

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé

Laboratoire d'Agronomie

MATERIEL ET METHODES MIS EN OEUVRE SUR LE CENTRE  
O.R.S.T.O.M. D'ADIOPODOUME POUR L'ETUDE DE LA  
CROISSANCE ET DU DEVELOPPEMENT EN PLEINE TERRE  
DES SYSTEMES RACINAIRES.

Par

B. BONZON et D. PICARD

Novembre 1967

MATERIEL ET METHODES MIS EN OEUVRE SUR LE CENTRE  
O.R.S.T.O.M. d'ADIOPODOUME POUR L'ETUDE DE LA  
CROISSANCE ET DU DEVELOPPEMENT EN PLEINE TERRE  
DES SYSTEMES RACINAIRES.

Par

B. BONZON et D. PICARD  
Chargés de Recherches  
Centre d'Adiopodoumé.

---

I - INTRODUCTION.

Que le système racinaire d'une plante soit considéré en tant qu'organe de nutrition de la plante ou en tant qu'organe susceptible d'amener des modifications dans les propriétés du milieu dans lequel il se développe, il importe d'en connaître la morphologie "in situ", cette connaissance pouvant être à l'origine d'améliorations des systèmes culturaux.

Paradoxalement, si les techniques utilisables pour ce genre d'étude sont, pour la plupart, relativement anciennes, les résultats obtenus sont peu nombreux car elles sont très difficiles à mettre en oeuvre.

Leur examen et leur emploi commença sur le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé en 1964, à propos d'Ananas comosus L. (Merr). (BONZON, 1966).

Depuis cette date ont été choisies et, éventuellement, adaptées ou mises au point trois méthodes groupant un ensemble de techniques qui peuvent d'ailleurs être utilisées indépendamment. Ce sont l'examen du profil cultural, la méthode des profils racinaires et celle des sondages. Ne seront décrites ici que les techniques originales utilisées à propos de ces méthodes.

## 2 - ETUDE DU PROFIL CULTURAL.

Aucune modification importante n'a été apportée à la méthode décrite par S. HENIN.

"Il faut entendre par profil cultural l'ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, des racines des végétaux et des facteurs naturels réagissant à ces actions," (HENIN et al., 1960, p.11). "Le but de la description du profil cultural est, ..., de mettre en évidence les caractéristiques des diverses couches constituant le terrain, d'examiner la façon dont elles sont exploitées par les racines et d'évaluer dans la mesure du possible les causes de leur différenciation". (Ibid.)

Cette méthode, très fructueuse, reste purement qualitative. Elle a donc été complétée par d'autres permettant d'obtenir des données semi-quantitatives ou quantitatives sur les enracinements.

## 3 - METHODE DES PROFILS RACINAIRES.

Cette méthode a pour but d'apprécier le développement des racines de la plante étudiée sur l'ensemble ou tout au moins une fraction importante du profil cultural et non pas seulement dans un plan mais sur une certaine épaisseur de sol.

Elle vient en complément de l'examen de ce dernier qui, s'il permet de voir parfaitement les "accidents" de croissance, ne donne pas une aussi bonne image du développement et de la morphologie des racines dans les différents horizons.

Utilisée initialement par ROTMISTROFF (1908) puis MASCHNAUPT (1915), plus récemment par GOEDEWAAGEN et SCHUURMAN (1965), cette méthode a été reprise à Adiopodoumé avec quelques modifications.

### 3.1. - Technique de prélèvement.

Pour le prélèvement est utilisé un panneau, muni de pointes, de grandes dimensions (Tableau 1) (Figures 1 et 2).

Dimensions des panneaux cm	Longueur des pointes cm	Ecartement des pointes cm	Poids moyen chargés Kg
120 x 60	10	5	160
180 x 50	10	5	200

TABLEAU 1 - Dimensions des panneaux utilisés à Adiopodoumé.

Pour prélever un profil racinaire, il faut :

1°) creuser une fosse dont les dimensions sont fonction de celles du panneau utilisé et dont la position par rapport à la plante étudiée est fonction de la partie du système racinaire à prélever,

2°) après avoir recouvert le panneau d'une feuille de plastique, enfoncer les pointes dans la paroi verticale retenue, parfaitement aplanie,

3°) caller le panneau en-dessous puis creuser une saignée sur les 3 côtés de la planche,

4°) découper à l'aide d'un fil d'acier passé dans les saignées la tranche de sol incluse entre les pointes. Le panneau et la portion de sol ainsi fixées sont alors transportés au laboratoire.

### 3.2. - Traitement de l'échantillon.

L'ensemble panneau + terre est éventuellement desséché dans un courant d'air chaud à 60° pendant 24 heures et trempé dans un dispersant (chlorure de sodium à 5 % par exemple) quelques heures.

La terre est ensuite éliminée par aspersion (figure 3). Les racines sont maintenues en place pendant cette opération par les pointes.

Après séchage, les racines sont sorties d'entre les pointes grâce à la feuille de plastique et collées sur une feuille de papier blanc, prêtes pour observations et mesures (Figure 4).

### 3.3. - Intérêt de la méthode.

Si cette méthode permet d'avoir une excellente image de l'enracinement d'une plante dans une tranche de sol, cette image peut n'être pas tout à fait fidèle, du fait du déplacement possible des petits fragments de racines (ceux de longueur inférieure à 10 à 15 cm) pendant le déterrage, ni tout à fait représentative puisque la tranche de sol n'est pas très épaisse.

D'autre part, le matériel est encombrant et lourd, sa mise en oeuvre nécessite beaucoup de main d'oeuvre (17 h par profil) et n'est pas sans danger du fait du poids du panneau chargé. Enfin, les observations sont longues et incomplètes parce que la partie profonde du système racinaire n'est pas **prélevée** et que, le sol ayant été enlevé, l'interprétation des accidents constatables n'est pas toujours possible.

Enfin cette méthode n'est pas utilisable sur des essais conduits en petites parcelles lorsque des observations répétées dans le temps sont nécessaires.

#### 4 - METHODE DES SONDAGES.

Une autre méthode pour l'étude du système racinaire d'une plante consiste en l'utilisation de sondes à carotter.

Cette méthode est largement utilisée par de nombreux auteurs (BOEHLE - 1963 ; C.A.B- 1961 ; KELLEY, HARDMAN et JENNINGS - 1947 ; KHARITONOVA - 1965 ; KOLESNIKOV - 1961 ; LASTREBOV - 1955 ; MAERTENS - 1964 ; SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN - 1965 ; STANKOV - 1962 ; WILLIAMS et BAKER - 1957), qui ont décrit différents types de sondes plus ou moins complexes et différentes techniques de prélèvement et de traitement.

A Adiopodoumé, la méthode comporte les étapes suivantes : prélèvement des carottes, séparation racines-terre, séparation racines-impuretés, mesure de la surface diamétrale et du poids sec des racines, éventuellement mesure de leur longueur et de leur diamètre moyen selon les différents ordres.

##### 4.1. - Technique de prélèvement.

Deux modèles de sonde, de type identique mais de dimensions différentes ont été construits (Figure 5). Un corps de sonde en acier, intérieurement cylindrique sur 3 cm puis légèrement tronc-conique, extérieurement tronc-conique au départ puis cylindrique et de longueur 30 cm vient se visser par un filetage à pas carré de 4 mm sur un bouchon cylindrique de 18 cm de long, également en acier, qui sert d'enclume. Une tige de 20 mm de diamètre et de 1,30 m de long, fixée par 2 boulons de 8 sur ce bouchon permet d'enfoncer le corps de sonde jusqu'à 1,30 m de profondeur à l'aide d'une masse cylindrique évidée de 12 kg qui coulisse le long de la tige de 20 pour frapper le bouchon de la sonde.

A l'origine, l'enfoncement se faisait à l'aide d'une masse frappant une enclume fixée en tête de la tige. Cette solution dût être abandonnée, la tige ne résistant pas suffisamment longtemps.

Les 2 modèles diffèrent par le diamètre utile du corps de sonde : l'une prélève des carottes de 55 mm de diamètre, l'autre des carottes de 89 mm.

L'inconvénient majeur de ce type de sonde est que, les carottes faisant au maximum 25 cm de long, il n'est pas possible de prélever en une fois une grande carotte puis de la découper en fonction des horizons du profil. Après enfoncement de la sonde de la profondeur voulue, celle-ci étant contrôlée à l'aide d'une toise, il faut sortir la sonde, dévisser le bouchon, retirer la carotte, revisser le corps de sonde (beaucoup de temps est gagné en utilisant deux corps de sonde) et enfoncer la sonde à nouveau.

Ses avantages sont sa souplesse d'emploi, par rapport notamment à un engin porté qu'il est plus long de déplacer d'un point de sondage à un autre sur une parcelle et les faibles modifications apportées aux terrains d'essai, ce qui permet de répéter les sondages dans le temps tout en ayant des dimensions de parcelle assez petites pour être relativement homogènes. L'appareil est robuste : il permet des prélèvements dans les sols ferrallitiques gravillonnaires.

Trois hommes disposant de 2 corps de sonde pour un bouchon peuvent effectuer le prélèvement de 18 à 20 carottes à l'heure (en conditions favorables : sol meuble à humidité convenable, non caillouteux).

Sur ananas, les coefficients de variation des poids sec et des surfaces diamétrales des racines extraites à partir de la sonde de diamètre intérieur 55 mm sont comparables à ceux des racines extraites à partir de la sonde de diamètre intérieur 89 mm : l'hétérogénéité des échantillons est donc la même dans les deux cas (BONZON - 1966).

Sur ananas comme sur Panicum maximum (BONZON - 1966, PICARD - 1966) il faut environ 40 à 50 répétitions par traitement et pour un emplacement de sondage bien déterminé par rapport à la végétation, sur un essai, pour que des différences entre traitements de l'ordre de 10 % soient significatives au seuil 0,05, pour les premiers horizons (jusqu'à 30 cm de profondeur environ). Pour des profondeurs plus grandes, les quantités de racines variant énormément d'un échantillon à un autre, le nombre de répétitions nécessaires devient vite très important.

#### 4.2. - Traitement des carottes.

Les carottes qui ne sont pas traitées immédiatement sont dessechées dans un four à infra-rouges, pendant 24 heures à 60°C, afin de permettre leur conservation. Cette dessiccation est obligatoire dans le cas des échantillons argileux avant leur traitement par un dispersant (Na Cl à 5 % pendant quelques heures).

Quelques auteurs ont décrit des appareils permettant la séparation sol-racine : CAHOON et MORTON - 1961 ; FEHRENBACHER et ALEXANDER - 1955 ; FRIBOURG - 1953 ; WILLIAMS et BAKER - 1957. Celui d'Adiopodoumé se compose d'une batterie de 4 double-tamis en bois, à section rectangulaire (50 cm x 20 cm) et à fond cylindrique, le tamis supérieur étant gréé d'une toile en laiton de 16 mesh, le tamis inférieur d'une toile de 14 mesh (figure 6).

Ces tamis s'emboitent sur un cadre en bois, oscillant grâce à un système bielle-manivelle actionné par un moteur électrique de 2 CV dont la vitesse de rotation à la sortie, 1500 t/mn, est réduite 120 fois environ. L'amplitude des oscillations est de 50°, leur fréquence de 12,5 à la minute. Ils sont surmontés chacun d'un jet de lance d'arrosage placé sur un bras articulé permettant un réglage précis de l'aspersion des échantillons. L'évacuation des boues se fait à la périphérie des échantillons, sur la partie relevée des toiles de tamis. Pour une utilisation correcte, le volume de terre mis dans les tamis doit être inférieur à 2 l en raison de leurs dimensions intérieures. Une fois le déterrage d'un échantillon



terminé, le tamis supérieur est retourné sur un entonnoir collecteur en tôle de zinc et vidé à l'aide d'une autre lance dans un petit entonnoir de récupération muni d'un tamis à mailles très fines situé immédiatement en-dessous.

Les racines retenues sur le tamis inférieur, éventualité assez rare, sont réunies au contenu de cet entonnoir de récupération, qui renferme les racines, des débris grossiers de matière organique et les graviers et cailloux de diamètre supérieurs à 1,5 mm.

Lorsque ces cailloux et graviers sont très nombreux, l'échantillon est placé dans un entonnoir à la base duquel arrive un violent jet d'eau. Les cailloux restent dans l'entonnoir alors que les racines et les débris de matière organique sont entraînés par le courant d'eau et sont repris dans un tamis placé sous l'entonnoir.

La séparation entre ces débris divers et les racines est effectuée manuellement.

Un opérateur peut déterrer jusqu'à 100 carottes de 475 cm<sup>3</sup> (20 cm de haut x 5,5 cm de diamètre) par jour; il peut effectuer le nettoyage de 40 échantillons environ.

L'intérêt de cet appareil est de permettre le déterrage continu d'un grand nombre d'échantillons sans autre intervention que le remplissage des tamis et la récupération des racines.

Une étude systématique sur 76 carottes a par ailleurs montré qu'une quantité très faible de racines passe à travers les 2 tamis (BONZON 1966). Cette quantité est négligeable pour des études quantitatives portant sur tous les ordres de racine sauf peut être les poids absorbants.

Ce sont les débris de matière organique qui ne peuvent être séparés qu'à la main qui occasionnent la plus grande perte de temps.

#### 4.3. - Mesure de la surface diamétrale et du poids sec des carottes.

##### 4.3.1. - Intérêt des mesures.

La mesure du poids sec est la donnée la plus fréquemment utilisée pour chiffrer les quantités de racine prélevées soit en plein champ soit en pot.

En fait, à moins de séparer pour chaque échantillon les racines selon leurs ordres, ce qui n'est pas envisageable pour des carottes de faible volume renfermant des fragments de racines, l'on peut se retrouver en présence d'échantillons de même poids sec ayant des aspects totalement différents, la longueur totale, le diamètre moyen et le poids spécifique moyen pouvant varier, entre certaines limites, de façon indépendante les uns des autres.

Par conséquent, la seule mesure du poids sec est insuffisante pour caractériser une quantité de racines et il est intéressant de disposer d'un deuxième paramètre qui puisse se mesurer en série et ne varie qu'en fonction de la longueur et du diamètre des racines, celle de la surface diamétrale, facilement mesurable grâce à un planimètre photoélectrique décrit précédemment (BONZON, 1964).

#### 4.3.2. - Mesure de la surface diamétrale.

Par rapport à la description antérieure, la technique a évolué sur deux points : le mode d'étalement d'une part, la méthode de mesure d'autre part. Les racines nettoyées sont maintenant étalées sous un film d'eau, ce qui diminue les recouvrements (figure 7). Elles sont ensuite mises à sécher à l'air ambiant 24 heures au moins. La diminution de surface provoquée par leur rétraction devient alors négligeable.

Ce mode d'étalement amène la formation de dépôts de diverses natures à la surface des plaques de verre ; il nécessite l'emploi d'un nombre important de ces dernières, aux propriétés de transmittance variables. Pour ces raisons une modification a été apportée à la méthode de mesure proprement dite pour qu'il soit tenu compte de ces deux facteurs de variation dans la différence de transmission des flux lumineux.

Si, au niveau de la cellule photoélectrique,  $I_r$  est l'intensité du flux lumineux à travers la platine de référence et  $I_{c_1}$  et  $I_{c_2}$  celles du flux lumineux à travers la platine de chargement, racines en place puis racines enlevées, si  $S_a$  est la surface apparente des platines, c'est à dire la surface réelle de la section transversale du faisceau lumineux au niveau

du plan moyen des racines, la surface diamétrale de l'échantillon est donné par :

$$S_d = \frac{a_1 - a_2}{1 - a_2} S_a$$

avec

$$a_1 = \frac{1}{n} \sum \frac{I_r - I_{c1}}{I_r}$$

$$a_2 = \frac{1}{n'} \sum \frac{I_r - I_{c2}}{I_r}$$

$n$  et  $n'$  étant les nombres de répétition des mesures de chaque couple ( $I_r$ ,  $I_c$ ).

$n$  et  $n'$  sont le plus souvent égaux à 2, l'appareil étant muni d'un régulateur de tension à l'entrée et d'une cellule et d'un luxmètre enregistreur plus sensible et plus précis.

En raison de ces nouveaux éléments, les courbes d'étalonnage de l'appareil sont linéaires et confondues avec la droite théorique. L'erreur relative sur une mesure peut toujours être inférieure à 5 % à condition d'adapter correctement la dimension des platines à celle des échantillons (Tableau 2).

	Dimension des platines mm	Surface apparente mm <sup>2</sup>	Distance platine-lentille * mm	Distance lentille cellule * mm
Cellule de $\varnothing$ 36 mm	50 x 40	2090	508	248
	100 x 80	8030	833	208
	150 x 120	17.700	1.166	194
	200 x 160	31.360	1.499	187
	250 x 200	49.500	1.832	183,5
	300 x 240	70.500	2.165	180,5
Cellule de $\varnothing$ 60 mm	400 x 320	125.000	1.832	183,5
	500 x 400	195.500	2.165	180,5

TABLEAU 2 - Dimension des platines et caractéristiques du planimètre photoélectrique.

#### 4.3.3. - Mesure du poids sec.

Après mesure de la surface diamétrale, les racines sont mises dans des boîtes tarées à l'étuve, séchées 12 heures à 105° puis pesées.

Les racines de certaines plantes, d'ananas en particulier, peuvent retenir, malgré les lavages, des quantités importantes de particules minérales.

Si les mesures de surface diamétrale ne sont que peu influencées par leur présence, celles du poids peuvent l'être beaucoup plus. Deux méthodes sont utilisées pour déterminer le poids de ces particules ; la première consiste en la calcination des échantillons à 500° pendant 3 heures puis en la pesée du résidu ; l'autre s'apparente à la "méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol" de G. MONNIER, L. TURC et JEANSON-LUUSINANG (1962). Les racines sont broyées puis centrifugées dans un mélange alcool-bromoforme de densité 2. Le culot qui est constitué par les particules minérales fixées par les racines est recueilli sur un filtre en verre fritté n° 4 préalablement taré. Puis il est rincé à l'alcool à 95°, séché et pesé. Cette méthode, mise au point au laboratoire central d'analyse du Centre O.R.S.T.O.M. de Bondy est plus précise que la précédente car les résultats obtenus n'incluent pas les minéraux constitutifs des racines.

#### 4.4. - Autres techniques.

De façon moins courante d'autres techniques sont utilisées pour mesurer d'autres paramètres biologiques sur les échantillons. Ce sont essentiellement la longueur totale des racines, mesurée par la méthode de NEWMAN (1966) et le diamètre moyen des différentes classes de racines, mesuré à l'aide du micromètre d'une loupe binoculaire.

#### 4.5. - Conclusion sur la méthode des sondages.

Les mesures de surface diamétrale et de poids sec sont effectuées en grande série à un rythme qui peut atteindre 250 échantillons par semaine depuis le déterrage des carottes jusqu'aux mesures proprement dites, avec 5 personnes.

## 5 - CONCLUSION

L'ensemble des méthodes décrites, celles du profil cultural, du profil racinaire et celle des sondages permettent d'aborder l'étude morphologique des systèmes racinaires en place de nombreuses plantes.

Ces trois méthodes sont complémentaires, le profil cultural permettant de voir le développement des racines en fonction de la nature du sol, la méthode du profil racinaire donnant une image de ce développement sur laquelle il est possible de faire des observations et des mesures précises, la méthode des sondages enfin permettant de définir des gradients de développement et de faire des comparaisons quantitatives soit, pour une même variété, en différents milieux, soit, dans un même milieu, entre différents variétés ou espèces.

Toutefois les deux dernières, conçues pour l'ananas puis développées pour les graminées, c'est à dire pour des plantes à système racinaire fasciculé, devront être adaptées à l'étude des systèmes racinaires pivotants, le pivot étant à l'origine de nombreux problèmes propres.

D'ailleurs, pour l'étude des systèmes racinaires fasciculés le problème de l'échantillonnage se pose qui n'a pas été discuté ici.

Seule la méthode des sondages est, malheureusement, utilisable au cours d'essais où l'on désire faire des prélèvements répétés dans le temps et donc ne pas trop modifier le milieu.

Les techniques décrites à propos de cette méthode : séparation sol-racines, mesure de la surface diamétrale, du poids sec., peuvent être facilement utilisées pour des expériences d'autres types, notamment les cultures en pot.

Si la mesure du couple poids-surface fournit des informations beaucoup plus complètes sur les racines contenues dans un échantillon qu'un seul de ces paramètres, il faudrait toutefois les compléter par la mesure du volume. En effet le rapport du poids sec des racines à leur surface diamétrale varie en fonction du diamètre moyen des échantillons et de leur masse volumique. La mesure du volume global permettrait de calculer ces deux données.

Remerciements.

B.BONZON tient à exprimer ici au Dr. J.J. SCHUURMAN de l'Institut pour l'Etude de la Fertilité des sols de Wageningen, Pays-Bas, sa vive gratitude pour tous les renseignements précieux qu'il lui a si aimablement communiqué au départ de ses travaux.

BIBLIOGRAPHIE.

- BOEHLE (J. Jr) 1963. Apparatus for taking soil-root cores. Agron. J., 55 (2), 208-209.
- BONZON (B.) 1964. Description et mode d'utilisation d'un appareil de mesure photoélectrique des surfaces végétales. Fruits, 19 (10), 577-581.
- BONZON (B.) 1966. Etude méthodologique du système racinaire d'Ananas comosus (L.) Merr., Variété Cayenne Lisse. D.E.S., Université de Paris, 137p.
- COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAUX (1961). Research techniques in use at the Grassland Research Institute. HURLEY. Bull. n° 45, 167p.
- CAHOON (G.A.), MORTON (E.S.) 1961. An apparatus for the quantitative separation of plant roots from soil. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 78, 593-596.
- FEHRENBAKER (J.B.), ALEXANDER (J.D.) 1955. A method for studying corn root distribution using a soil-core sampling machine and a shaker-type washer. Agron. J., 47, 468-472.
- HENIN (S.) et al. 1960. Le profil cultural. SEIA, XXIV, 320p.
- KELLEY (C.J.), HARDMAN (J.A.), JENNINGS (D.S.) 1947. A soil sampling machine for obtaining two-three or four inch diameter cores of undisrupted soil to a depth of six feet. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 12, 85- 37.
- KHARITONOVA (Ye.P.) 1965. Methods for sampling roots from a soil. Soviet. Soil. Sci., mars, 302.
- KOLESNIKOV (V.A.) 1961. Study of roots by the sampling method. Sadorostro, 3, 20-21.

- LASTREBOV (M.T.) 1955. Nouvelle sonde pour la prise de monolithes de sol de grand volume et son utilisation pour l'étude du système radicellaire des plantes.  
Pochvovedenie, 5, 78-81.
- MAERTENS (C.) 1964. Influence des propriétés physiques des sols sur le développement radiculaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures.  
Sci. Sol, 2, 31-41.
- MASCHHAUPT (J.G.) 1915. cf. SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN (1965).
- MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON-LUUSINANG (C.) 1962. Une nouvelle méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol.  
Ann. Agron. 13, 55-63.
- NEWMAN (E.I.) 1966. A method of estimating the total length of roots in a sample. J. Appl. Ecol., 3 (1), 139-145.
- PICARD (D.) 1966. Evolution du système radiculaire de Panicum maximum soumis à deux traitements de fauche.  
Rapport de Stage - ORSTOM (Inédit.)
- ROTMISTROFF (W.G.) 1908. cf. SHCUURMAN et GOEDEWAAGEN (1965).
- SCHUURMAN (J.\*J.), GOEDEWAAGEN (M.A.J.) 1965. Methods for the examination of root systems and roots.  
PUDOC-WAGENINGEN, 86p.
- STANKOV (N.Z.) 1962. Appareils et techniques pour l'étude des racines des plantes .  
Fiziol. Rastanii, 7 (6), 609-612.
- WILLIAMS (T.E.), BAKER (H.K.) 1957. Studies on the root development of herbage plants. I. Techniques of herbage root investigations.  
J. Br. Grassld. Soc., 12 (1), 49-55.





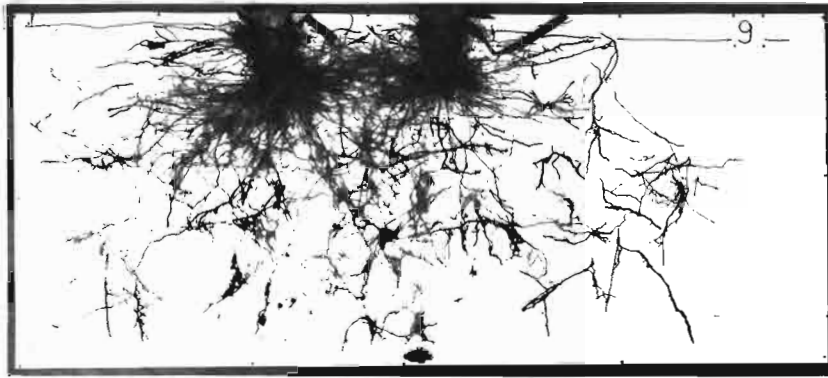
Figure 1 :  
matériel de prélè-  
vement des **profils**  
racinaires.



Figure 2 :  
Préparation d'un  
panneau.



Figure 3 :  
Stalle de déter-  
rage d'un profil  
racinaire.



17

Figure 4 :  
Profil racinaire  
d'ananas.



Figure 5 :  
Sondes à carotter.



Figure 6 :  
Tamis pour la sépa-  
ration sol-racines.  
Entonnoir de récu-  
pération.



Figure 7 :  
Etalement des ra-  
cines sur une pla-  
tine en verre.