

MATÉRIEL ET MÉTHODES POUR L'ÉTUDE DE LA CROISSANCE ET DU DÉVELOPPEMENT EN PLEINE TERRE DES SYSTÈMES RACINAIRES

PAR

B. BONZON et D. PICARD*

RÉSUMÉ

Trois méthodes sont décrites pour l'étude des systèmes racinaires des plantes cultivées en pleine terre. Celle du profil cultural est très facile à utiliser avec peu de moyens ; elle permet une étude qualitative approfondie. Celle du profil racinaire, qui demande un matériel spécialement conçu, a une excellente valeur démonstrative. Celle, enfin, des sondages permet des études quantitatives et, en particulier, des comparaisons d'enracinements de plantes en parcelles expérimentales.

Les techniques mises en œuvre par ces méthodes, notamment par la troisième : la séparation terre-racines, la mesure des paramètres racinaires poids sec et surface diamétrale, peuvent être utilisées indépendamment de ces méthodes.

SUMMARY

Three methods are described here for the root systems study of plants cultivated in soil conditions. The soil-cultivated profil method can be easily used with few means ; it allows a careful qualitative study. The root profile-one, needing specially designed apparatus, has an excellent demonstrative value. With the auger-one quantitative studies are possible and particularly root development comparisons in experimental field plots.

The technics used by these methods especially for the third one : the separation of plant roots from soil, the parameters mesure dry weight and diametral surface of the roots, can be applied independently from these methods to other root systems studies.

1. INTRODUCTION

Deux rôles sont généralement reconnus aux racines d'un végétal : d'une part, vis-à-vis de l'ensemble de la plante, elles ont les fonctions d'absorption et de transport de l'eau et des éléments minéraux vers les parties aériennes, celle d'organe de réserve éventuellement, celle d'ancrage enfin (RUSSEL, 1961, p. 447). Il faut y ajouter les fonctions de syn-

* Chargés de recherche. — Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Abidjan (Côte d'Ivoire).

thèse et de transport de métabolites organiques. D'autre part, leur développement intervient dans l'évolution des propriétés du sol et plus particulièrement de sa structure et de sa teneur en matière organique (DEFFONTAINE, 1964).

Considérant le premier rôle, WIERSUM (1967) a passé en revue les méthodes utilisables pour les études de racines en relation avec l'alimentation hydrique et minérale des plantes, soulignant que les informations à obtenir étaient le volume de terre exploité par les racines (extension latérale et en profondeur) et la densité des racines dans les différentes parties de ce volume.

MONNIER (1965, p. 120) écrit par ailleurs : « En définitive, l'amélioration du sol sous prairie, que l'on considère son intensité ou sa répartition suivant la profondeur, est liée au développement du système racinaire. »

L'importance de la connaissance du développement des racines d'une couverture végétale dans le sol est donc mise en relief, la nature des informations à recueillir bien définie. Toutefois la précision souhaitée dans ces informations peut varier suivant le but à atteindre, ce qui permet de distinguer les unes des autres les trois méthodes utilisées couramment sur le Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé.

Leur examen et leur emploi commença en 1964 à propos d'*Ananas comosus* (L.), Merr. (BONZON, 1966).

2. ÉTUDE 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 permet une bonne observation du volume de terre exploité par les racines et du mode d'exploitation de ce volume en fonction notamment des techniques culturales.

Mais elle ne peut pas être utilisée de façon répétée dans un essai puisqu'à chaque fois une partie des parcelles expérimentales est détruite et que les dimensions de ces parcelles sont forcément limitées si l'on veut qu'elles présentent un caractère d'homogénéité suffisant.

Quelques données chiffrées peuvent être obtenues par cette méthode (DEFFONTAINE, 1964 ; DEFFONTAINE et GRAS, 1968) : profondeur de la première racine rencontrée, de la dernière racine d'un diamètre donné rencontrée, nombre d'intersections de racines avec des segments virtuels horizontaux à certaines profondeurs ; mais, dans l'ensemble, la méthode reste qualitative et ne permet pas de comparaisons rigoureuses de l'enracinement d'une même plante soumise à différents traitements ou de ceux de différentes plantes lorsqu'ils sont voisins (variétés d'une même espèce, espèces voisines).

3. MÉTHODE 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 MASCHAAUPT (1915), ensuite et durant de nombreuses années par SCHUURMAN et GOEDEWAGEN (1965), cette méthode a été reprise à Adiopodoumé sans grandes modifications.

3.1. — Technique de prélèvement.

Pour le prélèvement est utilisé un panneau, muni de pointes, de grandes dimensions (tableau I), (fig. 1 et 2).



Fig. 1. — Matériel de prélèvement des profils racinaires.

Pour prélever un profil racinaire, il faut :

1^o 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^o Après avoir recouvert le panneau d'une feuille de plastique, enfoncer les pointes dans la paroi verticale retenue, parfaitement aplanie.

3^o Caler le panneau en-dessous puis creuser une saignée sur les trois côtés de la planche.

4^o 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 fixée sont alors transportés au laboratoire.

TABLEAU I
Dimensions des panneaux utilisés à Adiopodoumé.

Dimensions des panneaux (cm)	Longueur des pointes (cm)	Ecartement des pointes (cm)	Poids moyen chargé (kg)
120 × 60	10	5	160
180 × 50	10	5	200

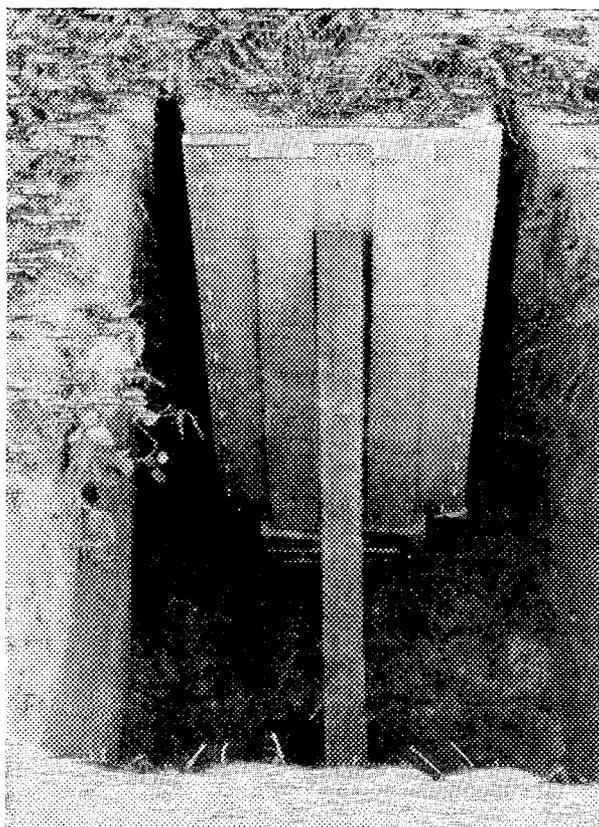


Fig. 2. — Panneau en place.

3.2. — Traitement de l'échantillon.

Si la terre prélevée contient un pourcentage d'argile important (à partir de 15% environ) l'ensemble panneau plus terre est desséché dans un courant d'air chaud à 60 °C

pendant 24 h et trempé dans un dispersant (chlorure de sodium à 5% par exemple ; ou d'autres dispersants comme l'hexamétaphosphate de sodium ..).

Cette opération n'est pas indispensable si l'échantillon n'est pas trop argileux.

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

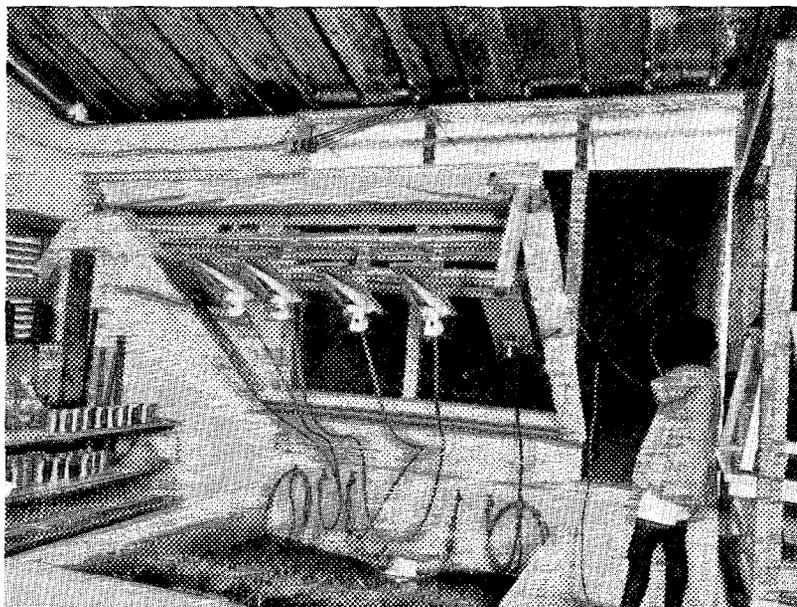


Fig. 3. — Stalle de déterrage des profils racinaires.

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 (fig. 4).

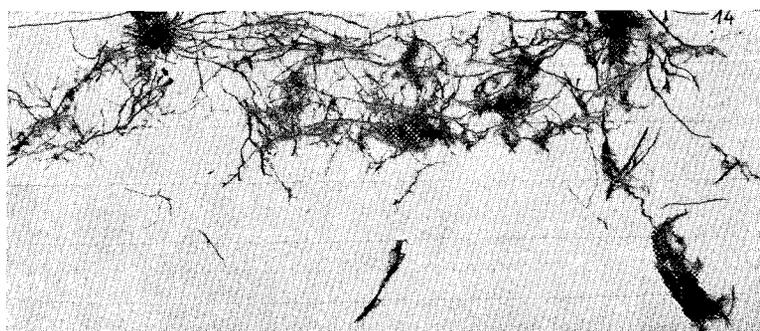


Fig. 4. — Profil racinaire d'ananas.

Noter l'arrêt de l'enracinement au-delà de la couche labourée, après 30 cm.

3.3. — Intérêt de la méthode.

Cette méthode présente quelques inconvénients. En effet l'image de l'enracinement

fourni peut n'être pas tout à fait fidèle, du fait du déplacement possible des petits fragments de racines (ceux de longueur inférieure à 10 ou 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 œuvre nécessite beaucoup de main-d'œuvre (17 h par profil) et n'est pas sans danger du fait du poids du panneau chargé. De plus, les observations sont longues et incomplètes parce que la partie profonde du système racinaire n'est généralement pas prélevée et que, le sol ayant été enlevé, l'interprétation des accidents constatables n'est pas toujours possible.

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

Mais elle présente l'avantage de donner une image très nette de l'enracinement d'une plante, suffisamment fidèle lorsque le chevelu est abondant et maintient en place les fragments de racines au même titre que les pointes.

Elle permet de rendre compte de l'influence de certaines techniques culturales (profondeur de labour : fig. 4) ou d'obstacles importants à la pénétration des racines (niveau induré, engorgement...) sur le développement racinaire.

Enfin cette méthode peut être facilement modifiée pour mettre en évidence les résultats d'essais en caissons : il suffit d'adapter les dimensions du panneau à celles des caissons dont l'une des parois latérales sera mobile et à laquelle, lors du démontage de l'essai, le panneau pourra être substitué (SCHURMAN et GOEDEWAAGEN, 1965).

4. MÉTHODE 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 ; SCHURMAN 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 (fig. 5). Un corps de sonde en acier, intérieurement cylindrique sur 3 cm, puis légèrement tronconique, extérieurement tronconique 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.

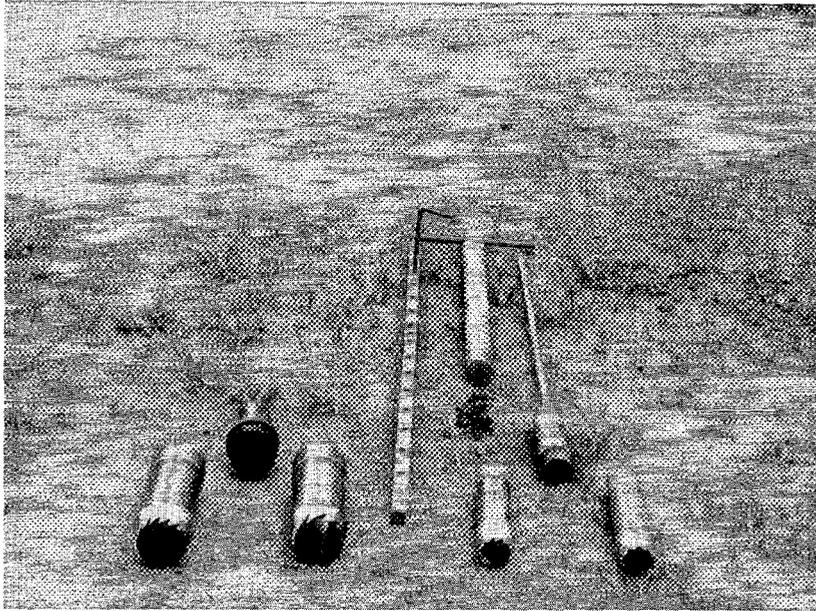


Fig. 5. — Sondes à carotter.
A droite, sondes de diamètre 55 mm. A gauche, sondes de diamètre 89 mm.

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 deux 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.

Par ailleurs il ne permet pas, sous sa forme actuelle, de dépasser 1,30 m de profondeur.

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 deux 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 surfaces diamétrales * des racines

* Cf. § 4.3. Mesure de la surface diamétrale et du poids sec 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 (tableau II).

TABLEAU II
Coefficients de variation de la surface diamétrale en fonction du type de sonde, à différentes profondeurs.

Type de sonde Horizon	Diamètre 55 mm	Diamètre 89 mm
0-10 cm	67 %	68 %
10-20 »	44 »	82 »
20-30 »	80 »	86 »
30-40 »	195 »	140 »
40-50 »	174 »	132 »

Sur ananas comme sur *Panicum maximum* (BONZON, 1966 ; PICARD, 1966), il faut environ vingt à trente 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.

Outre les gradients de densité d'occupation du sol par les racines suivant un axe vertical, la méthode permet, grâce à la section réduite des carottiers (55 ou 89 mm de diamètre), la mise en évidence, lorsqu'ils existent, de gradients de densité suivant un axe horizontal, ce qui pose le problème du choix de l'emplacement de sondage par rapport à la végétation. Ce problème doit être résolu pour chaque étude en fonction du but poursuivi, de la nature du couvert végétal et des techniques culturales. Ainsi, pour déterminer la quantité totale de racines à l'hectare dans un horizon donné, il faudra, pour une plante en touffe, prévoir trois sites de sondage : sous une touffe, entre deux touffes, entre quatre touffes (tableau III).

4.2. — Traitement des carottes.

Les carottes qui ne sont pas traitées immédiatement sont desséchées dans un four à infra-rouges, pendant 24 h 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-racines : 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 × 20 cm) et à fond cylindrique, le tamis

TABLEAU III

Gradients de développement racinaire horizontaux et verticaux de *Pennisetum purpureum* et *Panicum maximum* cultivés en sol ferrallitique lessivé sur sable néogène du Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé.
(Valeurs moyennes de 15 échantillons prélevés avec des sondes de \varnothing utile 55 mm.)
Densités d'implantation : *Pennisetum purpureum* 80×40 cm ;
Panicum maximum 40×40 cm.

Sites de sondage	Paramètres mesurés	Horizons de prélèvement sur <i>Pennisetum purpureum</i> (cm)						Horizons de prélèvement sur <i>Panicum maximum</i> (cm)					
		0-10	10-20	20-30	30-50	50-75	0-75	0-10	10-20	20-30	30-50	50-75	0-75
1	Poids sec P (mg)	84	34	20	25	37	200	320	131	102	87	67	707
	Surface diamétrale S (cm ²)	20,5	5,9	3,9	4,5	6,1	40,9	48,5	17,5	12,5	9,3	6,6	94,4
	P/S (mg/cm ²)	4,1	5,8	5,1	5,6	6,1	4,9	6,6	7,5	8,2	9,4	10,1	7,5
2	Poids sec P (mg)	105	53	18	28	26	230	499	162	80	90	47	878
	Surface diamétrale S (cm ²)	28,4	6,5	3,6	5,1	5,4	49,0	59,6	19,5	10,8	8,5	4,9	103,3
	P/S (mg/cm ²)	3,7	8,2	5,0	5,5	4,8	4,7	8,4	8,3	7,4	10,6	9,6	8,5
3	Poids sec P (mg)	865	123	30	22	18	1 058	762	208	85	81	64	1 200
	Surface diamétrale S (cm ²)	64,0	11,9	4,4	4,2	3,0	87,5	56,2	24,9	10,2	8,5	5,2	105,0
	P/S (mg/cm ²)	13,5	10,3	6,8	5,2	6,0	12,1	13,6	8,4	8,3	9,5	12,3	11,4

Site 1 : milieu des interrangs à la croisée des diagonales s'appuyant sur les 4 pieds les plus proches.

Site 2 : milieu de deux pieds sur le rang à proximité immédiate d'une position 1 (1 position sur 2 tirée au hasard).

Site 3 : centre d'une touffe, à proximité immédiate d'une position 1 (1 position sur 4, tirée au hasard).

supérieur étant gréé d'une toile en laiton de 16 mesh, le tamis inférieur d'une toile de 14 mesh (fig. 6).

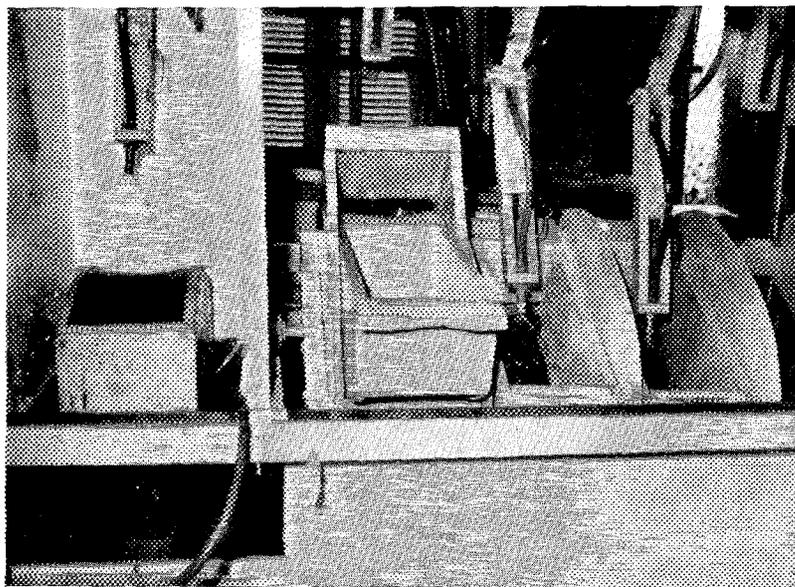


Fig. 6. — Tamis pour la séparation sol-racines. Entonnoir de récupération.

Ces tamis s'emboîtent 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, 1 500 t/mn, est réduite cent vingt 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 supérieur 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 cent carottes de 475 cm³ (20 cm de haut × 5,5 cm de diamètre) par jour ; il peut effectuer le nettoyage de quarante 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 soixante-seize carottes a par ailleurs montré

qu'une quantité très faible de racines passe à travers les deux tamis (BONZON, 1966). Cette quantité est négligeable pour des études quantitatives portant sur tous les ordres de racines, sauf peut-être les poils 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 racines.

4.3.1. — Intérêt des mesures.

La mesure du poids sec est la donnée la plus fréquemment utilisée pour chiffrer les quantités de racines 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 photo-électrique décrit précédemment (BONZON, 1964).

La figure 7 montre les variations du rapport poids sec/surface diamétrale des racines au cours de l'année pour des échantillons de *Panicum maximum* « Adiopodoumé ».

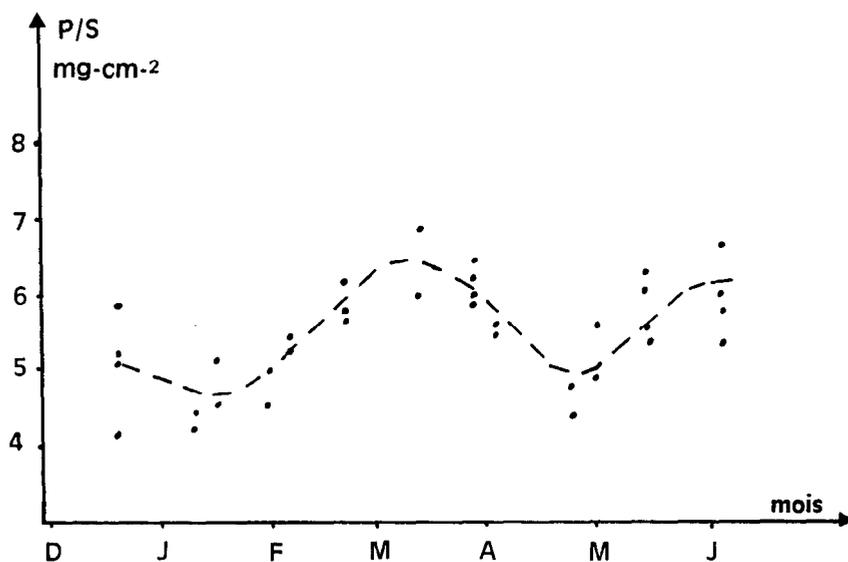


Fig. 7. — Variations du rapport Poids sec P / Surface diamétrale S d'échantillons de racines de *Panicum maximum* « Adiopodoumé » en fonction du temps.

* Par surface diamétrale, nous entendons celle de la surface projetée sur un plan parallèle à l'axe de la racine supposée cylindrique.

Le tableau IV montre les valeurs comparées de ce même rapport pour des échantillons prélevés simultanément sur des parcelles de *Panicum maximum* et *Pennisetum purpureum* ayant subi des traitements semblables.

TABLEAU IV
Variations du rapport Poids sec P / Surface diamétrale S d'échantillons de racines
de trois variétés de *Pennisetum purpureum* et *Panicum maximum*.

Espèce	<i>Pennisetum purpureum</i>			<i>Panicum maximum</i>		
	Variété	563	629	694	267	268
Rapport P/S, mg/cm ²	4,3	6,0	6,1	9,9	9,6	10,3

4.3.2. — Mesure de la surface diamétrale.

Par rapport à la description antérieure (BONZON, 1964), la technique a évolué sur deux points : le mode d'étalement d'une part, la détermination de la surface diamétrale d'autre part.

Après séparation des débris de matières organiques, les racines sont étalées sur une plaque de verre, autant que possible sur une seule épaisseur et sans chevauchement. Cet étalement se fait sous un film d'eau pour faciliter l'opération (fig. 8).

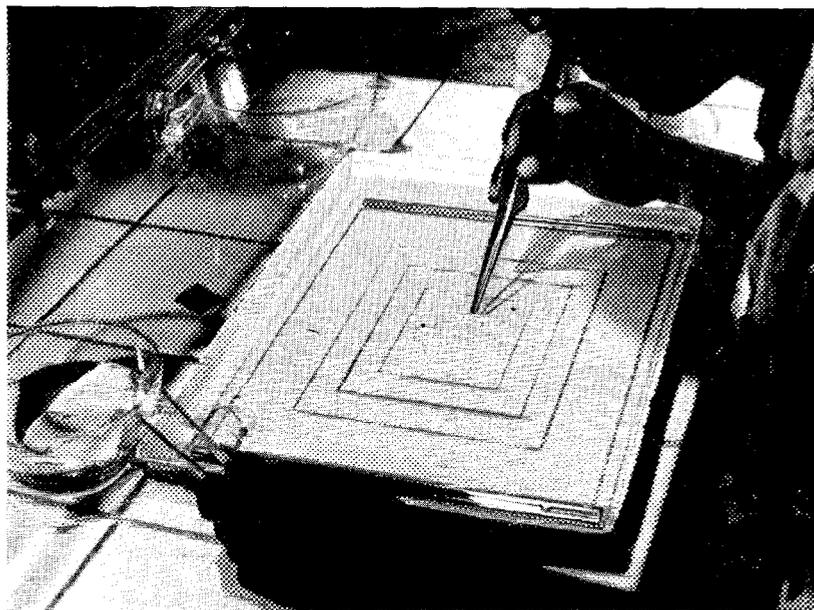


Fig. 8. — Etalement des racines sur une plaque en verre.

L'ensemble est ensuite mis 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.

La mesure de la surface proprement dite est faite à l'aide d'un appareil comportant une source lumineuse, une lentille focalisant le faisceau lumineux et une cellule photoélectrique. L'image de la plaque de verre et des racines interposées entre la source lumineuse et la lentille est reçue sur la cellule qui transmet un courant électrique dont l'intensité est fonction du degré de recouvrement de la plaque de verre par les racines.

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 :

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

$$\text{avec } a_1 = \frac{1}{n} \sum \left(\frac{I_r - I_{c_1}}{I_r} \right)$$

$$a_2 = \frac{1}{n'} \cdot \sum \left(\frac{I_r - I_{c_2}}{I_r} \right)$$

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

Le plus souvent, n et n' sont égaux à 2, l'appareil étant muni maintenant d'un régulateur de tension à l'entrée et d'un luxmètre enregistreur vingt fois plus sensible et plus précis.

Les courbes d'étalonnage de l'appareil ainsi modifié par rapport à la description antérieure sont, en effet, 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.

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 13 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 °C 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 C. 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. L'avantage de cette méthode est de permettre l'analyse minérale des racines sur le surnageant sans risque d'interférence des éléments des particules initialement fixées.

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 avantages de la méthode des sondages ont été partiellement discutés plus haut : n'occasionnant que des modifications minimales du terrain, elle peut être utilisée sur des parcelles d'essais en plein champ.

Les mesures qui lui sont associées, poids sec et surface diamétrale, en font d'autre part une très bonne méthode d'étude des gradients de développement horizontaux et verticaux des systèmes racinaires et éventuellement de l'évolution de quelques-unes de leurs caractéristiques morphologiques.

5. CONCLUSION

L'ensemble des méthodes décrites, celle du profil cultural, celle du profil racinaire et celle des sondages, permettent d'aborder l'étude 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 différentes 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 été qu'effleuré 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. SCHURMAN de l'Institut pour l'Étude de la Fertilité des Sols de Groningen, Pays-Bas, sa vive gratitude pour tous les renseignements précieux qu'il lui a si aimablement communiqués au départ de ses travaux.

D. PICARD s'associe à lui pour remercier M. G. MONNIER d'avoir bien voulu relire le manuscrit.

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 photo-électrique des surfaces végétales. *Fruits*, 19 (10), 577-581.
- BONZON (B.) — 1966 — Étude méthodologique du système racinaire d'*Ananas comosus* (L.) Merr., Variété Cayenne Lisse. *D.E.S.*, Université de Paris, 137 p.
- COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAUX — 1961 — Research techniques in use at the Grassland Research Institute. HURLEY. *Bull.*, n° 45, 167 p.
- 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.
- DEFFONTAINE (J. P.) — 1964 — Une méthode d'appréciation du système racinaire sous prairie. *Fourrages*, 19 : 91-96.
- DEFFONTAINE (J. P.), GRAS (R.) — 1968 — Les facteurs techniques de la production de la pêche tardive en Moyen Vivarais. *Ann. Agron.*, 19 (1) : 5-51.
- 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.
- FRIBOURG (H. J.) — 1953 — A rapid method for washing roots. *Agron. J.*, 45 : 334-335.
- HENIN (S.) *et al.* — 1960 — Le profil cultural. *SEIA*, XXIV, 320 p.
- 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, 85-87.
- KHARITONOVA (Ye. P.) — 1965 — [Methods for sampling roots from a soil]. *Soviet. Soil. Sci.*, 3, 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 racinaire des plantes]. *Pochvo-vedenie*, 5, 78-81.
- MAERTENS (C.) — 1964 — Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. *Sci. Sol*, 31-41.

- 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.
- MONNIER (G.) — 1965 — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Doct. Ing. Univ. Paris. *Ann. agron.*, 16, 327-400 ; 471-534.
- 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 — Évolution du système racinaire de *Panicum maximum* soumis à différents traitements de fauche. Rapport de stage. ORSTOM. 52 p. multigr.
- RUSSELL (E. W.) — 1961 — Soil conditions and plant growth. 9th ed. Longmans, London, 688 p.
- SCHUURMAN (J. J.), GOEDEWAAGEN (M. A. J.) — 1965 — Methods for the examination of root systems and roots. PUDOC-WAGENINGEN, 86 p.
- STANKOV (N. Z.) — 1962 — [Appareils et techniques pour l'étude des racines des plantes]. *Fiziol. Rastenii*, 7 (6), 609-612.
- WIERSUM (L. K.) — 1967 — Root system development. In : Soil moisture and irrigation studies. *Proc. of a Panel*. Vienna 14-18 march 1966 FAO/IAEA : 83-96.
- 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.