

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre d'Adiopodoumé

Laboratoire d'Agronomie

COMPARAISON DE DEUX TECHNIQUES DE PRELEVEMENT
D'ECHANTILLONS DE RACINES

D. PICARD

Novembre 1967

COMPARAISON DE DEUX TECHNIQUES DE PRELEVEMENT
D'ECHANTILLONS DE RACINES.

D. PICARD

Chargé de Recherche

Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé

1 - INTRODUCTION

Parmi les méthodes classiques d'étude des systèmes racinaires (WIERSUM - 1967) l'une des meilleures consiste en l'examen des racines contenues dans des carottes de terre prélevées à l'aide d'une sonde.

Le prélèvement de ces carottes peut se faire de deux façons : soit en enfonçant la sonde verticalement à partir de la surface, soit en creusant une fosse et en enfonçant la sonde horizontalement dans les parois de la fosse.

D'un point de vue pratique la première manière présente l'avantage de ne pas modifier énormément le milieu dans lequel le prélèvement est fait, par conséquent de permettre d'effectuer des carottages répétés dans le temps sur des parcelles d'essai même assez petites. Mais le plus souvent, la longueur des carottes est définie arbitrairement et non selon les horizons du profil cultural (WILLIAMS et BAKER 1957; BLOODWORTH, BURLISON et COWLEY, 1958 ; SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN, 1965 ; BONZON, 1966 ; PICARD, 1966).

La difficulté a parfois été tournée par l'utilisation de corps de sonde de grande longueur, enfoncés et retirés mécaniquement (KELLEY, HARDMAN et JENNINGS, 1947 ; FEHRENBAKER et ALEXANDER, 1955). La carotte extraite est alors découpée selon les horizons. Toutefois cette méthode exige des moyens mécaniques importants qui ne sont pas toujours disponibles.

La deuxième méthode est destructive puisqu'elle oblige à creuser une fosse à l'emplacement choisi pour les prélèvements. Elle présente l'avantage, si l'on opère en milieu inconnu à l'origine, de permettre de choisir les zones de prélèvement en fonction de la configuration du profil (HENIN et al. 1960) et elle est parfois plus facile à mettre en oeuvre, la fosse une fois creusée, dans les sols compacts ou caillouteux (MAERTENS, 1964 ; SCHUURMAN et GOEDEWAAGEN, 1965).

D'un point de vue plus théorique, un prélèvement fait verticalement sur une certaine hauteur masque le gradient de développement vertical au sein de l'échantillon. Ceci peut avoir des conséquences importantes lorsqu'une carotte est prélevée à cheval sur deux horizons. De même, un prélèvement fait horizontalement peut masquer l'existence de gradients horizontaux.

Il est fréquent de rencontrer dans les publications des données acquises par ces deux méthodes. De même, en raison de leurs avantages et leurs inconvénients, elles peuvent être utilisées tour à tour et il est alors intéressant de savoir dans quelle mesure les résultats obtenus sont comparables.

C'est l'objet de cette étude, entreprise sur Panicum maximum "Adiopodoumé" cultivé sur un sol sur sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.

2 - MATERIEL ET METHODES.

La parcelle d'étude est une prairie artificielle à Panicum maximum "Adiopodoumé" vieille de 7 ans exploitée régulièrement par fauche et ayant reçu en 1966 une tonne d'engrais 12 - 12 - 18 + 2 et 500 kg de sulfate d'ammoniaque en 2 épandages, au début de chaque saison des pluies.

Pour le premier mode de prélèvement, carottage vertical, deux sites ont été retenus :

- sous une touffe,
- entre 4 touffes (à l'intersection des diagonales du carré formé par quatre touffes).

Quinze répétitions ont été effectuées dans chaque cas. Fut utilisée une sonde comprenant un corps de 25 cm de long, 5,5 cm de diamètre intérieur à l'origine, un capuchon vissé sur ce corps servant d'enclume, une tige d'acier de 140 cm de long et 2 cm de diamètre, fixée au capuchon, le long de laquelle coulisse la masse qui permet d'enfoncer le carottier (figure 1) (BONZON et PICARD, 1967).

Six carottes ont été prélevées par répétition, de 20 cm de long, entre 0 et 1,20 m. Le volume de terre par carotte est donc de 475 cm³ environ.

Pour le deuxième mode de prélèvement, sondage horizontal, une fosse de 1,90 x 1,05 x 1,40 m fut creusée et trois sites retenus :

- sous une touffe,
- entre 2 touffes, sur une ligne,
- entre 4 touffes.

Vingt répétitions ont été effectuées mais les échantillons ont été regroupés par quatre avant leur traitement.

La sonde utilisée, constituée par un tuyau de 3,7 cm de diamètre et 25 cm de long, l'une des extrémités ayant le bord tranchant, est enfoncée de 10,2 cm dans la paroi de la fosse afin de recueillir un volume de terre de 100 cm³.

Après examen du profil cultural, les horizons de prélèvement ont été choisis de la façon suivante : 0-13, 13-40, 40-70, 70-90, 90-120 cm (figure 2).

Les conditions de prélèvement ont donc été déterminées de façon à ce qu'elles soient aussi différentes que possible.

Les échantillons prélevés ont été deséchés puis pesés. Les racines ont été séparées de la terre par tamisage sous un jet d'eau. La surface diamétrale S et le poids sec P de chaque échantillon de racine ont été mesurés (BONZON, 1964-1966).

3 - RESULTATS.

D'une façon générale, la quantité de racines diminue rapidement avec la profondeur (figure 3). Elle diminue aussi, dans l'horizon superficiel, lorsqu'on s'éloigne de la touffe.

A partir de l'horizon 20-40 dans le cas du sondage vertical et de l'horizon 13-40 dans le cas du sondage horizontal, les quantités de racines ne sont pas statistiquement différentes pour un même horizon d'un site à l'autre.

Les différences entre sites, dans l'horizon superficiel (0-20 ou 0-13) sont moins marquées sur les surfaces diamétrales que sur les poids secs et le rapport $\frac{P}{S}$ est nettement plus élevé sous la touffe qu'entre 2 touffes ou entre quatre touffes.

Le problème s'est posé de savoir s'il fallait pour comparer les deux modes de prélèvement, ramener les quantités de racines aux volumes théoriques ou aux poids secs des carottes. En effet, ramener les quantités de racines, exprimées en poids sec ou en surface diamétrale, au volume théorique de terre revient à négliger l'erreur commise sur le volume de terre effectivement prélevé.

Dans le deuxième cas est introduite dans le rapport poids sec (ou surface diamétrale) des racines sur poids sec des carottes une erreur due à la variation de densité appa-

rente du sol qui est, dans les conditions d'expérience, largement indépendante de la quantité de racines contenues dans la carotte (il n'y a pas de corrélation entre poids des racines et poids de terre pour un même horizon).

L'introduction de l'une ou l'autre des ces erreurs étant inévitables, ont été calculés les coefficients de variation, par horizon, par site et par mode de prélèvement, des données ramenées soit au volume théorique soit au poids des carottes afin de déterminer laquelle des deux perturbe le moins les résultats (tableau 1).

SURFACE DIAMÉTRALE											
Mode de sondage		Vertical				Horizontal					
Site		Sous une touffe		Entre 4 touffes		Sous une touffe		Entre 4 touffes			
Paramètre		$\frac{S}{Pc}$	$\frac{S}{Vc}$	$\frac{S}{Pc}$	$\frac{S}{Vc}$	$\frac{S}{Pc}$	$\frac{S}{Vc}$	$\frac{S}{Pc}$	$\frac{S}{Vc}$	$\frac{S}{Vc}$	
Horizon	0-20	44,8	45,8	25,6	25,5	Horizon	0- 13	49,3	49,3	50,8	50,1
	20-40	33,1	32,5	51,6	49,4		13- 40	51,1	52,8	50,0	49,9
	40-60	37,4	31,6	47,7	44,7		40- 70	54,0	53,6	51,0	52,0
	60-80	49,6	47,2	52,6	53,5		70- 90	55,2	55,2	58,7	54,2
	80-100	54,8	50,8	74,6	68,6		90-120	55,3	55,5	70,0	68,7
	100-120	63,6	55,0	58,7	54,1		0-120	49,1	49,5	49,7	49,8
	0-120	30,2	32,1	30,7	30,6						

P O I D S S E C

P O I D S S E C											
Mode de sondage		Vertical				Horizontal					
Site		Sous une touffe		Entre 4 touffes		Sous une touffe		Entre 4 touffes			
Paramètre		$\frac{Pr}{Pc}$	$\frac{Pr}{Vc}$	$\frac{Pr}{Pc}$	$\frac{Pr}{Vc}$	$\frac{Pr}{Pc}$	$\frac{Pr}{Vc}$	$\frac{Pr}{Pc}$	$\frac{Pr}{Vc}$	$\frac{Pr}{Vc}$	
Horizon	0- 20	46,7	49,7	26,8	26,9	Horizon	0- 13	53,3	51,0	49,6	49,5
	20- 40	32,8	33,1	50,2	49,4		13- 40	50,9	52,4	49,8	49,7
	40- 60	31,0	35,8	47,3	46,2		40- 70	53,7	53,4	53,8	53,6
	60- 80	45,4	44,1	61,8	63,9		70- 90	52,6	53,1	63,7	63,1
	80-100	61,1	58,1	90,9	86,1		90-120	56,6	56,5	72,2	72,7
	100-120	76,2	77,4	83,6	81,7		0-120	50,9	49,5	49,7	49,7
	0-120	36,6	38,2	37,7	37,7						

TABLEAU 1 - Coefficients de variation des poids secs et surfaces diamétrales des racines rapportés soit au poids sec soit au volume théorique des carottes.

S : surface diamétrale des racines.
Pr : poids sec des racines.
Pc : poids sec des carottes.
Vc : volume théorique

Pour les différentes séries, les coefficients de variation sont comparables au point de pouvoir être considérés comme identiques : les variations de densité apparente du sol d'une carotte à l'autre sont assimilables à celles provoquées par l'erreur commise sur le volume de terre prélevé.

L'étude est donc poursuivie à partir des données ramenées au poids de terre.

Le mode et la profondeur de prélèvement agissent sur les coefficients de variation, En effet, ils augmentent de façon générale avec la profondeur. D'autre part, ceux obtenus dans le cas du mode de prélèvement horizontal sont supérieurs aux autres dans les horizons supérieurs, inférieurs dans les horizons inférieurs : leur amplitude de variation est donc moins grande, si, d'une façon globale, ils sont plus élevés.

La comparaison des résultats obtenus par les deux types de sondage a d'abord été entreprise en traçant les histogrammes correspondant aux distributions observées puis en mesurant les aires des rectangles représentatifs de quelques horizons (figure 5).

Le pourcentage suivant, noté algébriquement, a été calculé :

$$R = \frac{100 (S_1 - S_2)}{S_1} \quad (\text{Tableau 2})$$

où S_1 = aire du rectangle se rapportant au 1er mode de sondage

S_2 = aire du rectangle se rapportant au 2ème mode de sondage.

Site		Sous une touffe		Entre quatre touffes	
Paramètre		S	P	S	P
Horizon	0- 13	- 62,2	- 31,6	- 127,0	- 107,0
	0- 20	- 13,1	+ 9,8	- 58,4	- 52,0
	20- 40	+ 30,8	+ 16,7	0	+ 6,3
	0- 40	- 2,5	+ 11,0	- 43,6	- 32,0
	40-120	+ 3,5	- 14,5	+ 7,6	+ 7,7
	0-120	- 0,8	+ 5,8	- 26,3	- 17,4

TABLEAU 2 - Différence entre les aires des rectangles représentatifs des quantités de racines prélevées soit par sondage vertical soit par sondage horizontal. Cette différence notée algébriquement est mesurée en % de l'aire représentative des quantités prélevées par sondage vertical.

Les écarts sont surtout importants dans 0-13 où l'on trouve toujours plus de racines par le deuxième mode de prélèvement que par le premier.

De même, dans 0-20, le prélèvement horizontal semble donner beaucoup plus de racines que le vertical. Cependant le phénomène est plus net pour le site entre 4 touffes que pour le site sous la touffe. Dans 20-40, sous la touffe, le mode de prélèvement vertical donne plus de racines que l'horizontal.

Dans les horizons suivants, les différences sont très faibles. Au total, sous la touffe, les quantités de racines obtenues sont comparables. Entre 4 touffes, du fait de la très grosse différence dans 0-13, le mode de sondage horizontal donne plus de racines que l'autre.

Les "histogrammes de confiance" tracés à partir des intervalles de confiance des moyennes obtenues à partir des prélèvements verticaux confirment ces résultats. Une autre méthode de comparaison a été utilisée : graphiquement dans un système de coordonnées log-log, les points représentatifs des moyennes pour chaque horizon s'alignent approximativement (figure 5). Pour chaque site, les droites ainsi obtenues apparaissent confondues. Cette hypothèse a été testée par analyse de covariance (SNEDECOR, 1956) et le résultat montre qu'elle est parfaitement admissible.

Les conclusions de ce test sont donc en contradiction avec celles émises après comparaison des histogrammes. Enfin les rapports P/S sont tout à fait semblables sauf pour le site sous une touffe et l'horizon supérieur (tableau 4).

Site	Sous une touffe		Entre quatre touffes	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
Horizon supérieur	13,5	10,6	6,7	6,0
Total 0 - 120	10,5	10,0	7,5	6,5

TABLEAU 4 - Rapport $\frac{\text{poids sec}}{\text{surface diamétrale}}$

Il semble que ce rapport $\frac{P}{S}$ soit indépendant du mode de sondage.

4 - INTERPRETATION.

4.1. - Gradients de développement.

Pour un même mode de prélèvement, par exemple le mode par carottage horizontal, apparaît un net gradient de développement des racines allant en décroissant depuis le centre d'une touffe jusqu'au point d'intersection des diagonales du carré formé par quatre touffes.

Ceci s'explique par le fait que le Panicum maximum "Adiopodoumé", comme beaucoup de graminées fourragères tropicales peut atteindre un développement important. L'écartement entre boutures conduisant à la densité optimum pour un rendement maximum est de 40 x 40 cm. Malgré le grand nombre de talles se développant par touffes, un espace important subsiste toujours entre elles.

C'est pourquoi existe ce gradient dans l'horizon superficiel. Il peut être grossièrement comparé au gradient vertical observé sous la touffe en admettant, en première approximation que :

- sous la touffe ne sont prélevées que les racines appartenant à ce pied,
- entre deux touffes les racines prélevées dans 0-13 appartiennent par moitié à chacune des deux touffes,
- entre quatre touffes, les racines prélevées toujours dans 0-13 appartiennent pour un quart à chacun des quatre pieds.

Ces deux gradients ne sont pas semblables (figure 7). Les deux phénomènes à l'origine de ces gradients sont d'une part l'anisotropie du milieu dans lequel se sont développées les racines, d'autre part l'anisotropie du système racinaire.

En admettant que l'horizon 0-13 soit un milieu parfaitement homogène, sur la figure 7, l'aire comprise entre la courbe représentative du gradient horizontal et la droite d'équation $y = S_0$ ou $y = P_0$ est l'image de l'anisotropie du système racinaire. L'aire comprise entre les deux courbes

représentatives des deux gradients est, elle, l'image de l'anisotropie du milieu.

Cette anisotropie du milieu, anisotropie génétique, est d'un autre ordre que l'hétérogénéité caractérisant un même horizon et qui oblige à faire un grand nombre de répétitions dans les prélèvements.

4.2. - Coefficients de variation.

Les coefficients de variation des totaux des paramètres sont plus élevés dans le cas du mode de sondage horizontal. Ceci est vraisemblablement lié au fait que le diamètre et la longueur des carottes sont plus petits dans ce cas. Au total, le volume de terre prélevé par la 2e méthode est très inférieur à celui prélevé par la 1ère méthode (2.000 cm³ contre 7.125 cm³ par horizon).

L'augmentation de la valeur des coefficients de variation avec la profondeur est à mettre en relation avec la diminution de la quantité de racines avec celle-ci : elles se concentrent aux points de passage préférentiels, ainsi qu'il est facile de le constater par l'examen du profil cultural et leur distribution est de moins en moins homogène au sein d'un même horizon.

Dans la couche superficielle, les coefficients de variation sont plus élevés pour le site sous une touffe que pour le site entre quatre touffes. En effet le prélèvement sous une touffe reflète essentiellement le développement du pied sous lequel il est situé. Au contraire, pour le site entre quatre touffes, il reflète le développement moyen de quatre pieds. L'examen du développement aérien révèle une grande hétérogénéité d'un pied à l'autre et cette hétérogénéité est sensible au niveau des racines au moins dans l'horizon supérieur. Il apparaît ainsi préférable, pour suivre l'évolution de l'enracinement d'une prairie de façon semi-quantitative, de faire les prélèvements d'échantillons entre quatre touffes plutôt que sous une touffe.

4.3. - Résultats des tests comparatifs.

S'il apparait nettement, quelque soit le mode de comparaison utilisé, qu'à partir de 40 cm de profondeur les deux méthodes de prélèvement procurent des quantités semblables de racines, les résultats sont contradictoires pour la tranche de sol de 0 à 40 cm.

La différence observée entre les valeurs brutes peut être due soit au découpage différent des horizons de prélèvement, auquel cas elle est artificielle et le mode de représentation par histogramme, qui la souligne, non conforme, soit au mode de prélèvement même, c'est à dire à la direction de l'axe de la sonde par rapport à l'axe de sondage ou au diamètre de la sonde, auquel cas c'est le deuxième mode de représentation qui, ne la faisant pas apparaitre, n'est pas conforme.

Une expérience vérificatrice a été entreprise, sur Pancium maximum "Adiopodoumé" toujours. La sonde de diamètre intérieur 3,7 cm a été utilisée pour faire des prélèvements dans le même horizon, 0-10 cm, soit verticalement soit horizontalement.

Les résultats obtenus (tableau 5), compte tenu des variations du poids des carottes (test de covariance) montrent que les quantités de racine prélevées ne sont pas statistiquement différentes.

Mode de prélèvement	Poids des carottes g	Poids sec des racines mg	Surface diamétrale des racines cm ²
Vertical	611	218,4	46,0
Horizontal	553	200,7	38,1

TABLEAU 5 - Comparaison des quantités de racines obtenues avec la même sonde dans l'horizon superficiel selon que le prélèvement est fait verticalement ou horizontalement.

C'est bien qu'en fait il n'y a pas d'influence du mode de prélèvement sur les quantités de racine prélevées, de même qu'il n'y en a pas dans la "qualité", ainsi que le montre le rapport $\frac{P}{S}$.

Ce rapport est égal, à une constante près, au produit du diamètre moyen des racines de l'échantillon par le poids spécifique de ces racines. Sous une touffe, les racines primaires sont relativement plus abondantes et sans doute de poids spécifique plus élevé. C'est pourquoi la valeur du rapport est plus élevée dans l'horizon superficiel et pour ce site. Si, dans ce cas particulier, apparaît une différence entre les deux modes de sondages, c'est sans doute parce que les premiers mm de sol ne sont pas explorés par la sonde enfoncée horizontalement, car il faut conserver une certaine épaisseur de sol entre la surface et le bord supérieur de la sonde afin que le volume de terre prélevé soit bien délimité. Or les racines primaires ne se ramifient pas dès leur origine, observation faite notamment sur des plantules cultivées en pot. Par conséquent les carottes prélevées verticalement doivent contenir relativement plus de racines de fort diamètre et de poids spécifique plus élevé que celles prélevées horizontalement.

5 - CONCLUSION

La comparaison des quantités de racines obtenues par des méthodes de prélèvement différentes dans un même milieu met essentiellement en lumière la difficulté qu'il y a à traduire et représenter de façon correcte les valeurs brutes caractérisant ces quantités.

Si, à partir d'une certaine profondeur, 40 cm dans le cas présent, les résultats élaborés apparaissent dans une large mesure indépendants de la méthode d'échantillonnage et du mode de représentation choisis, il n'en est pas de même dans les horizons supérieurs.

En effet, entre 0 et 40 cm; notre étude a montré que le mode de représentation par histogramme est incorrect, mettant en évidence des différences dues uniquement au mode de découpage des zones de prélèvement.

Et le mode de représentation par transformation en droite dans un système de coordonnées logarithmiques de la courbe représentative de la variation de la quantité de racines avec la profondeur peut ne pas être utilisable dans des conditions d'étude différentes, c'est à dire pour une autre plante que le Panicum maximum "Adiopodoumé" et pour un autre sol que celui sur sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.

Il apparaît encore important, dans les couches supérieures de définir des horizons de prélèvement aussi peu épais que possible pour mieux apprécier le gradient de développement dans cette zone.

BIBLIOGRAPHIE

- BLOODWORTH, M.E. ; BURLESON, C.A. ; COWLEY, W.R. (1958).
Root distribution of some irrigated crops using undis-
rupted soil cores.
Agron. J., 50 (6) 317-320.
- BONZON, B. (1964). Description et mode d'utilisation d'un ap-
pareil de mesure photoélectrique des surfaces végétales.
Fruits, 19 (10) 577-581.
- BONZON, B. (1966). Etude méthodologique du système radicellaire
d'Ananas comosus (L.) MERR., Variété Cayenne lisse.
D.E.S. Université de Paris.
- BONZON, B. ; PICARD, D. (1967). Matériel et méthodes mis en
oeuvre sur le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé pour l'étude
de la croissance et du développement en pleine terre
des systèmes racinaires. A paraître.
- FEHRENBAKER, J.B. ; ALEXANDER, J.D. (1955). A method for stu-
dying corn root distribution using a soil-core sam-
pling machine and shaker-type washer.
Agron. J. 47, 468-472.
- HENIN, S. et al. (1960). Le profil cultural. SEIA, Paris, XXIV, 320p.
- KELLEY, O.J. ; HARDMAN, J.A. ; JENNINGS, D.S. (1947). A soil
sampling machine for obtaining two, three and four inch
diameter cores of indisrupted soil to a depth of six
feet. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12, 85-87.
- MAERTENS, C. (1964). Influence des propriétés physiques des
sols sur le développement radriculaire et conséquences
sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures.
Sci. Sol (2) 31-41.

- PICARD, D. (1966). Evolution du système racinaire de Panicum maximum soumis à différents traitements de fauche.
Rapport de stage - O.R.S.T.O.M. (inédit).
- SCHUURMAN, J.J. ; GOEDEWAAGEN, M.A.J. (1965). Methods for the examination of root systems and roots.
PUDOC. Wageningen 86p.
- SNEDECOR, G.W. (1956). Statistical Methods.
Iowa State Univer. Press 5^o ed. p. 394 à 399.
- WIERSUM, L.K. (1967). Root system development. In : Soil moisture and irrigation studies.
Proc. of a panel Vienna 14-18 March 1966 FAO/IAEA
p. 83-96.
- WILLIAMS, T.E. ; BAKER, H.K. (1957). Studies on the root development of herbage plants. I Techniques of herbage root investigations.
J. British Grassland Soc. 12 (1) 49-55.



Figure 1 :
Sonde utilisée pour
le carottage ver-
tical.

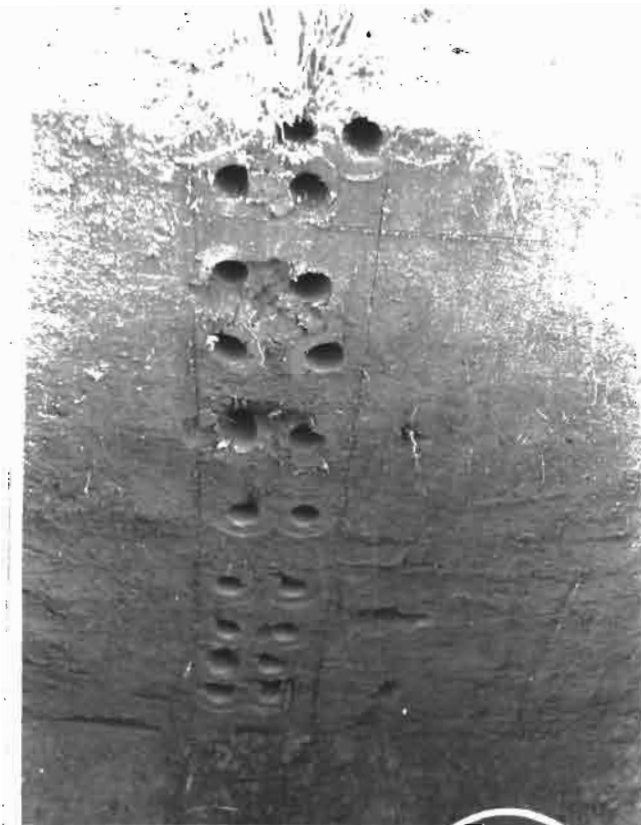
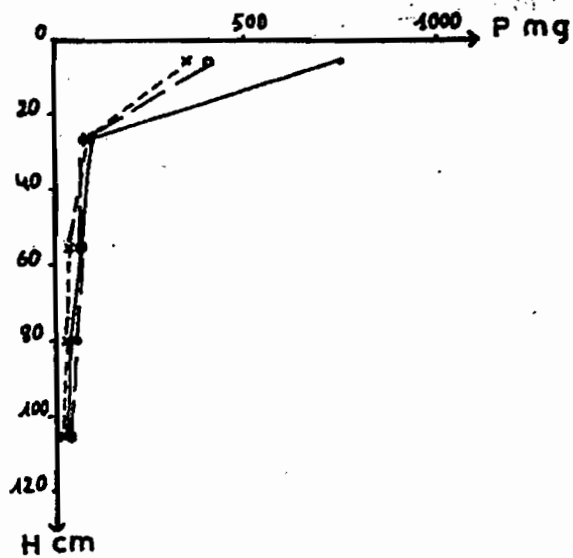
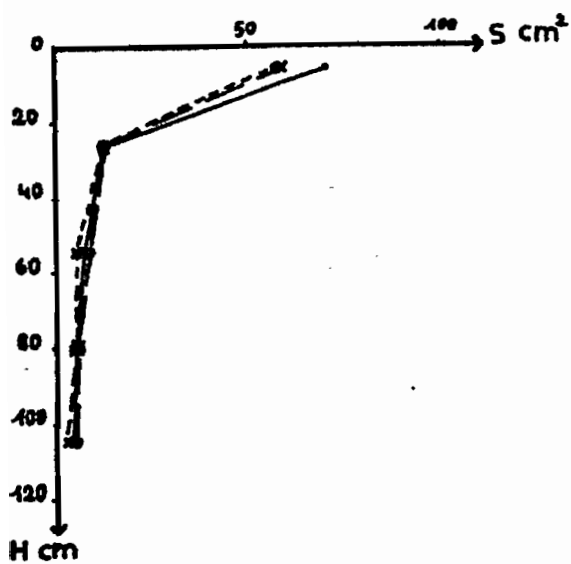
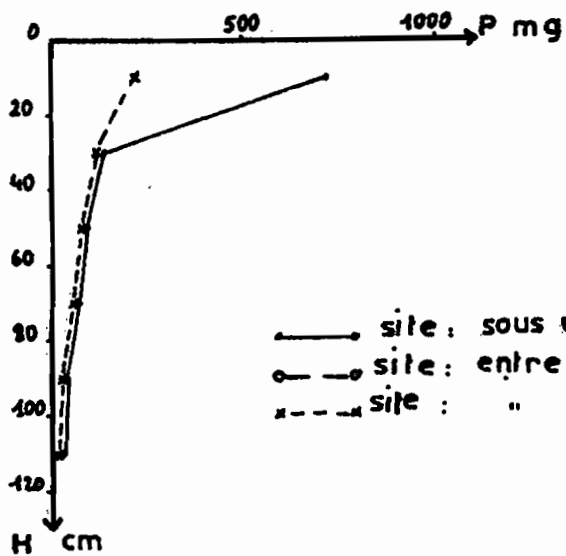
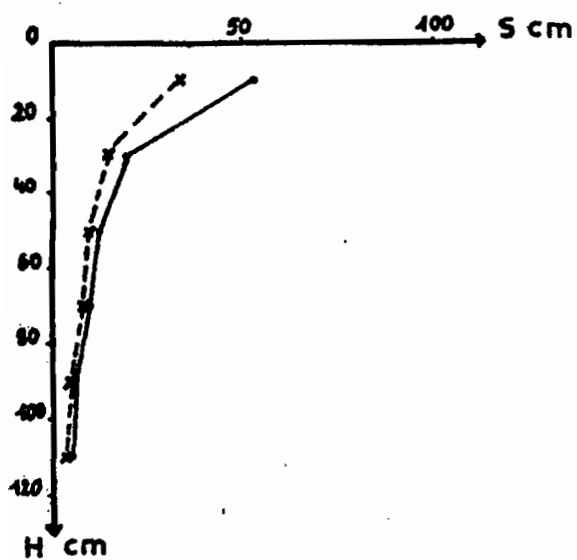


Figure 2 :
Mode de prélèvement
horizontal des ca-
rottes.
Site 1 : sous la
touffe.



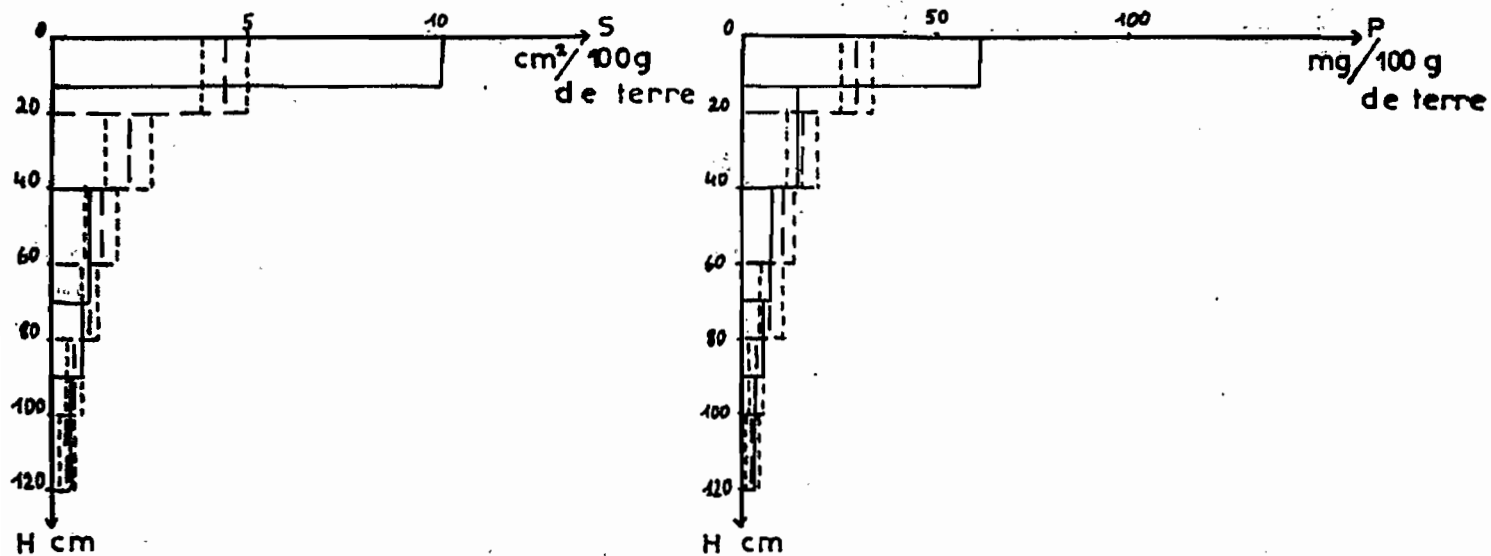
Mode de prélèvement horizontal



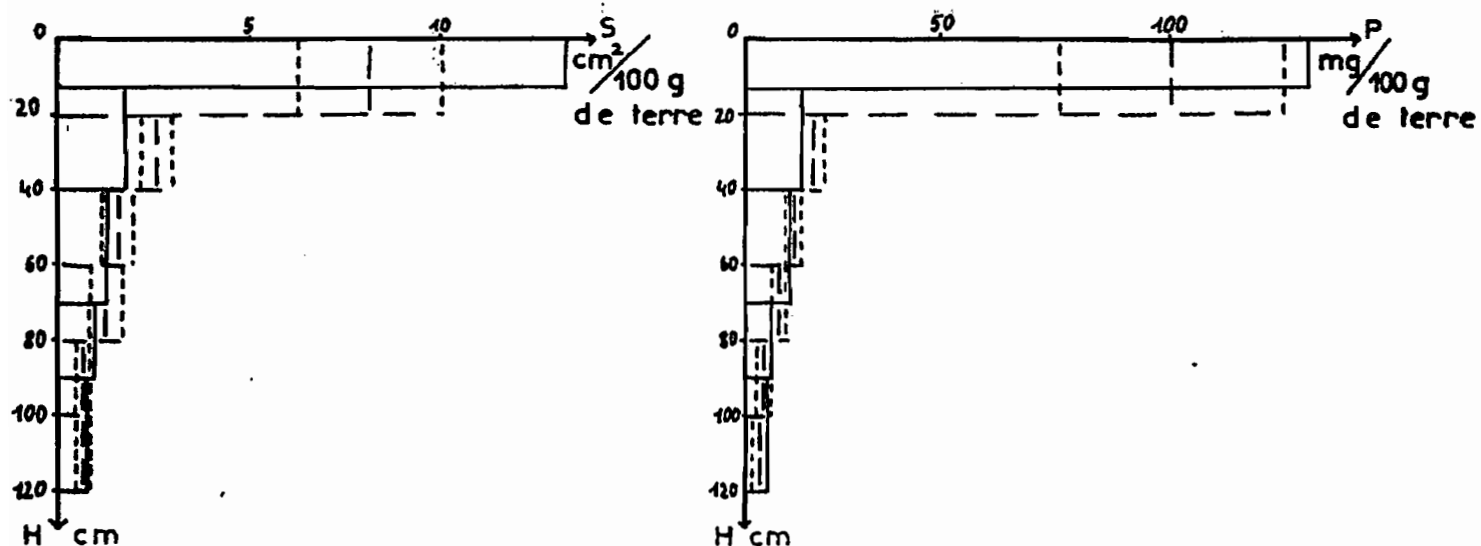
- site : sous une touffe
- site : entre deux touffes
- x- site : " quatre "

Mode de prélèvement vertical

Figure 3 : surface diamétrale et poids sec des racines en fonction du mode de prélèvement, du site de sondage et de la profondeur.



Site entre quatre touffes :



Site sous une touffe.

Figure 4 : histogrammes représentatifs de la surface diamétrale et du poids sec des racines en fonction du site de sondage, du mode de prélèvement et de la profondeur. (valeurs ramenées à 100 g de terre)

- mode de prélèvement horizontal.
- - - mode de prélèvement vertical.
- interval de confiance de la moyenne pour le mode de prélèvement vertical.

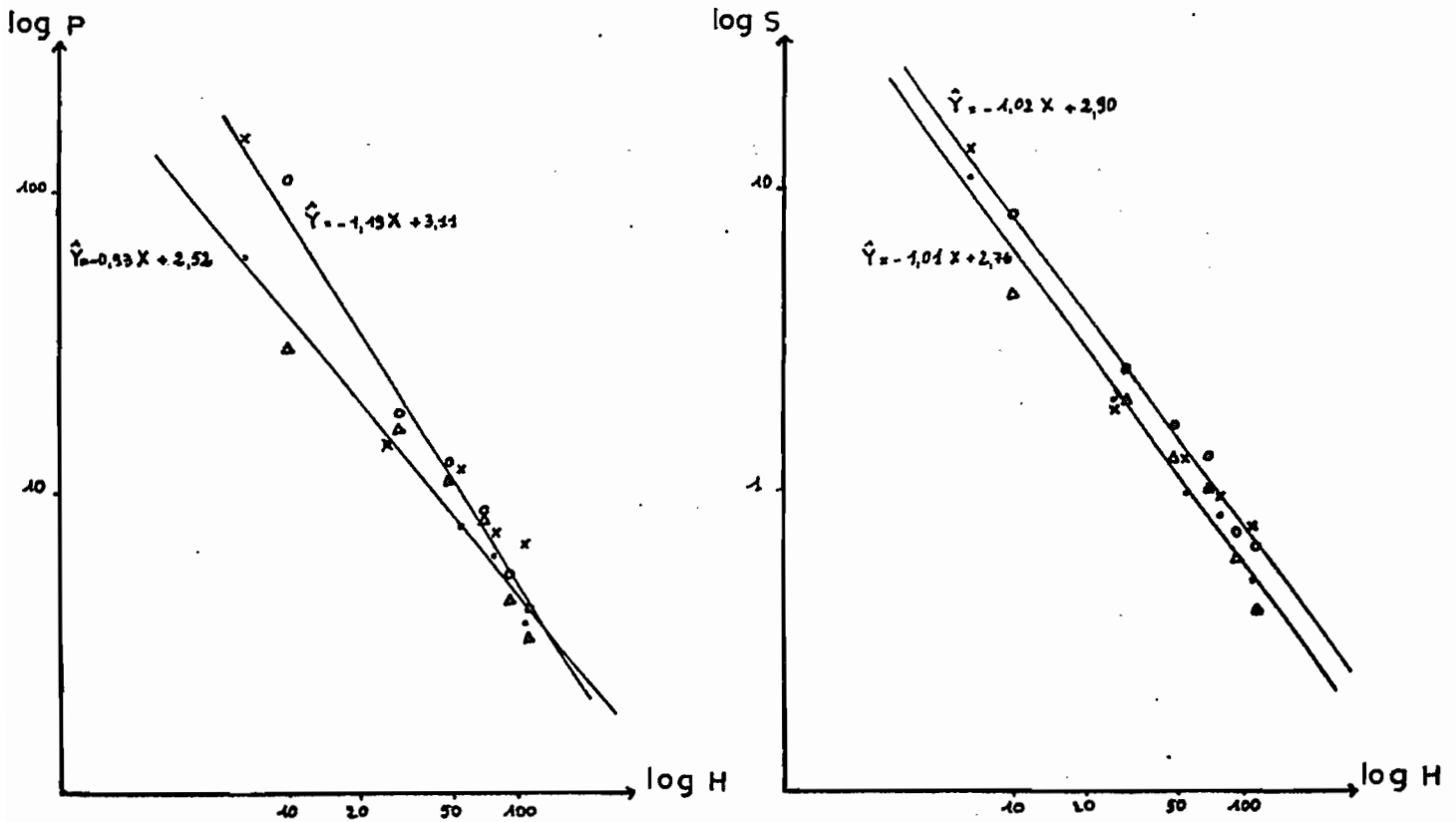


Figure 5: droites représentatives de la variation de la surface diamétrale et du poids sec des racines en fonction de la profondeur dans un système de coordonnées logarithmiques

- x mode de prélèvement horizontal, site sous une touffe
- o " " " " " entre 4 "
- . " " " " " sous une touffe
- Δ " " " " " entre 4 "

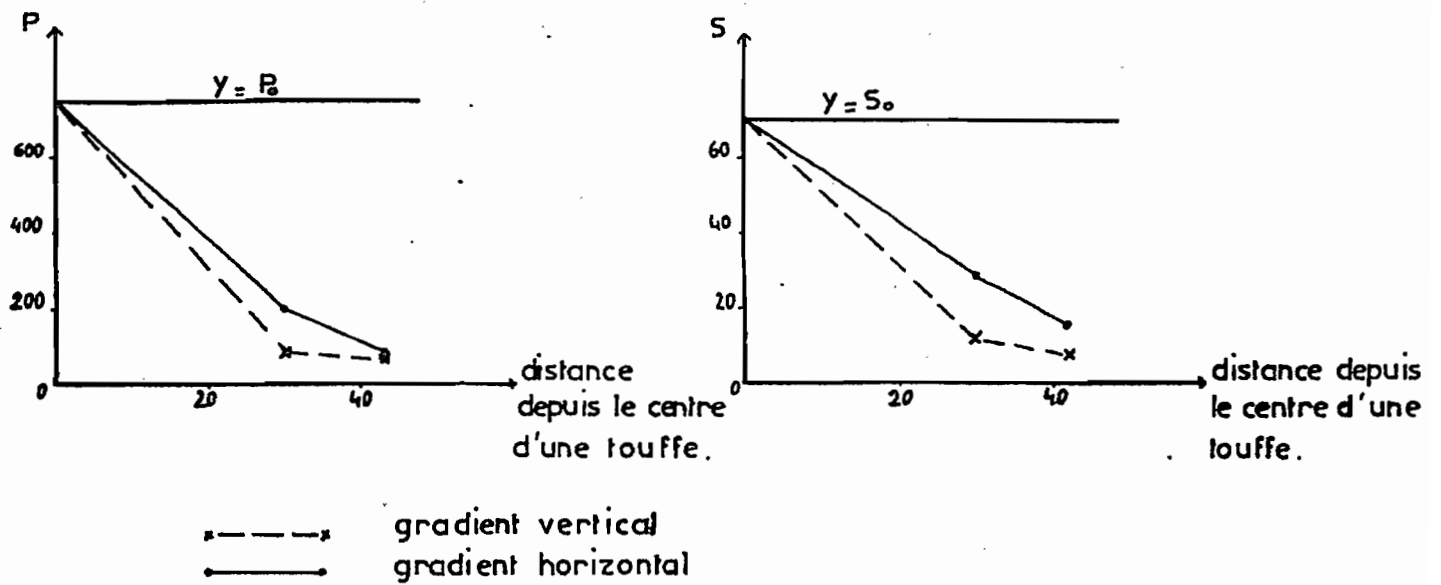


Figure 6: comparaison des gradients de développement des racines le long de deux demi-axes d'origine le centre d'une touffe l'un vertical, l'autre horizontal.