972. — Caractérisation physique et hydrodynamique des sols BTI — Paris — 1972 — 271-272 : 809-814.
- GRAS (R.), 1962. — Propriétés physiques du sol et croissance des Pêchers. *Ann. Agron.* XIII, 2 : 141-174.