

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME (Côte d'Ivoire)

Laboratoire d'Utilisation des Radioisotopes

MESURES DE L'HUMIDITÉ DES SOLS DES BASSINS VERSANTS
EXPÉRIMENTAUX DE SAKASSOU, À LA SONDE À NEUTRONS,

ETALONNAGE NEUTRONIQUE DES SOLS

par

J.F. BOIS

COPYRIGHT, ORSTOM

Mars 1977

I - PRESENTATION

L'étude hydrologique des bassins versants de SAKASSOU fait partie du programme de recherche : analyse et bilan du cycle de l'eau en Côte d'Ivoire.

1. Situation

Les bassins versants expérimentaux de SAKASSOU sont situés dans la région du contact forêt-savane, entre TOUMODI et DIMBOKRO. Du point de vue géologique, nous sommes sur un socle granitique. On rencontre deux types de sols : ferrallitiques et hydromorphes.

2. Utilisation des sondes à neutrons à SAKASSOU

Une étude fine du bilan hydrique et des mécanismes hydrologiques à l'échelle des petits bassins, a été entreprise par le laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM.

L'humidité des sols et leurs caractéristiques hydrodynamiques sont déterminées par la méthode neutronique.

Pour cela, un dispositif a été installé à partir de 1974 :

- Mesures régulières : 9 tubes permanents (rythme de mesure hebdomadaire),
- Cinétiques d'infiltration et de ressuyage : 4 sites,
- Parcelles d'érosion sous pluies simulées : 5 parcelles équipées de 2 tubes chacune.

Sur le tableau n° 1, figure la liste des différents sites de mesures neutroniques, et sur la figure 1, leur situation sur le bassin ~~central~~. est.

3. La méthode neutronique : quelques rappels

La sonde à neutrons enregistre un taux de comptage (en impulsions par seconde) qui est proportionnel à la teneur en eau du sol, exprimée par rapport au volume.

Il faut donc établir la relation permettant de passer du taux de comptage (N), à l'humidité volumique, (Hv).

C'est une droite d'équation :

$$N = \alpha Hv + \beta$$

Le taux de comptage est influencé par la nature du sol : densité, pouvoir d'absorption et de diffusion des neutrons.

Il est donc nécessaire de déterminer une droite d'étalonnage pour chaque type de sols et même pour chaque horizon.

TABLEAU n° 1 - EMLACEMENT DES TUBES DE SONDE A NEUTRONS.

| Sites | Réf. carte pédologique | Etalonnage | Utilisation du tube |
|-------|---------------------------|------------|---------------------|
| M6 | 2-10 | x | Cinétique |
| N6 | 2-20 | x | " |
| M8 | 2-10 | x | " |
| 351 | 3-50 | | " |
| WE | 1-50 | x | Tube permanent |
| WG | 1-20 | x | " " |
| ME | 3-40 | x | " " |
| TT1 | 3-10 | x | " " |
| TT4 | 3-20 | x | " " |
| TT5 | 3-20 | x | " " |
| I | 3-60 | x | " " |
| 11 | 3-20 | | Parcelle simulateur |
| 12 | 3-40 | x | " " |
| 13 | 3-60 | | " " |
| 21 | 2-20 | x | " " |
| 22 | 2-50 | x | " " |

Références pédologiques (d'après la carte établie par M. RIEU)

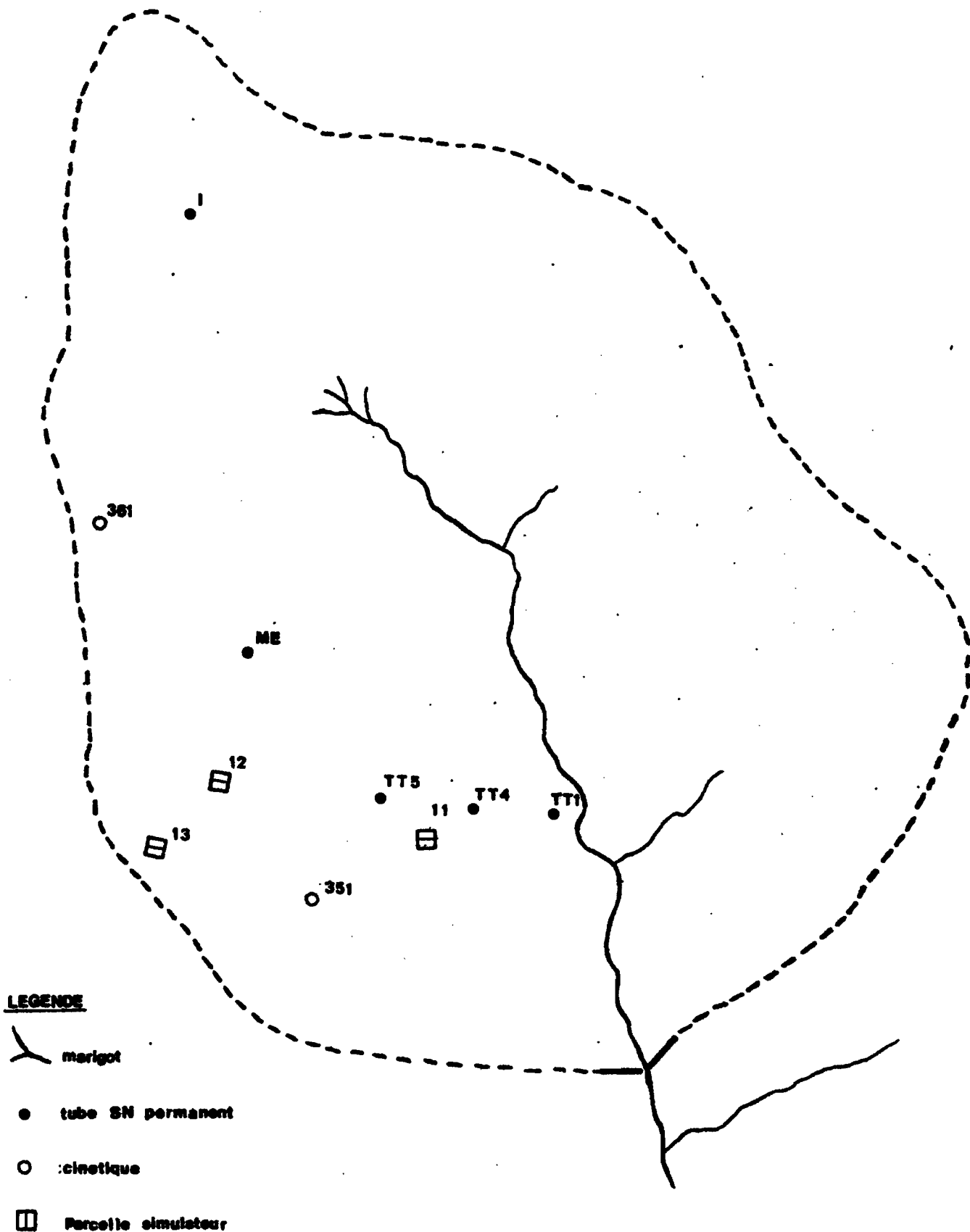
- 1 bassin ouest
- 2 bassin central
- 3 bassin est

- 10 - Sol hydromorphe, à pseudogley, faciès planosolique à couverture claire
- 20 - Sol hydromorphe à pseudogley, lessivé à couverture claire
- 30 - Sol hydromorphe, à accumulation de fer en carapace, à couverture claire
- 40 - Sol ferrallitique, remanié, colluvionné, faciès appauvri induré à couverture ocre
- 50 - Sol ferrallitique, remanié, colluvionné, faciès appauvri à couverture ocre
- 60 - Sol ferrallitique, remanié, modal, faciès appauvri induré à cuirasse peu profonde.

SAKASSOU

BASSIN VERSANT EST

Emplacement des tubes "sonde à neutrons"



II - METHODE D'ETALONNAGE

1. Principe

La méthode d'étalonnage utilisée ici, allie des mesures de terrain et une analyse de laboratoire.

COUCHAT⁽¹⁾ a montré dans sa thèse, que la droite d'étalonnage peut être caractérisée par les constantes neutroniques des sols : absorption et diffusion des neutrons.

Un dispositif simple, mis au point par MOUTONNET à Madagascar⁽²⁾ et MARINI à Adiopodoumé⁽³⁾, nous permet d'estimer le pouvoir absorbant du sol et d'en déduire le coefficient alpha (pente de la droite d'étalonnage).

La mesure sur le terrain du profil neutronique couplé avec une détermination de l'humidité pondérale et de la densité apparente suffit ensuite pour calculer bêta (ordonnée à l'origine).

1.1. Mesure du pouvoir absorbant du sol

Le dispositif de mesure se compose de :

- Une source de neutrons rapides placée au centre d'un bac
- Un bac d'eau servant à thermaliser les neutrons,
- Un ensemble de détection des neutrons thermiques, placé sur une face du bac
- Un container mobile contenant l'échantillon de sol, que l'on place entre la source et le détecteur, dans le flux neutronique.

Le sol placé dans le flux de neutrons thermiques, apporte une perturbation au taux de comptage. Il y a absorption et diffusion des neutrons : capture par des éléments du sol à forte section efficace d'absorption (Cl, Bo, Cd...).

La mesure de cette variation traduit le pouvoir absorbant du sol : Σ_a . MOUTONNET a montré qu'il existe une corrélation entre cette valeur Σ_a et le coefficient alpha de la droite d'étalonnage. Une série de sols tests, aux paramètres bien connus, nous sert de référence.

Au centre d'étude nucléaire de Cadarache, il est possible d'effectuer les mesures des valeurs sigma a et sigma d, dans des conditions rigoureuses⁽⁴⁾. Un programme de calcul donne ensuite directement les coefficients alpha et bêta.

Nous avons pu faire analyser quelques échantillons par l'intermédiaire de MARCESSE⁽⁵⁾. Les valeurs obtenues confirment nos résultats. (voir tableau n° 2).

TABLEAU n° 2 - COEFFICIENT ALPHA. COMPARAISON DES MESURES
CADARACHE ET ADIOPODOUME

| HORIZONS | α ADIOPODOUME | | | α CADARACHE |
|----------|----------------------|---------|---------|--------------------|
| | Site 320 | 323 TT5 | 324 TT4 | 321 |
| 0-50 cm | 14 | 14,4 | 14,5 | 14,5 |
| 50-100 | 14 | 14 | 14,15 | 13,9 |
| 100-150 | 14,35 | 14,45 | 13,95 | 14,7 |
| 150-200 | | 13,8 | 14,1 | 14,4 |

TABLEAU n° 3 - ETALONNAGE DU TUBE TT5

| Profondeur (cm) | N i/s | H _p % | ρ_s | H _v % | α | β |
|--------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|---------|
| 10 | 114 | 4,7 | 1,35 | 6,3 | 14,2 | 24 |
| 20 | 161 | 5,9 | 1,6 | 9,4 | 14,2 | 27 |
| 30 | 188 | 6,1 | 1,6 | 9,8 | 14,2 | 49 |
| 40 | 199 | 6,8 | 1,6 | 10,9 | 14,2 | 44 |
| 50 | 187 | 5,8 | 1,6 | 9,3 | 14 | 57 |
| 60 | 154 | 3,9 | 1,5 | 5,8 | 14 | 73 |
| 70 | 130 | 3,6 | 1,5 | 5,4 | 14 | 54 |
| 80 | 124 | 3,3 | 1,5 | 4,9 | 14 | 55 |
| 90 | 116 | 3,3 | 1,5 | 4,9 | 14 | 47 |
| 100 | 126 | 3,6 | 1,5 | 5,4 | 14,4 | 48 |

1.2. Mesures sur le terrain

Sur chaque site à étalonner, on effectue, sur toute la profondeur du tube :

- un profil neutronique (une mesure tous les 10 cm). Le taux de comptage (N) est exprimé en impulsions par seconde pour une sonde donnant 1000 i/s dans l'eau.
- un profil d'humidité pondérale (Hp) : de 3 à 6 prélèvements à la tarière, à proximité immédiate du tube et aux profondeurs correspondant aux mesures de sonde.
- un profil de densité apparente sèche (ρ_s). Mesures faites au gamma densimètre type DR 18, sur une fosse voisine du tube.

1.3. Calcul du coefficient bêta :

L'humidité volumique (Hv %) est déduite de l'humidité pondérale :

$$H_v = \rho_s \times H_p$$

Pour chaque niveau de mesure, on dispose des couples de valeurs (N i/s) et (Hv %).

Le coefficient alpha ayant été déterminé, il suffit de calculer bêta pour chaque niveau

$$N = \alpha H_v + \beta$$

$$\beta = N - \alpha H_v$$

On calcule finalement une valeur moyenne de bêta pour chaque horizon.

2. Exemple d'étalonnage

Nous allons illustrer cette explication par les résultats complets de l'étalonnage du site TT5.

Sur le tableau n° 3 figurent pour chaque profondeur, les valeurs suivantes :

- N i/s taux de comptage mesuré
- Hp % humidité pondérale
- ρ_s densité apparente sèche mesurée
- Hv % humidité volumique calculée
- α pente de la droite déterminée par mesure de Σa
- β ordonnée à l'origine calculée.

Sur le graphe (Fig. n° 2) sont figurés les points (N) fonction de (Hv).

On peut considérer que le site TT5 présente deux droites d'étalonnage :

Horizon 0-20 cm $N = 14,2 \text{ Hv} + 25$

Horizon 30-120 cm $N = 14,2 \text{ Hv} + 53$

Un deuxième étalonnage, fait en condition très sèche, confirme les droites obtenues.

III - RESULTATS

Sur les 16 sites de mesure, 13 étalonnages ont été faits.

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux.

Le tableau n° 4 regroupe les valeurs de densité apparente sèche.

La mesure porte sur une tranche de sol de 18 cm d'épaisseur.

Le tableau n° 5 donne les paramètres des droites d'étalonnage de chaque site.

On peut regrouper les résultats obtenus non pas par sites, mais par types de sol : voir le tableau n° 6.

On dispose ainsi de plusieurs répétitions (5 pour les sables clairs). Les valeurs moyennes calculées laissent apparaître des différences notables, surtout pour le coefficient bêta.

Fig. N° 2

ETALONNAGE DU SITE TT 5

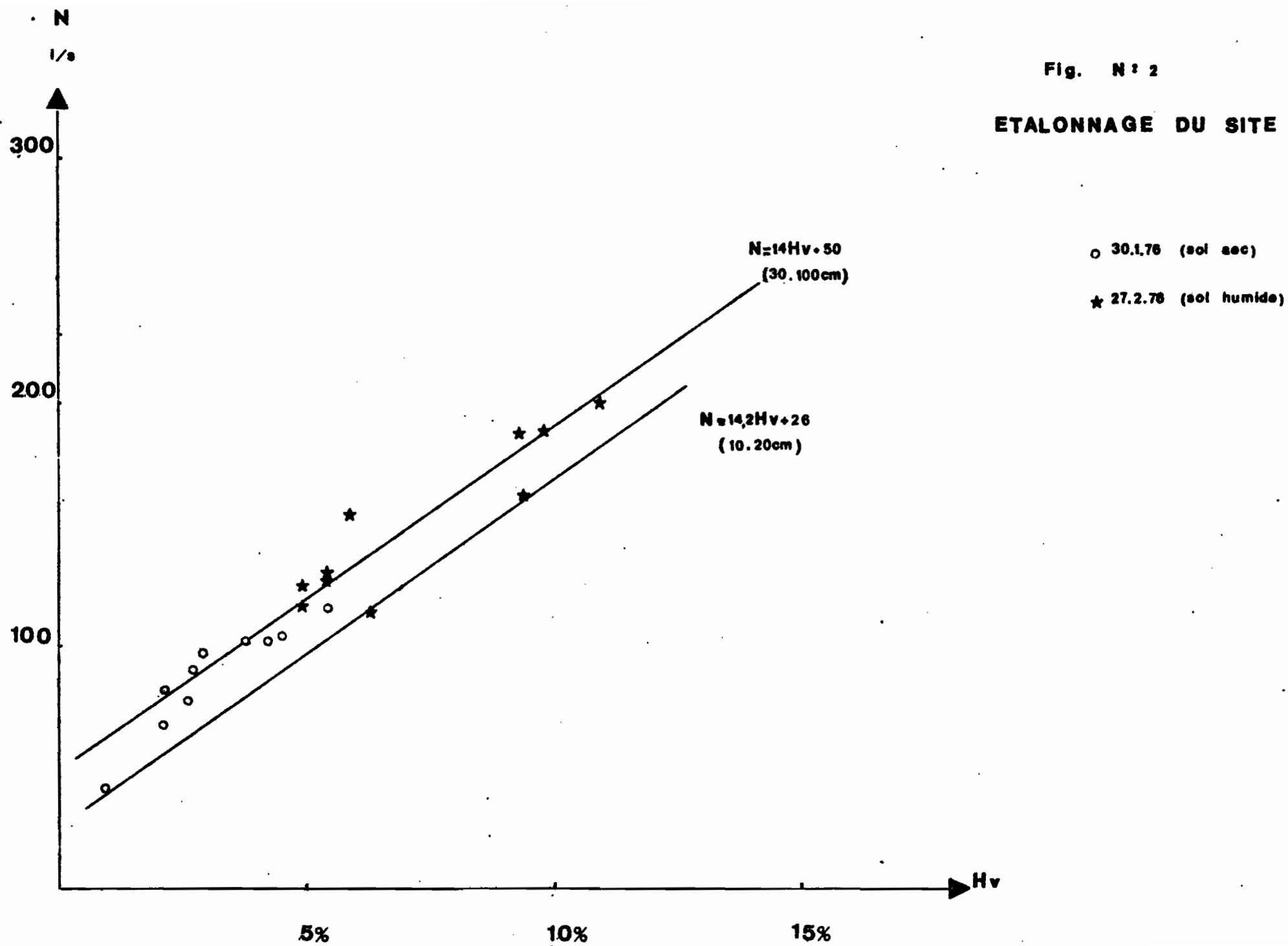


TABLEAU n° 4 - DENSITE APPARENTE SECHE (ps)

| Sites | Horizons cm | ps | Sites | Horizons cm | ps | Sites | Horizons cm | ps |
|-------|----------------|------|-------|----------------|------|-------|----------------|------|
| M6 | 0-20 | 1,40 | WE | 0-20 | 1,44 | I | 0-10 | 1,44 |
| | 40-60 | 1,56 | | 35-55 | 1,54 | | 15-60 | 1,87 |
| | 60-100 | 1,64 | | 55-120 | 1,30 | | 60-80 | 1,60 |
| | | | | 80-100 | 1,48 | | | |
| M8 | 0-20 | 1,39 | TT1 | 0,20 | 1,30 | 12 | 0-20 | 1,30 |
| | 30-50 | 1,65 | | 20-40 | 1,49 | | 20-40 | 1,80 |
| | 65-85 | 1,79 | | 50-70 | 1,58 | | 55-75 | 1,63 |
| | | | | 95-115 | 1,34 | | | |
| N6 | 0-20 | 1,30 | TT4 | 0-10 | 1,31 | 13 | 0-40 | 1,39 |
| | 30-50 | 1,60 | | 20-40 | 1,37 | | 50-130 | 1,83 |
| | 60-80 | 1,67 | | 40-100 | 1,50 | | | |
| | | | | 100-180 | 1,80 | | | |
| 351 | 0-20 | 1,40 | TT5 | 0-10 | 1,35 | 22 | 0-20 | 1,40 |
| | 35-55 | 1,60 | | 20-50 | 1,60 | | 30-70 | 1,53 |
| | | | | 50-100 | 1,50 | | 110-130 | 1,37 |
| WG | 0-20 | 1,48 | ME | 0-20 | 1,40 | 351 | 0-20 | 1,40 |
| | 45-65 | 1,50 | | 20-40 | 1,54 | | 35-55 | 1,60 |
| | 140-160 | 1,67 | | 50-70 | 1,80 | | | |
| | | | | 80-100 | 1,90 | | | |

TABLEAU n° 5 - DROITES D'ETALONNAGE (Coefficients alpha et Bêta)
* valeurs extrapolées

| Sites | Horizons cm | α | β | Sites | Horizons cm | α | β |
|-------|----------------|----------|---------|-------|----------------|----------|---------|
| M6 | 0-20 | 14,3 | 11 | TT5 | 0-20 | 14,2 | 26 |
| | 30-80 | 14,5 | 56 | | 30-100 | 14 | 50 |
| | | | | | 120-160 | 14,4 | 100 |
| M8 | 0-20 | 14,6 | 5 | WE | 10 | 14,2 | 16 |
| | 30-80 | 14,1 | 53 | | 20-30 | 14,2 | 60 |
| | 90-100 | 14 | 114 | | 40-120 | 13,6 | 83 |
| | | | 130-150 | | | 116 | |
| N6 | 0-20 | 13,7 | 30 | 11 | 10 | 14,5* | 20* |
| | 30-100 | 14,6 | 44 | | 20-90 | 14,3* | 50* |
| | | | | | 100-150 | 14 * | 80* |
| I | 10 | 14 | 7 | 12 | 10 | 13,7 | 70 |
| | 20-50 | 11,5 | 103 | | 20-40 | 11,5 | 140 |
| | 50-80 | 12,3 | 87 | | 50-80 | 11,4 | 175 |
| | 90-100 | 12,3 | 160 | | | | |
| ME | 10 | 14,1 | -23 | 13 | 0-40 | 14,1 | 50* |
| | 20-50 | 14,1 | 68 | | 40-80 | 12,7 | 115* |
| | 50-100 | 12,1 | 106 | | | | |
| WG | 10 | 14 | -6 | 21 | 10 | 14,2* | -22* |
| | 20-40 | 14 | 14 | | 20-50 | 14,2* | 20* |
| | 50-150 | 14,4 | 35 | | 60-120 | 14,3* | 37* |
| | 160 | 13,5 | 100 | | 120-160 | 13,4* | 86* |
| TT1 | 0-30 | 14,1 | 21 | 22 | 10 | 14,3 | -23 |
| | 40-100 | 13,7 | 51 | | 20-40 | 14,3 | 42 |
| | | | | | 50-150 | 13,3 | 93 |
| TT4 | 0-20 | 14,5 | 21 | | | | |
| | 20-90 | 14,15 | 49 | | | | |
| | 100-180 | 14,4 | 90 | | | | |

TABLEAU n°6 - EXPRESSION DES RESULTATS EN FONCTION DES TYPES DE SOLS

| Types de sol | Sites | Profondeur cm | ρ_s | α | β | ρ_s moyenne | α moyenne | β moyenne |
|---|-------|------------------|----------|----------|---------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Sables ocres de surface | WE | 20-30 | 1,44 | 14,2 | 60 | | | |
| | 22 | 20-40 | 1,4 | 13,3 | 42 | | | |
| | 13 | 0-40 | 1,4 | 14,1 | 50 | | | |
| Sables ocres profonds | 21 | 130-160 | 1,35 | 13,4 | 86 | | | |
| | WG | 160 | | 13,5 | 100 | | | |
| | WE | 40-120 | 1,3 | 13,6 | 83 | | 13,4 | 90 |
| | 22 | 50-150 | 1,45 | 13,3 | 93 | | | |
| Sables blancs de surface | N6 | 0-20 | 1,3 | 13,7 | 30 | | | |
| | TT4 | 0-20 | 1,35 | 14,5 | 21 | | | |
| | W6 | 0-40 | 1,5 | 14 | 14 | 1,37 | 14,2 | 21 |
| | 11 | 10 | 1,3 | 14,5 | 20 | | | |
| | 21 | 0-50 | 1,4 | 14,2 | 20 | | | |
| Sables blancs profonds | N6 | 30-100 | 1,65 | 14,6 | 44 | | | |
| | M5 | 30-80 | 1,6 | 14,5 | 56 | | | |
| | WG | 50-150 | 1,6 | 14,4 | 35 | 1,57 | 14,4 | 44 |
| | TT4 | 40-100 | 1,5 | 14,2 | 49 | | | |
| | 21 | 60-120 | 1,5 | 14,3 | 37 | | | |
| Horizon gra- villonnaire | ME | 50-100 | 1,8 | 12,1 | 106 | | | |
| | I | 20-50 | 1,85 | 11,5 | 103 | 1,82 | 11,9 | 116 |
| | 12 | 20-40 | 1,8 | 11,5 | 140 | | | |
| | 13 | 40-80 | 1,85 | 12,7 | 115 | | | |
| Horizon gra- villonnaire argileux | I | 90-100 | 1,6 | 12,3 | 160 | | | |
| | 12 | 50-80 | 1,6 | 11,4 | 175 | | | |
| Horizon humifère superficiel | WG | 10 | | | - 6 | | | |
| | ME | 10 | | | -23 | | | |
| | I | 10 | | | 7 | | | -11 |
| | 22 | 10 | | | -23 | | | |

CONCLUSION

Les principaux types de sols rencontrés à SAKASSOU ont donc été caractérisés du point de vue réponse à la sonde à neutrons.

Participèrent au travail, pour les mesures sur le terrain et les analyses de laboratoire : TIEMOKO B., DIBI Yao, TRAORE G. et OUEDRAOGO J.M.

REFERENCES

- (1) - COUCHAT P.
Mesure neutronique de l'humidité des sols.
Thèse, Toulouse, 1974.
- (2) - MOUTONNET P.
Communication personnelle.
- (3) - MARINI P.
Communication personnelle.
- (4) - COUCHAT P., MARCESSE J.
The measurment of thermal neutron constants of the soil. Application to the calibration of neutron moisture ganges and the pedological study of soil. Conf. on nuclear cross sections and technology, Washington 1975.
- (5) - MARCESSE J.
Résultats des mesures d'absorption et de diffusion
Communication personnelle.
- RIEU M.
Carte pédologique des bassins versants de SAKASSOU.
- Carte topographique des bassins versants de SAKASSOU.