

Note technique

La méthode au sable : protocole et utilisation pratique

Gballou YORO

Laboratoire d'agronomie IDEFOR/DCC B.P. 31 Bingerville, Côte-d'Ivoire

RÉSUMÉ

Nous avons repris et enrichi le protocole de la méthode au sable permettant de mesurer la densité apparente d'un sol en place. Ce protocole repose essentiellement sur le calibrage du sable marin qui a abouti à l'obtention de deux classes dimensionnelles (2-1 mm et 1-0,8 mm).

La masse volumique du sable de chaque classe a été déterminée. En effet, le volume de sol prélevé a été calculé à partir de cette masse volumique et du poids sec de sable versé dans le trou.

Un exemple pratique de l'utilisation de la méthode au sable sur un horizon gravillonnaire a été décrit.

MOTS CLÉS : Méthode au sable – Protocole – Exemple.

ABSTRACT

SAND METHOD – PROTOCOL AND UTILIZATION IN THE FIELD

We have analysed and enriched the protocol of sand method which allows the measurement of soil bulk density in the field. This protocol mainly founds on sizing of sea sand which gave two dimensional classes (2-1 mm and 1-0,8 mm).

The bulk density of each class has been determined. As matter of fact, the volume of the sampled soil has been calculated from the bulk density and the dry weight of sand put in the hole.

An example of the sand method used on a gravelly horizon has been described.

KEY WORDS : Sand method – Protocol – Example

INTRODUCTION

Dans une de nos précédentes études (YORO et GODO, 1990) nous avons montré que la méthode au sable, comparée aux autres méthodes de mesure de la densité apparente du sol (AUDRY *et al.*, 1973), est la plus juste car « elle permet d'obtenir des résultats en conformité avec la morphologie des sols ». En outre, elle a l'avantage d'être utilisée sur différents types de sol, voire même trop meuble ou bouillant et sur des billons enclins à se déformer (BOKA, 1986). Son faible coût la rend accessible et donc à portée de tous les laboratoires.

Nous n'avions malheureusement pas décrit le protocole de cette méthode car nous pensions que le Bulletin du Groupe de Travail, édité par l'Orstom (AUDRY *et al.*, 1973) et qui traite de toutes les mesures de la densité apparente du sol, avait été suffisamment diffusé. C'est cette lacune que la plupart de ceux qui nous ont écrit après la parution de notre article : « Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné » (YORO et GODO, 1990) demandent de corriger.

Nous nous rendons ainsi à l'évidence que la méthode au sable, bien que paraissant très rudimentaire à notre époque, intéresse encore de nombreux pédologues à cause de ses résultats qui traduisent mieux l'état physique du sol. C'est à l'intention de ceux-là que nous reprenons la description de la méthode au sable. Cette description est accompagnée d'un exemple de son utilisation pratique sur le terrain. Le protocole intégral de AUDRY *et al.*, (1973) sera donné en annexe.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE AU SABLE

Le principe de la méthode au sable est le même que celui de la méthode au cylindre et de la méthode au densitomètre à membrane (AUDRY *et al.*, 1973 ; YORO et GODO, 1990). Il se base sur la détermination du poids sec et du volume d'un échantillon de sol prélevé afin d'établir la relation $d_a = P/V$.

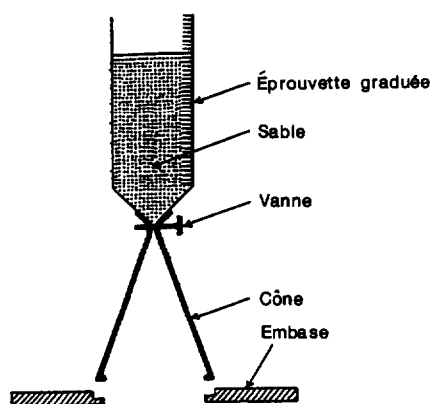


FIG. 1. – Schéma du cône à sable.
Diagram of the sand cone.

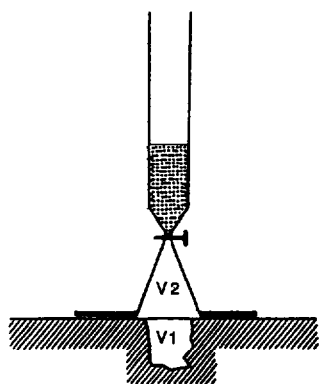
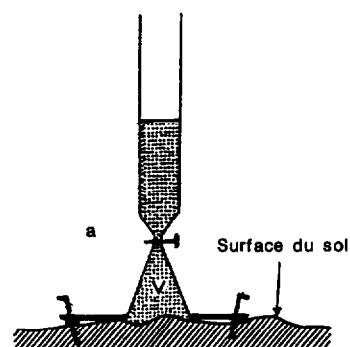
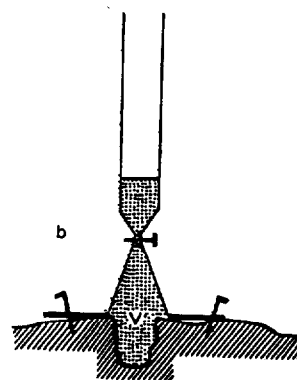


FIG. 2. – Mesure sur une surface plane.
Measurement made on a flat surface.



a : Mesure initiale : V



b : Mesure après prélèvement : V'

FIG. 3. – Mesure en deux temps sur sol irrégulier.
Two-step measurement made on uneven soil.

CALIBRAGE DU SABLE

Le sable utilisé dans nos différentes études (YORO 1983 et 1984 ; GODO *et al.*, 1989) est prélevé sur une plage de mer. Il subit le traitement suivant :

- trempage dans l'eau pendant une heure et rinçage pour éliminer le sel,
- séchage à l'air jusqu'à ce qu'il devienne coulant et ne colle plus dans la main,
- premier tamissage dans un tamis de 2 mm de maille,
- second tamissage dans un tamis de 1 mm de maille afin d'obtenir du sable dont le diamètre est compris entre 2 et 1 mm,
- récupérer le sable de diamètre inférieur à 1 mm,
- tamiser celui-ci dans un tamis de 0,8 mm afin d'obtenir une seconde catégorie de sable dont le diamètre est compris entre 1 et 0,8 mm.

Nous obtenons ainsi deux classes de sable à la fin des tamisages. la deuxième classe dimensionnelle (1-0,8 mm) permet de tirer le maximum de l'échantillon de sable prélevé.

N.B. : Pour réussir un bon calibrage il faut :

- un tamis de 20 cm de diamètre ;
- procéder au tamisage du sable par petite quantité ; la couche de sable dans le tamis doit être mince et bien étalée ;
- éviter de forcer le passage du sable au travers de la maille du tamis, c'est-à-dire, éviter d'exercer de pression à la main, par exemple, pour accélérer le tamisage.

PRÉLÈVEMENT DE L'ÉCHANTILLON DE SOL OU RÉALISATION DE LA CAVITÉ À REMPLIR PAR LE SABLE

Le prélèvement de l'échantillon de sol est effectué comme le conseillent AUDRY *et al.*, (1973). Nous distinguons cependant deux cas selon l'état ou la cohésion du sol dont la densité apparente doit être mesurée.

Si le sol est très meuble ou boulant (billons fraîchement confectionnés...) donc enclin à se déformer sous l'effet d'une quelconque pression, nous utilisons une feuille plastique qui épouse les aspérités de la surface du sol. Les parois sont fixées par un cylindre en aluminium, préalablement enfoncé dans l'horizon boulant. Le cylindre et la feuille plastique ont la même ouverture (152 mm) qu'une plaque de base d'un densitomètre à membrane. Le sol est prélevé à l'intérieur de ce cylindre dont la hauteur minimum doit être de 10 cm.

Si, en revanche, le sol est plan et pas boulant, nous utilisons la plaque de base d'un densitomètre à membrane ou une plaque en aluminium qui peut être fixée. Le sol est prélevé dans l'ouverture de la plaque.

REPLISSAGE DE LA CAVITÉ PAR DU SABLE ET DÉTERMINATION DU VOLUME

Le remplissage de la cavité peut se faire à partir d'une éprouvette graduée ou d'un cône à sable (AUDRY *et al.*, 1973). Le volume du sable après récupération de l'excès peut être lu directement à l'éprouvette. Cette lecture directe constitue souvent des sources d'erreur. C'est pourquoi nous préférons déterminer le volume du sable versé à partir de son poids et de sa densité volumique selon le protocole suivant :

Au laboratoire :

- prendre 10 béciers ou boîtes en aluminium identiques et déterminer leur poids vide (P1) ;
- les remplir d'eau pure ou distillée jusqu'à ras bord puis les peser (P2) ;

N.B. : le remplissage peut se faire sur la balance ;

- calculer le poids moyen d'eau contenue dans un bécier (P2-P1) ; ce poids permet de déduire le volume ;

- vider ces béciers et les faire sécher ;

- remplir chacun de sable d'une classe donnée ; le sable doit être sec et coulant ;

- araser la surface puis peser (P3) ;

- calculer le poids moyen de sable contenu dans un bécier (P3-P1) ;

- connaissant le volume du sable (déterminé par l'eau) et son poids sec, calculer sa densité volumique P/V ; $\frac{P3 - P1}{P2 - P1}$;

- peser dans chaque classe dimensionnelle des échantillons de sable de 2 kg au moins (P4) ;

- conserver ces échantillons dans des sacs plastiques puis les garder dans un endroit sec et aéré.

Sur le terrain :

- utiliser le contenu de chaque sac pour remplir la cavité ;

- araser la surface de la plaque et récupérer l'excès de sable dans le sac plastique.

Au laboratoire :

- laisser sécher le reliquat à l'air puis peser (P5) ;

- calculer le poids de sable versé dans le trou ou la cavité en faisant la différence entre le poids initial (P4) dans le sac et celui du reliquat (P5).

Le volume du sable versé ou de l'échantillon de sol prélevé est égal à son poids divisé par sa densité volumique : $VS = (P4-P5) (P2-P1)/P3-P1$

N.B. : Le sable versé dans la cavité peut être récupéré dans un autre sac plastique pour être réutilisé. Il faudra alors le sécher et le retamiser pour éliminer les corps étrangers.

EXEMPLE D'UTILISATION

Deux classes dimensionnelles de sable 2-1 mm et 1-0,8 mm ont été obtenues selon le protocole décrit ci-dessus.

Détermination de la densité volumique de chaque classe dimensionnelle du sable

Pour la détermination de la masse volumique du sable, nous avons procédé comme décrit plus haut. Les résultats sont consignés dans les tableaux I et II.

TABLEAU I
Calcul de la masse volumique de la classe dimensionnelle 2-1 mm
Evaluation of the bulk density of the dimensional class 2-1 mm

Boîte	tare (T) (g)	Pds eau + T (g)	Pds sable + T (g)	Pds eau ou volume (cm3)	Pds sable (g)	P/V
1	30,87	342,00	502,31	311,13	471,44	1,51
2	30,62	341,80	498,50	311,18	467,88	1,50
3	30,88	342,10	503,42	311,22	472,54	1,52
4	30,57	342,50	501,81	311,93	471,24	1,51
5	30,81	341,30	503,60	310,49	472,80	1,52
6	30,63	342,20	499,22	311,57	468,59	1,50
7	30,75	342,90	502,92	312,15	472,17	1,51
8	30,66	343,30	500,51	312,64	469,85	1,50
9	30,77	342,10	504,40	311,33	473,63	1,52
10	30,80	343,10	505,21	312,30	474,41	1,52
moyenne	30,73	342,33	502,19	311,60	471,46	1,51
C.V. (%)	-	-	-	-	-	0,58 %

TABLEAU II
Calcul de la masse volumique de la classe dimensionnelle 1-0,8 mm
Evaluation of the bulk density of the dimensional class 1-0,8 mm

Boîte	Tare (T) (g)	Pds eau + T (g)	Pds sable + T (g)	Pds eau ou volume (cm3)	Pds sable (g)	P/V
1	30,10	341,20	492,50	311,10	462,40	1,48
2	30,22	343,70	496,50	313,50	466,32	1,48
3	30,61	340,91	490,74	310,30	460,13	1,48
4	30,82	341,96	489,04	311,14	458,22	1,47
5	30,66	343,29	489,99	312,63	459,33	1,47
6	30,87	340,82	492,69	309,95	461,82	1,49
7	30,56	345,05	492,87	314,49	462,31	1,47
8	30,36	341,49	490,83	311,13	460,47	1,48
9	30,77	344,61	488,97	313,84	458,20	1,46
10	30,62	341,05	486,95	310,43	456,33	1,47
Moyenne	30,56	342,41	491,11	311,85	460,55	1,47
C.V. (%)	-	-	-	-	-	0,68 %

Leur examen révèle que la densité volumique est respectivement de 1,51 pour la classe dimensionnelle 2-1 mm et de 1,47 pour le sable de diamètre compris entre 1 et 0,8 mm. La différence (0,04) observée entre ces deux moyennes est hautement significative à une probabilité de 0,001 ($6,778 > 3,922$).

N.B. : Si l'on ne dispose pas de sable de mer, le sable prélevé dans les bas fonds ou les plaines alluviales peut être utilisé. Des concrétions ferru-

gineuses ou des gravillons peuvent même servir à remplir la cavité dont on veut mesurer le volume. le plus important est de pouvoir déterminer la densité volumique du matériau et de s'assurer qu'il est :

- sec et ne prend pas l'humidité,
- composé d'éléments de taille homogène,
- coulant et s'entasse régulièrement,
- et qu'il peut épouser toutes les aspérités du trou.

VAN HERWAARDEN (1991) a utilisé par exemple de petites balles en plastique pour mesurer la densité apparente des horizons gravillonnaires d'un sol dans l'ouest de la Côte-d'Ivoire.

Mesure du volume de sol prélevé

Nous rapportons ici les mesures de densité apparente qui ont été faites sur une parcelle IBSRAM (International Board for Soil Research and Management) à Bécédi, dans le sud forestier de la Côte-d'Ivoire.

Le sol est ferrallitique désaturé, remanié. Il est gravillonnaire dès la surface (30 % de gravillons entre 0 et 20 cm) et sa texture est sablo-limoneuse ; les gravillons sont essentiellement du quartz, de taille très variable (2 à 100 mm). Cet horizon constitue le prototype de sol sur lequel la détermination de la densité apparente ne peut se faire que par la méthode au sable (YORO et GODO, 1990).

Les mesures ont été effectuées uniquement en surface (0-15 cm). Elles ont été répétées trois fois pour chaque classe dimensionnelle de sable – Soit six mesures au total – Nous sommes donc allés sur

le terrain avec 8 sacs de sable de 2 kg chacun (les deux en surnombre étaient en prévision).

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux III et IV.

Leur analyse montre que la valeur moyenne de la densité apparente de l'horizon gravillonnaire est de 1,46 lorsqu'elle est déterminée avec du sable dont la classe dimensionnelle est 2-1 mm et la densité volumique 1,51. Cette valeur moyenne devient 1,48 avec du sable de diamètre compris entre 1 et 0,8 mm et ayant une densité volumique de 1,47. La différence (0,02) observée entre les deux moyennes obtenues à partir des deux classes dimensionnelles n'est pas significative, même à une probabilité de 0,5 ($0,454 < 0,741$). Les deux valeurs moyennes (1,46 et 1,48) sont donc égales malgré la différence entre les deux classes dimensionnelles de sable (2-1 mm et 1-0,8 mm). Ainsi l'opérateur a le choix, au cours des mesures de la densité apparente d'un sol, entre l'une et l'autre des deux classes de sable. Nous conseillons, cependant, d'utiliser une seule classe dimensionnelle lorsqu'elle est en quantité suffisante.

TABLEAU III
Valeurs de la densité apparente à partir du sable 2-1 mm
Values of the bulk density based on sand 2-1 mm

Nombre de répétition	Pds initial du sable (g)	Poids du reliquat de sable (g)	Poids de sable versé dans le trou (g)	densité volumique du sable	Volume du sable versé dans le trou* (cm ³)	Pds sec du sol prélevé (g)	Densité apparente du sol
1		385,00	1615,00		1069,53	1582,90	1,48
2	2000	410,00	1590,00	1,51	1052,98	1484,70	1,41
3		370,00	1630,00		1079,47	1619,20	1,50
Moyenne			1611,66	1,51	1067,32	1555,24	1,46
C.V. (%)							3,25

TABLEAU IV
Valeurs de la densité apparente à partir du sable 1-0,8 mm
Values of the bulk density based on sand 1-0,8 mm

Nombre de répétitions	Poids initial du sable (g)	Poids du reliquat de sable (g)	Poids de sable versé dans le trou (g)	Densité volumique du sable	Volume du sable versé dans le trou* (cm ³)	Poids sec du sol prélevé (g)	Densité apparente du sol
1		465,00	1535,00		1044,22	1493,24	1,43
2	2000	135,00	1865,00	1,47	1268,70	1915,74	1,51
3		195,00	1805,00		1227,89	1841,83	1,50
Moyenne			1735,00	1,47	1180,27	1758,46	1,48
CV (%)							2,94

* ou volume de sol prélevé

CONCLUSION

La méthode au sable pour déterminer la densité apparente d'un sol est rudimentaire, fastidieuse et longue. Elle est cependant applicable à beaucoup de types de sol (YORO et GODO, 1990). En outre elle permet d'obtenir des « valeurs justes » par rapport aux autres méthodes de mesure de la densité

apparente. C'est pourquoi nous avons repris et complété son mode d'utilisation défini par AUDRY *et al.*, (1973), afin d'en assurer une plus grande diffusion.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 23 avril 1994.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBRY (P), COMBEAU (A), HUMBEL (F.-X.), ROOSE (E.), VIZIER (J.-F.), 1973. – Essai sur les études de dynamique actuelle des sols. Bulletin de Groupe de Travail – Orstom Bondy, *multigr.*
- BOKA (M.-Th.), 1986. – *Modifications physiques d'un sol ferrallitique sous l'effet du défrichement lourd motorisé.* Mémoire pour l'obtention du DIAT (ESAT-Montpellier). Orstom, Adiopodoumé, 50 p.
- GODO (G.), YORO (G.), GOUE (B.), AFFOU (Y.), 1989. – *Caractérisation Physique et Socio-économique du site expérimental IBSRAM de Bécédi, Sous-Préfecture de Sikensi.* Orstom-Isbram, 33 p., *multigr.*
- VAN HERWAARDEN (G.J.), 1991. – *Études pédologiques reliées aux conditions de croissance des cacaoyers dans la BMV de Zagné, Côte-d'Ivoire.* Université Agronomique Wageningen/Unesco. 35 p.
- YORO (G.), 1983. – *Contribution à l'étude de caractérisation de la structure. Identification et évolution des paramètres structuraux de deux types de sols du nord-ouest de la Côte-d'Ivoire. Incidences agronomiques.* Th. Doc. Ing., Univ. d'Abidjan, 279 p., *multigr.*
- YORO (G.), 1984. – *Modification des profils culturaux des sols ferrallitiques sur sables tertiaires après mise en culture traditionnelle et semi-motorisée.* Orstom, Adiopodoumé, 24 p., *multigr.*
- YORO (G.), GODO (G.), 1990. – Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, Vol. XXV, n° 4, 1989-1990 : 423-429.

DISCUSSION – POINT DE VUE SCIENTIFIQUE

- Problème de l'échantillonnage et de l'hétérogénéité.
- En sol humide gonflant, l'ouverture de la cavité peut s'accompagner d'une expansion du sol par annulation de contraintes subies par l'échantillon en place, d'où risque de sous-estimation du volume apparent de l'échantillon. Dans ce cas de sol gonflant, la méthode au cylindre est la meilleure mais non parfaite, l'expansion de l'échantillon restant possible sur la face du profil et aux extrémités du cylindre. Il est alors à noter que l'erreur qui en résulte est en sens inverse : il y a surestimation du volume prélevé.

RENDEMENT – PRIX DE REVIENT – VARIANTES

- La méthode est longue : sur une tranchée ouverte, la préparation et le prélèvement nécessitent une bonne heure en moyenne pour un opérateur entraîné.

– Par contre, elle met en jeu un matériel peu coûteux.

- *Variante n° 1* : utilisation du cône à sable pour mesurer le volume de la cavité. L'appareil dit « cône à sable » est constitué (fig. 1) d'une embase en forte tôle percée d'un orifice circulaire, recevant exactement, dans un épaulement, la base d'un cône circulaire ; celui-ci est surmonté à son sommet d'une éprouvette fermée à sa base par une vanne ; l'éprouvette est munie d'une graduation permettant de lire le volume de sable qui y est contenu.

On peut opérer de deux façons différentes :

- a. Sur une surface de sol parfaitement aplanie sur laquelle a déjà été réalisé le prélèvement ; la surface de la cavité doit être plus petite que l'orifice de l'embase. L'ensemble embase-cône est posé sur cette surface en coiffant la cavité. La vanne est manœuvrée et un volume V de sable s'écoule. Ce volume V est égal à la somme V_1 , volume de la cavité cherché + V_2 , caractéristique de l'appareil (fig. 2).
 - b. On procède sur une surface non rigoureusement aplanie, mais dont seul le contact embase-sol a été réalisé pour ne pas autoriser de fuite de sable. L'embase est solidement ancrée sur le sol à l'aide de piquets, avant de réaliser le prélèvement. Le cône est mis en place, la vanne manœuvrée ; soit V le volume versé (fig. 3a).
Le cône est enlevé, le sable soigneusement enlevé à l'intérieur de l'orifice de l'embase (petite pelle, pinceau, jet d'air) ; la cavité est creusé à l'intérieur de l'orifice de l'embase qui ne doit absolument pas être déplacée. Une seconde mesure est faite avec le cône (fig. 3b) : soit V' le volume versé. Le volume du prélèvement est $V'-V$.
- *Variante n° 2* : Utilisation d'autres fluides que le sable pour mesurer le volume de la cavité.
Au lieu d'utiliser du sable pour mesurer le volume, on peut poser à l'intérieur de la cavité une feuille de plastique très souple, adhérant parfaitement à ses parois (difficile pour des parois très irrégulières, avec certaines structures) et verser un liquide (huile, eau, mercure).
En ce sens, une question à suivre serait la recherche de produits plastifiants liquides, faciles d'emploi et à prise rapide, pour assurer l'étanchéité de la cavité par une pellicule imperméable de volume négligeable.

RÉFÉRENCES

- Traités classiques de physique du sol (cf. bibliographie générale du rapport).
- BLAKE (G.R.), 1965. – « Bulk density » In : *Methods of soils analysis. Part. 1. Physical and Mineralogical Properties, including statistics of measurement and sampling*. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisc., USA : 374-390.
- ZWARICH (M.A.), SHAYKEWICH (C.F.), 1969. – An evaluation of several methods of measuring bulk density of soils. *Canad. Journ. Soil Sc.*, 49, 2 : 241-245.

Rédacteur : P. AUDRY

Pédologue à consulter : P. AUDRY – J.-F. VIZIER

FOURNITURE DE MATÉRIEL MANUFACTURÉ

Le cône à sable (facile à fabriquer dans un bon atelier) est commercialisé chez :

Soiltest INC.
2205 Lee Street
Evanston, Illinois 60202. USA.