

Comparaison de plusieurs variantes de prise de sol par la méthode du cylindre pour mesurer la densité apparente

par François LELIEVRE

Département d'Agronomie, Institut agronomique et vétérinaire Hassan-II
B.P. 704, Rabat - Agdal (Maroc)

(avec la collaboration de H. BEL HADFA **)

SOMMAIRE

On teste sur trois matériaux plusieurs variantes de la méthode : une tarière utilisée aux U.S.A., un cylindre biseauté normal et le même cylindre rétréci de 1/100.000^e à son extrémité coupante. Ce dernier donne les meilleurs résultats ; ils sont encore améliorés par un léger graissage.

INTRODUCTION.

L'observation visuelle du profil cultural décrite par HENIN **et al.** (1969) reste aujourd'hui essentielle pour caractériser l'état physique du sol et sa porosité in situ en vue d'étudier sous l'angle agronomique les relations physiques sol-racines. Mais on a assisté ces dernières années à des tentatives pour rendre utilisables facilement et en série des tests ou des mesures qui précisent ou affinent les observations visuelles. Certaines visent à rendre ces dernières plus objectives et plus comparables soit en les codifiant (MANICHON, 1978), soit en fixant en place des éléments du profil par la micro ou la macro-morphologie en lames minces (MATHIEU, 1978), soit encore en cartographiant les micro-hétérogénéités par des tests au pénétromètre enregistreur (BILLOT **et al.**, 1977). Parallèlement, on a introduit la distinction entre les fractions dites « texturale » et « structurale » de la porosité, surtout intéressante pour étudier l'état physique sous ses aspects dynamiques (STENGEL, 1979). La caractérisation plus

(*) Ingénieur agronome, maître-assistant au Département d'Agronomie, Inst. Agron et Vétér. Hassan-II, Rabat.

(**) Etudiant en 6^e A en 1977-1978 au même département.

ancienne selon la taille des pores, avec les deux grandes classes dites micro et macroporosité, reste précieuse pour étudier la circulation de l'eau et les relations physiques sol-racines. Que l'on adopte l'une ou l'autre de ces distinctions, on dispose de tests pour mesurer la fraction la plus fine de la porosité (microporosité et porosité texturale) sur des échantillons prélevés au champ sans précaution particulière. Par contre, la mesure de la porosité totale et de la porosité la plus grossière par différence avec la précédente, pose beaucoup de problèmes pour opérer au champ, que ce soit avec les méthodes très classiques du cylindre ou du densitomètre à membrane décrites par HENIN *et al.* (1969), ou avec les techniques radiométriques récentes comme la sonde à rayons « gamma » (SOANE *et al.*, 1971).

Pour une utilisation en enquête culturale, qui est un moyen d'investigation privilégié dans le domaine des relations travail du sol - état physique - enracinement, la plupart des méthodes récentes se révèlent difficiles d'emploi à cause de problèmes de transport, d'étalonnage et de rapidité d'exécution sur le terrain. La méthode du cylindre reste très utilisée pour sa facilité d'emploi et les possibilités qu'elle offre de faire des observations dépassant la mesure de la densité apparente si on est sûr de prélever sans aucun remaniement du sol : étude de la forme des pores sur les carottes extraites avec précaution des cylindres ; étude de la distribution des tailles de pores avec des méthodes comme la « Tension Table Method » décrite par LEANER et SHAW (1939). Mais il existe diverses variantes du prélèvement avec cylindre, que nous comparons ici. La tarière dite « soil core sampler », surtout utilisée par les chercheurs américains ; le cylindre biseauté à une extrémité enfoncé à la main ou au cric, classique pour les chercheurs français ; nous leur avons comparé un cylindre biseauté mais légèrement rétréci à l'extrémité tranchante. Ces trois méthodes ont été comparées avec des variantes consistant à graisser ou non l'intérieur et l'extérieur des cylindres et dans trois situations de prélèvement variant par le type de sol, son tassement et son humidité.

I. — CONSIDERATIONS THEORIQUES PREALABLES.

Lorsqu'on fait pénétrer un cylindre biseauté dans un sol, deux forces s'exercent sur la colonne de terre découpée (*) :

— **Une force de frottement sur les parois du tube**, proportionnelle à la surface de contact. Si h est la hauteur de la colonne et d le diamètre du cylindre, cette force est donc $F = \alpha d \cdot h$ où α est une fonction croissante de la vitesse de pénétration et de l'adhésivité du sol (liée à la texture et à l'humidité). Dans un matériau donné et pour une pénétration à vitesse constante, α est une constante et l'expression de la force devient

$$F = K_1 \cdot dh$$

— **Une force de résistance à la déformation de la colonne de terre**, proportionnelle à la section de la colonne de terre découpée ; cette force peut donc s'écrire

$$R = \beta \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{où } \beta \text{ est une fonction des caractéristiques intrinsèques du matériau,}$$

croissant avec sa rigidité et son élasticité. Dans un matériau donné, β est constante et la force peut s'écrire $R = K_2 \cdot d^2$.

Lorsqu'on fait un prélèvement, on veut récupérer une colonne de terre non déformée, ce qui est le cas tant que $R \geq F$, soit :

$$\frac{h}{d} \leq \frac{\pi \beta}{4 \alpha} \quad (1).$$

Pour une pénétration à vitesse constante dans un matériau donné, cette relation

$$\text{devient : } \frac{h}{d} \leq \frac{K_2}{K_1} \quad (2).$$

Ces relations traduisent qu'il y a un certain rapport à respecter entre la hauteur et le diamètre du cylindre utilisé pour le prélèvement, qui varie suivant le matériau et son état (texture, degré de tassement et humidité essentiellement). Dans la gamme d'humidité permettant les prélèvements, proche de l'humidité à la capacité au champ, α et β diminuent généralement en passant des textures argileuses aux textures sableuses (sauf sables très tassés ou sables purs), mais pas au même rythme, de sorte que le rapport maximum h/d varie suivant la texture. L'étude théorique de ces variations en explicitant α et β étant complexe, nous avons préféré travailler pratiquement en établissant ces valeurs dans quelques situations extrêmes de texture et tassement. Ce travail a été conduit en remarquant à partir de l'expression (1) que :

— Les méthodes à pénétration rapide conduisent à une valeur de α grande, et donc vont réduire le rapport h/d acceptable. C'est le cas quand on frappe le cylindre.

— La plupart des auteurs adoptent des cylindres pouvant fonctionner dans la majorité des situations sans risque de déformation de la colonne de terre, donc avec un rapport h/d faible, généralement voisin de 1 ou un peu inférieur (jusqu'à 0,7). On a alors un inconvénient majeur : une erreur importante liée à la découpe, difficile aux deux extrémités de l'anneau, dont la réduction ne peut s'envisager qu'en adoptant un rapport h/d nettement supérieur à 1. Ainsi un rapport voisin de 2 divisera par trois l'erreur relative liée aux problèmes de découpe de la colonne de terre par rapport à un rapport de 0,7. Mais cela n'est envisageable que si on peut minimiser la force de frottement dans l'expression (1), soit en graissant légèrement l'intérieur du cylindre, soit en utilisant un cylindre légèrement rétréci à son extrémité coupante, ce qui libère la colonne de terre quand elle monte dans le cylindre ; le rétrécissement doit cependant être minime pour qu'il n'y ait pas de retombées de particules de terre sur les côtés de la colonne.

II. — METHODES COMPAREES ET PROTOCOLE DE COMPARAISON.

1. LES METHODES COMPAREES.

— **La tarière S.C.S.** (« Soil core sampler »), d'origine américaine, est décrite sur la figure 1 : c'est un appareil d'environ 50 centimètres de haut, muni à sa partie inférieure d'un élément amovible qui se visse sur le plateau. Cet élément mobile, détaillé sur les figures 1b et 1c est constitué de :

- un cylindre extérieur qui se visse sur le plateau en acier ;
- un cylindre intérieur, destiné à être changé à chaque prélèvement ; il est muni de trois anneaux de garde (deux supérieurs et un inférieur, ou vice-versa) ;
- un couteau qui se visse sur le cylindre extérieur.

Lorsque les cylindres sont en place (fig. 1b), la pénétration de l'élément mobile dans le sol se fait en laissant tomber la masselote guidée par sa tige dans le tube par coups répétés jusqu'à ce que le plateau arrive au niveau du sol, ce qui impose une pénétration verticale et demande donc d'araser le sol sur une surface suffisante pour chaque horizon étudié. Ensuite, en dévissant l'élément amovible et son couteau, on peut faire glisser à l'extérieur l'ensemble cylindre intérieur + anneaux de garde contenant la colonne de sol (fig. 1c). On arase au niveau du cylindre, que l'on ferme aux deux extrémités avec des embouts de plastique pour conserver l'échantillon. L'appareil étant accompagné d'une grande série de cylindres, ceux-ci sont utilisés pour poursuivre les prélèvements.

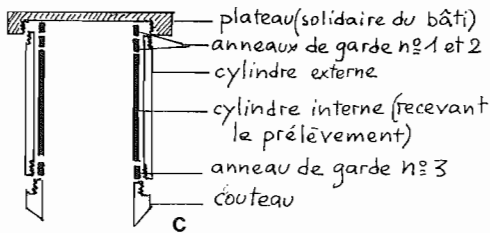
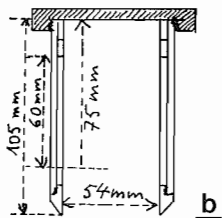
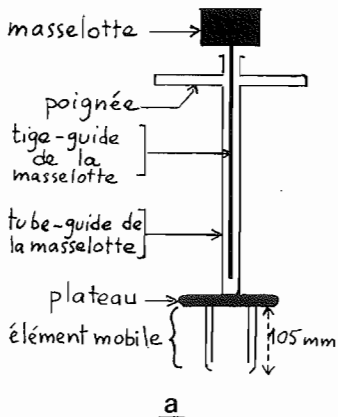


FIGURE I. — Schéma de la tarière « soil core sampler »

- a) Vue d'ensemble en coupe - b) Elément mobile en place vissé sur le plateau
c) Elément mobile démonté

The soil-core sampling auger

- a) Section of the apparatus - b) The mobile cutting part when assembled
c) The mobile cutting part when dismantled

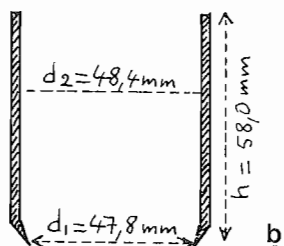
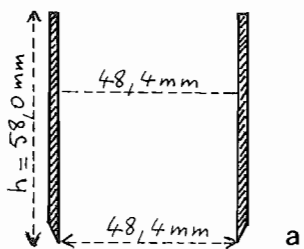


FIGURE II. — Schéma en coupe des cylindres biseautés utilisés
a) Cylindre normal - b) Cylindre rétréci

Sections of the beveled cylinders

- a) The normal cylinder - b) The narrowed cylinder

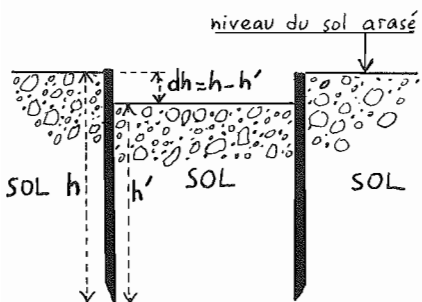


FIGURE III. — Appréciation de la qualité d'un prélèvement : définition de dh/h , cylindre dans le sol (coupe)

Appréciation of sampling efficiency by measurement of the parameter dh/h when driving the cylinder into the soil

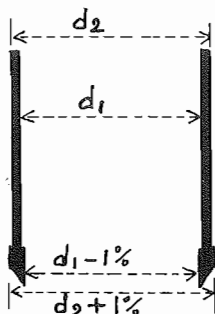


FIGURE IV. — Schéma en coupe d'un cylindre à double rétrécissement interne et externe

Section of a cylinder narrowed both inside and outside

On remarquera que la hauteur h de prélèvement doit être comptée à partir de la base du cylindre recevant le prélèvement, ce qui donne un rapport h/d de l'ordre de 1,4 si on prend la précaution de placer un seul anneau de garde supérieur.

— **Le cylindre classique**, affûté en biseau à une extrémité, qui peut être en laiton, ou en acier inoxydable (figure II a). On le fait pénétrer dans le sol, verticalement ou horizontalement, par pression progressive à la main à l'aide d'une planchette. L'utilisation d'un cric peut parfois être utile en pénétration horizontale. En pénétration verticale, on peut frapper à l'aide d'une masse sur la planchette, ce qui nous rapproche du cas de la tarière « S.C.S. ».

Nous avons utilisé un cylindre en acier inoxydable de diamètre assez réduit pour maîtriser correctement la découpe aux extrémités : $d = 48,4$ mm, $h = 58,8$ mm et $h/d \approx 1,2$. Ce rapport assez élevé a été choisi pour être assez proche du cas de la tarière.

— **Un cylindre rétréci** : exactement du même type que le précédent et utilisé de la même façon ; il est très légèrement rétréci à son extrémité coupante : le diamètre interne $d = 48,4$ mm est réduit à 47,8 mm à l'extrémité coupante, soit une réduction du diamètre de $1/100^{\circ}$. Le rapport h/d est voisin de 1,2 (figure II b).

Ces trois méthodes ont été utilisées avec deux variantes : cylindre légèrement graissé à l'intérieur ou cylindre non graissé. Un graissage (même abondant) à l'extérieur est toujours utile pour diminuer la résistance à l'enfoncement, notamment avec enfoncement à la main

2. CRITERES DE COMPARAISON DES METHODES.

Si on arase le sol suivant un plan (horizontal ou vertical) et qu'on fasse pénétrer un cylindre biseauté perpendiculairement au plan, on a en coupe la situation représentée sur la figure III. Le biseau reportant à l'extérieur du cylindre le tassement provoqué par la pénétration du métal, la colonne de terre intérieure au cylindre n'est pas remanée tant que $dh \approx 0$. Inversement, dès que $dh \neq 0$, on a tassement dans la colonne ; ceci ne signifie d'ailleurs pas que le tassement soit répercuté en totalité sur la colonne de terre interne car il peut se transmettre sur les côtés et vers le bas lorsque la terre ne monte plus dans le cylindre, mais la colonne interne subit au moins en partie le tassement. Ces considérations ont permis de caractériser les méthodes comme suit :

— On a mesuré la qualité des prélèvements par la **réduction relative de la colonne interne** :
$$\frac{dh}{h} \approx \frac{h - h'}{h}$$
 (h est fixé par les caractéristiques des cylindres, déjà décrites).

— En utilisant deux cylindres de longueur importante ($h = 20$ cm $h/d = 4,2$), l'un rétréci de $1/100^{\circ}$ et l'autre non, **on a déterminé dans les diverses situations de prélèvement le rapport h/d limite avec chaque méthode** ; cette valeur-limite (ou maximum acceptable) est obtenue au moment où dh devient non nul quand on fait pénétrer les cylindres doucement en mesurant tous les 5 mm la différence de niveau du sol interne et externe (dh).

— La comparaison a évidemment été complétée par une **comparaison des valeurs de densité apparente obtenues** (moyenne et variance), ainsi que par des observations sur les remaniements internes aux échantillons, et enfin par des indications sur la vitesse et la facilité de prélèvement.

3. SITUATIONS DE COMPARAISON.

Les trois méthodes de prélèvement ont été comparées dans les trois situations d'état de sol suivantes :

— **Situation 1** : sol brun argilo-limoneux du Tadla, dans un horizon à structure continue, très fortement tassé par des passages d'engins, à 18,5 % d'humidité pondérale (l'humidité à la capacité au champ est $H_{cc} = 22\%$).

— **Situation 2** : même sol, mais dans un horizon superficiel ameubli par des travaux récents, à humidité de H_{cc} .

— **Situation 3** : sol sableux (de Rabat), peu tassé, à une humidité de 8 % ($H_{cc} = 10\%$).

Les deux premières situations se caractérisent par une forte adhésivité du sol, au contraire de la troisième. Ces trois matériaux ont également été choisis pour leur bonne homogénéité, qui était susceptible de favoriser des comparaisons précises avec peu de répétitions de mesures.

III. — RESULTATS.

1. JUGEMENT DE LA QUALITE DES PRELEVEMENTS.

L'appréciation du remaniement des prélèvements par le rapport $\frac{dh}{h} \times 100$ d'un prélèvement normal et le test déterminant la valeur limite de h/d sont reportés au tableau 1. La valeur limite de h/d n'a pas pu être établie avec la tarière qui ne permet pas un contrôle de dh au cours de l'enfoncement et ne permet pas un enfoncement important, le plateau venant toucher le sol ; cependant, les observations sur le terrain,

TABLEAU 1. — Valeurs des deux critères d'appréciation de la qualité des prélèvements ($a =$ valeur — limite de h/d ; $b =$ rapport $dh/h \times 100$)

TABLE 1. — Mean values of the two criteria used to appreciate the sampling efficiency

SITUATION DE PRELEVEMENT	CRITERE (n=nom- bre de mesures)	METHODE DE PRELEVEMENT					
		Cylindre normal		Cylindre rétréci		Tarière "SCS"	
		non graissé	graissé	non graissé	graissé	non graissée	graissée
1-Sol brun très tassé et humide	a(n=3) b(n=4)	0,7 17	0,8 18	1,8 1,2	3,5 0	(1) 15	(1) 16
2-Sol brun meuble et humide	a(n=3) b(n=4)	0,8 12	0,9 5,5	2,1 2,2	2,8 0	(1) 35	(1) 37
3-Sol sableux, meu- ble et humide	a(n=3) b(n=10)	2,1 0	2,9 (3)	> 4,2(2) 0	> 4,2(2) (3)	(1) 0	(1) (3)

(1) - La valeur-limite h/d ne peut être contrôlée avec la tarière "S.C.S."

(2) - On enfonce complètement sans déformation de la colonne de terre le cylindre de longueur $h = 200$ mm et de diamètre $d = 47,8$ mm utilisé pour ce test.

(3) - Le graissage ne se justifie pas en sol sableux.

conformes avec la logique, montrent que la valeur-limite est toujours un peu inférieure à celle obtenue avec le cylindre normal biseauté. On constate que :

— **Dans le sol sableux humide à faible adhésivité** : les deux types de cylindre ne déforment pas la colonne, le cylindre normal étant plus facile à utiliser car la colonne de terre glisse trop facilement dans le cylindre rétréci. Le rapport h/d peut être voisin de 2 avec le cylindre normal et doit être au moins de 3 avec le cylindre rétréci pour que la colonne tienne mieux dans le cylindre. La tarière tasse légèrement ($dh/h = 4\%$), mais ce tassement se produit surtout à la partie inférieure qui n'est pas prélevée (au niveau des anneaux de garde et du couteau) ; un autre inconvénient provient du fait que les vibrations provoquées par les coups de masselotte remanient légèrement la colonne, surtout en surface, du fait des faibles liaisons entre les particules sableuses.

— **Dans le sol plus adhésif, meuble ou tassé** : le cylindre normal et la tarière « S.C.S. » (h/d de 1,2 et 1,4) ont considérablement remanié la colonne puisque dh/h est important. La valeur limite de h/d indique qu'il faut limiter ce rapport à 0,7-0,8, ce qui correspond effectivement aux valeurs habituellement admises. Un léger graissage interne du cylindre normal n'apporte pas d'amélioration sensible car la pression de la terre sur les parois enlève la graisse dès le début de l'enfoncement ; la même opération avec la tarière favorise la montée de la partie supérieure de la colonne de terre lors des coups de masselotte et la création artificielle de pores en lentilles dont nous parlerons ultérieurement. Seul le cylindre rétréci permet un prélèvement de sol non remanié : les valeurs limites de h/d indiquent que ce type de cylindre permet de recueillir sans déformation une colonne de terre environ 2,5 fois plus longue qu'avec le cylindre normal. De plus, l'effet du graissage est nettement plus sensible car, du fait de la faible pression de la terre sur les parois, l'essuyage de la graisse est lent lors de la montée de la colonne. Quel que soit le sol, on peut donc envisager d'utiliser sans risque de tassement des cylindres rétrécis ayant un rapport h/d compris entre 1,5 et 2, voire entre 2 et 3 si on graisse légèrement. Cependant, cet allongement des cylindres accroît la résistance à l'enfoncement qui devient souvent difficile à la main dans les sols adhésifs quand h/d dépasse 1,5 à 1,7.

2. VALEURS COMPAREES DE LA DENSITE APPARENTE ET ALLURE DES DEFORMATIONS.

Dans le tableau 2 sont données les valeurs moyennes de la densité apparente et leur coefficient de variation. Dans les deux premières situations, ce dernier n'a qu'une valeur indicative vu le faible nombre de mesures ; il est cependant toujours faible, ce qui résulte du choix d'horizons de prélèvement homogènes, mais traduit également la bonne reproductibilité des méthodes d'un prélèvement à l'autre. Les considérations du paragraphe précédent nous permettant de choisir comme référence la prise au cylindre rétréci graissé, qui ne subit aucune déformation, on note que :

a) **Le cylindre rétréci** ($h/d = 1,2$) non graissé donne des valeurs très comparables au même cylindre graissé, ce qui est logique avec tout ce qui précède.

b) **Le cylindre normal** ($h/d = 1,2$) permet de prélever correctement en sol sableux, mais il a tendance à tasser les prélèvements dans le sol brun humide à forte adhésivité. Dans la situation 1, très tassée, il est même très difficile de réaliser des prélèvements corrects car même si on fait entrer (horizontalement) le cylindre très profondément dans l'horizon, le plus souvent la terre ne monte pas jusqu'en haut du cylindre, la force de frottement interne étant trop importante. La colonne prélevée subit ici un tassement simple, surtout à sa base.

c) **La tarière « S.C.S. »** donne des valeurs qui, par rapport à la référence, sont nettement plus faibles en sol très tassé (situation 1) et, au contraire, un peu plus fortes en sol meuble (situations 2 et 3). Cela résulte de remaniements complexes : on a le même tassement à la base de la colonne qu'avec le cylindre normal, encore accentué du fait de la pénétration rapide lors des coups de masselotte, qui se combine

TABLEAU 2. — Valeurs moyennes de la densité apparente (d_a) et coefficients de variation (C.V.)TABLE 2. — Mean values of bulk-density (d_a) in $g.cm^3$ and their coefficients of variation (C.V.)

SITUATIONS	NOMBRE DE MESURES	CRITERE	Cylindre normal		Cylindre rétréci		Tarière	
			non graissé	graissé	non graissé	graissé	non graissée	graissée
1	n=4	d_a CV(%)	1,79(1) -	1,78(1) -	1,75 0,3	1,72 2	1,65 4,1	1,57 5,0
2	n=4	d_a CV(%)	1,35 8,4	1,35 8,4	1,31 1,4	1,30 3,8	1,36 5,7	1,34 5,2
3	n=10	d_a CV(%)	1,570 1,5	(2)	1,578 2,1	(2)	1,597 0,7	(2)

(1) - Valeurs moyennes de 2 mesures sur 6 et 8 tentatives respectivement ; en effet, pour la majorité des prises, on n'arrive pas à faire monter la colonne de terre interne jusqu'en haut du cylindre (voir texte paragraphe III 2b)

(2) - Le graissage ne se justifie pas en sol sableux.

à des phénomènes de vibration tendant à remanier la partie supérieure de la colonne de façon différente suivant la force de liaison entre particules ou agrégats du sol :

- **Dans le sol sableux humide**, la pénétration aisée par quelques petits coups de masselotte et la faible adhésivité permettent de limiter les deux effets : le remaniement supérieur est réduit au niveau de l'anneau de garde supérieur, ce qui est sans conséquence sur le prélèvement, et le tassement à la base est faible.

- **Dans le sol très tassé et à forte adhésivité**, les frottements importants nécessitent de nombreux coups de masselotte. Le sol déjà très tassé ne peut l'être beaucoup plus à la base de la colonne ; ce sont donc les remaniements de la partie supérieure qui prédominent, conduisant à une sous-estimation notoire de la densité apparente. Le glissement par à-coups de la colonne de terre sur les parois du tube tend en effet à créer des fissures horizontales en lentilles, qui sont très caractéristiques sur les prélèvements extraits des cylindres à l'aide d'un piston. Dans cette situation très tassée, les fissures sont très importantes et peuvent conduire dans certains prélèvements à un quasi-décollement entre les parties supérieure et inférieure de l'échantillon.

- **Dans le sol très meuble et à forte adhésivité**, le tassement à la base est très net, et il se combine à un remaniement de la partie supérieure de la colonne de terre intermédiaire entre les deux cas précédents : création de petites fissures en lentilles vers le milieu de la colonne et tendance à la séparation entre les agrégats à la partie supérieure. Une manipulation a été réalisée dans cet horizon considéré comme homogène afin de juger de l'importance des remaniements : à l'aide de pistons, on a extrait avec précaution une série d'échantillons prélevés verticalement, que l'on a sectionnés en deux parties égales. En moyenne, sur 4 répétitions, on a obtenu pour chaque méthode les valeurs suivantes de d_a :

— Cylindre rétréci : moitié sup. = 1,33 ; moitié inf. = 1,30 ; moy. = 1,31 ;

— Tarière « S.C.S. » : moitié sup. = 1,25 ; moitié inf. = 1,43 ; moy. = 1,34.

d) On notera enfin qu'avec les modes de prélèvement qui remanient ou tassent peu, les coefficients de variation de la densité apparente ont un ordre de grandeur faible (1 à 3%), même dans l'horizon très ameubli susceptible d'être plus hétérogène. Ils

sont plus élevés avec les modes de prélèvement qui remanient car à l'hétérogénéité interne au sol s'ajoute une variation du biais lié à la méthode entre les prélèvements successifs.

3. FACILITE ET RAPIDITE D'UTILISATION.

Les trois méthodes nécessitent le creusement d'un profil jusqu'à la profondeur étudiée. Mais la tarière S.C.S., vu les remaniements importants à la périphérie (fentes, tassement) et son utilisation obligatoirement verticale, demande de dégager le profil en escalier et, si possible, de prélever en commençant par les horizons inférieurs ; les prélèvements ne peuvent guère être rapprochés à moins de 30 cm et l'étude d'horizons ayant une épaisseur inférieure à 10 cm est impossible. Les prélèvements avec des cylindres en acier inoxydable à paroi fine peuvent être faits dans une simple tranchée horizontalement et en descendant ; l'absence de fort remaniement extérieur permet en utilisant des cylindres de petit diamètre (2 à 4 cm) et en rapprochant les prélèvements à quelques centimètres les uns des autres, de faire un travail assez fin en étudiant des zones du profil ayant une extension de quelques centimètres. Dans un sol humide (toutes ces méthodes n'étant pas utilisables en sol sec), l'enfoncement d'un cylindre rétréci est plus facile que celui d'un cylindre normal, ce qui permet pratiquement toujours un enfoncement à la main, qui permet d'aller vite. On arrive ainsi à réaliser 25 à 30 échantillons par heure sur un profil en travaillant avec deux personnes, alors qu'on en fait un peu moins avec un cylindre normal si le sol est tassé, et à peine la moitié avec la tarière S.C.S., quelle que soit la situation.

IV. — CONCLUSION.

Des trois méthodes testées ici, l'utilisation d'un anneau très légèrement cintré à l'extrémité coupante et éventuellement légèrement graissé s'est avérée très nettement la meilleure, aussi bien au plan de la qualité du travail que de sa rapidité. De plus on a pu vérifier dans d'autres travaux que ceux présentés ici que c'est la seule méthode permettant de prélever correctement dans des horizons très meubles ($d_a = 1,1$ à $1,2$). Elle permet d'utiliser des anneaux nettement plus longs que larges, ce qui réduit les risques d'erreur aux extrémités de découpe. Notons que la résistance à l'enfoncement peut encore être réduite pour faciliter l'utilisation manuelle de cylindres relativement longs en réduisant le diamètre extérieur derrière le niveau de découpe, ce qui permet à l'extérieur la même réduction des frottements que celle obtenue à l'intérieur (figure IV). Un inconvénient majeur reste le coût relativement élevé de fabrication de ces anneaux qui doivent être réalisés au tour de précision, si possible sur de l'acier inoxydable pour conférer le maximum de solidité avec une épaisseur minimale des parois du tube.

Les anneaux classiques comportent le gros inconvénient de devoir rester courts pour ne pas tasser le sol ($h = 0,7$ à $0,8$), sauf en sol sableux à faible adhésivité où ils peuvent être plus pratiques à utiliser que les anneaux cintrés.

Enfin, la tarière S.C.S. comporte, à notre avis, une série d'inconvénients, les plus importants étant les remaniements internes de la colonne de sol (tassement à la base, détassement au sommet) qui conduisent à une forte réduction des gammes de variation des densités apparentes : les sols très tassés sont détassés et les sols très meubles sont tassés. S'y ajoutent des limites importantes pour la finesse du travail et sa rapidité.

Soulignons enfin que, en dehors de l'intérêt de prélever des échantillons de sol non remanié pour ne considérer que le problème de la mesure de la densité apparente et de la porosité, il serait intéressant de prolonger ce travail méthodologique par une comparaison avec des valeurs obtenues par des techniques récentes en cours de généralisation comme la sonde à rayons gamma.

SUMMARY

TESTING SEVERAL VARIATIONS OF THE CYLINDER METHOD FOR THE DETERMINATION OF SOIL BULK DENSITY

The measurement of bulk-density by the cylinder method provides useful information, especially during agronomical inquiries for which it may be difficult to use more recent and sophisticated methods as the gamma-ray sounding apparatus. In this study several variations of the cylinder method were compared: a soil-core sampling auger used in U.S., a normal beveled cylinder, and the same cylinder narrowed to 1/100th of its cutting edge. Tests were conducted under three field physical conditions: one wet very compacted brown soil; one light brown soil; one wet sandy soil.

The narrowed cylinder gave the best results which could be improved by a light interior greasing: soil samples can be taken off without deformation generally where bulk-density ranges from 1,1 to 1,7 g.cm³, using cylinders which have relatively high length to diameter ratios (1,5 to 3,0) reducing the errors due to cutting. The auger creates complex soil deformations, even when the bulk-density is near the real density. The normal cylinder can be used without risk of deformation in adhesive soils only with a small length to diameter ratio (0,7-0,8). In wet sandy soils the choice of method is less important.

Bibliographie

- BILLOT J.-F., PALOMO J., MARIONNEAU A. (1977). — Utilisation d'un pénétromètre enregistreur de précision pour l'étude du tassement du sol par les roues des engins agricoles. Etudes du C.N.E.E.M.A., n° 237, octobre 1977.
- HENIN S., GRAS R., MONNIER G. (1969). — Le profil cultural. Edit. Masson et Cie, Paris.
- LEANER R.W., SHAW B. (1939). — A simple apparatus for measuring non-capillarity porosity on an extensive scale. Journ. Amer. Soc. Agron., 33, 1003-1008.
- MANICHON M. (1978). — Fiches codifiées d'observation du profil cultural. Doc. ronéot., ch. d'Agron., I.N.A. Paris (à paraître aux Annales Agronomiques).
- MATHIEU C. (1978). — Influence de l'irrigation sur l'évolution de quelques caractères fondamentaux des sols argileux des plaines du Maroc oriental. Aspects micromorphologiques. Sc. du Sol (Bull. A.F.E.S.), 2, 95-112.
- SOANE B.D., CAMPBELL D.J., HERKES S.M. (1971). — Hand-held gamma-ray transmission equipment for the measurement of bulk density of field soils. J. Agric. Eng. Res. 16, 146-156.
- STENGEL P. (1979). — Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol in situ. Ann. Agron., 30 (1), 27-51.