

M É M O I R E

présenté

**A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
—— Centre d'ORSAY ——**

pour obtenir

LE DIPLÔME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES DE SCIENCES NATURELLES

par

Bernard BONZON

——
**ETUDE MÉTHODOLOGIQUE DU SYSTÈME RADICELLAIRE
D'ANANAS COMOSUS (L.) MERR.,
Variété Cayenne lisse**
——

Soutenu le

devant la Commission d'Examen

**MM. MANGENOT ... Président
LEMÉE Rapporteur
AUBERT.**

M E M O I R E

présenté

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE PARIS
Centre d'ORSAY

pour obtenir

LE DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES DE SCIENCES NATURELLES

par

Bernard BONZON

ETUDE METHODOLOGIQUE
DU SYSTEME RADICELLAIRE
D'ANANAS COMOSUS (L.) MERR.
Variété Cayenne Lisse

Soutenu le

devant la Commission d'Examen

MM. MANGENOT ... Président
LEMEE Rapporteur
AUBERT.

R e m e r c i e m e n t s

Que Monsieur le Professeur LEMEE trouve ici l'expression de notre profonde gratitude pour avoir accepté que nous présentions sous la forme d'un diplôme d'études supérieures les premiers résultats auxquels nous sommes parvenu.

Trois années se sont écoulées depuis qu'il prit, conjointement avec Monsieur le Professeur HENIN et Messieurs G. AUBERT et P. PREVOT, la décision de nous faire aborder dans le cadre des activités de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer une nouvelle direction de recherches : l'étude de la croissance et du développement des systèmes radicellaires des plantes cultivées tropicales. Nous le remercions sincèrement de ses conseils, de ses questions, de ses critiques qui nous ont amené à approfondir davantage l'étude des méthodes adoptées pour le démarrage de ces recherches.

Nous tenons à exprimer aussi toute notre gratitude à Messieurs G. AUBERT et S. HENIN, nos Directeur et Parrain scientifiques, pour la confiance qu'ils nous ont toujours témoignée, leur aide, leurs conseils, ainsi qu'à Monsieur PREVOT qui a présidé à notre initiation dans ce domaine si complexe des relations plante - sol.

Notre gratitude va également, depuis longtemps, à Monsieur M.A. TISSEAU, Directeur de la Station I.F.A.C. de l'Anguédédou, à ses collaborateurs et, à travers eux, à l'Institut des Fruits et Agrumes d'Outre Mer, pour leur coopération à la fois si efficace et si agréable.

Nous remercions aussi bien vivement

Monsieur J. DEJARDIN, Chef du Service de Biométrie des
S.S.C. de Bondy

et Monsieur R. VAN DEN DRIESSCHE,
de leur aide précieuse sans laquelle nous n'aurions pu mener à
bien l'analyse statistique des résultats de ces premières études ;

Madame J. DIDIER DE SAINT-AMAND, Chef du Laboratoire de
Chimie Végétale des S.S.C. de Bondy,
qui a bien voulu se charger de la mise au point d'une nouvelle
méthode de détermination précise des poids secs de racines ;

Monsieur P. SEGALEN, Directeur des Services Scientifiques
Centraux de Bondy,

et Monsieur F. BONNET-DUPEYRON, Chef du Service Central
de Documentation, et ses collaborateurs,
qui nous ont si aimablement permis de bénéficier des moyens du
S.C.D.

Comme il doit souvent arriver au terme d'un travail tel
que celui-ci pour lequel les réalisations matérielles qui précèdent
les études revêtent, par la force des choses, une certaine ampleur,
on constate que tous les concours ont été utilisés.

Que tous ceux qui nous les ont apportés, spécialistes,
collègues et artisans de nos outils, d'Adiopodoumé ou d'Abidjan,
si nombreux que nous ne saurions les nommer, trouvent ici l'expres-
sion de notre fidèle reconnaissance.

Table des matières

Introduction	1
Première Partie	
METHODES ET MATERIEL MIS EN OEUVRE POUR L'ETUDE MORPHOLOGIQUE DU SYSTEME RADICELLAIRE DE L'ANANAS	6
INTRODUCTION	7
1. OBSERVATION DE PROFILS RADICELLAIRES PRELEVES PAR LA METHODE DES PLANCHES A CLOUS	8
11. Notion générale de "profil radicellaire"	8
12. La méthode des "planches à clous" .Présentation, intérêt et limites	9
13. Particularité du matériel mis en oeuvre à Adiopodoumé	12
131. Prélèvement, transport et manutention des profils fixés sur planches à clous	14
132. Dessiccation des profils argileux	14
133. Dispersion des argiles et déterrage des racines	15

134. Temps nécessaire à l'obtention de l'image d'un profil radicellaire	16
2. ETUDES QUANTITATIVES SUR LES SYSTEMES RADICELLAIRES. METHODES DES SONDAGES	16
21. Présentation de la méthode. Intérêt et limite ..	16
22. Sens de la mise en oeuvre de la méthode des sondages à Adiopodoumé	17
23. Notions de "surface diamétrale", "rayon moyen" et longueur moyenne d'un échantillon de racines	18
24. Matériel et techniques de la méthode des son- dages à Adiopodoumé	20
241. Prélèvements	22
242. Stockage et prétraitement dispersant des échantillons argileux	23
243. Déterrage	24
244. Nettoyage et étalement de racines	27
245. Mesures des surfaces diamétrales et poids secs des échantillons de racines	28
2451. Mesures des surfaces diamétrales	28
2452. Mesures des poids secs	31
25. Coût horaire des déterminations de surfaces diamétrales et poids secs	33
3. RELEVEMENT DE PROFILS CULTURAUX	34
CONCLUSION GENERALE DE LA PREMIERE PARTIE	35

D e u x i è m e P a r t i e

MODALITES DE MISE EN OEUVRE SUR ANANAS DES DEUX METHODES D'ETUDES MORPHOLOGIQUES ADOPTEES	37
1. Etude n° 1. HAUTEUR DE PRELEVEMENT ET OUVERTURE DE SONDAGE A ADOPTER	38
11. Position du problème	38
12. Conduite de l'étude	39
13. Résultats et discussion	39
14. Conclusion	40
2. Etude n° 2. NOMBRE DE SONDAGES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE PRELEVEMENTS	41
21. Position du problème	41
22. Conduite de l'étude	42
23. Résultats bruts	43
24. Analyse statistique. Principe et résultats	43
241. Principe	43
242. Résultats	46
25. Discussions	46
251. Examen des gradients de développement verticaux	47
2511. Examen des gradients de développement verticaux moyens	47
2512. Examen des gradients de développement verticaux relatifs	48
252. Examen des profils radicellaires	49
253. Examen des profils culturaux	49
26. Conclusion	51

3. Etude n° 3. NOMBRE DE PROFILS RADICELLAIRES NECESSAIRES A LA CARACTERISATION D'UN ENRACINEMENT	52
31. But de l'étude	52
32. Conduite de l'étude	52
33. Résultats	52
34. Conclusion	54
4. Etude n° 4. DISTRIBUTIONS ET CORRELATIONS DE QUELQUES PARAMETRES DU DEVELOPPEMENT RADICELLAIRE	55
41. Position du problème	55
42. Prélèvements	56
43. Traitements et mesures	57
44. Analyses de distributions	57
441. Distributions des valeurs naturelles	58
442. Recherche d'une normalisation approxima- tive par transformation logarithmique	58
443. Vérification des ajustements à des lois log-normales	60
444. Discussion et remarques	60
45. Etudes de corrélations	61
451. Résultats	61
452. Discussions	61
46. Conclusion	64
CONCLUSION GENERALE DE LA DEUXIEME PARTIE	65
 C o n c l u s i o n	 67
 B i b l i o g r a p h i e	 70

A n n e x e s

ANNEXE I. PRECISION DES MESURES PHOTOELECTRIQUES DE SURFACE	75
ANNEXE II. PRECISION DE L'ENSEMBLE DES OPERATIONS RELATIVES A LA METHODE DES SONDAGES	83
ANNEXE III. TABLEAUX DE L'ETUDE N°1	109
ANNEXE IV. TABLEAUX DE L'ETUDE N°2	113
ANNEXE V. TABLEAUX DE L'ETUDE N°4	125
P l a n c h e s p h o t o g r a p h i q u e s	139

I n t r o d u c t i o n

L'étude de la croissance et du développement des systèmes radicellaires en fonction des facteurs pédo-climatiques et cultureaux est l'un des aspects les plus importants et les moins abordés des relations "plante-sol".

Difficultés et complexité des recherches expliquent, en partie, cet état de chose.

Néanmoins, la faiblesse de nos connaissances en ce domaine est telle que la moindre investigation est susceptible d'aboutir simultanément à un approfondissement de nos connaissances, à l'orientation des recherches expérimentales, ou, enfin, à des résultats pratiques de grande valeur.

C'est en raison de ces possibilités qu'il fut décidé, en 1962, d'aborder cette étude dans le cadre des activités de l'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER.

"L'évolution morphologique des systèmes radicellaires, en fonction des facteurs pédo-climatiques et cultureaux" fut alors retenu comme axe de recherches initial.

Un an plus tard, l'Ananas était choisi comme plante de démarrage pour un certain nombre de motifs d'ordre technique, et aussi en raison de ce que sa croissance et son développement radicellaires n'avaient fait l'objet jusqu'alors que d'observations très rudimentaires.

Ce fait est assez curieux, car, d'une part il s'agit

d'une plante dont la culture est depuis longtemps d'un niveau technique élevé (33) et d'autre part un certain nombre de facteurs, comme la sensibilité de l'Ananas aux régimes hydriques des sols, les chutes de rendement consécutives à des infestations de nématodes, l'influence de techniques culturales particulières sur le développement des parties aériennes (couverture du sol par exemple), ne permettraient nullement d'assigner un rôle secondaire à son système radicellaire, aussi bien du point de vue pratique que scientifique.

Sans doute cette situation était-elle en rapport avec l'opinion générale (8, 33), encore admise actuellement, que l'enracinement de l'Ananas est très superficiel - localisé dans les quinze premiers centimètres - et que l'alimentation en eau et la nutrition minérale des plants s'effectuent à proximité de la partie enterrée des tiges et à l'aisselle des feuilles.

Les seules données bibliographiques que l'on pût trouver, en rapport avec les buts poursuivis, furent les études anatomiques très minutieuses de Béatrice H. KRAUSS (23), quelques observations morphologiques succinctes sur les racines en fonction des conditions de cultures (influences comparées des sols légers et argileux (5) (19), et de la nature de substrats divers pour les cultures sur milieux artificiels (25)), et enfin les résultats des premières investigations sur l'enracinement de l'Ananas au Kenya et au Queensland, de GWYNNE et de BLACK.

Les observations de GWYNNE (16) révélaient que dans les conditions pédo-climatiques de son étude (Station de Thika, sol brun-rouge friable à argile trachytique contenant de 48 à 61 % d'argile et de 18 à 14 % de limon) les systèmes radicellaires de plants de deux ans présentaient deux zones de développement distinctes : la première, hémisphérique, de 30 cm de rayon environ, ne comportait que de grosses racines légèrement ramifiées à leurs extrémités; la seconde, cylindrique, d'au moins 60 cm de rayon et 120 cm de profondeur, était constituée de très longues racines axillaires, qui de fines et horizontales en surface, devenaient verticales, plus épaisses et très ramifiées en profondeur.

Les observations de BLACK (1), conduites dans des conditions pédoclimatiques différentes, confirmaient en partie celles de GWYNNE : un nombre important de racines dépassait la profondeur de 30 cm, et atteignait une profondeur maximale de 60 cm.

Devant les différences observées par rapport au schéma classique de l'enracinement de l'Ananas révélées par ces études et en raison de la variabilité des conditions pédo-climatiques de sa culture dans le Sud Ivoirien, il s'avérait donc indispensable d'effectuer des investigations préliminaires sur le développement radicellaire de cette plante pour arrêter le choix des méthodes à mettre en oeuvre et définir les caractéristiques techniques du matériel à réaliser.

Ces investigations furent effectuées sur quatre sites différents : Adiopodoumé, l'Anguédédou, Divo et Ono.

Les sols des stations d'Adiopodoumé, l'Anguédédou et Ono appartiennent tous les trois au groupe des sols ferrallitiques lessivés sur sables quartzo-ferrugineux (néogènes).

Celui de la station de Divo, sur lequel était installé un essai I.F.A.C. était un sol colluvial de bas de pente, présentant deux horizons distincts : un horizon supérieur d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur de sables grossiers et fins, recouvrant un horizon brun-rouge, très profond, argileux, riche en gravillons ferrallitiques à structure polyédrique très fortement développée.

Les Ananas étaient plantés sur billon à Ono, à plat sur les autres stations.

Trois méthodes d'investigations différentes furent mises en oeuvre pour conduire ces recherches :

- 1° - Des profils culturaux furent relevés systématiquement en chacun de ces points;
- 2° - Une méthode de mise en évidence in situ (déterrage au jet d'eau et maintien des racines en position par de petits supports en fil de fer) fut utilisée à Adiopodoumé et l'Anguédédou ;
- 3° - Les premiers prélèvements de tranches de sol à l'aide de planches à clous de 40 x 60 et 40 x 120 cm furent effectués à Divo et Ono.

Les résultats de ces investigations furent les suivants :

- Les racines d'Ananas exploitaient partout l'épaisseur de la couche labourée (15-18 cm à Divo, 22 cm à Adiopodoumé, 25-30 cm à l'Anguédédou, 50-60 cm à Ono);
- les racines les plus longues étaient les plus superficielles (1,35 m pour la plus longue);
- la moindre pierre ou la moindre zone compacte arrêtait la croissance des racines;
- un certain nombre de racines pénétrait au-dessous du fond de labour à la faveur des galeries d'insectes et de gros vers, ou des restes pourris de racines des cultures antérieures;
- une racine apparemment sèche et morte extérieurement, pouvait être active intérieurement et en pleine croissance à son extrémité;
- des différences morphologiques importantes devaient exister au niveau des racines sur les quatre stations. Bien que le qualificatif de "finesse" soit très imprécis puisqu'il rend compte à la fois d'une notion de diamètre et d'une notion de ramification impossibles à départager sur le terrain, il semblait cependant que l'on avait par ordre de finesse décroissante la classification suivante : Ono - l'Anguédédou - Adiopodoumé - Divo;
- l'enracinement de cette plante se conformait très étroitement aux types de cultures (à plat ou sur billon);
- le développement radicellaire superficiel était très dense sur les rangs, légèrement moins dense au milieu des double rangs, faible dans les chemins. Par contre, dans ce dernier cas, un treillis de racines loin d'être négligeable existait entre 10 et 20 cm de profondeur;
- les études effectuées directement sur le terrain par la méthode de mise en évidence in situ, étaient très difficiles à conduire et peu précises;

- des informations de grande valeur sur le comportement des racines pouvaient être obtenues par l'étude des profils cultureaux.

Les conséquences méthodologiques de ces premières investigations furent d'abord le rejet momentané des "méthodes de terrain", excepté le relèvement de profils cultureaux, et l'adoption de deux "méthodes de laboratoire", dont l'une est essentiellement une méthode descriptive - l'observation de profils radicellaires prélevés à l'aide de planches à clous - et l'autre une méthode quantitative - la méthode des sondages.

Par "méthode de terrain", il faut entendre ici toute méthode visant au déterrage immédiat des racines in situ, et par "méthode de laboratoire", toute méthode comportant, au contraire, deux phases dans la mise en évidence des racines : le prélèvement d'échantillons de sol plus ou moins volumineux dans un premier temps, puis le déterrage au laboratoire des racines incluses dans ces échantillons dans un deuxième temps.

Les efforts portèrent alors sur la réalisation et la mise au point du matériel et de l'organisation indispensables à la poursuite de recherches à long terme. Cette étape prit fin lorsque l'on eut des informations précises sur le temps nécessaire à l'obtention d'un profil radicellaire, ou d'une estimation quantitative du développement en un point donné.

Mais il restait encore à définir les modalités de mise en oeuvre de ces méthodes, - comme, par exemple, le nombre de sondages nécessaires à la caractérisation du développement radicellaire sur une position géométrique définie -, avant de pouvoir établir un programme de recherches détaillées.

Les études relatées dans ce document concernent cette troisième étape.

Les méthodes adoptées, le matériel réalisé et l'organisation mise au point sont examinés dans la première partie de ce document, les études méthodologiques proprement dites dans la seconde partie.

Afin d'alléger le corps du texte, l'analyse critique de la précision des mesures de surfaces effectuées au planimètre photo-électrique, et celle de la précision des estimations de surfaces diamétrales et de poids secs de racines obtenues par la méthode des sondages ont été reportées en annexes, ainsi que les tableaux regroupant les résultats des études méthodologiques et les planches photographiques illustrant le texte.

P r e m i è r e P a r t i e

METHODES ET MATERIEL MIS EN OEUVRE

POUR L'ETUDE MORPHOLOGIQUE DU SYSTEME RADICELLAIRE DE L'ANANAS

L'examen des diverses méthodes de laboratoire relatives à l'étude morphologique de la croissance et du développement radicellaires aboutit, compte-tenu des résultats des investigations préliminaires mentionnés dans l'Introduction, au choix d'une méthode essentiellement descriptive - l'observation de profils radicellaires prélevés à l'aide de planches à clous -, et d'une méthode quantitative, - la méthode des sondages -.

Une incompatibilité pratique existe, en effet, entre acuité et valeur statistique des observations, et ces deux méthodes se complètent à ce point de vue.

Cet examen mit en évidence, par ailleurs, un aspect commun à toutes les méthodes d'étude du développement radicellaire : leurs côtés pénibles physiquement, fastidieux et très laborieux. Ces facteurs limitants expliquant le peu de suite dont font l'objet, en général, les études de systèmes radicellaires, le caractère assez rudimentaire du matériel et des techniques utilisés et la rareté des interprétations statistiques, on conçut donc, dès le départ, une unité de travail suffisamment puissante pour être en mesure de mettre en oeuvre simultanément les deux méthodes, et suffisamment élaborée pour définir avec précision, et rapidement, le temps et les moyens matériels et en personnel nécessaires à chacune d'elles (premières données de l'établissement d'un programme de recherches à long terme). De plus, on attachâ une attention toute particulière aux moindres détails matériels dans le but, d'une part de minimiser le temps nécessaire à chaque opération et ses côtés pénibles, et d'autre part d'améliorer les techniques mises en oeuvre.

Certains aspects de cette analyse et de cette synthèse opérationnelles apparaîtront à travers la description qui suit maintenant, de deux méthodes adoptées et du matériel réalisé pour leur mise en oeuvre.

Par ailleurs, bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler d'une méthode d'études morphologiques, on a rappelé à la fin de cet exposé la notion de "profil cultural" afin de les situer correctement les unes par rapport aux autres.

1. OBSERVATION DE PROFILS RADICELLAIRES PRELEVES PAR LA METHODE DES PLANCHES A CLOUS.

11. Notion générale de "profil radicellaire".

La notion de profil radicellaire est analogue à celle de "profil pédologique". On peut en donner la définition suivante : "description morphologique du développement des racines d'une plante à un moment donné dans un plan vertical géométriquement défini par rapport aux plants pouvant y induire des racines".

Les éléments caractéristiques de cette description sont :

- les extensions latérale et verticale maximales des racines;
- la densité des racines des différents ordres, leur degré de ramification, la densité des ramifications en des points de coordonnées définies ;
- ... etc

Comme le développement des racines en pleine terre ne s'effectue jamais dans un plan mais selon des directions radiales moyennes, les observations que l'on peut faire dans un plan vertical, radial ou non, se réduisent pratiquement à des comptages de racines classées par diamètres (6). Il faut donc étudier le développement radicellaire sur une certaine épaisseur si l'on désire être renseigné sur la morphologie des racines. A partir de cette constatation, on devine aisément que, selon le degré d'acuité et la valeur statistique des informations désirées et selon la plante, son mode de culture, et les conditions texturales du sol, cette étude puisse être conduite de plusieurs façons, soit directement sur le terrain (44), (45), soit sur des échantillons rapportés au laboratoire (28), (29), (35), (43), (47).

12. La méthode des "planches à clous". Présentation, intérêt et limites.

La plus intéressante, du point de vue morphologique, et la plus illustrative de ces méthodes, lorsqu'elle est utilisable, est certainement la méthode des "planches à clous" développée et mise au point par M.A.J. GOEDEWAAGEN et J.J. SCHUURMAN à l'Institut pour l'Etude de la Fertilité des Sols de Groningen (38). Elle consiste à prélever de larges tranches verticales de sol à l'aide de panneaux garnis de pointes régulièrement espacées et d'une dizaine de centimètres de longueur. Ces tranches de sol sont rapportées au laboratoire où les racines qu'elles contiennent sont déterrées, puis nettoyées très délicatement, et peuvent être alors observées avec précision dans les meilleures conditions de travail.

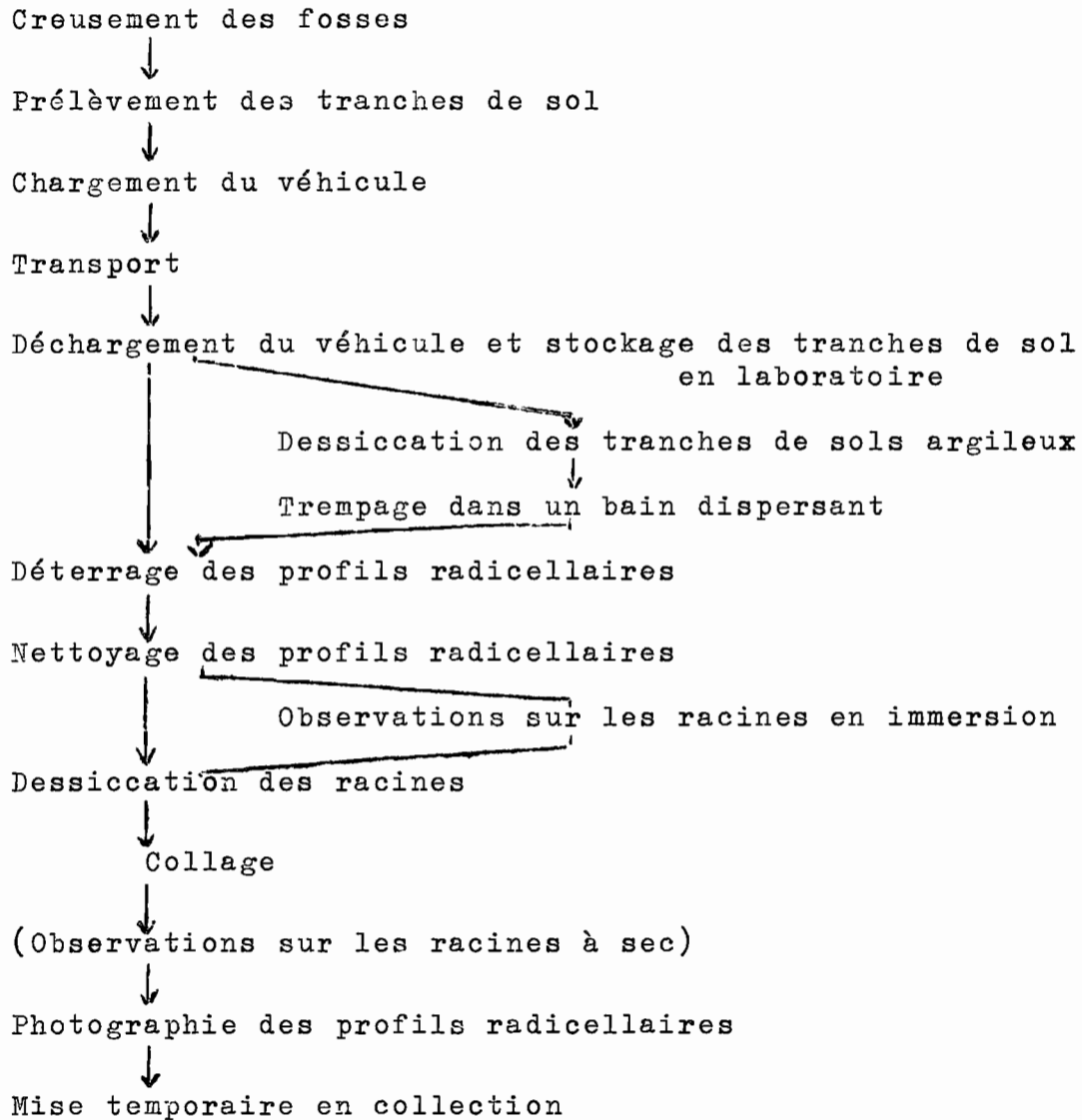
Au cours du déterrage, puis du nettoyage, les rangées de pointes des panneaux maintiennent les racines dans des positions très voisines de celles qu'elles occupaient au coeur des tranches de sol. Un tassement inévitable des racines se produit évidemment à la fin du déterrage. Mais la faible épaisseur des tranches prélevées, qui est fonction de la longueur des pointes, minimise cet inconvénient.

La morphologie des racines et leur répartition dans les profils peuvent être alors étudiées, soit directement sur les panneaux déterrés et nettoyés immergés sous quelques centimètres d'eau, soit sur des feuilles de papier canson blanc, épais, sur lesquelles sont collées les racines après un séchage léger et un double retournement des profils. Cette dernière façon de procéder permet de conserver une image de l'enracinement aux endroits des prélèvements et d'en différer l'étude. Cependant, les observations conduites à sec sont plus délicates et moins précises que celles conduites en immersion.

Les inconvénients de la méthode sont :

- le poids et le volume du matériel de prélèvement;
- le poids considérable des tranches de sol et les difficultés de manutention qui en résultent;
- le temps et la main d'oeuvre nécessaires aux prélèvements et aux traitements;
- les difficultés résultant de l'étude d'un système radicellaire très développé en profondeur;

TABLEAU I - Organigramme des opérations successives aboutissant à l'obtention d'un profil radicellaire à l'aide de la méthode des planches à clous.



- le temps nécessaire aux observations.

Ses limites résident dans la nature des plantes étudiées, les conditions de sol, le nombre des directions possibles des plans de prélèvements, et le nombre de profils à prélever dans chaque direction pour que l'interprétation des observations tienne compte de l'hétérogénéité du développement radicellaire. Les conditions de culture limitent elles aussi l'utilisation de la méthode (cas des essais en plein champ comportant un nombre important de traitements et de répétitions, et de très petites parcelles).

D'une façon très générale, seules les plantes herbacées relèvent de la méthode des "planches à clous" et seulement dans le cas de sols ne contenant pas de pierres de plus de 2 à 3 centimètres d'épaisseur et en très petite quantité. Néanmoins, il faut signaler que la méthode a été utilisée avec profit sur Palmier à Huile (*Elaeis guineensis*) par P. RUER, mais après quelques modifications du mode de prélèvement (36).

13. Particularité du matériel mis en oeuvre à Adiopodoumé.

Malgré certaines des difficultés qui viennent d'être mentionnées, cette méthode semblait très bien adaptée au cas de l'Ananas dans le Sud Ivoirien et sa mise en oeuvre fut décidée.

L'organigramme qui figure ci-contre nous a été très aimablement communiqué par le Dr. SCHUURMAN, ainsi que tous les éléments indispensables à la mise en oeuvre de la méthode. Le matériel réalisé à Adiopodoumé ne diffère donc de celui en service à Groningen que par des détails d'importance théorique réduite.

Mais le fait d'utiliser des panneaux plus larges que ceux utilisés à Groningen (voir le tableau II) a amené au départ une succession de problèmes de manutention et de traitement dont la résolution a contribué à donner à la mise en oeuvre de la méthode à Adiopodoumé un aspect assez particulier, encore accentué par un effort pour rationaliser certaines opérations - c'est-à-dire, essentiellement, en diminuer les risques et le prix de revient.

TABLEAU II - Comparaison des planches à clous utilisées à Groningen et à Adiopodoumé.

Planches à clous utilisées à Groningen			
Dimensions (cm)	Longueur des pointes (cm)	Densité des pointes (cm)	
100 x 30	8	5 x 5	
100 x 60	14	5 x 5	
Planches à clous utilisées à Adiopodoumé			
Dimensions (cm)	Longueur des pointes (cm)	Densité des pointes (cm)	Poids moyen chargées (kg)
120 x 60	10	5 x 5	160
180 x 50	10	5 x 5	200

131. Prélèvement, transport et manutention des profils fixés sur planches à clous.

La première série de planches à clous utilisée à Adiopodoumé est en rapport avec le mode de culture de l'Ananas dans le Sud Ivoirien (plants en quinconces sur des double rangs espacés de 30 à 40 cm avec des inter-rangs de 90 cm de large). La seconde, réalisée par J.C. TALINEAU, est destinée plus spécialement à l'étude des systèmes radicellaires de certaines graminées tropicales. Cependant, elle convient très bien, elle aussi, à l'étude du système radicellaire de l'Ananas.

Les photographies 1 à 8 des planches photographiques I et II et leurs légendes qui se trouvent à la fin de ce document illustrent une opération de prélèvement et permettent de se rendre compte en même temps du matériel de transport, de stockage, de prélèvement et de manutention utilisé.

Le sectionnement du profil en avant des pointes (photo 6) est réalisé à l'aide d'un câble d'acier de 2 mm, très souple, engagé au fond d'une saignée de 20 cm creusée à la périphérie du panneau. Un mouvement de va-et-vient et finalement un croisement des brins d'acier réalisent le cisaillement. La planche à clous repose à ce moment-là entièrement sur un assemblage de cales plates et de coins triangulaires mis en place après le creusement de la saignée à la partie inférieure du profil et serrés très fortement sur la base de la planche à clous. Les deux étais qui l'empêchaient jusque-là de basculer en arrière sont alors enlevés et la planche à clous renversée délicatement sur le fond de la fosse de prélèvement (photo 7). La tranche de sol est ensuite arasée progressivement jusqu'aux pointes, puis sortie de la fosse de prélèvement et chargée à bord d'un véhicule aménagé pour leur transport (photo 1).

132. Dessiccation des profils argileux.

Dans le cas d'une étude conduite sur des sols argileux (c'est-à-dire, ici, contenant plus de 15 % d'argile), il est préférable, sinon indispensable, de disperser l'argile des tranches de sol avant le déterrage des racines.

Comme le signalent GOEDEWAAGEN et SCHUURMAN (38), cette dispersion n'est effective sur l'épaisseur des tranches de sol que

lorsque ces dernières sont suffisamment sèches au moment du trempage pour permettre à l'agent dispersant d'en atteindre tous les points. Et, dans tous les cas, un séchage artificiel préalable est nécessaire. Cette opération est réalisée dans un four spécial à Groningen, et à l'aide d'une "hotte chauffante" de construction locale à Adiopodoumé (photographies 9, 10 de la planche photographique III).

Cet appareil est constitué d'un support léger que l'on place autour de la tranche de sol, et d'une caisse pyramidale, la "hotte chauffante" proprement dite, qui s'adapte sur le support précédent (photo 9). Une série de résistances disposées sur deux rangs est fixée à la base de la hotte, à 15 cm environ au-dessus de la tranche de sol (photo 10). Un ventilateur, installé au sommet, pulse de l'air au travers des résistances.

La puissance totale des résistances est de 7400 watts, mais elle peut être fractionnée et répartie sur quatre zones différentes pour être adaptée aux cas des sols présentant des horizons superficiels très sableux et des horizons de profondeurs argileux, ainsi qu'à la différence de longueur des deux séries de planches à clous. Douze heures de séchage suffisent en général.

133. Dispersion des argiles et déterrage des racines.

Lorsque la tranche de sol est sèche, la hotte et son support sont déplacés et le profil immergé dans un bassin contenant une solution de chlorure de sodium à 7,5 g/litre (photo 11 de la planche III).

Douze à quinze heures plus tard, le panneau chargé est mis à déterrer dans une stalle spécialement aménagée pour cette opération.

Le système de déterrage mis en action à Adiopodoumé est encore semblable à celui utilisé à Groningen (38). Quatre arroseurs oscillants épaulés éventuellement de deux arroseurs rotatifs sont fixés, la tête en bas, sur des supports réglables en hauteur, en largeur et en profondeur au-dessus des panneaux à déterrer, à l'aide d'un système de glissières montées sur un cadre relevable (photo 12 et 13 de la planche III).

Deux profils radicellaires peuvent être déterrés simultanément.

La terre est recueillie dans un bassin de décantation dont le trop plein débouche sur un fossé, et qui est vidangé périodiquement. Le fond du bassin n'est pas cimenté.

Les pointes qui maintiennent les racines en position sont aidées éventuellement dans ce rôle par un grillage métallique à larges mailles appuyé sur le profil.

134. Temps nécessaire à l'obtention de l'image d'un profil radicellaire.

Il faut en moyenne 17 heures de main d'oeuvre pour prélever et traiter une tranche de sol jusqu'à l'obtention d'un profil radicellaire fixé sur papier canson, non compris le temps, très variable et considérable, nécessaire aux observations.

2. ETUDES QUANTITATIVES SUR LES SYSTEMES RADICELLAIRES. METHODE DE SONDAGES.

21. Présentation de la méthode - Intérêt et limites.

La méthode des sondages, telle qu'elle est utilisée classiquement, consiste à apprécier le développement radicellaire par la mesure ou l'estimation du poids sec d'échantillons de racines prélevées à l'aide de sondes en différents points de coordonnées définies par les modalités de plantation.

Son avantage sur les autres méthodes d'études de la croissance et du développement radicellaires est de permettre une interprétation statistique de l'influence de facteurs contrôlés. La simplicité relative des prélèvements et des traitements, et la rapidité avec laquelle peuvent être obtenus des poids secs de racines offrent, en effet, la possibilité de répéter les mesures dans le temps et dans l'espace sur des positions semblables, et, par suite, d'utiliser la méthode sur des essais agronomiques.

Cependant, le nombre de positions sondables est quand même limité, soit directement par les modalités de plantation, soit - et c'est le cas le plus fréquent - par les possibilités de traitement du laboratoire.

De plus, une difficulté spécifique de la méthode apparaît lorsqu'on étudie des gradients horizontaux ou verticaux de développement radicellaire. Un compromis doit être établi entre le nombre de points indispensables à la mise en relief de ces gradients, et les dimensions des échantillons à prélever. En effet, l'hétérogénéité du développement radicellaire - caractérisée par le coefficient de variation des mesures effectuées sur des échantillons prélevés sur des positions semblables - diminue lorsque la masse des racines prélevées augmente; on serait tenté, dans ces conditions, d'utiliser des sondes d'ouvertures de plus en plus larges et d'effectuer des prélèvements de plus en plus hauts : mais on diminuerait alors d'autant l'intérêt de l'étude de ces gradients.

Enfin, comme la méthode des planches à clous, la méthode des sondages a des limites matérielles importantes. D'une façon très générale elle n'est utilisable que lorsque les sols étudiés ne contiennent de pierres, ni trop dures, ni en trop grande quantité, et que sur des systèmes radicellaires ne présentant que des petites racines - moins de 1 cm de diamètre environ.

Par ailleurs, il ne s'agit pas, à proprement parler, d'une méthode d'études morphologiques des enracinements, car la mesure du poids sec d'un échantillon de racines ne fournit aucune information sur la morphologie de ces dernières. On pourrait, évidemment, se livrer sur les fragments de racines extraites des carottes de sondages à des observations morphologiques - comme procède actuellement NEWMAN (27) pour déterminer la longueur des racines de ses échantillons - mais ces observations seraient de toutes façons incomplètes et, surtout, le temps qu'il faudrait pour les mener à bien serait à nouveau le facteur limitant principal.

22. Sens de la mise en oeuvre de la méthode des sondages à Adiopodoumé.

C'est évidemment à cause de son intérêt pour l'étude de l'influence des facteurs contrôlés sur la croissance et le développement radicellaires que la méthode des sondages fut adoptée.

Cependant, sa mise en oeuvre a été conçue, dès le départ, dans le but d'en faire éventuellement une "méthode quantitative d'études morphologiques globales de la croissance et du développement radicellaires".

En effet, des études antérieures (3 et 4) avaient montré que l'on pouvait caractériser le développement radicellaire aussi bien par le paramètre poids sec que par un nouveau paramètre presque aussi rapidement accessible que le premier - le paramètre "surface diamétrale des racines" - et suggéraient que l'on rapproche ces deux paramètres pour caractériser la morphologie d'un échantillon de racines par leur "rayon moyen" et leur "longueur moyenne".

23. Notions de "surface diamétrale", "rayon moyen" et "longueur moyenne" d'un échantillon de racines.
Exigences biométriques de ces paramètres.

Les racines de la plupart des plantes sont le plus souvent morphologiquement cylindriques ou cylindro-coniques (exceptions faites, dans le cas présent, de la partie des racines d'Ananas qui se trouve fortement comprimée entre la tige et les gaines pétio-laires des jeunes feuilles et qui est du type "rubanné" à section elliptique aplatie et, plus généralement, des accidents "de croissance"-développement entre deux pierres par exemple - qui entraînent une certaine adaptation de la morphologie des racines à la structure du milieu).

Dans ces conditions, on peut toujours décomposer théorique-ment un échantillon de racines en un nombre n d'échantillons de racines

de diamètres $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_n$
 et de longueurs totales correspondantes $L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_n$.

On peut appeler "surface cylindrique" de l'échantillon la quantité

$$Sc = \sum_1^n \pi \cdot Di \cdot Li$$

et "surface diamétrale" la quantité

$$sd = \sum_1^n Di \cdot Li$$

Le volume de l'échantillon de racines est donné par la formule

$$V = \sum_1^n \pi \cdot \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \cdot Li$$

et son poids sec par la formule

$$p = \sum_1^n \pi \cdot \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \cdot Li \cdot \mu_i$$

où μ_i est la masse spécifique des racines de la classe i .

Si toutes les racines avaient le même diamètre et si leur masse spécifique était constante, on aurait entre ces paramètres les relations suivantes :

$$\frac{p}{sd} = \mu \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} = \mu \cdot \pi \cdot R$$

où R serait le rayon des racines, et,

$$\frac{(sd)^2}{p} = \frac{4}{\mu \cdot \pi} \cdot L$$

où L représenterait la longueur totale des racines de l'échantillon.

Par analogie, les quotients $\frac{p}{sd}$ et $\frac{(sd)^2}{p}$ d'un échantillon de racines de diamètres et de longueurs variables, sont appelés "rayon moyen rm " et "longueur moyenne lm " de l'échantillon.

La masse spécifique des racines variant vraisemblablement dans d'étroites limites, ces quotients sont évidemment en relations avec le degré de ramification des racines et l'importance relative de chaque ordre de racine - (le passage d'un ordre à l'ordre immédiatement supérieur se traduisant le plus souvent par une diminution du diamètre des racines).

Ils devraient donc permettre effectivement plus de finesse dans l'interprétation de l'action des facteurs contrôlés.

Cependant, leur utilisation implique que les mesures de p et sd soient précises. En effet, les erreurs relatives commises sur chacun de ces quotients sont :

$$\frac{\Delta_{rm}}{rm} = \frac{\Delta_p}{p} + \frac{\Delta_{sd}}{sd}$$

$$\frac{\Delta_{lm}}{lm} = \frac{\Delta_p}{p} + 2 \frac{\Delta_{sd}}{sd}$$

24. Matériel et techniques de la méthode des sondages à Adiopodoumé.

Aucun matériel équivalent n'existant dans le commerce, le matériel mis en oeuvre à Adiopodoumé pour la méthode des sondages a été lui aussi entièrement réalisé sur place, après avoir étudié aussi soigneusement que possible les conditions dans lesquelles il serait utilisé, et fait, préalablement, un examen critique du matériel équivalent décrit dans la bibliographie ou vu à l'oeuvre à l'Institut pour l'Etude de la fertilité des Sols de Groningen. Des prototypes rudimentaires précédèrent. d'ailleurs la réalisation des sondes et du planimètre décrits plus loin.

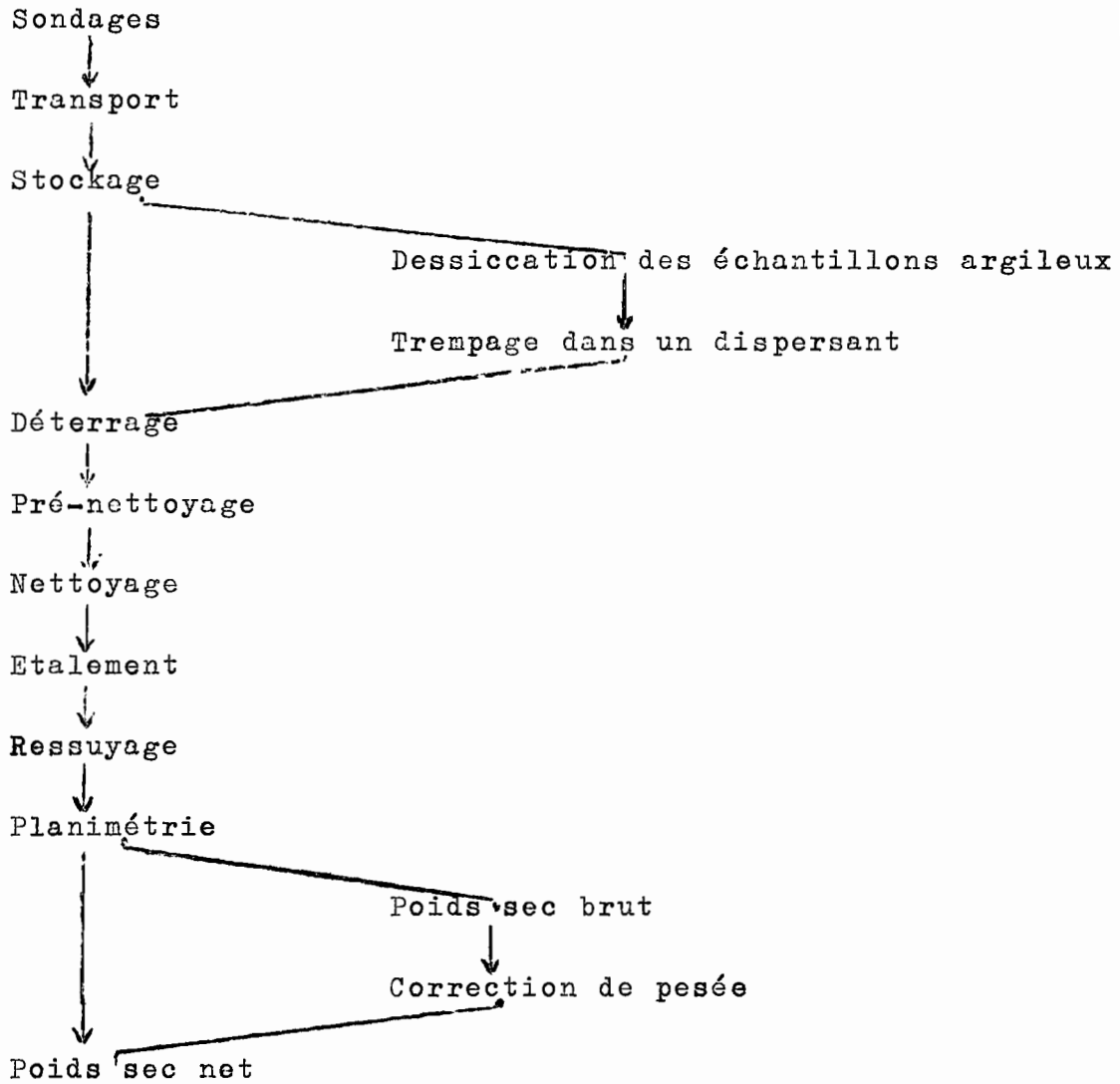
Sa mise au point fut progressive, mais on doit considérer maintenant que l'ensemble - matériel et techniques particulières - est opérationnel.

L'ordre dans lequel vont être décrites les opérations successives de la méthode des sondages à Adiopodoumé est celui dans lequel elles se présentent sur l'organigramme ci-après.

Afin de ne pas surcharger le texte, seuls les détails techniques essentiels à la compréhension des modalités d'utilisation du matériel, ou d'exécution d'une opération, font l'objet d'une description précise.

L'étude, très importante du point de vue méthodologique, des erreurs de manipulations et de mesures, a été reportée en annexes pour en faciliter la synthèse (Annexes I et II).

TABLEAU III - Organigramme de la méthode des sondages.



241. Prélèvements.

Les sondes mises en oeuvre pour les études 1, 2 et 4, rapportées au chapitre suivant, sont constituées d'un "corps de sonde" fermé à sa partie supérieure par un "bouchon" sur lequel se fixe un "train de rallonges" : une "tête de sonde" munie d'une "barre à virer" se visse sur l'extrémité libre du train de rallonges (voir les photographies 14 à 18 de la planche photographique IV).

Corps, bouchon et tête de sonde sont en acier Narvik très résistant. Corps et bouchon de sonde s'assemblent par un filetage à pas carré de 4 mm, très robuste (photo 17).

Les rallonges sont des tubes épais, sans soudure, en acier étiré de 16 x 27, de un mètre de long, filetés à leurs deux extrémités au pas "27 gaz".

La base du corps de sonde est :

- conique extérieurement, pointe du cône tournée vers le bas (photos 14 et 16),
- cylindrique intérieurement sur les 3 premiers centimètres, puis également conique, pointe du cône tournée vers le bas.

Les dents du "bec de sonde" sont affûtées vers l'intérieur.

Les sondes sont enfoncées par battage à l'aide d'une masse de 7 kg (photo 15). De ce fait, les racines qui se trouvent dans le plan de l'extrémité des dents sont :

- comprimées extérieurement par la partie conique,
- légèrement comprimées intérieurement par la partie cylindrique,
- et sectionnées par les dents sans qu'il y ait d'arrachements dans un sens ou dans l'autre.

L'enfoncement de la sonde est repéré par le déplacement du cavalier d'une toise tenue verticalement (photo 15). Le cavalier prend appui sur la barre à virer, et la base de la toise repose sur la plaque de centrage du sondage (panneau de bois évitant l'effritement des bords des trous de sondages).

Le sectionnement des carottes est obtenu par une rotation de deux tours complets de la sonde autour de son axe.

Leur récupération s'effectue par le haut du corps de sonde (photo 16-17 et 18). Elle est facilitée par l'utilisation d'un support adapté au diamètre du corps de sonde et sous lequel se placent les sacs en plastique et dans lesquels on les récupère.

Corps de sonde vide et bouchon doivent être nettoyés dans un seau plein d'eau avant d'être réassemblés pour la prise suivante.

Des échantillons de 20 cm de haut peuvent être ainsi prélevés jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Une équipe de trois servants utilisant une sonde complète et un corps de sonde supplémentaire, effectue entre 120 et 150 prises de 20 cm de haut jusqu'à 1,20 m de profondeur en 8 heures.

Corps et bouchon de sonde se sont avérés à l'usage remarquablement résistants. Par contre, les rallonges constituent le point faible du matériel.

Par leur robustesse, les sondes d'Adiopodoumé se placent certainement entre celles de M.A.J. GOEDEWANGEN et J.J. SCHUURMAN (38) et celles de T.E. WILLIAM et H.K. BAKER (46). Les premières sont des sondes à piston utilisables dans le cas des sols argileux ou limoneux humides (comme ceux des polders de la région de Groningen), les secondes sont, au contraire, des sondes extrêmement robustes pour effectuer des prélèvements dans des sols riches en silex (comme ceux de la station de Hurley en Grande-Bretagne), mais jusqu'à 1,20 mètre de profondeur seulement.

242. Stockage et prétraitement dispersant des échantillons argileux.

Lorsque le déterrage des racines ne peut être effectué dans les trois jours qui suivent le prélèvement, il est indispensable de les fixer en même temps que leur milieu d'inclusion (58), (46).

Sur le terrain, cette fixation est réalisée dans de bonnes conditions par addition de 10 cc d'une solution de formol à 5 %, surtout dans le cas des échantillons sableux. Les carottes de sondages doivent être ouvertes pour faciliter l'action bactéricide du formol.

Lorsqu'il s'agit d'échantillons argileux, on a cependant intérêt à attendre, dans la mesure du possible, le retour au laboratoire pour les fixer par une dessiccation sous la hotte chauffante ou en étuve. Cette dessiccation précède, en effet, la dispersion des argiles à l'aide d'une solution de chlorure de sodium à 7,5 g/litre. Pour cela, les carottes sont renversées dans de petits bacs en tôle de zinc. Lorsqu'elles sont sèches et refroidies, elles peuvent être réensachées à moins que le déterrage ne suive immédiatement.

243. Déterrage.

Cette opération est semi-automatique depuis la mise en oeuvre d'un appareil conçu spécialement dans le but d'en accroître le rendement et d'en diminuer le coût, objectifs qui ont été d'ailleurs pleinement atteints.

Le principe de cet appareil est le suivant : "séparation des particules minérales des échantillons à déterrer sur des toiles de tamis à bords relevés, et évacuation des boues de déterrage au travers des toiles, à la périphérie des échantillons, par actions conjuguées de jets d'eau de faible puissance et d'oscillations lentes des tamis".

Il est assez différent dans son principe des appareils de FRIBOURG, FEHRENBAKER et ALEXANDER, WILLIAM et BAKER, et CAHOON et MORTON dont les caractéristiques sont rappelées dans le tableau comparatif ci-après.

Il est constitué en réalité de quatre double-tamis rectangulaires à fonds cylindriques, d'environ 20 x 50 x 30 cm, disposés sur un cadre qui oscille sous des jets de lances d'arrosage autour d'un axe horizontal, parallèle aux axes des fonds de tamis (photos 19 et 20 de la planche photographique V).

Chaque double tamis comprend un tamis supérieur gréé d'une toile de 16 mesh venant s'emboîter dans un tamis inférieur gréé d'une toile de 14 mesh.

Les oscillations du cadre autour de son axe (12,5 oscillations par minute de 50 degrés d'amplitude), sont assurées par un système bielle-manivelle entraîné par un moteur électrique de 2 CV. La vitesse du moteur est réduite 120 fois par une réduction à chaînes.

TABLEAU IV - Principes de quelques appareils de déterrage.

1. Appareil de FRIBOURG, H.A. (1953) (11).

Séparation des particules minérales sur des toiles de tamis à plat et évacuation des boues de déterrage au travers et à la périphérie des échantillons par action de jets d'eau sous pression. Pré-traitement dispersant systématique et interventions manuelles lors du déterrage.

2. Appareil de FEHRENBACHER, J.B. et ALEXANDER, J.D. (1955) (10).

Séparation des particules minérales sur des toiles de tamis à plat, et évacuation des boues de déterrage sous les échantillons par secouage horizontal des tamis en immersion dans un bac rempli d'eau.

3. Appareil de WILLIAMS, T.E. et BAKER, H.K. (1957) (46).

Séparation des particules minérales par action de jets d'eau sous pression et évacuation des boues de déterrage à la périphérie des échantillons au travers de toiles de tamis verticales par centrifugation (rotation des tamis autour d'un axe vertical).

4. Appareil de CAHOON, G.A. et MORTON, E.S. (1961) (7).

Séparation des particules minérales et dispersion des échantillons par action de jets d'eau créant un mouvement circulaire ascensionnel. Evacuation centripète des racines et des boues de déterrage les plus fines et récupération des racines sur un tamis central.

Moteur et réducteur sont installés à 1,20 m au-dessus des tamis, pour éviter les projections de boues et d'eau.

Les lances d'arrosage sont fixées à des bras que l'on peut régler en hauteur et transversalement (par rapport à l'axe des oscillations) au-dessus des tamis grâce à un contre-poids et des écrous de serrage (photo 20).

Mise en oeuvre.

Les carottes de sondages sont déposées sur le fond des tamis supérieurs, moteur en marche. Puis les lances sont abaissées, mises en action et réglées.

Le passage des boues de déterrage au travers des deux toiles de tamis ne pose absolument aucun problème jusqu'à des volumes de terre de deux litres. Les seules interventions manuelles que l'on est obligé de faire consistent en des écrasements de petites mottes et en des reprises de réglage des lances.

Le rôle des tamis inférieurs est évidemment de récupérer les racines qui passeraient au travers de la toile des premiers.

Cette éventualité est rare, et l'éventualité du passage d'une racine au travers des deux tamis très rare (voir par. 121 de l'annexe II).

Lorsque le déterrage d'un échantillon de racines est terminé, la lance correspondante est fermée, puis relevée au maximum. Le tamis est alors dégagé du cadre et retourné au-dessus d'un entonnoir de regroupement des racines de larges dimensions, sous lequel se trouve un petit entonnoir de récupération.

Une lance permet de faire tomber les racines accrochées au tamis dans l'entonnoir de regroupement et de là, dans l'entonnoir de récupération.

Après avoir vérifié qu'aucune racine n'était passée sur le tamis inférieur, le tamis supérieur est remis en place et rechargé.

Les racines récupérées sur le petit entonnoir sont transférées dans un bûcher en plastique en attendant d'être nettoyées.

244. Nettoyage et étalement des racines.

Le "nettoyage" des racines est l'opération qui consiste à les séparer des impuretés recueillies avec elles sur les tamis, et l'"étalement" l'opération qui consiste à les étendre sans chevauchement sur des plaques de verre en immersion sous quelques millimètres d'eau pour en déterminer, par la suite, les surfaces diamétrales au planimètre photoélectrique.

Il s'agit de deux opérations distinctes, mais que l'on a avantage à coupler, chaque fois que l'on désire, évidemment, mesurer le paramètre surface diamétrale. L'expérience a montré, en effet, que l'on gagnait ainsi un temps appréciable et que l'on diminuait sensiblement, par ailleurs, les risques de pertes en petites racines.

Lorsqu'elles sont couplées, ces deux opérations se déroulent de la façon suivante (photographies 21 et 22 de la planche photographique V).

Les racines sont d'abord séparées de leurs impuretés, les plus lourdes par une série de transvasements alternatifs du bécber en plastique où elles ont été rassemblées à la fin du déterrage dans un bol en pyrex. A la fin de cette opération, elles sont recueillies dans un cristallisoir et recouvertes d'eau filtrée. Le bol en pyrex est rempli, lui aussi, d'eau filtrée de rinçage.

Puis, une plaque de verre propre est déposée sur un support centré au-dessus d'un réseau de rectangles concentriques dont les dimensions correspondent à celles des quatre plus petites platines du planimètre photoélectrique, et l'ensemble immergé sous quelques millimètres d'eau filtrée, dans un bac de très faible hauteur.

Les fragments de racines du cristallisoir sont alors prélevés, les uns après les autres, rincés dans l'eau du bol et étalés sur la plaque de verre. Le cadre central du réseau est garni le premier. L'étalement ne déborde à l'intérieur du cadre suivant, plus large, que lorsqu'il est impossible de rajouter un fragment supplémentaire dans le premier sans provoquer de chevauchement de racines. Et ainsi de suite. La masse de racines prélevées à l'aide des plus grosses sondes ne déborde qu'exceptionnellement du quatrième et dernier cadre. Lorsqu'il en est ainsi, une deuxième plaque de verre prend le relais de la première.

Lorsque toutes les racines de l'échantillon sont nettoyées et étalées, l'eau du bac est évacuée très délicatement à l'aide d'une trompe à eau et la plaque de verre mise à sécher vingt quatre heures à l'air ambiant sur un étaloir.

Un opérateur entraîné peut traiter ainsi de 20 à 30 échantillons par jour selon leur importance, la nature des racines, leur degré de propreté et de fragmentation.

245. Mesures des surfaces diamétrales et poids secs des échantillons de racines.

2451. Mesures des surfaces diamétrales.

La détermination des surfaces diamétrales des échantillons de racines s'effectue, comme il est dit plus haut, à l'aide d'un planimètre photoélectrique (photo 23 de la planche photographique V).

Le principe de cet appareil et son mode d'utilisation ont été décrits dans un article paru dans la Revue Fruits, en novembre 1964 (4).

Cependant, la méthode de détermination de sd qui y est relatée a légèrement évolué depuis.

En effet, elle consistait au départ à étaler à sec les racines fraîches et ressuyées entre deux feuilles de papier buvard et à déterminer directement leur surface diamétrale en mesurant le couple (I_v , I_c) et en appliquant la formule :

$$sd = \frac{I_v - I_c}{I_v} \cdot S$$

Mais elle présentait des risques de pertes en racines importants et l'inconvénient d'être relativement laborieuse. De plus, les chevauchements de racines étaient fréquents et parfois difficiles à éviter.

On s'est donc orienté vers la technique d'étalement décrite plus haut, qui permet une séparation presque parfaite des fragments

de racines les uns des autres. Mais on s'est heurté alors, à deux nouvelles difficultés :

- 1° - des dépôts organiques, minéraux, ou d'oxydes ferriques se forment à la surface des plaques de verre et apparaissent à la fin du séchage de 24 heures à l'air ambiant,
- 2° - il est impossible - économiquement - de trouver 200 plaques de verre ayant toutes la même transmittance (un petit nombre seulement de ces plaques était en service lorsque la première méthode d'étalement était utilisée et toutes avaient des propriétés optiques identiques).

Il ne s'agissait là, heureusement, que d'un simple problème de physique, qui fut résolu de la façon suivante, avec l'aide d'une seule hypothèse :

- 1° . On mesure, la surface s_1 équivalente à l'ensemble "racines + dépôts + différence de transmittance entre plaques de verre des platines de référence et de chargement",
- 2° . on décharge la plaque de verre de ses racines et on mesure la surface s_2 équivalente à l'ensemble "dépôts + différence de transmittance entre plaques de verre des platines de référence et de chargement".

La surface diamétrale des racines est alors donnée par la formule :

$$sd = (s_1 - s_2) \cdot \frac{S}{S - s_2} \quad (2)$$

où S est, comme dans la formule précédente, la surface exacte des platines utilisées.

La seule hypothèse que l'on doit faire pour que cette formule soit exacte est l'homogénéité optique des dépôts à la surface des plaques de verre. Cette hypothèse a d'ailleurs été vérifiée approximativement (Annexe II, paragraphe 1433).

Le facteur $\frac{S}{S - s_2}$ est appelé "facteur correctif" de la mesure (F.C.). Pour chaque série de platines, des tables en ont été dressées qui donnent sa valeur pour différentes valeurs de s_2 . La surface équivalente s_2 est d'ailleurs toujours faible devant S . Le facteur correctif dépasse très rarement la valeur 1,06 et il est en moyenne de 1,025.

La démonstration de la formule précédente est simple. Ses éléments de base en sont les suivants :

- S = surface des platines de référence et de chargement,
- I_v = flux lumineux au travers de la platine de référence,
- I_{co} = flux lumineux au travers de la platine de chargement vide et propre,
- $k = \frac{I_{co}}{I_v}$ = transmittance de la platine de chargement par rapport à la platine vide,
- I_{c1} = flux lumineux au travers de la platine de chargement chargée,
- I_{c2} = flux lumineux au travers de la platine de chargement déchargée et opaque.
- $T = \frac{I_{c2}}{I_{co}}$ = transmittance des dépôts,
- sd = surface diamétrale des racines.

Avec ces éléments et d'après ce qui précède (mesures de s_1 et s_2), nous pouvons poser :

$$s_1 = \frac{I_v - I_{c1}}{I_v} \cdot S = S (1 - k.T) + sd \cdot k.T$$

$$s_2 = \frac{I_v - I_{c2}}{I_v} \cdot S = S (1 - k.T)$$

d'où l'on tire

$$sd = (s_1 - s_2) \frac{S}{S - s_2}$$

Dans la pratique, un régulateur de tension alimentant maintenant les tubes fluorescents de l'appareil, trois mesures du couple (I_x, I_c) suffisent pour déterminer s_1 d'une part et s_2 d'autre part (12 lectures au total).

2452. Mesures des poids secs.

a. Problème relatif à la détermination du poids sec net des racines.

Malgré le soin apporté au déterrage et au nettoyage des racines, une certaine quantité de particules minérales du sol est retenue par ces dernières. Ces particules - sables fins et très fins, limons et argiles - sont incrustées dans les premiers rangs de cellules ou si fermement accolées aux surfaces radicellaires que l'action des agents dispersants tels que le pyrophosphate ou le métaphosphate de sodium est pratiquement sans effet.

Les pourcentages de "terre" ainsi fixée par rapport aux poids secs brut ou net des racines varient considérablement, non seulement d'une espèce à l'autre, ou d'un sol à l'autre, mais aussi d'un échantillon à l'autre d'une même variété cultivée sur un sol donné.

Le tableau VII de l'annexe II, établi à partir des résultats obtenus sur les 200 échantillons de racines d'ananas traités selon la méthode décrite plus loin, montre qu'il est indispensable de déterminer ce résidu pour chaque échantillon.

La méthode classique utilisée par divers auteurs et couramment à

l'Institut pour l'Etude de la Fertilité des Sols
à Groningen (Pays-Bas) (38)

et au

Grassland Research Institute à Hurley
(Bershire, Angleterre) (46)

consiste à calciner à 500°C chaque échantillon de racines préalablement séché et pesé (poids p_1), et à peser le résidu de calcination (poids p_2). Le poids sec net des racines est estimé par la différence $p_1 - p_2$.

Cette méthode présente l'avantage de la simplicité. Cependant, elle manque de précision lorsque le pourcentage de terre fixée par les racines est faible. Les résidus de calcination incluent, en effet, les sels minéraux non volatils appartenant au matériel végétal et qui peuvent représenter de 2 à 6 % du poids sec des racines selon la plante, sa nutrition minérale et son âge végétatif.

L'étude des rayons moyens et longueurs moyennes des échantillons de racines, impliquait donc la mise au point d'une nouvelle technique de détermination du p_2 .

b. Méthode mise au point par le Centre ORSTOM de BONDY.

La méthode mise au point par Madame DIDIER de SAINT-AMAND, Chef du Laboratoire de Chimie Végétale du Centre ORSTOM de BONDY, et son collaborateur M. P. TROUSLOT semble s'affranchir de cette critique. C'est une adaptation au cas particulier des racines de la "méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol" de G. MONNIER, L. TURC et Colette JEANSON-LUUSINANG (26).

Les racines préalablement séchées (6 heures à 105°) sont pesées (p_1) puis broyées le plus finement possible à l'aide d'un simple moulin à café. Le broyat est placé dans un tube de centrifugeuse de 50 cc en plastique. Le tube est alors presque entièrement rempli avec un mélange alcool/bromoforme de densité 2 et le broyat mis en suspension avec une baguette de verre.

On complète le remplissage du tube en rinçant la baguette puis on centrifuge pendant 2 minutes en appliquant une accélération de 1000 g au centre du tube.

L'arrêt de la centrifugation doit s'effectuer sans l'aide d'aucun dispositif de freinage dont l'usage risquerait de provoquer une remise en suspension du culot.

Le surnageant, constitué de la matière des racines, est extrait à l'aide d'une pince et le reste par aspiration du liquide jusqu'à 1 cm au-dessus du culot.

Le culot, qui représente l'ensemble des 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 (p_2).

La différence entre le poids sec brut des racines (p_1) et le poids sec du culot (p_2) représente le poids sec net des racines (p_3).

c. Remarques.

Cette méthode a été mise au point en utilisant les 20 premiers échantillons de racines d'Ananas de l'horizon (10-30 cm) de l'étude n° 4 (tableaux 11 à 20 de l'annexe séparée).

Aucune comparaison ne pouvait être effectuée sur ces échantillons avec la méthode dite de calcination.

Cependant, il faut signaler :

- 1° - qu'une deuxième centrifugation du surnageant ou du culot n'a jamais rien apporté de mesurable,
- 2° - que l'aspect des composants du culot est celui d'une fraction de sol dépourvu de matière organique brute (grains de sable lisses et brunâtres par exemple),
- 3° - que la méthode n'est plus utilisable lorsque les échantillons sont inférieurs à 25 mg. Plus précisément, il faudrait alors mettre en oeuvre de plus petits pots de centrifugation,
- 4° - cette méthode présente un autre avantage sur la méthode dite de calcination : celui de permettre éventuellement des analyses chimiques sur le surnageant.

25. Coût horaire des déterminations de sd et p.

Il faut compter entre 70 et 80 minutes, du sondage à la dernière pesée, pour une détermination complète de sd et p, sur un échantillon de racines.

Lorsque l'on peut se contenter d'une seule détermination, celle de sd ou celle de p, il faut encore compter entre 60 et 70 minutes du sondage à la dernière mesure.

3. RELEVEMENT DE PROFILS CULTURAUX.

La notion de profil cultural a été mise en évidence et développée par S. HENIN et ses collaborateurs (17).

Il s'agit de la description synthétique d'une situation en vue de l'établissement d'un diagnostic agronomique.

Description synthétique et diagnostic reposent sur des observations, des enquêtes et des analyses.

Les observations portent sur la plante et la zone du sol exploitée par les racines. Les enquêtes concernent l'historique cultural de la sole étudiée, les techniques culturales utilisées, les conditions climatiques subies, etc. Les analyses peuvent être aussi bien des analyses pédologiques que de la composition chimique de la plante.

Plus diverses, précises et nombreuses sont les données, meilleurs sont évidemment la synthèse et le diagnostic finals.

Dans ce sens, des études de profils radicellaires ou des mesures sur les enracinements sont des données du profil cultural au même titre que les autres. Mais réciproquement, ces dernières permettent d'interpréter les observations et les mesures effectuées sur le développement radicellaire.

Des relèvements de profils culturaux accompagnent donc systématiquement chaque étude de croissance et développement radicellaires, et des examens de coupes de sol précédent et suivent toujours le prélèvement d'une tranche de sol lorsque la méthode des profils radicellaires est mise en oeuvre.

CONCLUSION GENERALE.

Au terme de cet exposé, on se rend très bien compte du caractère complémentaire des deux méthodes d'étude adoptées.

La première permet d'effectuer des observations morphologiques très détaillées, mais seulement sur un petit nombre d'échantillons à cause des problèmes matériels que soulève sa mise en oeuvre et du temps nécessaire aux observations de profils radicellaires.

La seconde, au contraire, est une méthode beaucoup moins fine que la première, mais d'une mise en oeuvre beaucoup plus facile et qui permet ainsi :

- d'une part, de dominer plus aisément le problème de l'hétérogénéité du développement radicellaire,
- d'autre part, de comparer les influences de plusieurs traitements différents.

Cependant, on peut imaginer des études pour lesquelles les deux méthodes sont, quant à leurs principes, également utilisables. Un calcul de coût de revient décidera, dans chacun de ces cas, de la méthode à mettre en oeuvre. Ce calcul reposera, dans une large mesure, sur les résultats des études de modalités de mise en valeur de ces méthodes, problèmes que l'on va examiner maintenant dans la deuxième partie de ce document.

D e u x i è m e P a r t i e

MODALITES DE MISE EN OEUVRE SUR ANANAS
DES DEUX METHODES D'ETUDES MORPHOLOGIQUES ADOPTEES

L'établissement d'un plan de recherches concernant l'influence des facteurs pédoclimatiques et cultureux sur la croissance et le développement radicellaires de l'Ananas nécessitait des informations précises sur le volume et le nombre des échantillons à prélever et demandait par ailleurs que l'on résolve, préalablement, deux problèmes d'ordres théoriques relatifs à la mise en oeuvre de la méthode des sondages : la nature des distributions des paramètres utilisables et leur degré de dépendances mutuelles.

On s'est donc attaché, aussitôt après les réalisations et les mises au point matérielles, à l'étude des questions suivantes : à un moment donné, dans une situation donnée, et sur un axe ou dans un plan donné,

- quelle hauteur de prélèvement et quelle ouverture de sondage faut-il adopter ?
- combien faut-il de sondages dans chaque horizon de prélèvements ?
- combien faut-il de profils radicellaires pour décrire un enracinement ?
- de quelles natures sont les distributions des paramètres mesurés et calculés ?
- quelles liaisons existe-t-il entre paramètres mesurés et paramètres calculés ?

Chacune de ces questions recouvre, en fait, plusieurs problèmes. Ces problèmes vont être examinés dans l'exposé qui suit des quatre études effectuées pour les résoudre.

1. ETUDE N° 1 - HAUTEUR DE PRELEVEMENT ET OUVERTURE DE SONDAGE
A ADOPTER.

11. Position du problème.

Les premières enquêtes de terrain avaient montré :

- qu'il serait très difficile de mettre en évidence des gradients de développement horizontaux, à cause des densités de plantation,
- que le développement radicellaire superficiel était maximum sur les rangs,
- que la profondeur d'enracinement de l'Ananas n'excédait qu'exceptionnellement un mètre et ne dépassait pratiquement pas 50 cm.

Les premières mesures de poids sec avaient révélé, de leur côté, que les racines d'Ananas fixent une quantité importante de particules minérales. Dans le même temps, les premières mesures de surface diamétrale montraient que ce paramètre est tout aussi valable que le paramètre poids sec pour des études de croissance et de développement et qu'il n'était certainement pas entaché d'une erreur importante par la fixation des particules minérales à la périphérie des racines.

Enfin, deux sondes seulement étaient disponibles, de 55 et 89 mm d'ouvertures, avec lesquelles des prélèvements de H cm de hauteur étaient effectués à 0,6 cm près.

Dans ces conditions, faute encore de moyens suffisamment importants et d'une technique de détermination précise des quantités de terre fixées par les racines, il semblait judicieux de ne faire porter l'étude que sur le paramètre surface diamétrale et d'adopter une hauteur de prélèvement minimale de 10 cm (sur laquelle une erreur de 6 % était déjà commise).

Le problème se réduisait ainsi aux questions suivantes :

- 1° - Quelle est, du point de vue pratique, la sonde la plus intéressante pour les déterminations de surfaces diamétrales ?
- 2° - Observe-t-on, sur 10 cm de hauteur, des différences significatives entre sondages de 55 et 89 mm d'ouverture ?

12. Conduite de l'étude.

Afin de répondre plus facilement à la première question, la position de sondage retenue fut le milieu des intervalles de plantation sur les rangs, et l'étude fut conduite sur une parcelle expérimentale d'Ananas en fin de cycle végétatif (15 mois). Les sondages de 55 et 89 mm d'ouvertures furent imbriqués sur deux rangs parallèles (voir le schéma ci-après). Dix sondages furent effectués jusqu'à 70 cm de profondeur avec chacune des deux sondes. Trois d'entre eux durent être éliminés par suite des mauvaises conditions de prélèvements dans lesquelles ils s'étaient déroulés (sondages par temps de pluie).

13. Résultats et discussion.

Les résultats bruts de cette étude et leur analyse statistique figurent dans les tableaux I et II de l'annexe III.

Le volume des échantillons de racines recueillis avec la petite sonde s'avéra aussitôt insuffisant pour suivre le développement radicellaire au-delà de 50 cm. Plus exactement, il aurait fallu alors soit utiliser une platine de dimensions beaucoup plus petites que celles de la dernière platine disponible (de 10 x 8 cm), soit mettre en oeuvre un luxmètre plus puissant que celui dont on disposait.

La comparaison des variances par horizon, sur les cinq premiers horizons ou sur l'ensemble des sondages (variances rapportées à l'unité de surface d'ouverture des sondes) montra que les résultats obtenus n'étaient pas significativement influencés par le diamètre d'ouverture des sondes.

Deux questions se posaient, néanmoins, au sujet de cette étude :

- 1° - le nombre de sondages effectués était-il suffisant ?
- 2° - la mise en oeuvre d'une sonde d'ouverture supérieure à celle de 89 mm n'aurait-elle pas diminué les coefficients de variation des mesures ?

En ce qui concerne la première question, il aurait été évidemment préférable de prélever un plus grand nombre d'échantillons.

Mais cela était encore matériellement impossible. De toutes façons, a posteriori, les coefficients de variation des mesures étaient suffisamment élevés, et le rapport des masses totales de racines prélevées avec les deux sondes suffisamment proche de sa valeur théorique, pour qu'il fût permis de considérer que l'on ne commettait pas d'erreur grave en utilisant la grosse sonde plutôt que la petite.

Pour ce qui est de la seconde question, l'expérience montrait déjà que l'on n'aurait pas intérêt à comparer de sondes d'ouvertures plus grandes que celle de 89 mm. En effet, l'échelle de l'hétérogénéité du sol à l'égard du développement radicellaire de l'Ananas apparaissait considérable. Par ailleurs, la mise en oeuvre de sondes plus larges aurait posé de nouveaux problèmes techniques.

14. Conclusion.

Ces éléments d'informations et ces diverses considérations firent donc choisir la sonde de 89 mm d'ouverture pour les études suivantes.

2. ETUDE N° 2 - NOMBRE DE SONDAGES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE PRELEVEMENTS.

21. Position du problème.

L'expérience montre que l'hétérogénéité du développement radicellaire, caractérisée par le coefficient de variation des mesures, augmente presque toujours avec la profondeur, et plus généralement lorsque la masse de racines prélevées diminue (voir les résultats de l'étude n° I en annexe III). Or, une relation étroite existe entre le coefficient de variation des mesures et le nombre de prélèvements à effectuer pour mettre en évidence des différences significatives entre traitements. Cette relation est bien sûr fonction du seuil de signification auquel on s'attache, mais aussi de l'importance des différences entre moyennes, que l'on désire mettre en évidence. Elle est donnée par la formule :

$$N = t^2 \cdot \left(\frac{C.V.}{R} \right)^2$$

où N est le nombre de prélèvements à effectuer, t la valeur de l'écart réduit pour le seuil de signification adopté et le nombre de degrés de liberté du coefficient de variation (C.V.), etc, l'écart relatif théorique minimum choisi entre traitements.

Par conséquent, si l'on se fixe au départ le nombre de sondages que l'on effectuera sur chaque traitement d'un essai, les possibilités de mettre en évidence des différences significatives entre traitements diminueront avec la profondeur moyenne des prélèvements et les différences devront être d'autant plus marquées que le nombre de sondages est plus faible.

La détermination pour un stade de croissance donné de ce nombre N pour différents seuils de signification, différentes valeurs de l'écart relatif théorique, et différentes profondeurs, paraît simple à première vue. Il suffirait d'effectuer, par exemple, une trentaine de sondages sur un traitement donné puis de faire un calcul

de variance par horizon de prélèvements, et de déterminer enfin ces nombres N en appliquant la formule précédente.

En fait, une telle étude serait très fortement biaisée, car les coefficients de variation que l'on utiliserait dépendraient directement (et non pas inversement comme pourrait le laisser croire la formule) des moyennes correspondantes, c'est-à-dire qu'ils seraient influencés par le traitement sur lequel auraient été effectués les sondages.

Il faut donc conduire cette étude sur plusieurs traitements différents et utiliser les variances résiduelles.

22. Conduite de l'étude.

Dans le cas présent, cette étude fut conduite ainsi sur un essai comportant cinq traitements différents sans répétitions (voir le schéma d'implantation ci-après) : trois traitements de couverture de sol (sol nu, sol sous paillage, sol sous voile noir de polyéthylène) à la densité de plantation normale (25 x 40 x 90 cm), et deux autres traitements sur sol nu à des densités de plantation différentes (forte 25 x 30 x 90 cm, et faible 35 x 45 x 90 cm).

Cet essai avait été mis en place dans ce but le 5 février 1964 sur un terrain labouré à la daba et préparé à la main. Ce terrain n'avait porté antérieurement qu'une seule culture d'Ananas sur défriche et dessouchage à 40 - 50 cm de forêt classée.

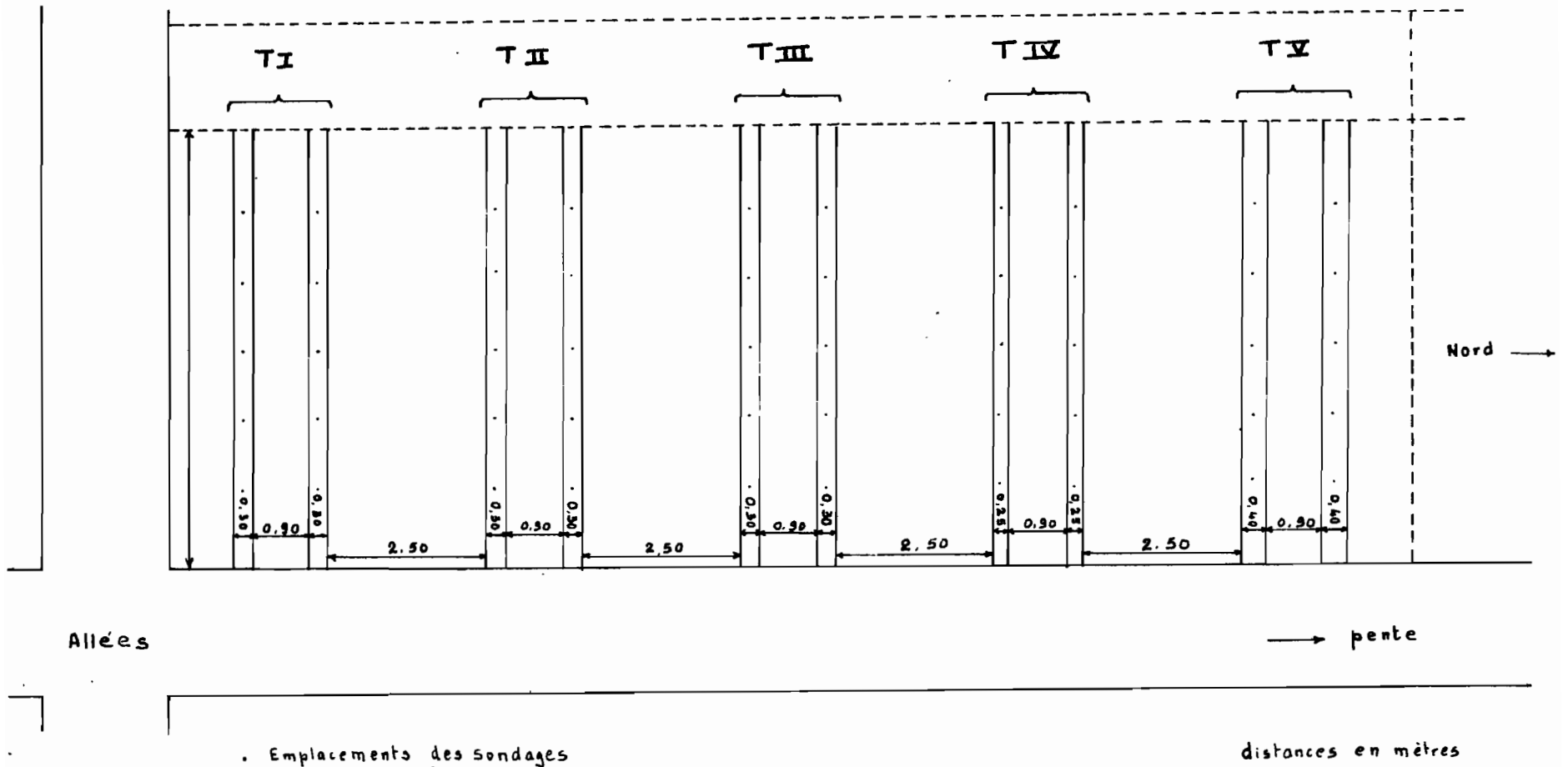
Les rejets utilisés étaient des slips de 350 g + 50 g parés et traités selon les normes I.F.A.C. Chaque plant avait reçu, un mois et trois mois après plantation, 2 g. d'azote et 4 g. de potassium sous forme de Sulfate d'Ammonium et de Chlorure de Potassium.

Les sondages furent effectués en fin de cycle les 29 et 30 juin et les 1^o et 2 juillet 1965. La position de sondage retenue fut le milieu des interrangs sur les lignes joignant les plants les plus proches.

L'ouverture et la profondeur de sondage furent respectivement de 89 mm et 70 cm. La hauteur de prélèvement était de 10 cm et le paramètre mesuré le paramètre surface diamétrale.

2 - Etude n°2 - Schéma d'implantation

des traitements



Deux examens de profils culturaux et deux prélèvements de profils radicellaires furent effectués en bout de lignes lorsque les sondages furent terminés afin de voir si l'on pourrait relier effectivement résultats des sondages et observations directes, indépendamment du but principal de l'étude.

23. Résultats bruts.

Les résultats bruts des sondages effectués ont été reportés en annexe (tableaux I à V de l'annexe IV).

24. Analyse statistique. Principe et résultats.

241. Principe.

Comme les conditions d'implantation de l'essai étaient assez particulières (aucune répétition des traitements) et la répartition des sondages systématique, un certain nombre de précautions durent être prises pour que l'analyse statistique des résultats soit correcte.

Soit x_{ijk} la valeur de la surface diamétrale d'un échantillon de racines prélevé à la sonde dans l'horizon i , sous le traitement j et à la position repérée k :

i est numéroté de 1 à 7 (7 horizons : $n_i = 7$)

j " " " 1 à 5 (5 traitements : $n_j = 5$)

k " " " 1 à 10 (10 positions sondées $n_k = 10$)

- 1° - Afin d'éliminer le caractère systématique présenté par les positions sondées, 6 valeurs sur 10, 9 ou 8 furent tirées au hasard à l'aide d'une table de nombres au hasard. Les analyses de variances effectuées ne portèrent que sur ces "6 unités d'échantillonnage" aléatoires numérotées à partir de ce moment-là de 1 à 6 ($n_k = 6$).

- 2° - Les valeurs de ces unités d'échantillonnage furent ensuite transformées afin de se rapprocher des conditions de normalité exigées pour une analyse de variance correcte. La transformation utilisée fut :

$$y_{ijk} = \text{Log}_{10} (x_{ijk} + 0,5 \text{ cm})^2 .$$

La constante ajoutée à chaque valeur x_{ijk} des unités d'échantillonnage avait simplement pour rôle d'éliminer les valeurs infinies qu'auraient pris les logarithmes pour les valeurs nulles de x_{ijk} .

- 3° - L'action du milieu et des traitements sur le développement radicellaire peut se représenter par un modèle linéaire comme le modèle suivant :

$$y_{ijk} = \mu_i + \theta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

où, μ_i représente le développement radicellaire moyen sous les conditions générales de l'essai dans l'horizon i ;

θ_{ij} représente, dans l'horizon i , la somme des influences relatives au traitement j , aux conditions particulières du milieu sous ce traitement, et aux interactions entre le traitement et le milieu. Chaque ensemble "bloc + traitement" constitue une "strate". θ_{ij} est donc la valeur de la strate j pour l'horizon i .

ϵ_{ijk} représente l'influence des facteurs aléatoires de développement que l'on n'aurait pu contrôler même si le traitement j avait été répété plusieurs fois.

- 4° - Dans ces conditions, si m_i et t_{ij} sont les estimations de μ_i et θ_{ij} déterminées par les méthodes de moindres carrés, on a les relations suivantes :

$$(1) \quad m_i = \frac{\sum_{jk} y_{ijk}}{n_j \times n_k}$$

$$(2) \quad t_{ij} = \frac{\sum_k (y_{ijk} - m_i)}{n_k}$$

$$(3) \sum_{jk} (y_{ijk} - m_i)^2 = \sum_{jk} (y_{ijk} - t_{ij})^2 + \sum_j n_k \cdot (t_{ij} - m_i)^2$$

avec les degrés de libertés correspondants

$$(4) (n_j \times n_k) - 1 = n_j \times (n_k - 1) + n_j - 1$$

- 5° - La quantité $\sum_{jk} (y_{ijk} - m_i)^2$ est la variation totale du milieu,
la quantité $\sum_{jk} (y_{ijk} - t_{ij})^2$ la variation intra-strate,
la quantité $\sum_j n_k (t_{ij} - m_i)^2$ la variation inter-strate.
- 6° - La comparaison par un test F de la variance inter-strate à la variance intra-strate permet de discerner si, globalement, l'influence des ensembles "blocs + traitements" sur le développement radicellaire est significative ou non.
- 7° - Les valeurs des variances intra-strates permettent de calculer pour chaque horizon le coefficient de variation relatif au paramètre mesuré et transformé, et à partir de là, de déterminer le nombre de sondages minimum.
- 8° - L'application d'un test de BARTLETT à l'ensemble des variances des traitements à l'intérieur de chaque horizon (variances que l'on peut déterminer très rapidement à partir des résultats intermédiaires des calculs effectués pour la détermination des variances inter et intra-strates) permet de s'assurer de la validité du nombre minimum de sondages calculé (il faut conclure, pour cela, à l'homogénéité des variances).
- 9° - L'application du test de BARTLETT sur l'ensemble de variances inter-strates ou intra-strates complète enfin l'étude du nombre minimum de sondages à effectuer (si l'on conclut à l'hétérogénéité des variances on se basera obligatoirement sur le plus grand nombre de sondages trouvé pour les différentes profondeurs).

242. Résultats de l'analyse statistique.

L'analyse statistique des résultats bruts fut conduite selon le schéma directeur qui vient d'être exposé et ses conclusions sont regroupées dans les tableaux VI, VII et VIII de l'annexe IV.

Le tableau VI montre que les strates (c'est-à-dire vraisemblablement les traitements) exercent une influence prépondérante sur le développement radicellaire essentiellement dans la couche labourée (0 - 30 cm). Il montre également que les traitements se départageraient vraisemblablement le mieux dans l'horizon (10 - 20 cm). Par ailleurs, on retrouve ici encore le fait que l'hétérogénéité augmente lorsque la masse de racines prélevées diminue.

Le tableau VII confirme ces indications, par le fait que le nombre de sondages à effectuer pour mettre en évidence des différences significatives augmente très vite au-delà de 30 cm.

Le tableau VIII justifie les analyses et les calculs effectués (homogénéité des variances intra-strates dans chaque horizon et hétérogénéité des variances inter et intra-strates sur l'ensemble des horizons).

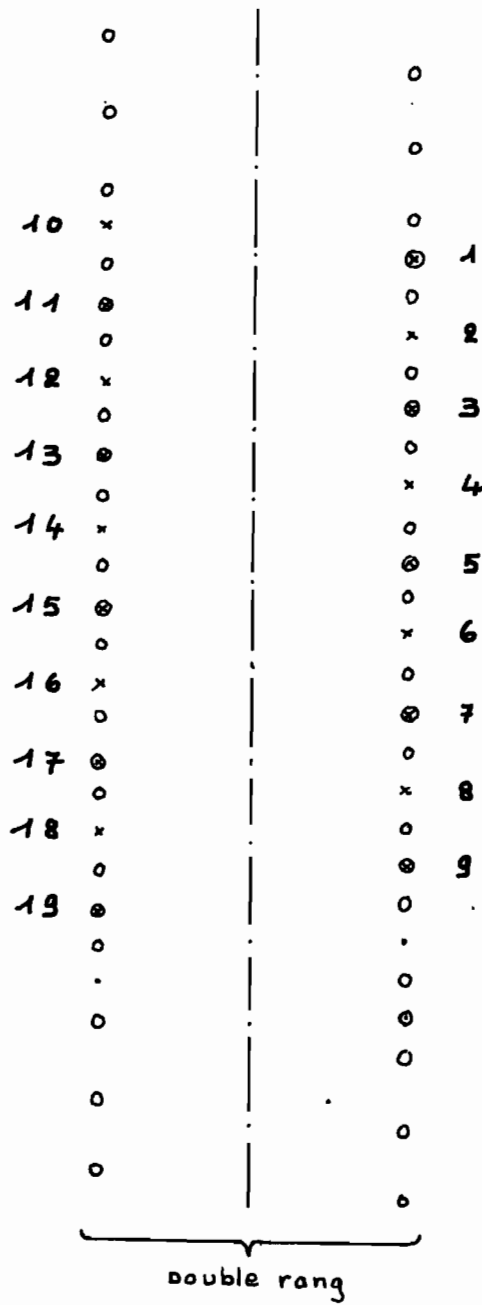
Les nombres de sondages trouvés ne sont évidemment que des ordres de grandeur. Comme ils sont relatifs à un stade végétatif final (fructification) caractérisé par un développement radicellaire maximum, il faudrait plutôt les majorer pour des études conduites à un stade végétatif moins avancé.

25. Discussion.

Supposons que l'on soit en mesure d'effectuer une cinquantaine de sondages par traitement.

Le tableau VII montre que, dans des conditions expérimentales analogues à celles de l'essai précédent, on ne pourra vraisemblablement pas considérer comme significatives, au seuil 0,05, des différences entre traitements inférieures à 10 % dans l'horizon (20-30 cm) de profondeur, ou inférieures à 20 % dans l'horizon (30-40 cm) de profondeur.

1 - Etude n° 1 - Emplacements des sondages

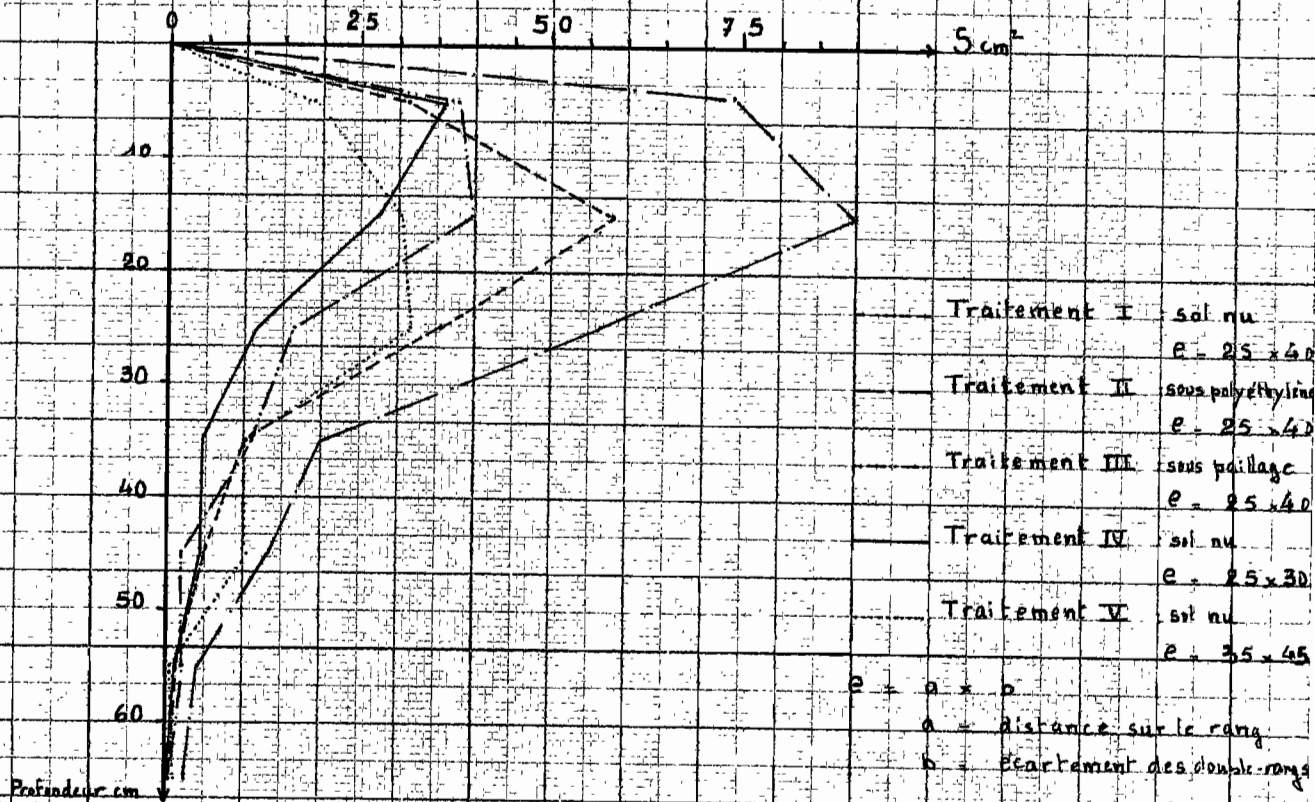


- o Plants d'Ananas
- ⊙ Sondages de ϕ 55 m/m
- x Sondages de ϕ 89 m/m
- ⊙ Sondage de ϕ 55 m/m éliminé
- . Sondages de ϕ 89 m/m éliminés

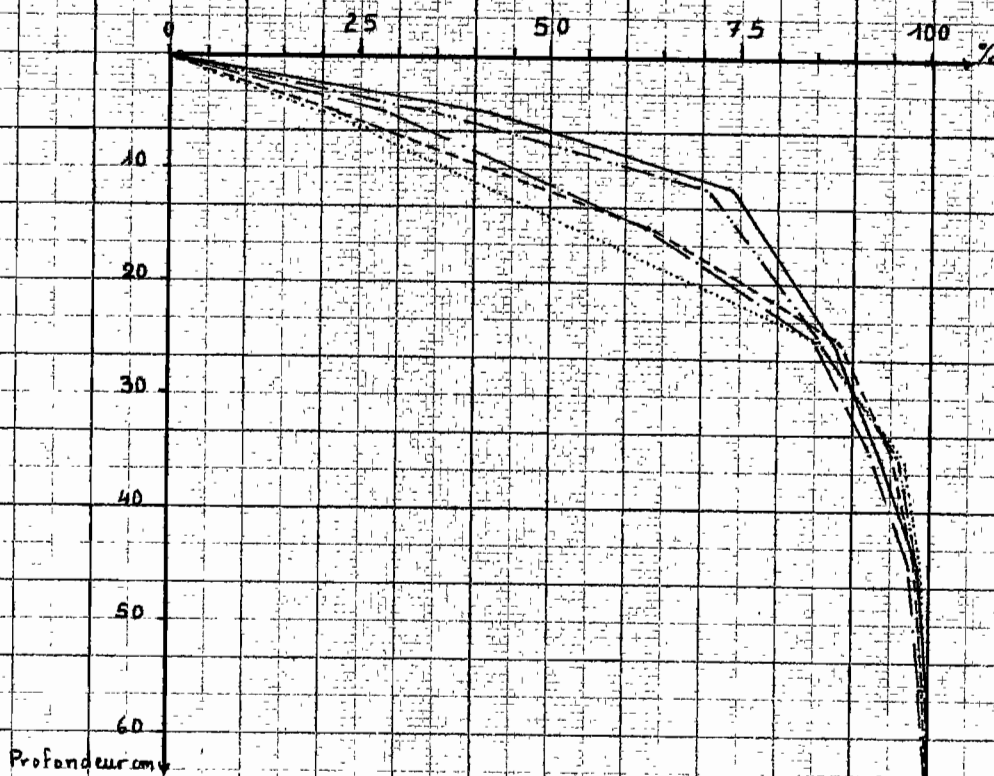
3 - Etude n°2 Enracinement de l'ananas

Développement radicellaire vertical

A - Développement moyen



B - Développement relatif cumulé



Comme de telles différences relatives sont très importantes et comme une cinquantaine de sondages par traitement représente, par ailleurs, un volume de travail considérable, on peut se demander pour quelles raisons on ne peut espérer différencier l'influence de traitements culturels superficiels au-delà de 30-40 cm, bien qu'une quantité non négligeable de racines soit présente dans les horizons situés en-dessous de la zone de dessouchage.

Cette question conduit, tout naturellement, à examiner les gradients de développement verticaux - moyens et relatifs - des cinq traitements précédents, et les profils radicellaires et culturels correspondants, malgré toutes les réserves qu'appellent le dispositif expérimental de l'essai (non répétition des traitements, absence de bordures, ... etc) et les conditions dans lesquelles est menée cette étude.

251. Examen des gradients de développement verticaux.

Ces gradients sont représentés par les graphiques III-A et III-B ci-contre, établis à partir des valeurs réelles moyennes ou des valeurs relatives cumulées qui figurent dans les tableaux I à V de l'annexe IV (colonnes 13 et 15).

2511. Examen des gradients de développement verticaux moyens (graphique III-A).

Le graphique III-A montre d'abord que voile de polyéthylène et paillage amènent dans les dix premiers centimètres un développement radicellaire plus important que la culture sur sol nu, mais que, sur l'ensemble du profil, le paillage a vraisemblablement un effet dépressif. D'ailleurs, la moyenne générale par échantillon est de 15,50 cm² sous paillage, 20,25 cm² sous sol nu, 37,10 cm² sous voile de polyéthylène.

Il montre ensuite que, toujours dans les dix premiers centimètres, la masse de racines présentes augmente avec la densité de plantation. Ce fait pourrait traduire, entre autres choses, l'influence d'un gradient de développement horizontal. Cependant, sur l'ensemble du profil, on constate que la densité moyenne de plantation amène un développement général beaucoup plus important que les deux

autres : 12,25 cm² par échantillon pour la densité élevée; 13,45 cm² pour la plus faible; 20,25 cm² pour la densité moyenne. Ces derniers résultats laissent supposer par conséquent que le degré d'exploitation des conditions pédoclimatiques joue un rôle plus important que celui d'un éventuel gradient de développement horizontal, et traduiraient une compétition importante sur la densité élevée et une sous-exploitation du sol sur la densité la plus faible. Présentés de cette façon, ils sembleraient d'ailleurs conformes à un résultat expérimental analogue de l'I.F.A.C. : la densité moyenne de plantation est "adaptée" aux conditions pédoclimatiques normales de la station.

Le graphique III-A permet enfin deux autres remarques très intéressantes :

- 1° - C'est dans l'horizon (10-20 cm) que l'on observe le plus grand écart entre les moyennes des traitements, alors qu'il s'agit de l'horizon le plus homogène du point de vue du développement radicellaire,
- 2° - un certain parallélisme existe entre les développements superficiels et de profondeur : plus un traitement favorise le développement superficiel des racines, plus il est en mesure de favoriser également le développement en profondeur (traitement II).

2512. Examen des gradients de développement verticaux relatifs (Graphique III-B).

L'étude des gradients de développement relatifs complète celle des gradients moyens.

Le graphique III-B montre ainsi que, sur 70 cm de profondeur, 84 à 89 % des racines se trouvent dans la couche labourée, et 92 à 97 % dans l'ensemble des couches labourée et remaniée par le dessouchage récent (3 ans).

Il confirme ensuite le caractère de plus en plus superficiel de l'enracinement sur la position sondée lorsque l'on passe d'une culture sur sol nu à une culture sous voile de polyéthylène, puis à une culture sous paillage, ou lorsque la densité de plantation augmente.

Mais il met surtout remarquablement bien en relief le rôle de limite-tampon de l'influence des traitements de surface sur le développement radicellaire de l'Ananas que joue le fond du labour. Les gradients de développement relatifs convergent tous, en effet, au niveau de l'horizon (20-30) cm, et non pas directement sur la profondeur maximale de l'étude.

252. Examen des profils radicellaires.

Les profils radicellaires prélevés ne firent l'objet d'aucune observation systématique sur les racines en raison de leur insuffisance numérique. Néanmoins, leurs images sont globalement en rapport avec les résultats précédents. On peut observer ainsi, au niveau des positions sondées (planche photographique VI) le développement radicellaire très abondant du traitement sous polyéthylène (photos 26 et 27) moins important et plus profond sous sol nu à la même densité de plantation (photos 28 et 29) beaucoup plus léger et profond sous sol nu à faible densité de plantation (photos 30 et 31) et très superficiel sous sol nu à forte densité de plantation (photos 32 et 33).

On peut se rendre compte également, d'après ces images, que les racines se développent surtout dans les 30 premiers centimètres, c'est-à-dire dans la couche labourée, puis plus ou moins dans la zone de dessouchage, et très peu au-delà de 40 cm.

253. Examen des profils culturaux.

Les examens de profils culturaux confirmèrent en partie ces observations (planche photographique VII). La couche labourée se distinguait assez nettement par sa couleur (marron clair), sa texture (sablo-argileuse à grains de quartz blancs fréquents), et sa structure polyédrique moyenne des horizons sous-jacents, de couleur marron plus foncé, à teneur en argile croissant avec la profondeur et à structure polyédrique plus développée (voir les résultats des analyses pédologiques sur le tableau IX de l'annexe IV).

La présence jusqu'à 50-60 cm de nombreux petits morceaux de charbon de bois attestait avec des restes de souches encore assez solides (photo 34) la jeunesse culturale du terrain.

La couche labourée semblait pratiquement la seule exploitée par les racines (photo 35). Cependant, en-dessous du fond de labour, la moindre cavité comme la plus large (photo 36), de même que les galeries animales et les restes corticaux de vieilles racines pourries étaient toujours emplis de racines d'Ananas. Une activité biologique intense régnait d'ailleurs sur l'ensemble du profil jusqu'à 60 cm environ.

Seuls les horizons sous paillage et polyéthylène (photos 37 et 38) se distinguaient nettement des autres du point de vue du développement radicellaire.

De nombreuses racines émergeaient du sol dans le traitement sous paillage et venaient se mêler à la paille en décomposition (photo 38). Mais il aurait été quand même très difficile de leur donner une cote par rapport aux autres traitements

Ces différents examens font tous ressortir le rôle prépondérant de la couche labourée dans le développement radicellaire de l'Ananas. Ce fait était déjà apparu lors des investigations préliminaires mentionnées dans l'Introduction, mais il se confirme ici.

En effet, comme d'une part la composition texturale du sol de l'essai en fonction de la profondeur varie très peu (on observe simplement un léger accroissement de la teneur en argile), et comme d'autre part on constate que les zones de pénétrations sont pratiquement les seules exploitées dans les horizons situés en-dessous du fond de labour, on peut considérer que le facteur de développement le plus important est le travail du sol avant plantation qui augmente sa pénétrabilité par les racines. Ainsi, le fond du labour ne se comporterait pas à l'égard de ces dernières comme une véritable barrière de développement. Il matérialiserait simplement une limite entre une zone favorable et une zone moins favorable (le reste de la couche remaniée lors du dessouchage constituant lui-même une zone plus accessible aux

racines que les horizons inférieurs à 40 cm).

Il n'est donc pas impossible que des traitements culturaux superficiels aient une influence sur le développement en profondeur, mais cette influence serait masquée par l'hétérogénéité du développement radicellaire calquée elle-même sur celle de milieu.

Il semble finalement qu'il ne faille point chercher ailleurs les raisons des difficultés de mise en évidence d'influence de traitements superficiels soulignées plus haut.

26. Conclusion.

Le but principal de cette étude était, rappelons-le, de déterminer le nombre de sondages indispensables à des études comparatives du développement radicellaire à différents niveaux. Ce but peut être considéré comme atteint.

Mais le résultat auquel on est parvenu est de beaucoup plus nuancé qu'on ne le supposait au départ, et aussi très éloigné de ce que l'on estimait comme indispensable (une vingtaine de sondages), ce qui est une façon d'illustrer la complexité de l'étude de la croissance et du développement radicellaires en plein champ.

Malgré ces difficultés matérielles et théoriques, la méthode des sondages semble cependant très intéressante puisqu'elle permet de chiffrer des observations.

3. ETUDE N° 3 - NOMBRE DE PROFILS RADICELLAIRES NECESSAIRES A LA CARACTERISATION D'UN ENRACINEMENT.

31. But de l'étude.

Le but de cette étude était de se rendre compte de la variabilité du développement radicellaire dans le plan passant par les rejets d'Ananas les plus proches des double-rangs.

32. Conduite de l'étude.

Pour cela, trois fosses furent ouvertes le 15 juillet 1965 à 10 mètres les unes des autres (au sommet d'un triangle équilatéral) dans un champ de production homogène voisin de l'essai précédent. Deux profils radicellaires furent prélevés successivement dans chaque fosse à 50 cm l'un de l'autre.

Chaque prélèvement était suivi d'un examen de profil cultural.

Les rejets pesaient lors de leur plantation, le 12 février 1965, 300 g + 50 g. Ils avaient été traités selon les normes I.F.A.C. et avaient reçu déjà 4 g d'azote et 8 g de potassium en deux épandages, un mois et trois mois après leur plantation.

Le terrain avait porté antérieurement deux autres cultures d'Ananas.

Il avait été préparé de façon classique (passage d'un gyrobroyeur sur les restes de la culture précédente, labours croisés à 25 - 30 cm, et passages croisés d'un pulvérisateur à disques avant plantation).

Les planches à clous utilisées étaient celles de la première série (120 x 60 cm).

33. Résultats.

Les profils radicellaires obtenus ne firent l'objet d'aucune étude morphologique systématique à l'échelle des racines, à cause de

l'hétérogénéité extraordinaire qui se révéla après leur déterrage (photos 39 à 44 de la planche photographique VIII).

Néanmoins, un certain nombre de faits saillants semblent se dégager de l'observation générale de ces profils :

- un géotropisme positif pour les racines de la base des rejets,
- un géotropisme nul pour les racines ayant émergé des gaines foliaires enterrées plus tard,
- une relation entre morphologie des rejets et directions de développement des racines : les racines émises vers le bas continueraient à se développer dans cette direction, celles émises vers le haut infléchiraient leur trajectoire pour devenir horizontales,
- un développement dans les chemins plus profonds que sur les inter-rangs,
- un développement général très superficiel.

Ces observations confirment et précisent celles qui furent effectuées directement sur le terrain. Ces dernières montraient en effet que l'on était en pleine poussée radicellaire, et que celle-ci s'effectuait préférentiellement en surface dans les dix premiers centimètres. Une racine de 88 cm de long qui ne s'enfonçait pas à plus de 7 cm de la surface put être dégagée au couteau; se dirigeant vers l'intérieur du double rang, elle dépassait le milieu du chemin suivant.

On pouvait noter également l'apparition de véritables plaques de racines se développant dans les deux premiers centimètres des interrangs (photo 45 de la planche photographique IX) . Ces racines étaient fréquemment mises à jour par une érosion localisée manifeste. Un examen attentif du sol à ce niveau indiquait des phénomènes de battance par les pluies. Une couche de sable grossier de 5 mm d'épaisseur apparaissait d'abord, suivie d'une couche marron clair de 2 cm de structure polyédrique fine, mais présentant parfois l'aspect d'une structure lamellaire ou d'une structure en mie de pain très fine. Cette couche était suivie de la couche normale de

labour sablo-argileuse de 25 à 30 cm de profondeur, marron clair, à structure fortement polyédrique, beaucoup plus compacte que les deux premières et un peu moins que la suivante de laquelle elle se distinguait d'ailleurs difficilement.

Le profil était très humide puisque l'on était encore en pleine saison des pluies cette année-là.

Très souvent, et dans tout le profil, de véritables gangues terreuses entouraient les racines. Ces manchons de sable et d'argiles commençaient à 1 ou 2 cm des apex en croissance, et s'arrêtaient souvent 15 ou 20 cm plus loin pour laisser apparaître alors des racines fortement subérisées et pauvres en poils absorbants (photos 45 et 46).

Ces diverses observations montrent l'intérêt de l'association "profils radicellaires - profils culturaux" et permettent de se demander par ailleurs si des mesures relatives à certaines propriétés physiques du sol ne devraient pas être faites directement sur les profils prélevés et mises en corrélation avec les observations morphologiques que l'on ferait en ces mêmes points sur les racines après leur déterrage. Il s'agirait là de véritables études de laboratoire, probablement très délicates à conduire mais certainement très intéressantes.

34. Conclusion.

La conclusion que l'on peut finalement tirer de cette étude est que la mise en oeuvre de la méthode des planches à clous ne peut fournir de résultats valables que si on l'applique à la description d'enracinements dans des conditions de sols et de cultures très précises et en petit nombre. Il serait, par exemple, intéressant de l'utiliser pour comparer l'enracinement de rejets droits et recourbés plantés en saison des pluies et en saison sèche, et sur deux types de sols différents.

De toutes façons, le prélèvement à un moment donné d'une série de 6 profils par "traitement" ne sera jamais superflu.

4. ETUDE N° 4 - DISTRIBUTIONS ET CORRELATIONS DE QUELQUES PARAMETRES DU DEVELOPPEMENT RADICELLAIRE.

41. Position du problème.

Les raisons suivantes rendaient nécessaire l'étude des distributions des paramètres mesurés et calculés sur ananas.

- 1° - La mise en évidence de l'augmentation des coefficients de variation des surfaces diamétrales lorsque la masse des racines prélevées diminuait. Ce phénomène pouvait être aussi en rapport avec une anomalie des distributions.
- 2° - Une étude antérieure sur *Arachis hypogea*. Cette étude avait montré que les paramètres poids sec et surface diamétrale des racines de cette plante étaient distribués approximativement selon une loi log-normale (3).
- 3° - Une étude analogue conduite par D. PICARD (34) sur *Panicum maximum* qui avait montré, de même, que ces paramètres étaient distribués selon une loi log-normale du genre.
 $y = \text{variable normalisée} = \log (x \text{ variable réelle} + k)$
où la constante k à ajouter à la variable était du même ordre de grandeur que la moyenne des valeurs étudiées.
- 4° - On ignorait tout de la nature des distributions des paramètres mesurés ($p + c$) (poids brut) et c (quantité de terre fixée par les racines), et de celles des distributions des paramètres calculés,

$$\frac{p}{sd} \text{ (rayon moyen), } \frac{(sd)^2}{p} \text{ (longueur moyenne),}$$
$$\frac{(sd)^3}{p^2} \text{ (élongation), } \frac{c}{p + c} \text{ et } \frac{c}{p} \text{ (pourcentages brut}$$

et net de terre fixée par les racines) et $\frac{c}{sd}$
(taux de terre fixée par unité de surface radicellaire)

Or, une normalité des variables étudiées est nécessaire en général à l'analyse statistique des données.

Une étude de distributions fut donc entreprise. Cette étude ne porta que sur deux horizons de prélèvements successifs car 200 valeurs environ sont nécessaires à l'analyse d'une distribution, ce qui représente un travail considérable.

Par ailleurs, un autre problème très important se posait au sujet des paramètres calculés : celui de leur degré de dépendance à l'égard des paramètres mesurés et indépendants p , c , sd , problème qui conditionne leur utilisation. Comme de telles études de corrélation sont d'autant plus intéressantes qu'elles portent sur un plus grand nombre de valeurs, il semblait tout indiqué de les relier aux études de distributions. Il s'agit néanmoins de deux études distinctes.

42. Prélèvements.

210 sondages, répartis sur des portions de 11 mètres de long environ de cinq double-rangs consécutifs, furent effectués dans un champ de production à l'intérieur d'une aire de développement apparemment homogène. La position de sondage retenue fut le milieu des inter-rangs, les horizons sondés, les horizons (0-10) cm et (10-30) cm et la sonde utilisée, celle de 89 mm d'ouverture. Les prélèvements durèrent du 7 au 9/10/65.

Le champ avait été planté les 9 et 11/6/1965 avec des slips de 400 g \pm 50 g, à la densité normale de plantation : 25 x 40 x 90 cm.

La préparation du terrain avait été celle des rotations Ananas sur Ananas : gyrobroyeur, labours croisés à 25-30 cm, passages croisés de pulvérisateur à disques, fumure de fond de 125 kg de potassium/ha. 2 g d'azote et 4 g de potassium par plant avaient été appliqués un mois après la plantation en fumure d'entretien sous forme de Sulfate d'Ammoniaque et de Chlorure de Potassium.

Le poids moyen des feuilles D était au moment des prélèvements de 26,7 g.

43. Traitements et mesures.

Déterrage et mesures de surface diamétrale et de poids sec brut suivirent immédiatement les sondages.

Un certain nombre d'erreurs de manipulation, ne permirent de récupérer que 203 et 201 valeurs pour les mesures de surface sur les 2 horizons consécutifs, et 200 et 201 valeurs pour les mesures de poids sec brut.

Pour plus d'homogénéité dans les calculs, les valeurs de sd correspondantes furent éliminées.

La détermination des quantités de terre fixées par les racines amena, à son tour, des éliminations. Il apparut en effet, lors de cette opération, qu'une certaine quantité de sable fin s'était séparée de quelques échantillons lors du séchage, destinés à la détermination des poids secs bruts. Les échantillons présentant manifestement un rapport $\frac{c}{p}$ trop élevé (supérieur à 1,10) furent éliminés. D'autre part, deux échantillons s'avérèrent trop faibles pour que cette détermination puisse être faite et furent également éliminés.

Finalement, les études de distribution relatives à l'horizon (0-10) cm et aux paramètres p , c , $\frac{p}{sd}$, $\frac{(sd)^2}{p}$, $\frac{(sd)^3}{p^2}$, $\frac{c}{p+c}$, $\frac{c}{p}$, $\frac{c}{sd}$, ne portèrent que sur 194 échantillons, celle relative au paramètre sd sur 200 et 194 échantillons.

Seule, la distribution du paramètre sd fut étudiée dans l'horizon (10-30) cm sur 201 valeurs.

Les études de corrélations portèrent sur les ensembles de 194 valeurs.

44. Analyses de distributions.

Dix classes furent retenues pour chaque analyse de distribution. Ce nombre est compris entre les valeurs fournies par les deux formules donnant approximativement le nombre de classes n à prendre en fonction d'un effectif N

$$\left(n = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{10} - \log_{10} N \right) \text{ et } n' = 10 \cdot \log_{10} \frac{N}{10} \right)$$

Les intervalles de classes choisis furent légèrement supérieurs au dixième des étendues.

Moyennes, variances, écarts-types, coefficients de variation, et coefficients b_1 et b_2 de K. PEARSON furent déterminés approximativement à partir des mises en classes des distributions.

Les résultats de ces calculs figurent dans les tableaux I à V de l'annexe V.

441. Distributions des valeurs naturelles.

Comme il fallait s'y attendre, les distributions des valeurs naturelles de ces paramètres ne sont pas normales. Presque toutes sont très dissymétriques (moyennes supérieures aux modes) exceptées les distributions de $rm = \frac{p}{sd}$ et de $\frac{c}{p}$ ($b_1 < 0,125$).

L'une d'elles est aplatie (distribution de $lm = \frac{sd^2}{p} : b_2 < 2,50$).

Cinq autres présentent, au contraire, des fréquences modales significativement supérieures à celles de lois normales

($b_2 > 3,55$: distributions de c , $\frac{p}{sd}$, $\frac{(sd)^3}{p^2}$, $\frac{c}{sd}$, et sd (10-30))

Ces informations étaient corroborées par l'examen des graphiques de HENRY.

442. Recherche d'une normalisation approximative par transformation logarithmique.

Comme les distributions des valeurs naturelles présentaient toutes une dominante inférieure à la moyenne, les recherches de normalisation furent orientées aussitôt vers des transformations logarithmiques, étant donné les résultats des études antérieures mentionnées

plus haut.

Ces recherches furent conduites graphiquement sur papier Gausso-logarithmique à 3 modules.

Un test de KOLMOGOROV-SMIRNOV (23) fut appliqué aux distributions des points les mieux alignés.

Ce test est en effet un test de comparaison rapide d'une distribution observée à une distribution théorique.

Il consiste à déterminer le plus grand écart existant entre les fréquences relatives cumulées des distributions observée et théorique, et à comparer cet écart maximum à un écart maximum théorique au-delà duquel, pour le seuil de signification adopté, il faut rejeter l'ajustement de la distribution observée à la distribution théorique.

Les écarts théoriques maxima, e , sont donnés par la formule générale

$$e = \frac{D}{\sqrt{N}}$$

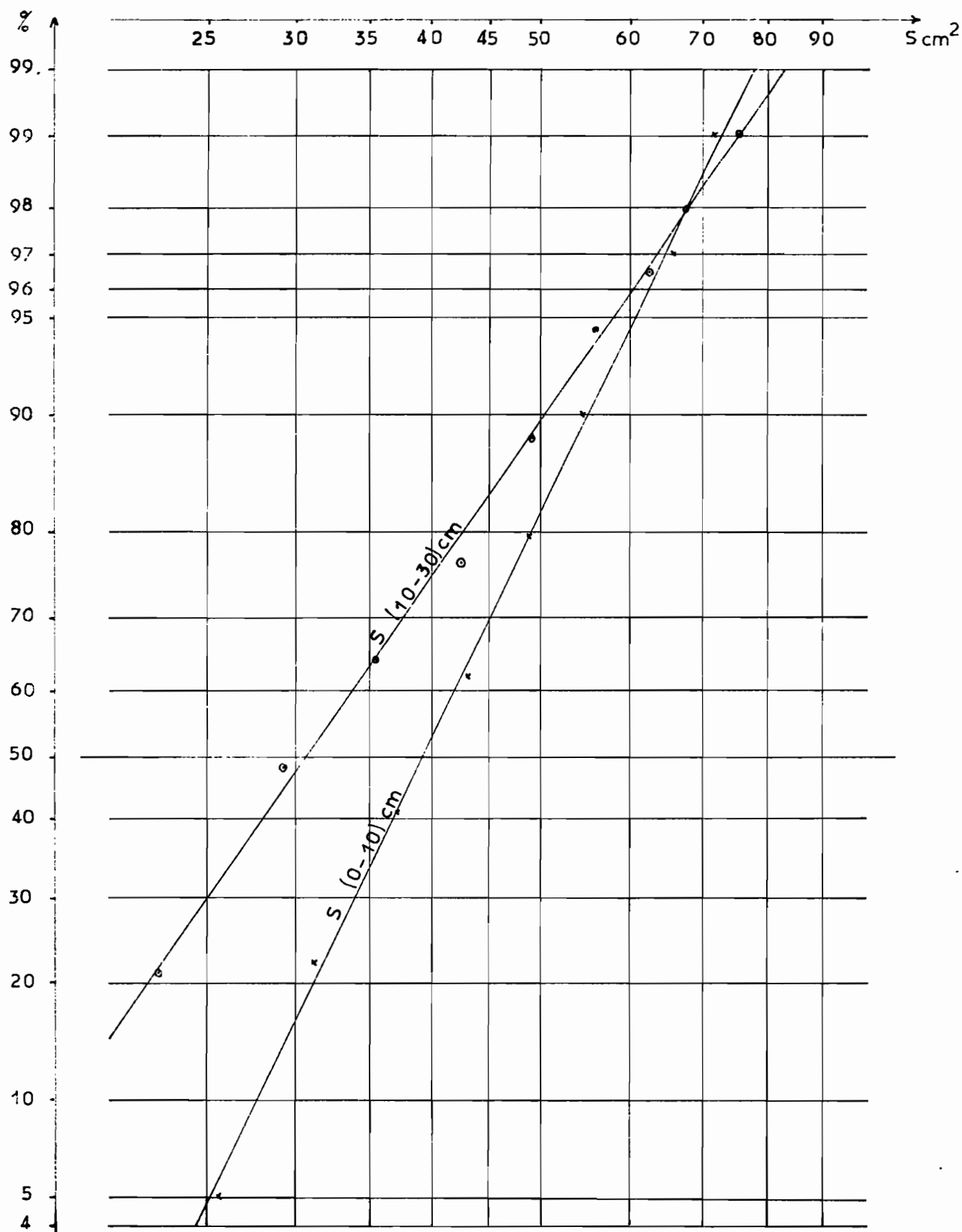
où N est l'effectif de la distribution observée.

Pour 200 données, le tableau ci-dessous donne les valeurs de ces écarts théoriques maximum pour différents seuils de signification.

Seuil de signification	0,20	0,15	0,10	0,05
Valeur de D pour $N \geq 35$	1,07	1,14	1,22	1,36
Valeur de l'écart théorique maximum pour $N = 200$ en %	7,57	8,06	8,63	9,62

Dans le cas présent, les distributions théoriques comparées aux distributions observées étaient celles correspondant aux droites passant au plus près des points les mieux alignés des graphiques gausso-logarithmiques.

4 - Distributions gauusso-logarithmiques de S_d



Les écarts maxima trouvés ne dépassèrent jamais la valeur 8,06. On ne peut donc rejeter l'hypothèse de distributions log-normales pour les paramètres étudiés.

443. Vérification des ajustements à des lois log-normales.

Mais on ne peut pour autant avoir la certitude du principe d'une normalisation par transformation logarithmique. On a donc analysé, en retour, les distributions des paramètres p , c , sd et $\frac{p}{sd}$ transformés.

Comme on peut le constater (tableaux IV et V de l'annexe V), les coefficients b_1 de K. PEARSON de ces distributions ne sont pas significativement différents de 0. Par contre, les coefficients b_2 des paramètres p et $\frac{p}{sd}$ sont respectivement très légèrement inférieur et très légèrement supérieur aux limites minimale et maximale de b_2 , tandis que ceux des distributions de c et sd ne sont pas significativement différents de ceux de distributions normales.

Cependant, comme l'examen des graphiques de HENRY relatifs à ces distributions ne permet pas de conclure, par un test de KOLMOGOROV-SMIRNOV, à un écart significatif de la loi log-normale, on peut considérer finalement, du point de vue pratique, que les paramètres transformés p , c , sd , $\frac{p}{sd}$ sont distribués normalement.

444. Discussion et remarques.

- 1° - La recherche des constantes à ajouter aux valeurs réelles des paramètres étudiés semble aboutir à cette constatation intéressante du point de vue pratique qu'elles sont très proches des moyennes des valeurs correspondantes. Ce fait se vérifie assez bien en ce qui concerne le paramètre sd dans les horizons (0-10) cm et (10-30) cm (Graphique 4).

Cependant, comme il ne s'agit en réalité que d'une "impression", des analyses de distributions s'imposeront pour chaque étude particulière, jusqu'à ce que l'on ait vérifié cette constatation ou dégagé des règles plus précises de normalisation.

- 2° - Un autre point assez curieux mérite d'être relevé : l'aspect en "dents de scie" des diagrammes de développement radicellaire dans les deux horizons de prélèvements sur le paramètre sd (graphique n° 5).
Peut-être faut-il voir là l'influence des travaux du sol sur le développement radicellaire (passage des ~~vues~~^{vues} des tracteurs ?).
- 3° - Il faut noter également le développement encore très superficiel des racines (moyennes respectives des surfaces diamétrales dans les horizons (0-10) et (10-30) cm : 20,5 cm² et 16,5 cm².
Cela est vraisemblablement en rapport avec l'époque de plantation des rejets (saison des pluies).
- 4° - Enfin, on retrouve ici encore, sur tous les paramètres, l'hétérogénéité considérable du développement radicellaire.

45. Etudes de corrélations.

Ces études portèrent seulement sur les cinq corrélations suivantes :

$$(p, sd) ; (sd, \frac{p}{sd}) ; (c, sd) ; (\frac{c}{sd}, \frac{p}{sd}) ; (\frac{(sd)^3}{p^2}, \frac{p}{sd}).$$

451. Résultats.

Les tableaux VI à XI de l'annexe V regroupent les résultats de ces études et les rapprochements effectués entre valeurs ajustées et valeurs observées. Ils montrent :

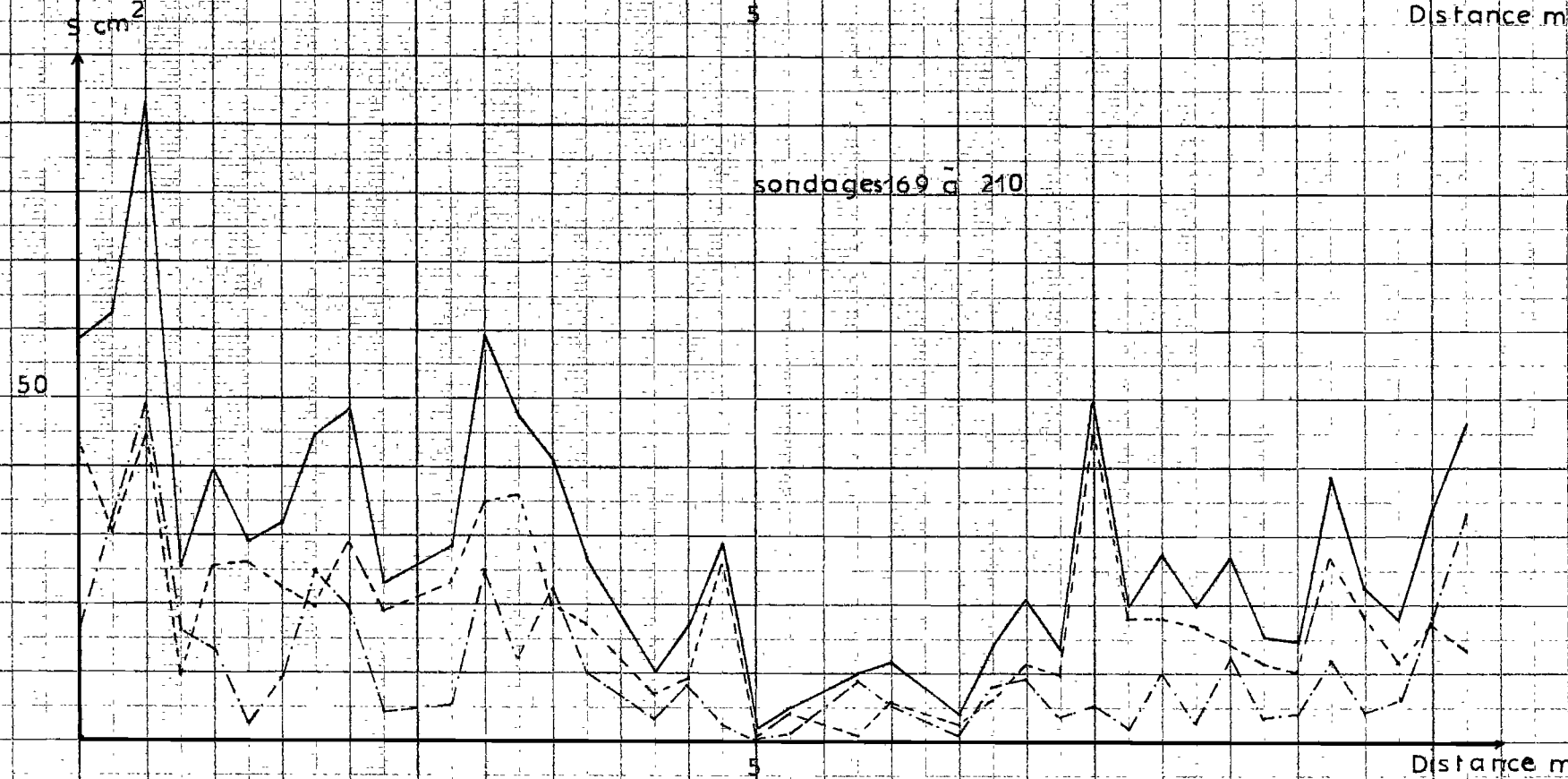
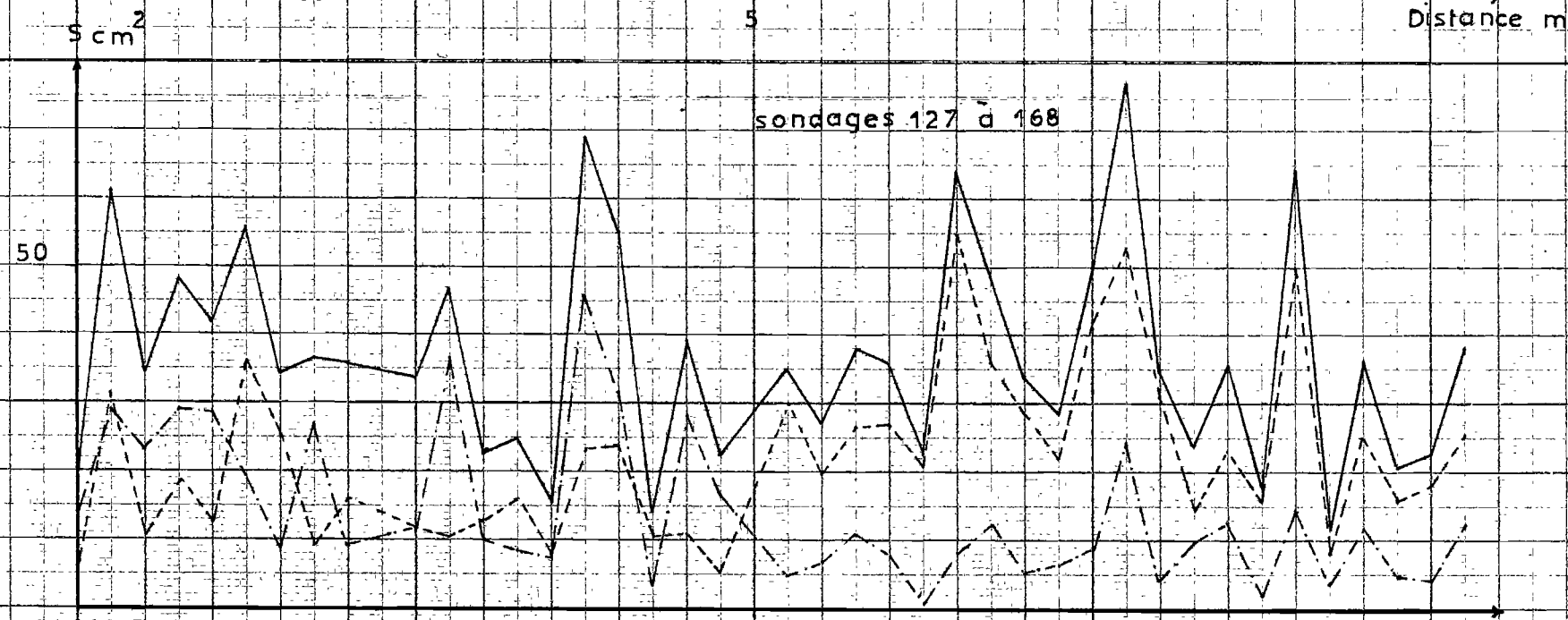
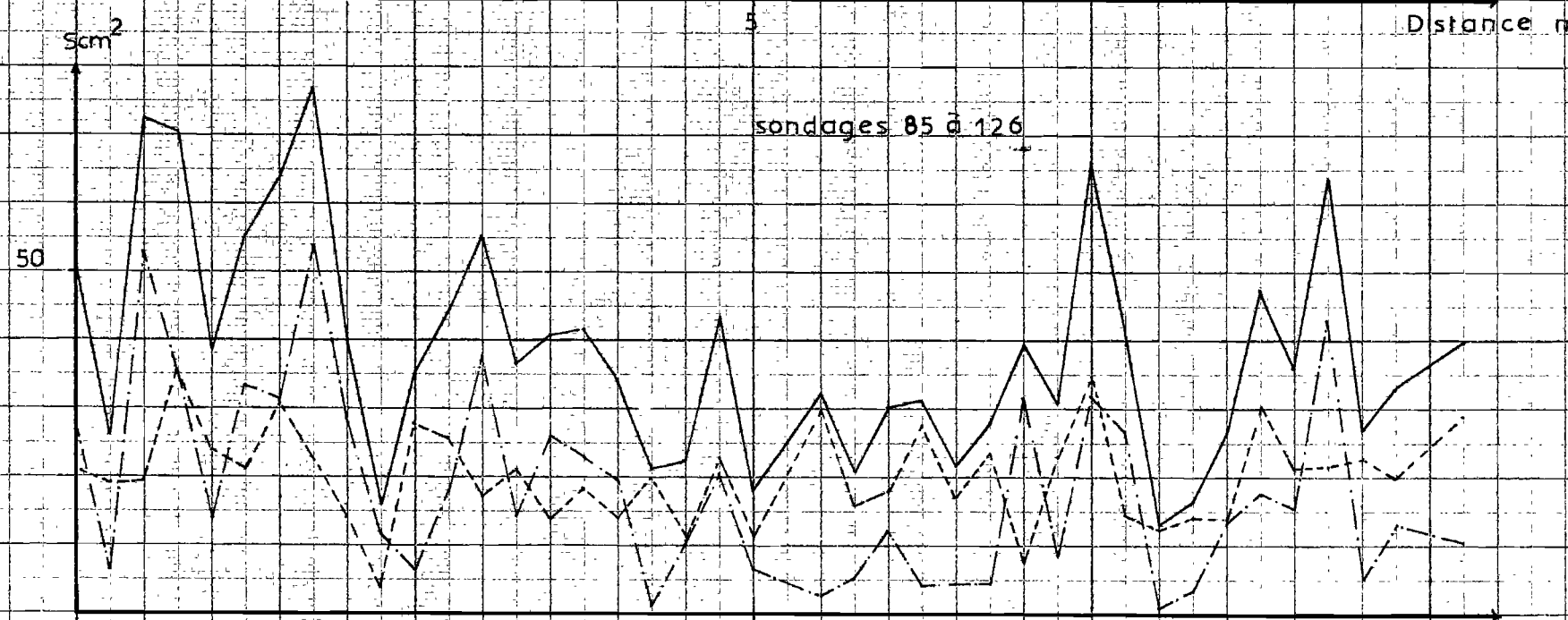
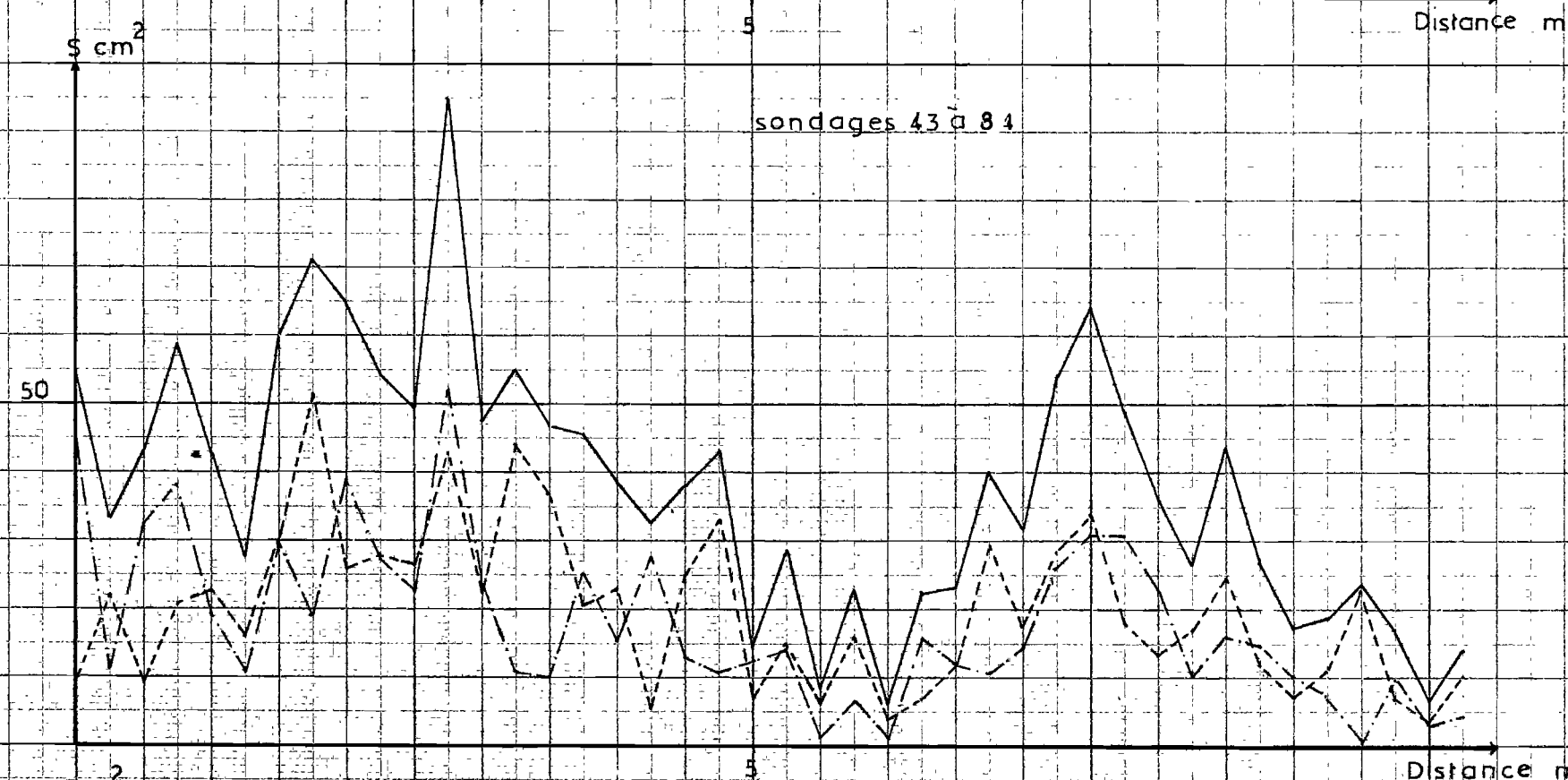
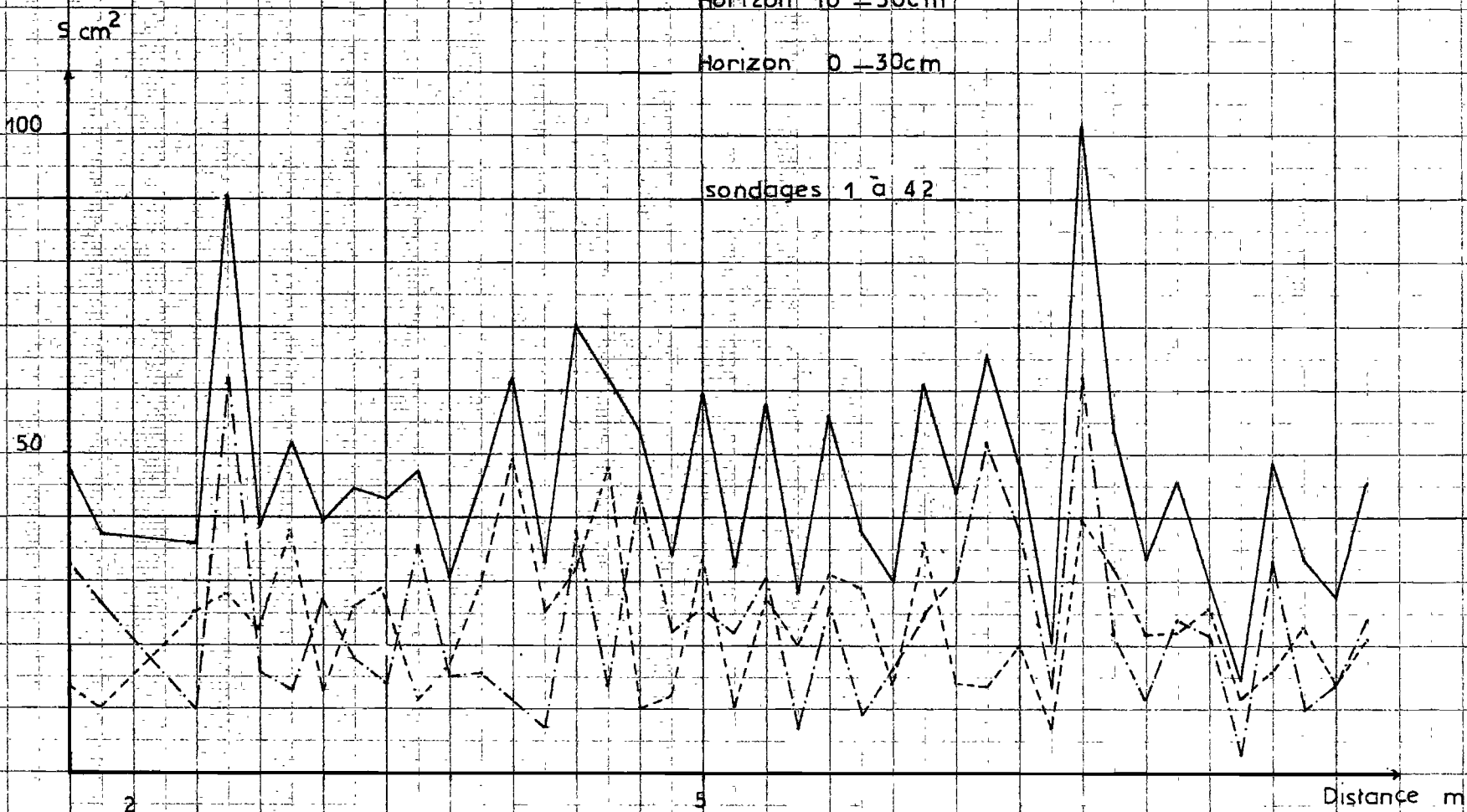
- une liaison très étroite ($r = 0,93$) et linéaire entre les paramètres normalisés p et sd (tableau VI et graphique 6),
- une liaison étroite ($r = 0,66$) et linéaire entre les paramètres normalisés c et sd (tableau VII et graphique 7),
- que les valeurs réelles observées de p , et de $\frac{p}{sd}$ surtout, sont très sensiblement inférieures aux valeurs sd ajustées correspondantes pour les petites valeurs de sd (tableau VIII),
- que les valeurs réelles observées de c , et de $\frac{c}{sd}$ surtout, sont nettement inférieures aux valeurs ajustées sd correspondantes pour les petites valeurs de sd (tableau IX),

5 - Etude n°4 - Variabilité horizontale de l'enracinement

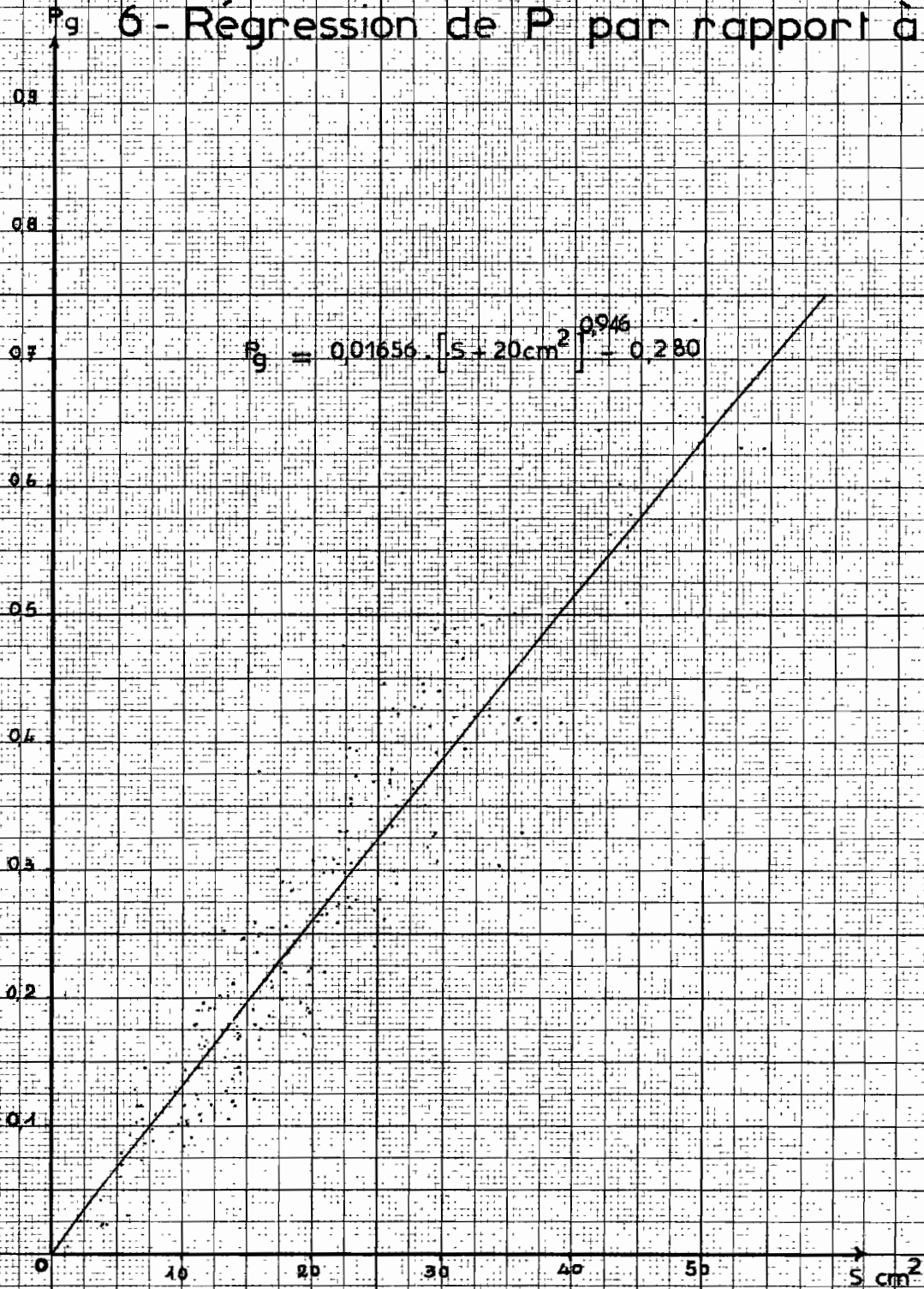
Horizon 0 - 10cm

Horizon 10 - 30cm

Horizon 0 - 30cm



6 - Régression de P par rapport à S



C_g 7 - Régression de C par rapport à S

0,9

0,8

0,7

0,6

0,5

0,4

0,3

0,2

0,1

0

10

20

30

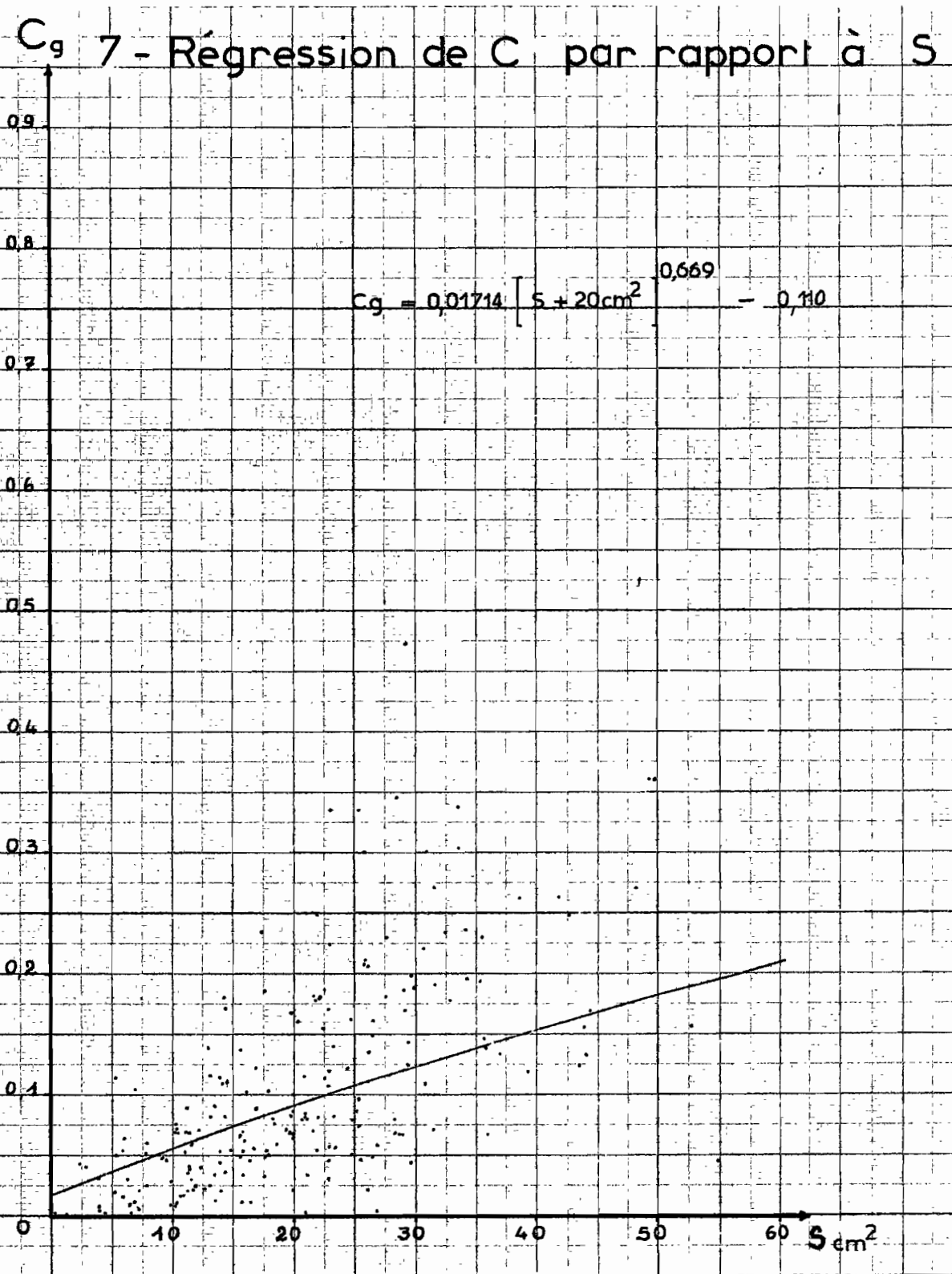
40

50

60

$S \text{ cm}^2$

$$C_g = 0,01714 \left[S + 20 \text{cm}^2 \right]^{0,669} - 0,110$$



8 - Corrélation entre $\text{Log}_{10} [S + 2000]$ et $\text{Log}_{10} \left[\frac{P}{S} + 13 \right]$

$$x = 10^3 \log \left[\frac{P}{S} + 13 \right]$$

$$y = 10^3 \log [S + 2000]$$

$$10^3 \log [S + 2000]$$

$$r_{yx}^2 = 0,1542 \dots \text{ [pour 184 et 9 d.l.]}$$

1800

1700

1600

1500

1400

1300

1100

1200

1300

1400

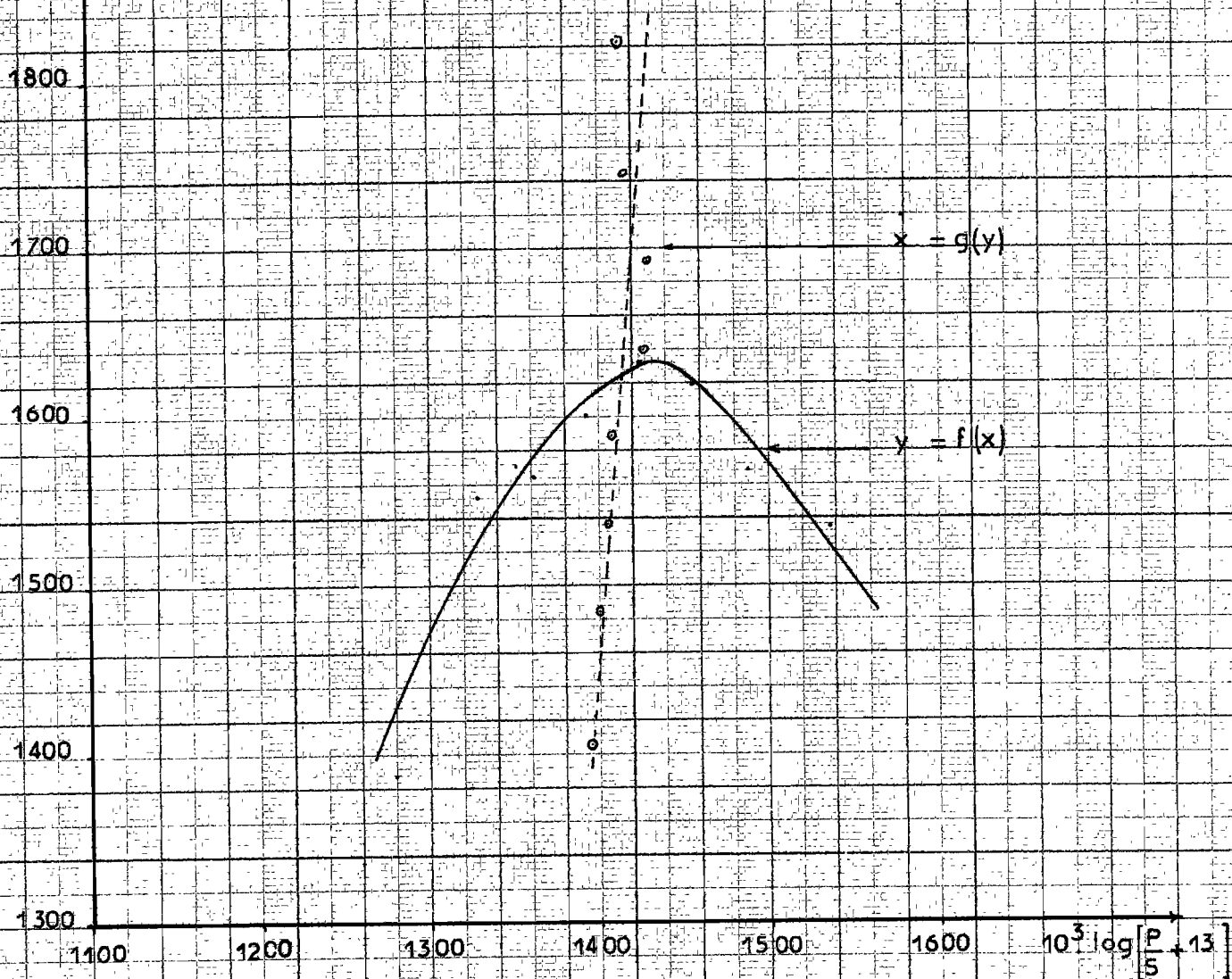
1500

1600

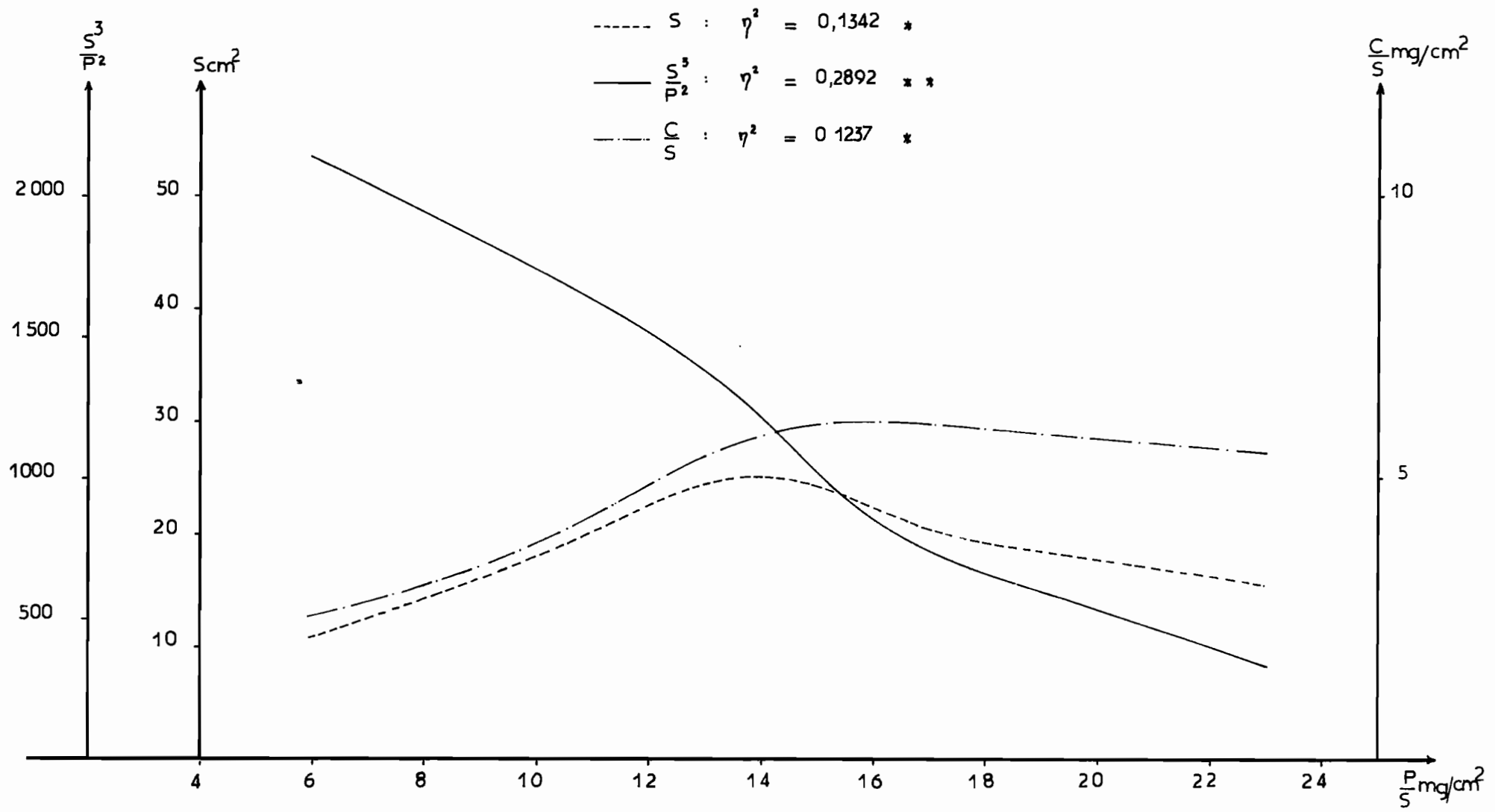
$10^3 \log \left[\frac{P}{S} + 13 \right]$

$x = g(y)$

$y = f(x)$



9 - Corrélations entre $\frac{P}{S}$ et S , $\frac{S^3}{P^2}$ et $\frac{C}{S}$



- qu'une liaison "parabolique", à concavité tournée vers le bas, existe manifestement entre les paramètres normalisés $\frac{p}{sd}$ et sd (tableau X et graphique 8).

On vérifie en effet que les variances de $\frac{p}{sd}$ classé sur sd sont hétérogènes et que celles de sd classé sur $\frac{p}{sd}$ sont homogènes,

- que des liaisons existent certainement entre les valeurs réelles des paramètres $\frac{p}{(sd)^2}$ d'une part, et $\frac{c}{sd}$ d'autre part (tableau XI et graphique 9).*

452. Discussions.

1° - La mise en évidence d'une liaison étroite et linéaire entre les paramètres p et sd confirme des résultats analogues obtenus antérieurement sur *Ananas*, et par D. PICARD sur *Panicum maximum*. Elle justifie, de nouveau, le bien-fondé de l'équivalence de ces paramètres pour des études de développement radicellaire simples.

2° - Mais le fait de trouver une liaison "parabolique" entre $\frac{p}{sd}$ et sd montre qu'il ne faut pas attacher à la liaison linéaire précédente d'autre intérêt que celui qui vient d'être mentionné, et que le paramètre "rayon moyen" jouit d'une certaine indépendance à l'égard du paramètre sd (ou du paramètre p).

Cette liaison "parabolique" entre rayon moyen et surface diamétrale a d'ailleurs un sens très précis. Elle rend compte du fait que l'on peut distinguer schématiquement dans un horizon donné 3 milieux différents quant à leurs actions sur le développement radicellaire : des zones compactes et défavorables qui ne peuvent être exploitées que par des racines de deuxième ou troisième ordre à quotient $\frac{p}{sd}$ très faible : des zones favorables mais qui en sont

* Les paramètres $s, \frac{(sd)^2}{p}$ et $\frac{c}{p}$ n'ont fait l'objet d'aucune étude de liaisons particulière.

à leur tout premier stade de colonisation par les racines et dans lesquelles on trouve essentiellement des racines de premier ordre à quotient $\frac{p}{sd}$ élevé, enfin des zones déjà colonisées et plus ou moins favorables exploitées par des racines de premier ordre plus ou moins ramifiées à quotient $\frac{p}{sd}$ moyen.

Il résulte de ces considérations que le paramètre rm , malgré sa dépendance statistique du paramètre sd ou du paramètre p , devrait permettre, associé à l'un de ces deux paramètres, plus de finesse dans l'interprétation de l'influence de facteurs pédoclimatiques et cultureux sur le développement radicellaire.

3° - Les autres paramètres calculés, $lm = \frac{(sd)^2}{p}$
 et $em = \frac{(sd)^3}{p^2}$

présentent moins d'intérêt dans la mesure où ils feraient double emploi avec le paramètre rm , à l'intérieur du couple (rm, sd) ou du couple (rm, p) . Cependant, il n'est pas impossible que l'on puisse avec leur aide séparer plus facilement l'influence de traitements différents sur la morphologie d'un enracinement. Ils ont donc, à ce point de vue, un intérêt que l'on ne saurait négliger.

4° - Comme la liaison (rm, sd) , la liaison $(\frac{c}{sd}, \frac{p}{sd})^*$

est elle aussi statistiquement biaisée puisque ses deux paramètres dépendent l'un et l'autre du paramètre sd . Cependant, comme pour la liaison (rm, sd) , on obtient par son intermédiaire la confirmation chiffrée d'observations directes : les très fines racines (rm faible) fixent moins de terre que les plus grosses (rm élevé), mais les plus jeunes (rm le plus élevé) fixent un peu moins de terre que les plus âgées (rm moyen)

* c'est-à-dire $(\frac{c}{sd}, rm)$.

46. Conclusions.

Cette étude montre donc qu'il est indispensable de concevoir les protocoles de recherches descriptives ou expérimentales en fonction du problème de la nature des distributions des paramètres utilisés.

Elle établit aussi, définitivement, l'équivalence des paramètres p et sd pour des recherches simples sur la croissance et le développement radicellaires.

Elle montre enfin que le rapprochement de ces deux paramètres permettra de faire de la méthode des sondages une véritable méthode d'étude morphologique quantitative.

CONCLUSION GÉNÉRALE.

Les observations effectuées en marge des études 2, 3 et 4 ont mis en relief l'influence vraisemblable sur le développement radicellaire des facteurs

- taille et forme des rejets,
- hétérogénéité des façons culturales avant plantation,
- activité biologique du sol,
- restes enfouis des cultures antérieures.

Les conséquences pratiques de ^(es) remarques pour la conduite d'études expérimentales sont très importantes.

Si l'on désire, en effet, mettre en évidence plus facilement l'influence de traitements différents sur le développement radicellaire, il faudra minimiser les sources de variations et pour cela :

- 1° - contrôler rigoureusement l'homogénéité du matériel végétal, ce qui aura pour conséquence un dédoublement éventuel des essais sur la forme des rejets,
- 2° - mesurer certaines caractéristiques physiques du sol en rapports étroits avec les facteurs d'hétérogénéité radicellaire mentionnés plus haut, sur les échantillons prélevés eux-mêmes.
- 3° - effectuer des analyses de co-variances entre les valeurs de ces caractéristiques et celles des paramètres du développement radicellaire mesurés.

Cependant, malgré ces précautions, il faut s'attendre à ce que l'hétérogénéité radicellaire apparaisse encore considérable, étant donné la multiplicité des autres facteurs non contrôlés qui agissent sur la croissance et le développement des racines.

Les résultats des études méthodologiques qui viennent d'être rapportées conservent donc toute leur valeur et l'on peut considérer que l'on est maintenant en possession de tous les éléments de base indispensables à l'établissement de protocoles de recherches.

C o n c l u s i o n

Au terme de l'analyse méthodologique qui vient d'être présentée, il semble que tous les éléments nécessaires à l'élaboration d'un programme de recherches concernant l'influence des facteurs pédoclimatiques et cultureux sur la croissance et le développement radicellaires de l'Ananas soient réunis.

On dispose en effet :

- de méthodes et de techniques particulières, classiques ou nouvelles, éprouvées ;
- d'indications précises sur le temps nécessaire à leur mise en oeuvre ;
- des informations statistiques indispensables à l'établissement des protocoles de recherches.

Ces éléments correspondent aux buts que l'on s'était fixés au départ. Ils appellent néanmoins quelques commentaires ou remarques supplémentaires.

1°- La méthode des sondages, telle qu'elle est mise en oeuvre à Adiopodoumé, apparaît maintenant comme le véritable prolongement de la méthode des profils radicellaires. Elle permet en effet de caractériser réellement de façon quantitative la morphologie d'un échantillon de racines par la mesure du couple - poids sec - surface diamétrale - et par l'étude des variations du couple - surface diamétrale - rayon moyen.

2°- Les moyens engagés, qui pouvaient sembler au départ disproportionnés avec les buts visés, apparaissent au contraire à présent insuffisants. Considérons, en effet, un essai factoriel 2^3 dont le but serait l'étude expérimentale de l'influence de certains traitements sur le développement radicellaire de l'Ananas. Supposons que cette étude soit conduite par la méthode des sondages de la façon suivante :

- 50 sondages par traitement (répartis sur l'ensemble des répétitions) ;
- 1 seule position de sondage ;
- 3 époques de prélèvement ;
- 6 horizons de prélèvement.

Sur la base de 80 minutes par échantillon pour l'ensemble "prélèvement + traitements + mesures", on voit qu'il faudra pour ces seules opérations

$$50 \times 2^2 \times 3 \times 6 \times 80 = 288\ 000 \text{ minutes,}$$

soit 4 800 heures, ou 24 mois de travail pour une seule personne.

Si l'on doit, en plus, répéter cet essai sur différentes stations et sur plusieurs époques de plantation - pour étudier l'influence des facteurs pédoclimatiques - on voit aussitôt l'importance des moyens matériels et en personnel qu'il faudra mettre en oeuvre, non seulement pour les études concernant le développement radicellaire, mais aussi pour toutes les études connexes.

Car le volume des mesures et des observations sur les parties aériennes, celui des analyses pédologiques physiques et chimiques, celui enfin du calcul statistique seront considérables eux aussi.

En ce qui concerne, d'ailleurs, l'analyse statistique des résultats, on peut dès à présent considérer qu'il faudra utiliser pour elle des plans d'expérience programmés, afin de pouvoir la conduire par ordinateur : on recueillera en effet, rien que sur les études de développement radicellaire, 3 600 données par paramètre, pour une seule station.

3°- Les résultats des études relatives aux problèmes de l'ouverture des sondes et du nombre de sondages nécessaires à l'étude du système radicellaire de l'Ananas, peuvent être repris tels quels pour l'établissement de protocoles de recherches semblables sur d'autres systèmes radicellaires. En effet, la sensibilité des racines d'Ananas aux propriétés mécaniques et physiques du sol semblent beaucoup plus grande que celle des racines des autres plantes (graminées en particulier), ce qui doit se traduire, toutes choses égales

par ailleurs, par des coefficients de variations des mesures moins élevés, donc par une diminution des risques statistiques de première espèce (ne pas mettre en évidence des différences entre traitements alors qu'elles existent).

4°- Enfin, de très nombreux thèmes de recherches se dégagent des investigations et des études préliminaires effectuées.

On peut donc considérer finalement que cette étude méthodologique est aussi une étude prospective au plein sens du terme.

B i b l i o g r a p h i e

1. BLACK (R.F.) - 1962.- Pine-apple growth and nutrition over a plant crop cycle in south-eastern Queensland. I. Root development and general growth features. Qd. J. Agric. Sci., T. 19, n° 9, pp. 435-451.
2. BOEHLE (J. Jr.) - 1963.- Apparatus for taking soil-root cores. Agron. J., vol. 55, n° 2, pp. 208-209.
3. BONZON (B.) - 1963.- Rapport de stages. ORSTOM, Bondy, 57 p. (mult. inédit).
4. BONZON (B.) - 1964.- Description et mode d'utilisation d'un appareil de mesure photoélectrique des surfaces végétales. Fruits, vol. 19, n° 10, pp. 577-581.
5. BOWERS (F.A.I.) - 1929.- The root system of pine-apple plants. Assoc. Hawaii. Pine. Cann. Exp. Ita., Univ. Hawaii, Bul. 12.
6. BUTIJN (J.) - 1955.- Bewortelings problemen in the fruitteelt. De planten wortel in de landbouw, Groningen, pp. 156-168.
7. CAHOON (G.A.), MORTON (E.S.) - 1961.- An apparatus for the quantitative separation of plant roots from soil. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 78, pp. 593-596.
8. COLLINS (J.L.) - 1960.- The pine-apple : botany, cultivation and utilisation. Leonard Hill Books, London ; Interscience Publishers New-York, XVIII, 294 p.

9. EVANS (H.) - 1938.- Studies on the absorbing surface of sugarcane root systems. I. Method of study with some preliminary results. *Ann. Bot., N.S.*, vol. 2, n° 5, pp. 159-182.
10. 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, pp. 468-472.
11. FRIBOURG (H.J.) - 1953.- A rapid method for washing roots. *Agron. J.*, 45, pp. 334-335.
12. GATES (C.T.) - 1951.- Quantitative recovery of root in pot experiments. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, vol. 17, pp. 152-154. systems
13. GODLIN (M.M.) - Soil screw auger. *Soviet Soil Sci.*, mars, p. 203.
14. GOEDEWAAGEN (M.A.J.) - 1932.- De groei van het wortelsel der planten bij gelijke en bij ongelijke vruchtbaarheid van boven- en ondergrond. *Versl. Landbouwk Onderz.*, 38 A, pp. 179-199.
15. GOEDEWAAGEN (M.A.J.) - 1948.- De methoden die aan het Landbouwproefstation en Bodenkundig Instituut T.N.O. te Groningen, bij het wortelonderzoek. op bouw-en grassland ingebruik zijn. *Instituut voor Bodenvruchtbaarheid, Groningen*, 11 p.
16. GWYNNE (M.D.) - 1962.- Root systems of pine-apple plants. *E. Afr. agric. for. J.*, XXVII, pp. 204-206.
17. HENIN (S.) - 1960.- Le profil cultural. *Soc. Ed. Ing. Agric.*, Paris, XXIV, 320 p.
18. JAMISON (V.C.), WEAVER (H.A.), REED (I.F.) - 1950.- A hammer driven soil-core sampler. *Soil Sci.*, 69, pp. 487-496.
19. JOHNSON (M.O.) - 1935.- The pine-apple. *Paradise of the Pacific Press, Honolulu*, 306 p.
20. KELLEY (O.J.), HARDMAN (J.A.), JENNINGS (D.S.) - 1946.- A soil sampling machine for obtaining two-three or four inch diameter cores of undisturbed soil to a depth of six feet. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 12, pp. 85-87.

21. KHARITONOVA (Ye.P.) - 1965.- Methods for sampling roots from a soil. Soviet Soil Sc., mars, p. 302.
22. KOLESNIKOV (V.A.) - 1961.- Study of roots by the sampling method. Sadorostro, n° 3, pp. 20-21.
23. KRAUSS (Beatrice H.) - 1948-1949.- Anatomy of the vegetative organs of pine-apple Ananas comosus (L.)Merr. III. The root and the cork. Bot. Gaz., 110, n° 4, pp. 551-587.
24. 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, pp. 78-81.
25. MARTIN-PREVEL (P.), GUIMBERTEAU (L.) - 1961.- Influence du substrat, du mode d'irrigation et de la variété dans les cultures d'Ananas sur milieu artificiel. Fruits, 16, pp. 251-253.
26. MONNIER (G.), TURC (L.), JEANSON-LUUSINANG (C.) - 1962.- Une nouvelle méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. Ann. Agron., 13, pp. 55-63.
27. NEWMANN (E.I.) - 1966.- A method of estimating the total length of roots in a sample. J. Appl. Ecol., vol. 3, n° 1.
28. PAVLYCHENKO (T.K.) - 1937.- The soil-block washing method in quantitative root study. Can. J. Res., vol. 15, Ser. C, n° 2.
29. PELERENTS (C.) - 1958.- Etude du système radicaire du riz de terre ferme en conditions naturelles. Bull. agric. Congo Belge, XLIX, 5, pp. 1269-1289.
30. PY (C.) - 1959.- Etude sur la croissance de l'Ananas en Guinée. Fruits, vol. 14, n° 1, pp. 3-24.
31. PY (C.), BARBIER (M.) - 1965.- Nouvelles techniques de culture de l'Ananas aux Antilles. Fruits, vol. 21, n° 5, pp. 229-230.
32. PY (C.), PELLEGRIN (P.) - 1958.- Prévisions de récolte en culture d'Ananas. Fruits, vol. 13, pp. 243-251.

33. PY (C.), TISSEAU (H.A.), OURY (B.), AHMADA (F.) - 1957.- La culture de l'Ananas en Guinée. Manuel du planteur. IFAC, Paris, 331 p.
34. PICARD (D.) - 1966.- Distributions de deux paramètres du développement radicellaire de Panicum maximum. Cah. ORSTOM, Sér. Biol. (sous presse).
35. ROGERS (W.S.), VYVYAN (M.C.) - 1928.- The root system of some ten years old apple trees on two different root stocks and their relation to tree performance. Rep. E. Malling Res. Sta. for 1926-1927. II. Supplement, oct. 1928.
36. RUER (P.) - 1966.- Technique d'étude du système radicellaire du palmier à huile. Oléagineux, vol. 21, n° 4, pp. 203-205.
37. SCHUURMAN (J.J.), GOEDEWAAGEN (M.A.J.) - 1955.- A new method for the simultaneous preservation of profiles and root systems. Plant and Soil, VI, 4, pp. 373-381.
38. SCHUURMAN (J.J.), GOEDEWAAGEN (M.A.J.) - 1965.- Methods for the examination of root systems and roots. Centre for agricultural publications and documentation, Wageningen, 86 p.
39. SCHUURMAN (J.J.), KNOT (L.) - 1957.- The estimation of amounts of roots in samples bound for root investigations. Versl. lanbouwk. onderz., n° 63 14. Instituut voor bodenvruchtbaarheid, Groningen.
40. SIEGELS (S.) - 1956.- Non parametric statistics for the behavioral science. Mc Graw Hill Book Co., Series in Psychology, London, 320 p.
41. STANKOV (N.Z.) - 1962.- Appareils et techniques pour l'étude des racines des plantes. Fiziol. Rastenii, VII, 6, pp. 609-612.
42. TATARINOVA (N.K.) - 1961.- Etude des systèmes radicellaires des plantes fourragères (en conditions de prairies et pâturages). Metodika opytnychzabot na semokosack i pastbischtschaeh, Moscou pp. 124-133.

43. UPCHURCH (R.P.) - 1951.- The use of the trench-wash and soil elution methods for studying the alfa-alfa roots. Agron. J., 43, pp. 552-555.
44. VAN HIMME (M.) - 1959.- Etude du système racinaire du cacaoyer. Bull. agric. Congo Belge, L, 6, pp. 1541-1600.
45. VIEIRA DA SILVA (J.B.) - 1960.- Contribution for the study of root system development in coffee tree and cacao tree in some soils in Sao Tome. Missao de Estudos Agronomicos do Ultramar. Lisboa.
46. WILLIAMS (T.E.), BAKER (H.K.) - 1957.- Studies on the root development of herbage plants. Techniques of herbage root investigations. J. Br. Grassld. Soc., vol. 12, n° 1, pp. 49-55.
47. WEAVER (J.E.), VOIGT (J.W.) - 1950.- Monolith method of roots sampling in studies on succession and degeneration. Bot. Gaz., n° 3, pp. 286-289.

P R E C I S I O N D E S M E S U R E S
P H O T O E L E C T R I Q U E S D E S U R F A C E S

I n t r o d u c t i o n

1. Précision atteinte par une seule mesure du couple.
(I_v , I_c).

11. Rappel de la relation existant entre l'erreur de mesure
et le coefficient de couverture des platines.

12. Coefficients de couverture atteints pour les mesures de
surfaces foliaires et de surfaces diamétrales de racines.

13. Remarques concernant la construction des platines et la
mesure directe de S.

131. Considérations sur le terme $\frac{dS}{S}$

132. Considérations sur le terme $\frac{\Delta S}{S}$

2. Précision atteinte lorsqu'on répète plusieurs fois la mesure du couple (I_v , I_c).
3. Remarques concernant les distorsions des droites de réponse.
4. Détermination approchée de l'erreur absolue commise sur une mesure de surface.

La réalisation du planimètre photoélectrique mis en oeuvre à ADIOPODOUME a été précédée d'une étude préliminaire théorique des erreurs de mesures que l'on commettrait en utilisant la formule :

$$s = \frac{I_v - I_c}{I_v} S \quad (1)$$

qui représente le principe même du fonctionnement de cet appareil. Mais il importe d'étudier maintenant les conditions de formation et l'importance réelle de ces erreurs.

1. PRECISION ATTEINTE PAR UNE SEULE MESURE DU COUPLE (I_v , I_c).

11. Rappel de la relation existant entre l'erreur de mesure et le coefficient de couverture des platines.

La surface s d'un objet idéal* est donnée par la formule :

$$s_{\text{cm}^2} = \frac{I_v - I_c}{I_v} \times S_{\text{cm}^2} \quad (1)$$

où I_v et I_c

exprimées en lux, représentent les intensités au niveau de la cellule photoélectrique des flux lumineux au travers des platines de référence et de chargement, et S la surface utile des platines.

* C'est-à-dire mince, plan, et parfaitement opaque à la lumière.

I_v et I_c sont appréciées à $\Delta I = \pm 0,1$ lux.

Les surfaces des deux platines diffèrent par construction de dS cm² tel que

$$\frac{dS}{S} = 0,0005$$

La mesure directe de S est entachée d'une erreur

$$\Delta S = \pm (0,005) S$$

Cette formule permet d'estimer l'erreur relative commise sur s :

$$\frac{\Delta s}{s} = \left(\frac{I_v + I_c}{I_v - I_c} \right) \cdot \left(\frac{\Delta I}{I_v} + \frac{dS}{S} \right) + \frac{\Delta S}{S} \quad (2)$$

Cette formule est plus précise que celle indiquée dans l'article publié dans la revue FRUITS (4).

Si on appelle par ailleurs "coefficient de couverture de la platine chargée" le rapport

$$c = \frac{s}{S}$$

il est possible d'exprimer la formule (2) en fonction de c

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{2}{c} K_1 + K_2 \quad (3)$$

en posant

$$K_1 = \frac{\Delta I}{I_v} + \frac{dS}{S}$$

$$K_2 = \frac{\Delta S}{S} - \left(\frac{\Delta I}{I_v} + \frac{dS}{S} \right)$$

Pour $I_v = 40$ lux, par exemple, (3) s'écrit :

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{0,006}{c} + 0,002 \quad (I_v = 40 \text{ lux})$$

On voit donc que l'erreur relative commise sur une mesure de surface est inversement proportionnelle au coefficient de couverture de la platine de chargement, pour une source lumineuse d'intensité constante.

On doit, par conséquent, adapter les dimensions des platines à celles des objets à planimétrer.

12. Coefficients de couverture atteints pour les mesures de surfaces foliaires et de surfaces diamétrales de racines.

Dans presque tous les cas, il est possible d'atteindre un coefficient de couverture élevé pour les mesures de surfaces foliaires. Les problèmes consécutifs à la morphologie ou à la transmittance de certaines feuilles se résolvent toujours (réf. in (4) p. 580).

Mais il n'en est pas de même pour les mesures de surfaces diamétrales de racines.

L'examen des erreurs liées à la nature des surfaces radicellaires et à la technique d'étalement utilisée fait l'objet du paragraphe 14 de l'annexe II.

Cependant, on peut déjà concevoir aisément à leur sujet, que, quelle que soit la qualité des étalements réalisés, le coefficient de couverture des platines soit faible, à cause de la morphologie des racines (couverture variable et ramifications).

13. Remarques concernant la construction des platines et la mesure directe de S.

131. Considération sur le terme $\frac{dS}{S}$

Il pourrait sembler excessif d'estimer la différence relative des surfaces des platines de référence et de chargement d'une même série à $0,0005 \times S$ près.

Cependant, si l'on considère la formule :

$$S = L \times l$$

on voit que pour avoir $\frac{dS}{S} \leq 0,0005$, il faut et il suffit que la différence de longueur Δl entre les dimensions L d'une part ou l d'autre part des platines rectangulaires, soit

$$\Delta l \leq 0,022 \text{ mm pour des platines de } 80 \text{ cm}^2 \text{ environ}$$

$$\Delta l \leq 0,11 \text{ mm pour des platines de } 2000 \text{ cm}^2 \text{ environ.}$$

Cette précision dans la réalisation de platines "identiques" peut être atteinte sans difficulté.

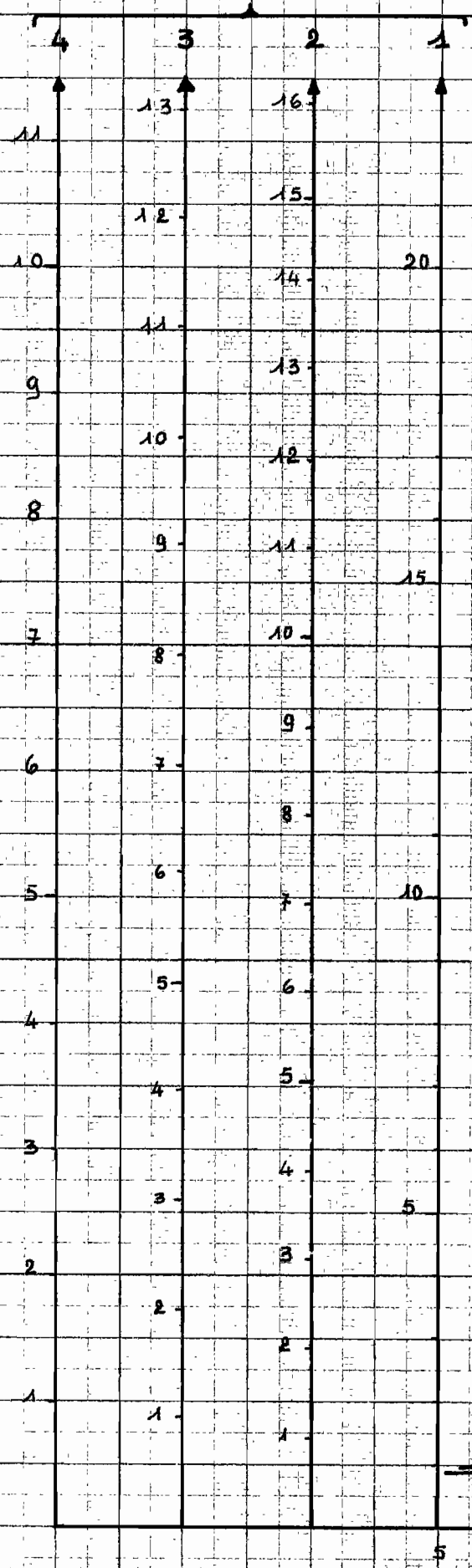
132. Considération sur le terme $\frac{\Delta S}{S}$

Par contre, la mesure de la surface S de deux platines identiques est beaucoup moins précise.

On ne peut espérer dépasser la précision de 0,005.

Il importe de remarquer ici que l'utilisation des courbes de réponse élimine cette erreur (mais ajoute une erreur de lecture du même ordre de grandeur).

$\frac{\Delta \Delta}{\Delta} \times 100$
pour $n =$



Erreur relative $\frac{\Delta \Delta}{\Delta}$ commise sur
la mesure d'une surface Δ

$$\frac{\Delta \Delta}{\Delta} = \frac{I_v + I_c}{I_v - I_c} \left(\frac{\Delta I}{I_v} + \frac{dS}{S} \right) + \frac{\Delta S}{S}$$

$\Delta I = 0,1$ Lux (erreur de lecture)

$\frac{\Delta S}{S} = 0,005$ (précision sur la mesure de S)

$\frac{dS}{S} = 0,0005$ (différence de surface relative entre 2 platines)

I_v = intensité du flux lumineux au travers de la platine de référence

I_c = intensité du flux lumineux au travers de la platine de chargement

n = nombre de mesures du couple (I_v, I_c)

$$\frac{\Delta \Delta_m}{\Delta_m} = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{\Delta \Delta_i}{\Delta_i}$$

$I_v = 30 \quad 35 \quad 40 \quad 45 \quad 48$ Lux

5 10 15 20 25 30 35 40 45 I_c lux

2. PRECISION ATTEINTE LORSQU'ON REPETE PLUSIEURS FOIS LA MESURE DU COUPLE (I_v , I_c).

Pour tenir compte de la fatigue de l'opérateur au luxmètre et des légères variations de flux lumineux causées par celles de courant secteur, malgré la mise en service d'un régulateur de tension de 1500 V.A., il est indispensable de répéter deux ou trois fois, parfois quatre, la mesure du couple (I_v , I_c).

Si s_1, s_2, \dots, s_n sont les résultats de n mesures successives du couple (I_v, I_c^n) la surface retenue est évidemment :

$$s_m = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{n} \quad (6)$$

Si l'on fait alors l'hypothèse que les erreurs absolues commises sur s_1, s_2, \dots, s_n , suivent une loi de GAUSS, on peut écrire que :

$$\frac{\Delta s_m}{s_m} = \frac{1}{\sqrt{n}} \times \frac{\Delta s_i}{s_i} \quad (7)$$

s_i étant l'une quelconque des valeurs de la suite s_1, s_2, \dots, s_n puisque $s_1 = s_2 = \dots = s_n$.

Cette formule et la formule (2) permettent de calculer l'erreur relative commise sur une mesure de surface déterminée par n répétitions du couple (I_v, I_c). Néanmoins, il est beaucoup plus facile et rapide d'utiliser les abbaques ci-contre qui en ont été tirées.

3. REMARQUES CONCERNANT LES DISTORSIONS DES DROITES DE REPONSE.

Un certain nombre de facteurs non contrôlables ne permettent pas d'appliquer directement la formule (2), la courbe de réponse de l'appareil étant distincte de la droite de réponse théorique. Il faut donc procéder par comparaison, en utilisant

des abbaques établies expérimentalement à l'aide de surfaces ta-
rées quasi-idéales, dans lesquelles on entre par la valeur du
rapport $\left(\frac{I_v - I_c}{I_v}\right)$.

Une seule abbaque par série de platines suffit, la
courbe de réponse de chaque série de platines étant indépendante
pratiquement du flux I_v . Tout au plus a-t-on pu discerner un
très léger déplacement^v de cette courbe lorsque le flux lumineux
 I_v varie considérablement.

D. PICARD a remédié d'ailleurs à cet inconvénient en
renforçant la ventilation des tubes fluorescents et en utilisant
par ailleurs un survolteur qui permet de maintenir I_v à peu près
constant (le flux lumineux diminuait plusieurs heures durant
avant de se stabiliser).

4. DETERMINATION APPROCHÉE DE L'ERREUR ABSOLUE COMMISE SUR UNE MESURE DE SURFACE.

La formule (3)

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{2}{c} \cdot K_1 + K_2 \quad (3)$$

permet de calculer l'erreur absolue Δs commise sur s :

$$\Delta s = 2 \cdot S \cdot K_1 + s \cdot K_2 \quad (8)$$

Il est cependant plus simple de nouveau de traduire
la formule (8) par une série d'abbaques pour chaque série de
platines utilisées si l'on ne désire qu'une valeur approchée
de Δs .

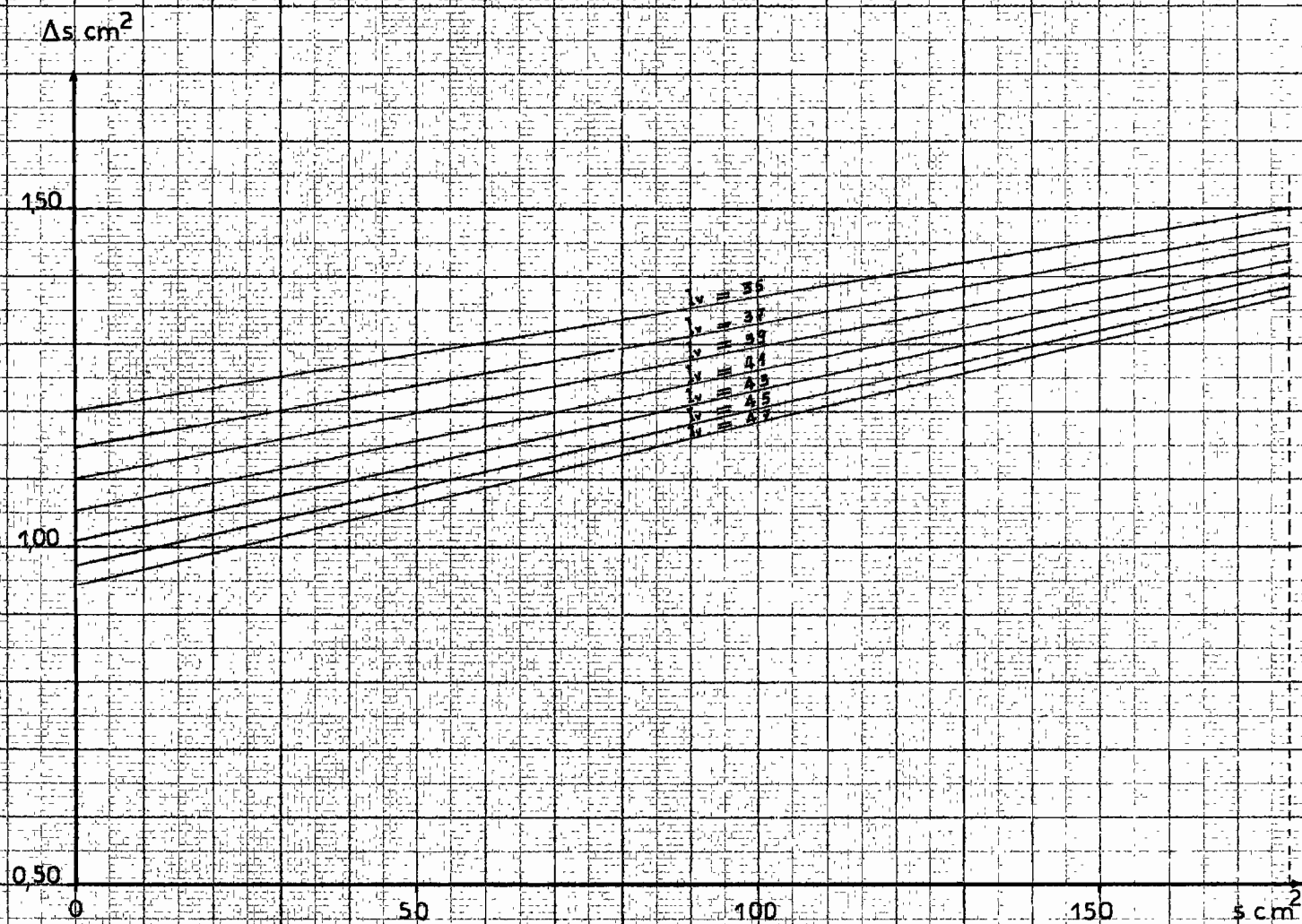
Les abbaques II qui figurent à la fin de cette annexe
sont relatives à la série de platines n° 5 ($S = 177,6 \text{ cm}^2$:
environ $15 \times 12 \text{ cm}$).

Dans le cas de n mesures la formule (8) devient :

$$\Delta s = \left(\frac{I}{\sqrt{n}}\right) (2 \cdot S \cdot K_1 + s \cdot K_2) \quad (9)$$

II- Erreur absolue Δs commise sur s cm²

(Plaine de 177,6 cm², série n° 5)



P R E C I S I O N D E L ' E N S E M B L E
D E S O P E R A T I O N S R E L A T I V E S
A L A M E T H O D E D E S S O N D A G E S

I n t r o d u c t i o n

1. Examen des erreurs fortuites et systématiques commises successivement sur un échantillon de racines.

11. Erreurs de sondage.

- 111. Erreur de localisation de la sonde.
- 112. Erreur d'inclinaison de la sonde.
- 113. Erreur de découpage de la carotte.
- 114. Erreur d'enfoncement de la sonde.
- 115. Erreur de sectionnement de la carotte.
- 116. Conclusions sur les erreurs de sondage.

12. Pertes au déterrage et transfert de racines :

- 121. Pertes au déterrage.
- 122. Transfert de racines.

13. Pertes au nettoyage, erreur sur la nature des racines :

14. Erreurs sur les mesures de surface :

- 141. Erreur d'étalement.
- 142. Erreur de dessiccation.
- 143. Erreurs de mesure proprement dites.

- 1431. Transmittance des racines.
- 1432. Diffusion et diffraction.
- 1433. Vérification de l'hypothèse de l'homogénéité des dépôts.
- 1434. Erreur de mesure sur sd.
- 1435. Remarques concernant le taux de couverture des platines.
- 1436. Remarque concernant les dépôts minéraux à la périphérie des racines.

15. Erreurs sur les mesures de poids sec.

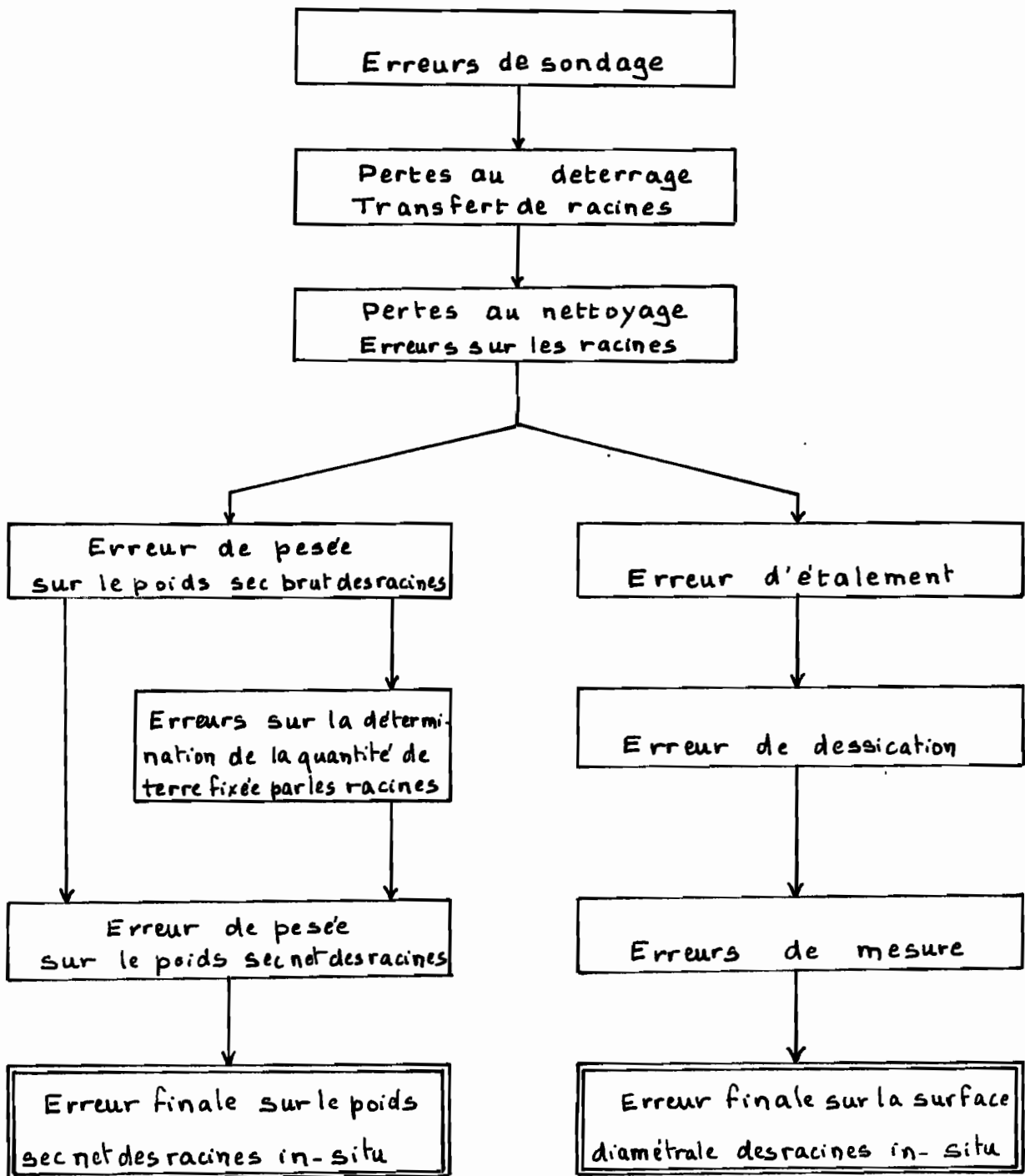
2. Précision des estimations de surface diamétrale et poids sec de racines in-situ :

21. Aspect théorique du problème.

22. Application de la formule établie aux mesures de surface diamétrale et poids sec.

Conclusion générale.

I - Enchaînement des erreurs dans une étude quantitative d'enracinements



Le but de cette annexe est :

- de passer en revue les erreurs fortuites et systématiques commises sur chaque opération élémentaire de la méthode des sondages, telle qu'elle est mise en oeuvre à ADIOPODOUME ;
- d'établir une formule donnant un ordre de grandeur de la précision des estimations de surface diamétrale et poids sec des racines d'un échantillon.

1. EXAMEN DES ERREURS FORTUITES ET SYSTEMATIQUES COMMISES SUCCESSIVEMENT SUR UN ECHANTILLON DE RACINES.

11. Erreurs de sondage.

Cinq erreurs de nature différente peuvent être commises simultanément lors de cette opération :

111. Une erreur de localisation de l'axe effectivement sondé par rapport à l'axe théorique.

Dans le cas de la position de sondage retenue pour les études 2 et 4 sur Ananas, les écarts relatifs $\frac{\Delta a}{a \text{ théorique}}$ et $\frac{\Delta b}{b \text{ théorique}}$ des distances des quatre plants entourant im-

médiatement les points de sondage aux distances théoriques correspondantes déduites du schéma de plantation (voir le schéma ci-après) étaient de l'ordre de 0,1 à 0,2. Parler dans ces conditions d'erreur d'emplacement n'aurait aucun sens. Il n'est donc pas toujours possible de prendre cette erreur en considéra-

tion, et dans ces conditions, l'attitude à adopter à l'égard de ce problème est la suivante : la variabilité des distances des plants homologues aux positions sondées est l'un des facteurs aléatoires de l'hétérogénéité du développement et inclut l'erreur de localisation.

112. Une erreur d'inclinaison de l'axe de sondage par rapport à la verticale. Cette erreur est très faible et se présente surtout lors des premiers sondages d'une campagne de prélèvements. On peut la faire d'ailleurs pratiquement disparaître en utilisant au début un fil à plomb attaché à la barre à virer de la sonde.

113. Une erreur de découpage des carottes. Cette erreur est très faible. L'examen de la paroi des trous de sondages et celui des carottes recueillies ne révèlent qu'exceptionnellement des arrachements dans un sens ou dans l'autre.

114. Une erreur d'enfoncement de la sonde.

L'erreur relative $\frac{\Delta V}{V}$ sur le volume d'un échantillon prélevé est :

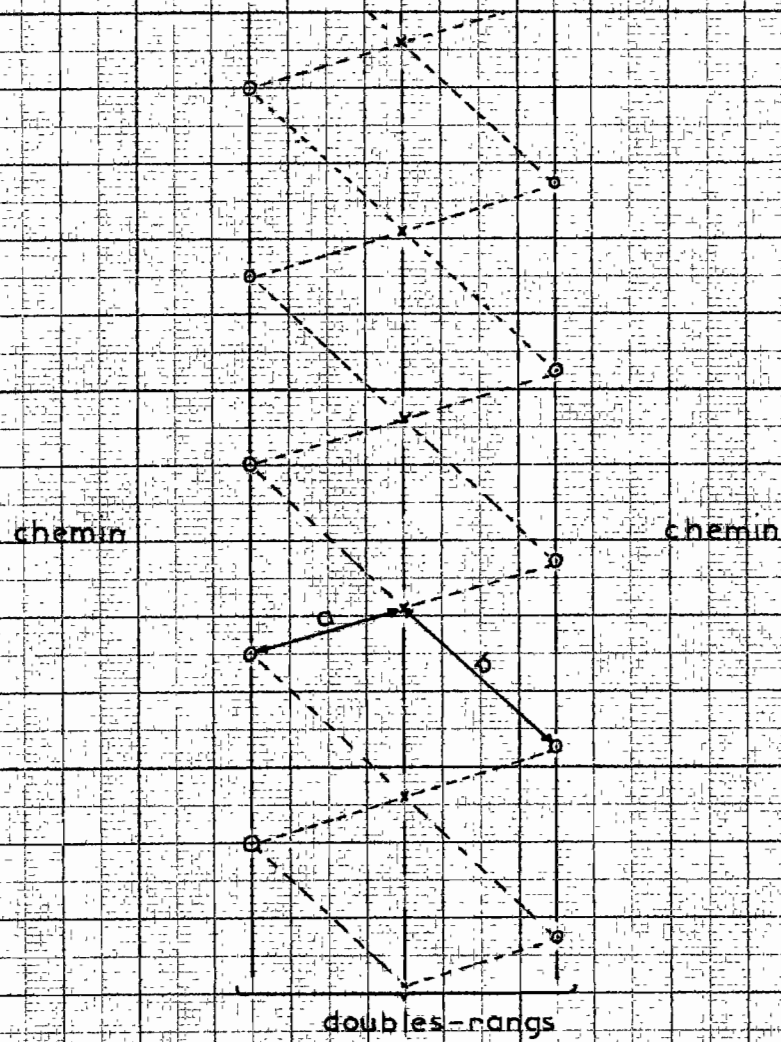
$$\frac{\Delta V}{V} = 2 \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \quad (1)$$

où Δh est l'erreur de repérage des niveaux supérieur et inférieur de l'horizon sondé, et h la hauteur des carottes. Δh est de l'ordre de 1,5 m/m si l'on travaille correctement.

115. Une erreur de sectionnement des carottes.

L'expérience a montré que le sectionnement des carottes s'effectuait - à de rares exceptions près - dans le plan de l'extrémité des dents. Cependant, il arrive qu'une légère invagination ou un léger bombement de cette surface se présente. L'erreur qui en résulte sur le volume d'un échantillon recueilli est du même ordre de grandeur que l'erreur d'enfoncement de la sonde, soit :

1 - Etudes 2 et 4 : positions sondées



○ Plants d'Ananas

* Positions sondées

$$\frac{\Delta V}{V} = 2 \left(\frac{\Delta h}{h} \right)$$

(Une sixième erreur pourrait également se présenter : il s'agirait d'une erreur de tassement des échantillons devant la sonde; il est difficile de se prononcer à son sujet).

116. Conclusions sur les erreurs de sondage.

En fin de compte, les trois premières erreurs pouvant être négligées et les deux dernières s'additionnant, on peut considérer que la quantité

$$\frac{\Delta V}{V} = 4 \left(\frac{\Delta h}{h} \right) \quad (2)$$

représente la limite supérieure de l'erreur de prélèvement, à condition néanmoins (ce qui est implicite dans ce qui précède) que la répartition des racines sur la hauteur de prélèvement soit homogène.

12. Pertes au déterrage et transfert de racines.

121. Pertes au déterrage.

Les pertes au déterrage ne concernent que les très petites racines ou les poils absorbants.

Un contrôle de la terre de 76 carottes passée en un jour au travers des quatre tamis n'a révélé aucune racine de taille importante. La surface des racines retrouvées ne représentait, au total, que le cinquième de la surface moyenne des échantillons traités.

122. Transfert de racines.

Le transfert de racines d'un échantillon à un autre par l'intermédiaire des tamis est sans doute un accident de fréquence très faible et d'importance réduite. Il s'agit d'une erreur d'inattention.

Afin de minimiser ce risque, l'intérieur des tamis est peint avec une laque glycérophtalique de couleur jaune. De cette façon, les parois des tamis sont lisses et retiennent assez peu les racines, et une observation à contre-jour permet de déceler immédiatement la moindre racine accrochée aux parois ou à la toile des tamis. Si l'on prend soin, de plus, de déterrer les échantillons par "traitement", cette erreur n'affecte pas la moyenne des mesures relatives à chaque traitement.

13. Pertes au nettoyage et erreurs sur la nature des racines.

Il s'agit des racines que l'on "oublie" lorsqu'on arrête leur séparation de l'ensemble des impuretés recueillies avec elles sur les tamis, et de celles que l'on conserve et qui n'appartiennent pas à la plante étudiée. Ces erreurs sont fonction du degré d'entraînement de l'opérateur, de la fatigue de son attention, mais aussi :

- de la morphologie et de l'aspect des racines recherchées par rapport à la morphologie et à l'aspect de celles des autres plantes recueillies en même temps ;
- de la propreté de l'échantillon ;
- de l'état de division des racines ;
- des conditions matérielles de travail.

On comprend, à ce stade des opérations, l'intérêt d'un enfoncement de la sonde par battage, d'un déterrage sous faible pression d'eau et avec le minimum d'interventions manuelles (écrasement des petites mottes plutôt que roulage), et d'un aménagement de la paillasse adapté à cette opération. Les pertes et l'erreur qui en résulte n'excèdent pas certainement 2 %.

14. Erreurs concernant les mesures de surface.

TABLEAU II - Surfaces diamétrales d'un échantillon de racines d'ananas planimétré 5 fois de suite
(avec réétalement des racines entre deux mesures successives)

Numéro d'ordre des mesures	Dates	s ₁ cm ²	s ₂ cm ²	sd cm ²	Erreurs sur une seule mesure du couple (I _v I _c)				Erreurs sur 2 me- sures successives de (I _v I _c)	
					$\frac{\Delta s_1}{s_1} \%$	$\frac{\Delta s_2}{s_2} \%$	Δsd cm ²	$\frac{\Delta sd}{sd} \%$	Δsd cm ²	$\frac{\Delta sd}{sd} \%$
1	18/10/65	19.80	3.35	17.15	2.05	9.25	0.70	4.25	0.50	3.0
2	19/10/65	19.30	2.70	17.20	2.05	11.40	0.70	4.20	0.50	3.0
3	20/10/65	19.25	2.85	16.95	2.05	10.80	0.70	4.25	0.50	3.0
4	21/10/65	17.80	2.45	15.80	2.20	12.40	0.65	4.55	0.46	3.2
5	22/10/65	16.25	1.60	14.85	2.35	18.50	0.65	4.80	0.46	3.4

Série de platines utilisées : n° 6.

S = 82,40 cm²

141. Erreur d'étalement.

L'étalement en immersion permet une séparation presque parfaite des fragments de racines les uns des autres. Il réduit pratiquement l'erreur d'étalement à l'erreur inévitable de "superposition" due au fait que les branchements des racines du n° ordre sur une racine du (n - 1)° ordre ne s'effectuent pas dans un plan, mais selon des spirales quelconques.

On pourrait envisager, évidemment, une opération intermédiaire qui serait l'individualisation des racines des différents ordres, comme cela a déjà été pratiqué pour atteindre, par d'autres méthodes, (9), (29) une estimation de la surface cylindrique des racines.

Mais cette opération serait extrêmement longue, délicate, onéreuse et finalement incompatible avec l'étude de la croissance et du développement des systèmes radicellaires : on devrait se contenter en effet, d'un nombre de répétitions des mesures très faible ou nul.

Par ailleurs, comme il y a manifestation d'importantes variations dans le rapport

$$r = \frac{\text{longueur totale des racines du n° ordre}}{\text{diamètre de la racine du (n - 1)° ordre} \times \text{nombre des branchements}}$$

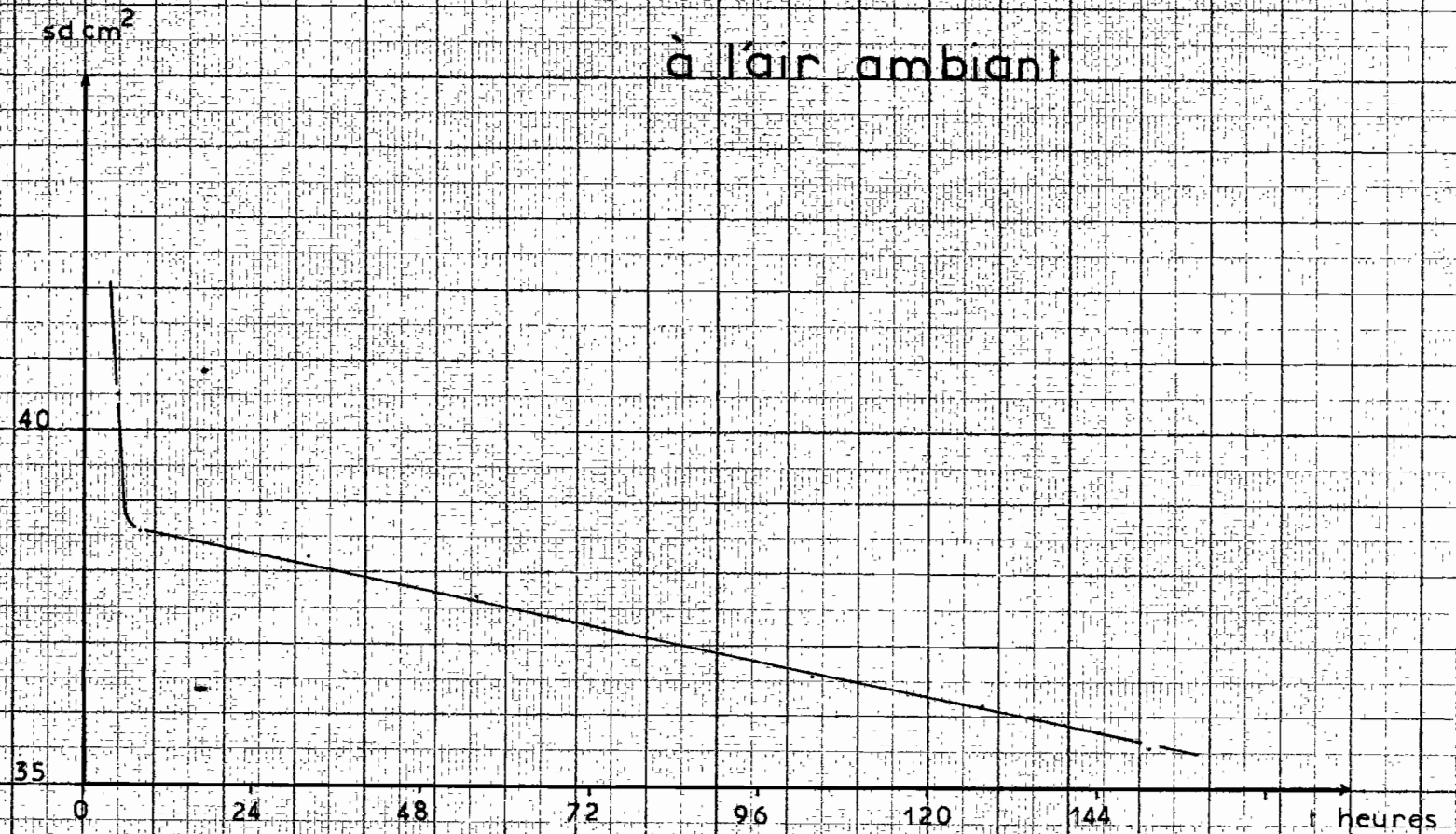
il est impossible d'assimiler l'erreur de superposition à une erreur systématique.

Il n'y a pas lieu de s'inquiéter néanmoins de cette erreur, car :

- d'une part, le rapport r est très élevé, de l'ordre de 100 ;
- d'autre part, cette superposition n'affecte qu'une partie seulement des racines.

L'expérience relatée dans le tableau II ci-dessus montre qu'il est impossible de mettre en évidence sur des racines d'Ananas des variations dans la qualité des trois pre-

2 - Rétraction des racines



miers étalements d'un même échantillon réétalé cinq fois de suite (à partir du 4^e étalement, une certaine quantité de fines racines ne peut plus être récupérée, ce qui explique que les deux dernières mesures de cette expérience aient fourni des valeurs plus faibles : les racines d'Ananas deviennent en effet très fragiles en séchant).

Finalement, une erreur de l'ordre de 0,5 % est très vraisemblable.

142. Erreur de dessiccation.

Deux phases successives peuvent se distinguer au cours du séchage de 24 heures à l'air ambiant sur les étaloirs.

La première est celle de l'évaporation de l'eau sous forme de film ou de fines gouttelettes à la surface des plaques de verre ou à la périphérie des racines.

La seconde est celle de la perte en eau des racines. Cette perte en eau s'accompagne d'une diminution du diamètre des racines et par suite de la surface diamétrale mesurée.

Le tableau III et le graphique II montrent que l'on commet une erreur systématique de l'ordre de 1 % lorsqu'on planimètre les échantillons de racines après 24 heures de séchage.

Les racines seraient planimétrables au bout de 8 heures environ.

Ils montrent également que la rétraction des racines d'Ananas est approximativement une fonction linéaire du temps sur une durée de 5 jours au moins, dans les conditions de travail d'ADIPODOUME.

143. Erreurs de mesure proprement dites.

Les racines diffèrent notablement de l'objet idéal défini en annexe 1, et l'on doit se poser à leur égard les questions suivantes :

TABLEAU III - Influence de la durée du séchage à l'air ambiant sur le résultat d'une mesure de surface diamétrale dans le cas de l'Ananas

Durée de l'exposition à l'air ambiant des racines et de la plaque de verre (en heures)	s_1 cm ²	sd cm ²	* $\frac{\Delta sd}{sd} \%$	* Δsd cm ²	Observations particulières
5	41.75	40.50	4.1	1.65	Plaque de verre encore humide
8	39.80	38.55	4.2	1.60	Fin de la 1 ^o phase de dessiccation
32	39.50	38.20	4.2	1.60	(Rétraction moyenne relative par 24 heures. $\frac{38,55 - 35,55}{38,55} \times \frac{24}{144} = 1,3 \%$
56	38.95	37.65	4.5	1.60	
80	38.35	37.00	4.3	1.60	
104	37.90	36.55	4.4	1.60	
128	37.45	36.15	4.4	1.60	
152	36.85	35.55	4.5	1.60	

* Erreurs comprises sur deux mesures du couple (I_v , I_c)

Série de platines utilisées : n° 4. $S = 319,5$ cm²

s_2 cm² est commune à toutes les mesures et vaut 1,50 cm².

- Y a-t-il de leur part transmittance en lumière rouge ?
- Observe-ton des phénomènes de diffraction ou de diffusion ?
- L'hypothèse de l'homogénéité des dépôts est-elle exacte ?
- Quelle erreur relative commet-on sur une mesure de surface diamétrale déterminée en utilisant la formule

$$sd = (s_1 - s_2) \cdot \frac{S}{S - s_2} \quad ?$$

1431. Transmittance des racines.

L'observation directe ne révèle aucune transmittance de lumière - que ce soit en lumière rouge ou blanche - de la part des racines d'Ananas sèches.

1432. Diffusion et diffraction.

Par contre, une très légère diffusion de lumière par les racines peut être observée. Cette diffusion résulte du fait que les racines ne répondent pas au critère de "planitude" de l'objet idéal, ce qui a pour conséquence :

- un éclairage direct d'une portion des demi-cylindres radicellaires tournés vers la lentille par des rayons "parasites", issus de la source lumineuse essentiellement, mais non dirigés initialement vers la lentille ;
- une diffusion de lumière des grosses racines vers les plus petites, qui diffusent à leur tour en direction de la lentille (cette diffusion est sans doute très faible) ;
- une diffraction générale due à la nature des surfaces radicellaires.

La quantité de lumière "parasite" i résultant de ces différentes sources et recueillie par la cellule photoélectrique est certainement proportionnelle à l'intensité du flux lumineux $\left(\frac{I_v}{S}\right)$, à la surface cylindrique des racines (s_c) et à leur

albédo en lumière rouge (a) :

$$i = k \cdot \frac{I_v}{S} \cdot s_c \cdot a \quad (3) \quad (k = c^{te})$$

Ce que l'on mesure serait donc :

$$s'd = sd \cdot \left(1 - k \cdot a \cdot \frac{S}{S - s_2}\right) \quad (4)$$

Si l'on postule que l'albédo des racines en lumière rouge est constante (ce qui est très vraisemblable, étant donné la constance de l'aspect blanc grisâtre des racines sèches), on commet donc une erreur systématique dans la détermination de sd.

Il est impossible actuellement de donner un ordre de grandeur à cette erreur. Mais elle est sans doute très faible.

1433. Vérification approximative de l'hypothèse de l'homogénéité des dépôts.

Soit une série de n mesures de s_2 .

$$s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2i}, \dots, s_{2n}.$$

Ces mesures sont effectuées avec des rapports de transmittance entre platines de chargement et de référence

$$k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n.$$

et tiennent compte des transmittances des dépôts des platines de chargement,

$$T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n.$$

Si l'on pose

$$(5) \quad \begin{aligned} k_m &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \\ T_m &= \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n T_i \end{aligned}$$

on a entre k_i et k_m
d'une part, T_i et T_m d'autre part, les relations suivantes :

$$(6) \begin{cases} k_i = k_m + \alpha_i \\ T_i = T_m + \beta_i \end{cases} \quad (7) \begin{cases} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n \beta_i = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} k_i \text{ et } k_m \leq I \\ T_i \text{ et } T_m \leq I \end{cases}$$

L'expérience montre que les quantités k_i et T_i sont toujours très voisines de l'unité : les quantités α_i et β_i sont donc toujours très faibles et leur produit $\alpha_i \cdot \beta_i$ très petit devant k_i et T_i . Dans ces conditions, on doit vérifier avec une bonne approximation l'égalité suivante

$$\frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n s^2}{S} \approx I - k_m \cdot T_m = c^{te} \quad (8)$$

Le tableau IV regroupe les résultats de calculs effectués en utilisant la formule précédente sur les données de l'étude n° 4 (tableaux 21 à 30 du document séparé),

- d'abord sur l'ensemble des valeurs relatives à chacune des séries de platines ;
- puis sur l'ensemble total des valeurs.

Ce tableau montre :

- la constance remarquable du produit $k_m \cdot T_m$;
- la proximité de l'unité des coefficients k_m et T_m .

L'hypothèse formulée a donc de très fortes chances d'être correcte.

Le tableau V montre, par ailleurs, que l'étendue de la variation du produit $k \cdot T$ est faible :

$$k \cdot T = \left(I - \frac{s^2}{S} \right) = \frac{I}{F.C} \quad (9)$$

TABLEAU IV - Comparaison des valeurs du produit $km \times T_m$ calculées sur les résultats de l'étude n° 4.

Numéro de série des platines utilisées	surfaces des platines cm ²	Nombre de mesures	$\frac{n}{M} s_2$ cm ²	$\frac{n}{M} s_2/S$	$C_{90} = \frac{1}{n} (\frac{n}{M} s_2/S)$	k mT m = 100-C
4	319,5	40	311,55	0,97512	2,4373	97,56
5	177,6	229	972,90	5,47804	2,3922	97,61
6	82,4	133	267,75	3,24939	2,4432	97,56
4, 5 et 6	319,5 177,6 82,4	402	1552,20	9,70255	2,4136	97,59

TABLEAU V - Etendue de la variation du produit $K \times T$, du facteur correctif et du taux de couverture, d'après les résultats de l'étude n° 4.

Numéro de série des platines utilisées	K × T %		Facteur correctif		Taux de couverture %		
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Moyen
4	95,5	99,6	1,005	1,05	6,7	19,5	13,0
5	95,2	99,4	1,005	1,05	2,66	29,1	12,0
6	93,4	99,5	1,005	1,07	0,24	22,3	9,2

L'étude d'une corrélation éventuelle entre sd et la surface équivalente s_3 des dépôts n'a pu encore être entreprise. Néanmoins, même si une corrélation étroite existait entre ces données, la formule donnant sd serait toujours valable.

$$sd = (s_1 - s_2) \cdot \frac{S}{S - s_2} \quad (10)$$

1434. Erreur sur la mesure de sd.

En appliquant les règles du calcul d'erreur à la formule (10), on obtient pour l'erreur relative commise sur sd ;

$$\frac{\Delta sd}{sd} = \frac{1}{s_1 - s_2} (\Delta s_1 + \Delta s_2) - \frac{s_2}{S - s_2} \left(\frac{\Delta s_2}{s_2} - \frac{\Delta S}{S} \right) \quad (11)$$

la quantité :

$$\frac{s_2}{S - s_2} \left(\frac{\Delta s_2}{s_2} - \frac{\Delta S}{S} \right) \quad (12)$$

est toujours inférieure à 1 %.

$$\frac{\Delta sd}{sd} = \frac{1}{s_1 - s_2} (\Delta s_1 + \Delta s_2) \quad (13)$$

représente donc une limite supérieure de l'erreur relative commise sur sd.

1435. Remarques concernant le taux de couverture des platines.

Les résultats de l'étude n° 4 (tableaux 21 à 30 du document séparé) permettent également de se faire une idée de l'étendue de la variation du taux de couverture des platines et du taux moyen de couverture atteint (tableau V).

TABLEAU VI - Chevauchements des valeurs obtenues avec les platines des séries 4, 5 et 6 dans l'étude n° 4.

Numéro de série des platines.	Valeurs maximales des surfaces planimétrées	$\frac{\Delta sd}{sd}$	Valeurs minimales des surfaces planimétrées	$\frac{\Delta sd}{sd}$	Valeurs moyennes des surfaces planimétrées	$\frac{\Delta sd}{sd}$	Chevauchements au niveau des valeurs moyennes	Chevauchements au niveau des valeurs maximales.	Chevauchements au niveau des valeurs minimales.
	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%	nbre < sd moy.	nbre < sd max.	nbre > sd min.
4	62,30	4,5	21,50	12,5	41,57	6,55	0	(37 < 51,75 cm ² (18 < 38,60 cm ²	-
5	(51,75 (38,60	3,1 4,0	4,55	32,0	21,34	6,20	4 < 7,60 cm ²	89 < 18,35 cm ²	116 > 21,50 cm ²
6	18,55	3,9	0,20	350,0	7,60	6,45	-	-	97 > 4,55 cm ²

$\frac{\Delta sd}{sd}$ a été calculé pour $I_v = 40$ lux, deux mesures du couple (I_v, I_c) et un F.C. de 1,025.

Comme on devait s'y attendre, ces taux de couverture sont faibles. En ce qui concerne les plus petits échantillons, il apparaît absolument indispensable de mettre en oeuvre de nouvelles séries de platines de dimensions plus faibles que celles de la série n° 6.

Lorsqu'on examine (tableau VI) le chevauchement des valeurs trouvées sur deux séries de platines, on constate :

- qu'aucun chevauchement n'existe entre les platines 4 et 6.
- qu'aucun chevauchement n'existe pratiquement au niveau des valeurs moyennes des surfaces planimétrées ;
- qu'un chevauchement important existe au niveau des valeurs maximales et minimales des surfaces planimétrées avec deux séries de platines successives.

Ce dernier chevauchement s'explique par :

- des différences de qualité dans les étalements de racines dues à l'inattention des opérateurs ;
- des différences morphologiques entre les échantillons ;
- la distribution des valeurs et la taille moyenne des échantillons récoltés.

Mais la précision moyenne des mesures effectuées sur chaque série de platines est remarquablement constante, de l'ordre de 6,5 % de la surface planimétrée.

1436. Remarque concernant les dépôts minéraux à la périphérie des racines.

Le taux moyen de terre fixée par centimètre carré de surface cylindrique de racines des échantillons de l'étude n° 4 est de l'ordre de 1,6 mg/cm², ce qui représente une épaisseur réelle moyenne des dépôts minéraux de l'ordre de 6 microns.

De son côté, le quotient moyen $\frac{p}{sd}$ de ces échantillons est de l'ordre de 13,10 mg/cm², ce qui correspond à un rayon moyen réel de l'ordre de 600 microns.

Une erreur moyenne par excès de l'ordre de 1 % est donc commise sur les mesures de surface diamétrale de racines à cause des dépôts minéraux fixés à leur périphérie.

Cette erreur est donc du même ordre de grandeur que celle due à la dessiccation des échantillons avant le planimétrage.

15. Erreurs sur les mesures de poids sec.

Le poids sec net des racines est donné par la différence

$$p_3 = p_1 - p_2 \quad (14)$$

Comme p_1 et p_2 sont déterminés par double pesée, l'erreur de pesée absolue² sur p_3 est :

$$\Delta p_3 = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 4 \Delta p \quad (15)$$

où Δp représente l'erreur absolue commise sur une pesée (0,2 mg dans les conditions de travail d'ADIPODOUME).

La précision de la méthode utilisée pour déterminer la quantité de terre fixée par les racines n'a pas encore été étudiée complètement. (On peut espérer néanmoins qu'elle est très supérieure à celle de la détermination de p_2 par calcination).

La quantité

$$\frac{\Delta p_3}{p_3} = 4 \frac{\Delta p}{p_3} \quad (16)$$

en est donc une estimation par défaut.

Le tableau VII montre l'étendue de la variation de p_1 , p_2 , p_3 , des rapports $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$ et $\left(\frac{p_2}{p_3}\right)$ et des erreurs relatives

commises sur ces pesées dans l'horizon (0 - 10) cm de l'étude n° 4 (tableaux 1 à 10 du doc. sép.). Le poids moyen de p_3 de

TABLERAU VII - Etendue de la variation de p_1 , p_2 , p_3 , $\frac{p_2}{p_3}$ dans l'horizon (0 - 10) cm de l'étude n° 4.

Variation	p_1 mg	$\frac{\Delta p_1}{p_1}$ %	p_2 mg	$\frac{\Delta p_2}{p_2}$ %	p_3 mg	$\frac{\Delta p_3}{p_3}$ %	$\frac{p_2}{p_1}$ %	$\frac{p_2}{p_3}$ %
Maximum	1089	0,08	473	0,17	729	0,11	63,2	172,0
Minimum	4	20,0	1	80,0	4	20,0	0,4	0,3
Moyenne	377,80	0,10	105,80	0,4	272,00	0,30	26,4	40,2

ces échantillons est de 272 mg. Une erreur relative de 0,30 % serait commise sur ce poids.

1. PRECISION DES ESTIMATIONS DE SURFACE DIAMETRALE ET DE POIDS SEC DE RACINES IN SITU.

21. Aspect théorique du problème.

Soit P un paramètre de développement radicellaire.
Soit P_o le développement réel - en termes de P - des racines in situ.

Soit P_f l'estimation de P_o à laquelle on aboutit à la fin des traitements successifs T_1^o, T_2, \dots, T_n appliqués à l'échantillon de racines in situ.

Le problème que l'on se pose à présent est celui de l'estimation de l'erreur relative :

$$e = \frac{P_o - P_f}{P_o} \quad (17)$$

sachant que les opérations T_1, T_2, \dots, T_n s'effectuent avec des erreurs relatives accidentelles, et parfois systématiques, $e_{a1}, e_{a2}, \dots, e_{an}$ et $e_{s1}, e_{s2}, \dots, e_{sn}$ (e_{ai} et e_{si} pouvant être nulles).

Soient P_1, P_2, \dots, P_n les masses radicellaires - en termes de P - recueillies à la fin des traitements T_1, T_2, \dots, T_n . On a :

$$P_1 = P_o (1 \pm e_{a1}) (1 - e_{s1})$$

$$P_2 = P_1 (1 \pm e_{a2}) (1 - e_{s2})$$

$$P_n = P_n (1 \pm e_{an}) (1 - e_{sn})$$

D'où :

$$P_n = P_f = P_o (1 \pm e_{a1}) (1 \pm e_{a2}) \dots (1 \pm e_{an}) (1 - e_{s1}) (1 - e_{s2}) \dots (1 - e_{sn})$$

TABLEAU VIII - Erreurs relatives successives commises sur un échantillon de racines.

1. ERREURS COMMUNES A TOUTES LES MESURES.

11. Erreurs de prélèvement.

- erreur de localisation non prise en considération.
- erreur d'inclinaison quasi nulle.
- erreur de découpage de la carotte très faible.
- erreurs d'enfoncement de la sonde et de sectionnement de la carotte $e_1 = 4 \cdot \frac{\Delta h}{h}$

12. Pertes au déterrage et transfert de racines.

$$e_2 = 0,0025$$

13. Pertes au nettoyage et erreur sur la nature des racines.

$$e_3 = 0,02$$

2. ERREURS CONCERNANT LES MESURES DE SURFACE.

21. Erreur d'étalement

$$e_4 = 0,005$$

22. Erreur de dessiccation (erreur systématique)

$$e_5 = 0,01$$

23. Erreurs de mesures.

- diffusion et diffraction (erreur systématique) $e_6 = ?$
- erreur de mesure proprement dite (moyenne) $e_7 = 0,065$

3. ERREURS CONCERNANT LES MESURES DE POIDS SEC.

31. Erreur de pesées (moyenne)

$$e_8 = 0,003$$

32. Erreur de méthode sur la détermination de p_2

$$e_9 = 0,02$$

Soit, en posant

$$(1 \pm e_{a1})(1 \pm e_{a2}), \dots, (1 \pm e_{an}) = (1 \pm e_a) \quad (19)$$

$$(1 - e_{s1})(1 - e_{s2}), \dots, (1 - e_{sn}) = (1 - e_s) \quad (20)$$

$$P_f = P_o (1 \pm e_a)(1 - e_s) \quad (21)$$

Le facteur $(1 - e_s)$ est une constante pour chaque plante étudiée et chaque paramètre utilisé, mais on n'en connaît pas la valeur. Ce que l'on estime n'est donc pas P_o mais

$$P_m = P_o (1 - e_s) \quad (22)$$

L'erreur relative e_a représente donc aussi bien l'erreur relative sur P_m que e_a celle sur P_o .

La formule (20) donne comme limite supérieure de e_a :

$$e_a = \sum_1^n (e_{ai} + e_{ai} \cdot e_{aj} + e_{ai} \cdot e_{aj} \cdot e_{ak} + \dots + e_{a1} \cdot e_{a2} \dots e_{an}) \quad (23)$$

On peut négliger ici les produits de plus de deux facteurs et prendre finalement pour e_a :

$$e_a = \sum_1^n (e_{ai} + e_{ai} \cdot e_{aj}) \quad (24)$$

En résumé, P_o est connu à $k = \left(\frac{1}{1 - e_s} \right)$ près avec une erreur relative $e = e_a = \sum_1^n (e_{ai} + e_{ai} \cdot e_{aj})$.

21. Application de la formule (24) aux mesures de surface diamétrale et de poids sec de racines.

Le tableau VII récapitule les erreurs successives examinées dans le paragraphe 1.

D'après ce tableau, la formule (24) appliquée aux mesures de surface diamétrale donne les résultats suivants :

- pour l'erreur accidentelle :

$$e_{sd} = (e_1 + e_2 + e_3 + e_4 + e_7) + e_1(e_2 + e_3 + e_4 + e_7) + e_2(e_3 + e_4 + e_7) + e_3(e_4 + e_7) + e_4 \cdot e_7 \quad (25)$$

- pour l'erreur systematique :

$$ksd = e_5 + e_6 + e_5 \cdot e_6 \quad (26)$$

Appliquée aux mesures de poids sec, elle donne le résultat suivant :

$$e_p = (e_1 + e_2 + e_3 + e_8 + e_9) + e_1(e_2 + e_3 + e_8 + e_9) + e_2(e_3 + e_8 + e_9) + e_3(e_8 + e_9) + e_8 \cdot e_9 \quad (27)$$

Le tableau IX ci-après regroupe les résultats de calculs effectués pour e_{sd} et e_p dans le cas de deux hauteurs de carottage et de deux erreurs d'enfoncement différentes combinées **factoriellement**.

L'erreur e_9 a été prise égale à 0,02 a priori.

TABEAU IX - Erreurs d'estimation de sd et p.

Erreurs	Eléments de calculs	h = 10 cm		h = 20 cm	
		h = 1,5 mm	h = 1 mm	h = 1,5 mm	h = 1 mm
sd	e_i %	15,25	13,25	12,25	11,25
	$e_i e_j$ %	0,75	0,55	0,45	0,40
	e_{sd} %	16,00	13,80	12,70	11,65
p	e_i %	10,55	8,55	7,55	6,55
	$e_i e_j$ %	0,75	0,65	0,65	0,55
	e_p %	11,30	9,20	8,20	7,10

CONCLUSION GENERALE.

Le tableau IX cidessus montre que l'on pourrait en fait négliger les termes $e_{ai} \cdot e_{aj}$ malgré le nombre important d'erreurs successives.

Il montre aussi qu'un écart de précision important existe entre les estimations de surface diamétrale et celles de poids sec. Des efforts devront donc être encore fournis pour améliorer la précision ~~cision~~ des mesures de surface proprement dites.

Par ailleurs, comme il sera très difficile d'améliorer la précision des prélèvements, on ne peut espérer raisonnablement pour des échantillons de 10 cm de hauteur, dépasser une précision de l'ordre de 10 %, tant pour les estimations de poids sec que pour celles de surface diamétrale de racines in situ.

ANNEXE III

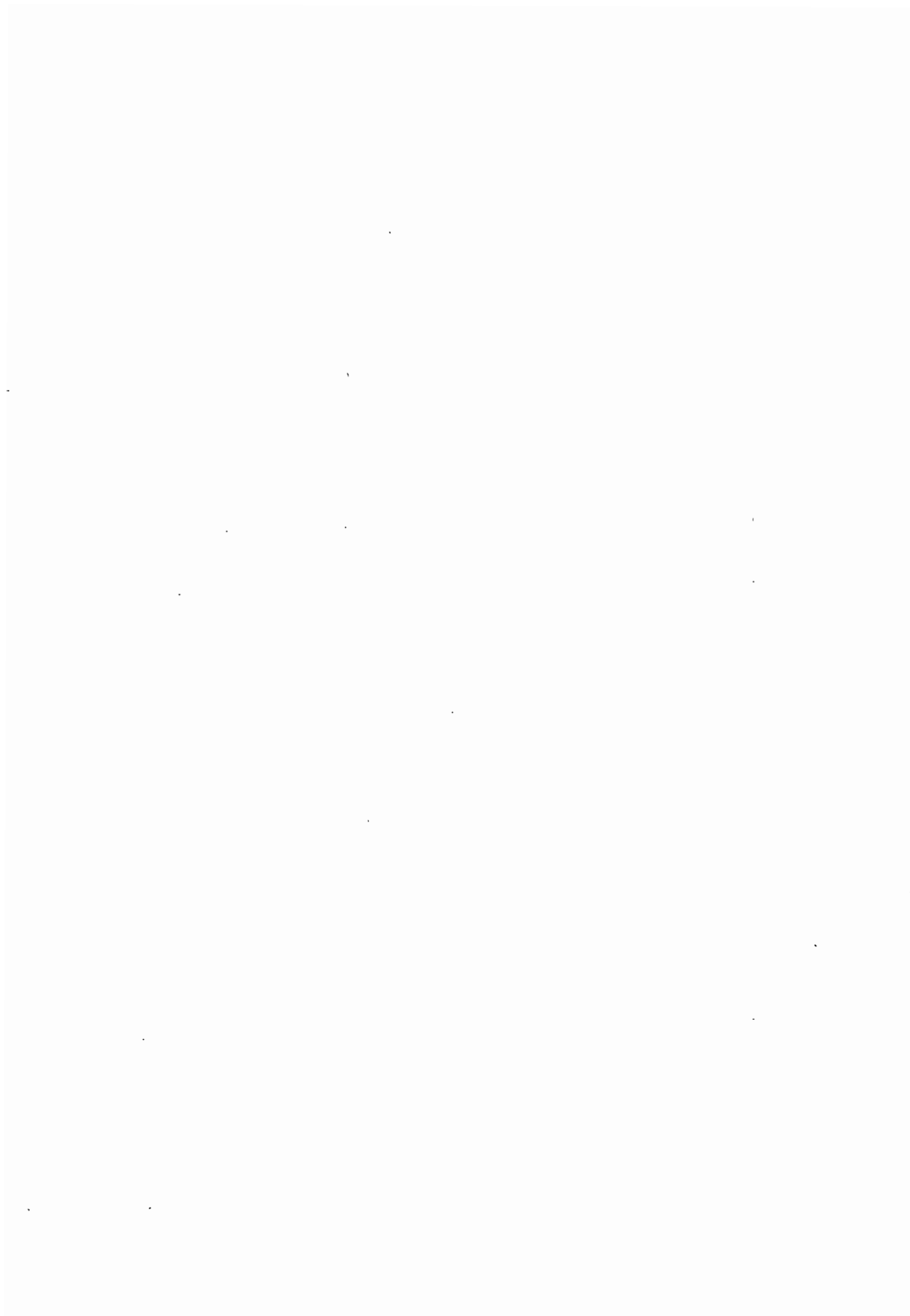


Tableau I

Etude n°1 - Sondages effectués avec la sonde de 55^m/m d'ouverture (5 cm²)

Sondages Horizons	1	3	5	7	9	13	15	17	19	Total	Moyenne	Variance	Ecart-type	C.V.
0 - 10	9,80	16,70	9,50	7,70	16,90	21,50	3,25	3,90	2,30	91,55	10,17	46,60	6,89	67 %
10 - 20	5,00	9,10	10,75	9,30	6,60	2,55	2,25	7,00	8,60	61,15	6,79	9,22	3,04	44,6%
20 - 30	9,30	12,80	6,80	1,80	1,55	1,45	4,25	5,70	1,70	45,35	5,03	16,17	4,02	80 %
30 - 40	1,15	17,10	0,30	-	1,00	-	4,90	1,10	-	25,55	2,84	30,92	5,56	195%
40 - 50	0,40	9,70	0,70	14,30	-	0,65	-	1,40	-	27,15	3,01	27,50	5,24	174%
50 - 60	+	-	+	+	+	-	-	+	-	Traces	-	-	-	-
60 - 70	-	+	+	-	+	-	-	+	+	Traces	-	-	-	-
Total	25,65	65,40	28,05	33,10	26,05	26,15	14,65	19,10	12,60	250,75	27,80	242,10	15,55	56 %

+ Traces de racines : quantités négligeables

Tableau II

Etude n°1 - Sondages effectués avec la sonde de 89^m/m d'ouverture (5 cm²)

Sondages Horizons	2	4	6	8	12	14	16	18	Total	Moyenne	Variance	Ecart-type	C.V.	Test F _{1/2}
0 - 10	11,60	23,45	31,40	50,40	20,90	23,40	10,40	2,50	174,05	21,7	217,50	14,75	68%	0,677
10 - 20	50,60	11,50	0,35	8,80	18,70	15,10	18,60	19,05	142,70	17,8	216,14	14,70	82,5%	3,41
20 - 30	20,40	2,20	14,00	1,20	30,30	1,40	14,00	12,05	95,55	11,9	105,49	10,25	86%	0,947
30 - 40	6,80	-	11,20	42,90	7,60	1,75	7,40	1,65	79,30	9,9	192,28	13,90	140%	0,904
40 - 50	31,40	0,25	15,30	2,65	2,25	3,70	7,35	1,60	64,50	8,0	112,06	10,60	132%	0,590
50 - 60	2,85	-	7,30	-	-	-	16,00	-	26,15	3,3	33,14	5,28	177%	-
60 - 70	0,45	-	1,10	-	-	-	1,90	-	3,45	0,4	0,50	0,707	177%	-
Total	124,10	37,40	80,65	105,95	79,75	45,35	75,65	36,85	585,70	73,14	1021,73	31,95	43,7%	0,612

Le test F a été appliqué aux variances ramenées à l'unité de surface d'ouverture des sondes correspondantes $\left(\frac{\Delta^2}{\Delta_i^2} \times \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right)$, où D est le diamètre d'ouverture de la sonde relative à la variance Δ . Le rapport d'ouverture des sondes est $k_{1/2} = \left(\frac{89}{55} \right)^2 = 2,618$.

Valeur de F_{1/2} au seuil 0,05 pour 7 et 8 degrés de liberté : 3,51

ANNEXE IV

Tableau I
Etude n° 2 - Enracinement de l'ananas sous le traitement I

Sondages N° Horizons _{cm}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Moyenne	%	% cumulés
0 - 10	15,55	46,15	31,15	18,70	20,95	39,10	40,85	37,40	34,00	27,45	311,30	31,13	22,00	22,00
10 - 20	19,95	38,90	47,10	49,05	36,15	75,50	65,85	90,50	52,50	55,05	580,55	58,06	41,10	63,10
20 - 30	28,60	13,90	58,25	37,40	43,55	12,00	55,95	38,60	46,90	21,25	356,40	35,64	25,25	88,35
30 - 40	8,05	1,00	0,25	1,75	31,50	25,90	3,50	4,60	85,45	0,65	102,65	10,27	7,25	95,60
40 - 50	2,25	0,65	0,85	6,35	12,50	0,60	5,55	0,65	14,00	0,55	43,95	4,39	3,10	98,70
50 - 60	0,65	0,90	0,90	0,35	2,35	0,20	-	0,05	8,95	0,05	14,40	1,44	1,00	99,70
60 - 70	0,15	0,25	0,30	0,85	0,15	0,15	0,60	0,75	1,30	0,25	4,75	0,48	0,30	100,00
Total	75,20	151,75	138,80	114,45	147,15	153,45	172,30	172,55	183,10	105,25	1414	20,25	100,00	100,00

Les quantités mesurées sont des surfaces diamétrales en cm²

Tableau II

Etude n° 2 - Enracinement de l'ananas sous le traitement II

Sondages N° Horizons _{cm}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Moyenne	%	% cumulés
0 - 10	34,80	52,20	98,65	53,05	100,15	43,30	110,95	69,05	73,00	103,00	738,15	73,81	28,40	28,40
10 - 20	81,45	102,85	111,70	136,35	68,15	49,90	53,35	78,20	93,25	122,00	897,20	89,72	34,45	62,85
20 - 30	45,95	39,25	9,95	31,55	168,25	57,75	1,40	105,00	49,05	56,50	564,65	56,47	21,75	84,60
30 - 40	14,50	0,40	1,60	1,05	15,15	-	0,95	48,40	5,75	113,20	201,00	20,10	7,73	92,33
40 - 50	48,65	2,75	1,70	0,20	3,45	0,95	0,15	21,00	2,15	42,40	130,40	13,04	5,05	97,38
50 - 60	7,15	0,70	16,15	-	-	-	5,95	6,45	4,75	-	41,55	4,16	1,60	98,98
60 - 70	6,05	-	0,80	4,85	3,85	1,55	1,35	0,20	7,05	0,90	26,60	2,66	1,02	100,00
Total	238,55	198,15	240,95	227,05	359,00	153,45	174,10	328,30	235,00	445,00	2599,55	37,10	100,00	100,00

Les quantités mesurées sont des surfaces diamétrales en cm²

Tableau III

Etude n° 2 - Enracinement de l'ananas sous le traitement III

Sondages Horizons S_{cm} N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Moyenne	%	% cumulé
0 - 10	36,25	43,75	=	21,05	38,75	17,25	33,85	50,10	56,55	40,95	338,50	37,60	34,60	34,60
10 - 20	40,00	14,95	=	26,40	29,50	34,55	49,20	40,05	76,10	40,05	350,80	39,80	35,90	70,50
20 - 30	3,60	7,90	=	19,10	8,40	28,10	17,60	11,35	40,40	11,10	147,55	16,40	15,05	85,55
30 - 40	15,85	-	=	0,30	16,00	9,15	10,05	8,75	9,70	29,55	99,35	11,00	10,00	95,55
40 - 50	4,30	2,80	=	2,35	-	0,55	1,35	1,25	2,90	1,80	17,30	1,90	1,80	97,35
50 - 60	4,30	1,20	=	0,55	-	1,00	0,50	2,40	8,05	1,45	19,45	2,15	2,00	99,35
60 - 70	-	1,30	=	-	-	0,80	0,60	0,55	2,30	0,70	6,25	0,70	0,65	100,00
Total			=								979,20	15,50	100,00	100,00

= sondage éliminé

Les quantités mesurées sont des surfaces diamétrales en cm^2

Tableau IV

Etude n° 2 - Enracinement de l'ananas sous le traitement IV

Sondages N° Horizons _m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Moyenne	%	%cumulé
0 - 10	30,55	29,50	50,50	41,25	36,60	15,40	22,80	40,75	35,20	57,45	360,00	36,00	42,00	42,00
10 - 20	43,40	27,10	20,05	22,30	14,80	17,50	16,50	35,00	27,75	50,70	275,10	27,51	32,00	74,00
20 - 30	3,30	11,50	12,95	11,20	1,30	4,55	9,45	39,00	6,70	18,70	118,65	11,87	13,85	87,85
30 - 40	1,05	7,25	1,90	1,75	4,90	2,15	13,80	-	13,55	-	46,15	4,62	5,40	93,25
40 - 50	-	0,95	0,95	2,50	2,55	-	27,20	1,65	6,30	2,25	44,35	4,43	5,20	98,45
50 - 60	-	0,45	3,05	1,15	-	-	-	7,55	-	-	12,20	1,22	1,40	99,85
60 - 70	-	0,40	-	-	-	-	-	-	0,90	-	1,30	0,13	0,15	100,00
Total											857,75	12,25	100,00	100,00

Les quantités mesurées sont des surfaces diamétrales en cm²

Tableau V

Etude n° 2 - Enracinement de l'ananas sous le traitement V

Sondages Horizons _{cm} / N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	Moyenne	%	% cumulés
0 - 10	=	33,15	31,95	-	8,05	10,85	15,95	39,50	11,95	=	151,40	18,95	20,10	20,10
10 - 20	=	24,95	58,30	43,25	22,60	12,25	18,55	32,80	29,00	=	241,70	30,20	32,10	52,10
20 - 30	=	41,90	57,40	30,50	11,95	4,70	9,15	77,10	19,90	=	252,60	31,60	33,60	85,80
30 - 40	=	21,70	5,90	24,75	0,90	14,80	5,55	4,00	4,10	=	81,70	10,20	10,85	96,65
40 - 50	=	1,75	2,10	3,20	-	0,80	0,60	-	-	=	8,45	1,05	1,10	97,75
50 - 60	=	-	0,45	4,25	-	-	-	0,85	1,85	=	7,40	0,90	0,95	98,70
60 - 70	=	3,80	-	-	-	-	0,80	0,60	4,70	=	9,90	1,25	1,30	100,00
Total										=	753,15	13,45	100,00	100,00

= sondages éliminés

Les quantités mesurées sont des surfaces diamétrales en cm²

Tableau VI - Etude n°2 - Analyse de variances par horizon

Horizons (cm)	Carrés moyens des sources de variation			Test	σ^2	μ	C.V. -
	1	2	3	$F_{2/3}$	Intra - strates	générale	%
	Totales (29 d.l.)	Inter - strates (4 d.l.)	Intra - strates (25 d.l.)				
0 - 10	0, 17 833	0, 50 091	0, 12 672	3, 95 *	0, 35 60	1, 50 11	23, 70
10 - 20	0, 06 446	0, 26 646	0, 03 214	8, 33 **	0, 17 93	1, 62 18	11, 05
20 - 30	0, 16 911	0, 45 031	0, 12 411	3, 63 *	0, 35 22	1, 30 38	27, 00
30 - 40	0, 30 539	0, 18 224	0, 32 510	0, 56	0, 57 01	0, 79 38	71, 90
40 - 50	0, 21 082	0, 33 131	0, 19 154	1, 73	0, 43 75	0, 35 04	125, 00
50 - 60	0, 22 628	0, 44 316	0, 19 157	2, 32	0, 43 75	0, 18 06	243, 00
60 - 70	0, 12 229	0, 28 000	0, 09 706	2, 89 *	0, 31 15	0, 02 62	1184, 00

Valeur de F pour 4 et 25 d.l. $\left\{ \begin{array}{l} \text{au seuil } 0,05 : 2,76 * \\ \text{au seuil } 0,01 : 4,18 ** \end{array} \right.$

Tableau VII - Etude n°2 - Nombres de sondages en fonction de la profondeur.

Horizons (cm)	Nombres de sondages N nécessaires pour tester des différences entre traitements égales à $\alpha \cdot \mu$							
	$\alpha = 0,05$		$\alpha = 0,10$		$\alpha = 0,15$		$\alpha = 0,20$	
	seuil 0,05	seuil 0,01	seuil 0,05	seuil 0,01	seuil 0,05	seuil 0,01	seuil 0,05	seuil 0,01
0 - 10	96	175	24	44	11	20	6	11
10 - 20	21	38	6	10	3	5	2	3
20 - 30	124	227	31	57	14	26	8	15
30 - 40	877	1607	220	402	98	179	55	101
40 - 50	2.650	4857	663	1215	295	540	166	304
50 - 60	10.014	18353	2504	4589	1113	2040	626	1148
60 - 70	-	-	-	-	-	-	14860	27231

Formules utilisées

$$\begin{cases} d = \alpha \cdot \mu \\ N = t^2 \cdot \frac{V^2}{d^2} = t^2 \cdot \left(\frac{C.V.}{\alpha} \right)^2 \end{cases}$$

Pour 25 d.l. la valeur de t est t = 2,060 au seuil 0,05; et t = 2,787 au seuil 0,01

Tableau VIII - Etude n°2 - Tests d'homogénéité de variances.

A - Tests d'homogénéité des variances des traitements par horizon						Valeurs du rapport $\frac{M}{C}$	Observations
Horizons	Variances des traitements						
(cm)	τ^I	τ^II	τ^III	τ^IV	τ^V		
0 - 10	0, 02 563	0, 02 132	0, 04 086	0, 03 496	0, 05 133	1, 13	Homogénéité
10 - 20	0, 02 272	0, 01 570	0, 02 720	0, 03 750	0, 05 766	2, 29	
20 - 30	0, 05 244	0, 01 782	0, 06 172	0, 12 880	0, 19 844	6, 86	
30 - 40	0, 19 590	0, 61 026	0, 39 752	0, 30 440	0, 11 740	3, 52	
40 - 50	0, 19 982	0, 50 834	0, 09 114	0, 06 344	0, 09 502	7, 09	
50 - 60	0, 20 486	0, 32 642	0, 15 718	0, 12 076	0, 14 864	1, 45	
60 - 70	0, 03 716	0, 15 490	0, 05 304	0, 01 086	0, 22 930	11, 24	Hétérogénéité (artefac)
B - Test d'homogénéité des variances inter-strates sur l'ensemble des horizons						16, 93	Hétérogénéité
C - Test d'homogénéité des variances intra-strates sur l'ensemble des horizons						33, 46	Hétérogénéité

Test de BARTLETT: hétérogénéité au seuil 0,05 { de 5 variances si $\frac{M}{C} \gg 9,49$
de 7 variances si $\frac{M}{C} \gg 12,59$

Tableau IX - Etude n° 2 - Analyse pédologique.

Profondeur (cm)	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80
Granulométrie % de terre fine								
Argile	21,3	22,0	23,3	24,5	26,0	27,8	28,0	28,8
Limon	5,0	6,0	4,8	3,0	3,8	2,3	3,3	2,0
Limon grossier	1,2	1,4	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1
Sable fin	16,1	16,3	15,3	14,5	14,8	14,2	13,2	13,3
Sable grossier	54,2	53,0	55,0	56,2	53,8	54,1	55,2	55,2
Refus % de terre fine								
Matière Organique								
M.O. totale %	3,40	2,73						
Carbone %	1,976	1,585						
Azote %	0,171	0,128						
C/N	11,5	12,4						
P ₂ O ₅ total ‰								
	1,342	1,330						
Complexe Absorbant meq % de terre fine								
Ca	1,60	1,75	1,39	0,85	0,61	0,48	0,22	0,24
Mg	0,57	0,21	0,09	0,16	0,09	0,18	0,15	0,37
K	0,13	0,09	0,11	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04
Na	0,10	0,03	0,04	0,03	0,02	0,31	0,05	0,04
S	2,40	2,08	1,63	1,09	0,76	1,03	0,47	0,69
T	9,12	9,11	8,58	8,33	7,61	7,11	6,90	6,63
V	26,31	22,83	18,99	13,08	9,98	14,48	6,81	7,16
pH (H ₂ O)								
	4,8	4,9	4,8	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5

ANNEXE V

Etude n° 4

Analyse de distributions

Tableau n° I

Paramètre: P mg				Paramètre: C mg				Paramètre: S cm ²			
N = 194 m = 278,08 mg b ₁ = 0,362				N = 194 m = 107,63 mg b ₁ = 1,868				N = 200 m = 20,49 cm ² b ₁ = 0,378			
e = 723 mg s = 147,2 mg b ₂ = 2,787				e = 473 mg s = 84,5 mg b ₂ = 4,832				e = 54,55 cm ² s = 10,49 cm ² b ₂ = 3,31			
i = 74 mg C.V. = 53% m' = 280 mg				i = 48 mg C.V. = 78,6% m' = 110 mg				i = 5,60 cm ² C.V. = 51,2% m' = 20,000			
F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'
8	4,1	37	317	53	27,3	24	134	11	5,5	2,80	22,80
35	22,2	111	391	60	58,3	72	182	29	20,0	8,40	28,40
38	41,8	185	465	27	72,2	120	230	41	40,5	14,00	34,00
30	57,2	259	539	25	85,0	168	278	39	60,0	19,60	39,60
33	74,2	333	613	13	91,7	216	326	36	78,0	25,20	45,20
25	87,1	407	687	6	94,9	264	374	23	89,5	30,80	50,80
11	92,7	481	761	5	97,4	312	422	9	94,0	36,40	56,40
5	95,4	555	835	4	99,5	360	470	7	97,5	42,00	62,00
8	99,5	629	909	0	99,5	408	518	3	99,0	47,60	67,60
1	100,0	703	983	1	100,0	456	566	2	100,0	53,20	73,20

N = nombre d'échantillons ; e = étendue ; i = intervalle de classe ; m = moyenne ; s = écart-type ;
 C.V. = $\frac{s}{m}$; b₁, b₂ = coefficients de K. PEARSON ; F.A. = Fréquence Absolue ; F.R.C. = Fréquence Relative Cumulée ;
 C.C. = Centre de classe ; m' = ct^e de transformation log-normale.

Etude n° 4

Analyse de distributions

Tableau n° II

Paramètre: $\frac{P}{S}$ mg/cm^2				Paramètre: S^2/P				Paramètre: $S^2/P^2 \cdot 10^{-2}$			
N = 194 m = 13,10 mg/cm^2 $b_1 = 0,109$				N = 194 m = 1877,95 $b_1 = 0,860$				N = 194 m = 1367,61 $b_1 = 1,33$			
e = 18,71 mg/cm^2 $s = 2,99 mg/cm^2$ $b_2 = 3,918$				e = 4538 $s = 836,5$ $b_2 = 1,571$				e = 4225 $s = 782$ $b_2 = 4,78$			
i = 2 mg/cm^2 C.V. = 22,8% $m' = 13 mg/cm^2$				i = 480 C.V. = 44,6% $m' = 1640$				i = 440 C.V. = 57,2% $m' = 1340$			
F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'
4	2,1	6	19	9	4,6	240	1880	16	8,3	220	1560
10	7,2	8	21	33	21,7	720	2360	37	27,3	660	2000
31	23,2	10	23	44	44,4	1200	2840	53	54,7	1100	2440
49	48,5	12	25	48	69,2	1680	3320	44	72,4	1540	2880
53	75,5	14	27	31	85,1	2160	3800	16	85,6	1980	3320
34	93,3	16	29	14	92,3	2640	4280	15	93,3	2420	3760
7	96,9	18	31	5	94,8	3120	4760	7	97,0	2860	4200
3	98,5	20	33	6	97,9	3600	5240	1	97,5	3300	4640
2	99,5	22	35	2	98,9	4080	5720	2	98,5	3740	5080
1	100,0	24	37	2	100,0	4560	6200	3	100,0	4180	5520

N = nombre d'échantillons ; e = étendue ; i = intervalle de classe ; m = moyenne ; s = écart-type ;
 C.V. = $\frac{s}{m}$; b_1, b_2 = coefficients de K. PEARSON ; F.A. = Fréquence Absolue ; F.R.C. = Fréquence Relative Cumulée ;
 C.C. = Centre de classe ; m' = ct^e de transformation log-normal.

Etude n° 4

Analyse de distributions

Tableau n° III

Paramètre: (P+C) mg				Paramètre: C/P. 10 ²				Paramètre: C/S mg/cm ²			
N = 196 m = 383,87mg b ₁ = 0,537				N = 194 m = 38,56% b ₁ = 0,115				N = 194 m = 5,00mg/cm ² b ₁ = 0,253			
e = 1085mg s = 218,6mg b ₂ = 2,950				e = 108,5% s = 22,2% b ₂ = 3,041				e = 17mg/cm ² s = 3,07mg/cm ² b ₂ = 3,735			
i = 110mg C.V. = 57% m' = 380mg				i = 11% C.V. = 57,70% m' = 38				i = 1,7mg/cm ² C.V. = 61,5% m' = 5mg/cm ²			
F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'
11	5,6	55	435	17	8,8	5,5	43,5	24	12,4	0,85	5,85
41	26,5	165	545	33	25,8	16,5	54,5	47	36,6	2,55	7,55
43	48,5	275	655	39	45,8	27,5	65,5	38	56,2	4,25	9,25
27	61,7	385	765	35	63,9	38,5	76,5	35	74,2	5,95	10,95
34	79,6	495	875	29	78,8	49,5	87,5	28	88,7	7,65	12,65
15	87,2	605	985	15	86,6	60,5	98,5	9	93,3	9,35	14,35
12	93,4	715	1095	14	93,8	71,5	109,5	6	96,4	11,05	16,05
8	97,5	825	1205	7	97,5	82,5	120,5	4	98,5	12,75	17,75
3	99,0	935	1315	2	98,4	93,5	131,5	2	99,5	14,45	19,45
2	100,0	1045	1425	3	100,0	104,5	142,5	1	100,0	16,15	21,15

N = nombre d'échantillons ; e = étendue ; i = intervalle de classe ; m = moyenne ; s = écart-type ;
 C.V. = $\frac{s}{m}$; b₁, b₂ = coefficients de K. PEARSON ; F.A. = Fréquence absolue ; F.R.C. = Fréquence Relative Cumulée ;
 C.C. = Centre de classe ; m' = ct^e de transformation log-normale.

Etude n° 4

Analyse de distributions

Tableau n° IV

Paramètre: $10^3 \text{Log}_{10}(P+280 \text{ mg})$				Paramètre: $10^3 \text{Log}_{10}(C+110 \text{ mg})$				Paramètre: $10^3 \text{Log}_{10}(S+20,00 \text{ cm})$			
$N = 194$	$m = 2732$	$b_1 = 0,002$		$N = 194$	$m = 2304,48$	$b_1 = 0,061$		$N = 200$	$m = 1594,17$	$b_1 = 0,000$	
$e = 523$	$s = 112,5$	$b_2 = 2,326$		$e = 721$	$s = 161,0$	$b_2 = 2,553$		$e = 566$	$s = 112,2$	$b_2 = 2,57$	
$i = 54$	$\text{C.V.} = 4,12\%$			$i = 75$	$\text{C.V.} = 7,00$			$i = 58$	$\text{C.V.} = 7,04\%$		
F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'
5	2,6	2501	-	18	8,2	2067,5	-	3	1,5	1326	-
13	9,3	2555	-	25	21,7	2142,5	-	8	5,5	1384	-
27	23,2	2609	-	45	45,4	2217,5	-	16	13,5	1442	-
29	38,2	2663	-	30	60,3	2292,5	-	32	29,5	1500	-
29	53,2	2717	-	23	72,7	2367,5	-	34	46,5	1558	-
33	70,1	2771	-	24	85,1	2442,5	-	39	66,0	1616	-
30	85,6	2825	-	15	92,8	2517,5	-	37	84,5	1674	-
14	92,7	2879	-	7	96,4	2592,5	-	18	93,5	1732	-
10	97,9	2933	-	6	99,5	2667,5	-	8	97,5	1790	-
4	100,0	2987	-	1	100,0	2742,5	-	5	100,0	1848	-

N = nombre d'échantillons ; e = étendue ; i = intervalle de classe ; m = moyenne ; s = écart-type ;
 $\text{C.V.} = \frac{s}{m}$; b_1, b_2 = coefficients de K. PEARSON ; F.A. = Fréquence Absolue ; F.R.C. = Fréquence Relative Cumulée ;
 C.C. = Centre de classe.

Etude n° 4

Analyse de distributions

Tableau n° V

Paramètre: $10^3 \text{Log}_{10}(S+20,00 \text{ cm}^2)$

Paramètre: $10^3 \text{Log}_{10}(P/S+13 \text{ mg/cm}^2)$

Paramètre: $S_{20} \text{ cm}^2$

$N = 194$ $m = 1599,45$ $b_1 = 0,017$
 $e = 497$ $s = 106,4$ $b_2 = 2,537$
 $i = 52$ $C.V. = 6,66\%$

$N = 194$ $m = 1415,92$ $b_1 = 0,022$
 $e = 307$ $s = 48,4$ $b_2 = 3,66$
 $i = 32$ $C.V. = 3,42\%$

$N = 201$ $m = 16,45 \text{ cm}^2$ $b_1 = 1,562$
 $e = 62,30 \text{ cm}^2$ $s = 12,68 \text{ cm}^2$ $b_2 = 4,374$
 $i = 6,40 \text{ cm}^2$ $C.V. = 77,2 \text{ cm}^2$ $m' = 17,00 \text{ cm}^2$

F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'	F.A.	F.R.C.	C.C.	C.C.+m'
6	3,1	1381	-	2	1,1	1264	-	43	21,4	3,20	20,20
12	9,3	1433	-	2	2,1	1296	-	56	49,2	9,60	26,60
27	23,2	1485	-	10	7,2	1328	-	31	64,7	16,00	33,00
29	38,2	1537	-	22	18,6	1360	-	22	75,7	22,40	39,40
31	54,2	1589	-	45	41,8	1392	-	25	88,1	28,80	45,80
38	73,7	1641	-	53	69,1	1424	-	12	94,0	35,20	52,20
26	87,2	1693	-	41	90,2	1456	-	3	95,5	41,60	58,60
13	93,8	1745	-	13	96,9	1488	-	3	97,0	48,00	65,00
7	97,4	1797	-	3	98,4	1520	-	4	99,0	54,40	71,40
5	100,0	1849	-	3	100,0	1552	-	2	100,0	60,80	77,80

N = nombre d'échantillons ; e = étendue ; i = intervalle de classe ; m = moyenne ; s = écart-type ;
 $C.V. = \frac{s}{m}$; b_1, b_2 = coefficients de K. PEARSON ; F.A. = Fréquence Absolue ; F.R.C. = Fréquence Relative Cumulée ;
 C.C. = Centre de classe ; m' = ct^e de transformation log-normale.

E T U D E N° 4

TABLEAU VI - Corrélation entre les paramètres normalisés S et P

1. Table de corrélation.

S \ P	Centres de classes										Effectifs marginaux
	2501	2555	2609	2663	2717	2771	2825	2879	2933	2987	
1381	4	2									6
1433	1	6	5								12
1485		5	14	8							27
1537			8	13	7	1					29
1589				8	15	8					31
1641					7	17	12	2			38
1693						5	13	7	1		26
1745						2	4	4	3		13
1797							1	1	5		7
1849									1	4	5
Effect. margin.	5	13	27	29	29	33	30	14	10	4	194

2. Résultats des calculs.

Coefficient de corrélation de S et P : $r = 0,9296$
 Rapport de corrélation de P classé sur S : $r^2_{P,S} = 0,8701$
 Rapport de corrélation de S classé sur P : $r^2_{S,P} = 0,8688$
 Equation de la droite de régression de P fonction de S :
 $\log_{10} (P + 280_{mg}) = 0,946 \cdot \log_{10} (S + 20_{cm^2}) + 1,219$
 Test de linéarité : $\frac{N - k}{k - 2} \times \frac{\sum (P_i - \bar{P})^2 - r^2_{P,S} \sum (P_i - \bar{P})^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2} = 1,045$ (N.S.)
 Equation de la droite de régression de S fonction de P :
 $\log_{10} (S + 20_{cm^2}) = 0,913 \cdot \log_{10} (P + 280_{mg}) - 0,893$
 Test de linéarité : $\frac{N - k}{k - 2} \times \frac{\sum (S_i - \bar{S})^2 - r^2_{S,P} \sum (S_i - \bar{S})^2}{\sum (S_i - \bar{S})^2} = 0,796$ (N.S.)

3. Remarques.

N et k représentent respectivement l'effectif total (194) et le nombre de classes (10). Les valeurs trouvées pour les tests de linéarité ne sont pas significatives.

E T U D E N° 4

TABLEAU VII - Corrélation entre les paramètres normalisés S et C

1. Table de corrélation.

S \ C	Centres de classes										Effectifs marginaux
	2068	2143	2218	2293	2368	2443	2518	2593	2668	2743	
1381	3	2	1								6
1433	5	3	4								12
1485	5	9	9	4							27
1537	2	6	8	5	6	2					29
1589	2	3	8	12	2	3	1				31
1641		2	6	7	7	8	5	1	2		38
1693	1		6	2	3	7	3	2	1	1	26
1745			1		2	2	5	2	1		13
1797					5	2	1	1			7
1849			2					1	2		5
Effectifs marginaux	18	25	45	30	23	24	15	7	6	1	194

2. Résultats des calculs.

Coefficient de corrélation de S et C : $r = 0,6595$
 Rapport de corrélation de C classé sur S $\eta^2_{C,S} = 0,4606$
 Rapport de corrélation de S classé sur C $\eta^2_{S,C} = 0,4540$
 Equation de la droite de régression de C fonction de S :

$$\log_{10} (C + 110_{\text{mg}}) = 0,669 \cdot \log_{10} (S + 20 \text{ cm}^2) + 1,234$$

Test de linéarité : $\frac{N - k}{k - 2} \times \frac{\eta^2_{C,S} - r^2}{1 - \eta^2_{C,S}} = 1,097$

Equation de la droite de régression de S fonction de C

$$\log_{10} (S + 20 \text{ cm}^2) = 0,650 \cdot \log_{10} (C + 110_{\text{mg}}) + 0,102$$

Test de linéarité : $\frac{N - k}{k - 2} \times \frac{\eta^2_{S,C} - r^2}{1 - \eta^2_{S,C}} = 0,805$

3. Remarques.

N et k représentent respectivement l'effectif total (194) et le nombre de classes (10). Les valeurs trouvées pour les tests de linéarité ne sont pas significatives.

E T U D E N° 4

TABLEAU VIII - Rapprochement des valeurs réelles de P et $\frac{P}{S}$, observées et calculées, en fonction des valeurs réelles S classées de S

1. Equation de la courbe de régression liant les valeurs réelles de P et S : $P = 16,56.(S + 20\text{cm}^2)^{0,946} - 280 \text{ mg}$ (1)
2. Rapprochement des valeurs réelles, observées et calculées de P et $\frac{P}{S}$.

Moyennes liées de S, P et $\frac{P}{S}$				Valeurs calculées de P mg	Valeurs calculées de $\frac{P}{S}$ mg/cm ²
Valeurs classées de S cm ²		Valeurs observées de P mg	Valeurs observées de $\frac{P}{S}$ mg/cm ²		
Cent. classes	Moy. exactes				
2,80	4,38	40,33	8,84	60,28	13,23
8,40	8,80	114,46	13,14	117,77	13,14
14,00	13,75	174,05	12,62	182,19	13,07
19,60	19,68	257,37	13,08	258,70	13,03
25,20	24,76	347,03	14,02	323,61	12,98
30,80	30,25	416,50	13,75	393,50	12,93
36,40	35,81	468,00	13,06	463,88	12,89
42,00	42,74	552,99	12,91	550,82	12,84
47,60	49,08	680,00	13,85	630,14	12,80
53,20	53,75	630,00	11,74	688,26	12,76
	50,95	237,80	13,00		

(Les valeurs en regard des accolades sont les moyennes des valeurs des classes regroupées).

1° - Pour S = 0 P = 2,18 mg.

2° - Les valeurs calculées de $\frac{P}{S}$ ont été déterminées sur l'équation (1) modifiée pour que S et P s'annulent simultanément :

$$P_{\text{mg}} = 16,56 (S + 20\text{cm}^2)^{0,946} - 277,82 \text{ mg} \quad (2)$$

3° - Dans ces conditions, pour S = 0

$$\begin{aligned} P &= 0 \\ \frac{P}{S} &= 13,34 \text{ mg/cm}^2. \end{aligned}$$

E T U D E N° 4

TABLEAU IX - Rapprochement des valeurs réelles de C et $\frac{C}{S}$, observées et calculées, en fonction des valeurs réelles S classées de S

1. Equation de la courbe de régression liant les valeurs réelles de C et S

$$C_{mg} = 17,14 (S + 20 \text{ cm}^2)^{0,669} - 110 \text{ ng} \quad (1)$$

2. Rapprochement des valeurs réelles, observées et calculées, de C et $\frac{C}{S}$.

Moyennes liées de S, C et $\frac{C}{S}$				Valeurs calculées de C_{mg}	Valeurs calculées de $\frac{C}{S}$ mg/cm ²
Valeurs classées de S cm ²		Valeurs observées de C_{mg}	Valeurs observées de $\frac{C}{S}$ mg/cm ²		
Cent. classes	Moy. exactes				
2,80	4,38	18,66	4,39	35,60	8,12
8,40	8,80	38,25	4,33	52,32	5,95
14,00	13,75	65,12	4,69	70,48	5,12
19,60	19,63	96,79	4,81	91,05	4,63
25,20	24,76	132,30	5,35	108,02	4,36
30,80	30,25	189,91	6,23	125,50	4,15
36,40	35,81	178,35	4,99	142,64	3,98
42,00	42,74	172,71	4,05	163,21	3,82
47,60	50,95 (49,08)	237,80 (329,66)	4,78 (6,71)	181,38	3,70
53,20	53,75	100,00	1,88	194,41	3,62

(Les valeurs en regard des accolades sont les moyennes des valeurs des classes regroupées).

3. Remarques.

- 1° - Pour S = 0 C = 17,18 mg
 2° - Les valeurs calculées de C et $\frac{C}{S}$ ont été déterminées directement sur l'équation(1).S
 3° - Dans ces conditions, pour S = 0 ,

$$\frac{dC}{dS} = 4,28 , \quad \frac{d(\frac{C}{S})}{dS} \Rightarrow -\infty$$

E T U D E N° 4

TABLeAU X - Rapports de corrélation entre les paramètres normalisés S et $\frac{P}{S}$
Etude de l'homogénéité des variances de ces paramètres classés réciproquement l'un sur l'autre.

N° de classes	$\frac{P}{S}$ fonction de S					S fonction de $\frac{P}{S}$									
	Centres des classes de log(S+20)	Moyennes des valeurs classées de log(P/S+13)	Variances des valeurs classées de log(P/S+13)	Effectifs	C.V.	Centres des classes de log(P/S+13)	Moyennes des valeurs classées de log(S+20)	Variances des valeurs classées de log(S+20)	Effectifs	C.V.					
1	1407	1381	139639	1335,16	4381	6	4,9	1280	1264	1388	1399,00	450	2	-	
2		1433		1427,00	5242	12	5,1		1296		1377,00	0	2	-	
3		1485		1401,81	2489	27	3,6		1328		1554,40	5832	10	4,9	
4		1537		1407,21	3493	29	4,2		1360		1565,32	8647	22	5,9	
5		1589		1408,22	1465	31	2,7		1392		1602,42	12780	45	7,1	
6		1641		1428,63	1361	38	2,6		1424		1632,94	10822	53	6,4	
7		1693		1430,38	1472	26	2,7		1456		1620,90	8679	41	5,8	
8		1745		1418,54	1904	13	3,1		1488		1569,46	11002	13	6,7	
9		1825		1797	1413,33	693	7		1,9		1520	1458,67	2858	3	-
10				1849	1414,40	486	5		1,6		1552	1616,33	3420	3	-
Moyenne	-	-	1414,06	2299	-	-	-	1599,35	9627	-	-	(s/6 variances)	-		

(Les valeurs en regard des accolades sont les moyennes des valeurs des classes regroupées).

Valeurs des rapports de corrélation : Valeurs des rapports $\frac{M}{C}$ de BARTLETT

1) $r^2(P, S) = 0,1342$

2) $r^2(S, \frac{P}{S}) = 0,1542$

3) χ^2 est significatif pour 184 et 9 d.l. s'il est supérieur à 0,086 (seuil 0,05).

1) s/les variances des valeurs classées de $\frac{P}{S} : - \frac{M}{C} = 32,55$

2) s/les variances des valeurs classées de S de degrés de liberté supérieures à 2 : $\frac{M}{C} = 9,05$

3) Hétérogénéité au seuil $\left(\frac{M}{C} = 16,92 \right.$ pour 10 variances
0,05 si $\left. \begin{matrix} C \\ \frac{M}{C} = 11,07 \end{matrix} \right)$ pour 6 variances

E T U D E N° 4

TABLEAU XI - Rapports de corrélation entre $\frac{P}{S}$ et S , $\frac{S^3}{P^2}$ et $\frac{S}{C}$
 (valeurs réelles classées sur $\frac{P}{S}$ voir le graphique n° 6).

Numéro de Classe	Effectifs de $\frac{P}{S}$	Centres de classes de $\frac{P}{S}$ mg/cm2	Moyennes liées correspondantes		
			S cm2	$\frac{S^3}{P^2}$	$\frac{C}{S}$ mg/cm2
1	4	6	4,44	1416,75	1,41
2	10	8	16,37	2293,60	3,41
3	31	10	17,90	1731,48	3,79
4	49	12	22,13	1535,00	4,73
5	53	14	24,85	1286,96	5,81
6	34	16	20,66	822,50	5,59
7	7	18	20,21	676,71	7,54
8	3	20	8,90	230,67	3,66
9	2	22	24,48	512,50	4,13
10	1	24	15,80	276,00	3,42
Moyennes	-	13,10	20,99	1342,21	4,96

(Les valeurs en regard des accolades sont les moyennes des valeurs des classes regroupées).

Valeurs des rapports de corrélation :

$$r^2\left(S, \frac{P}{S}\right) = 0,1342$$

$$r^2\left(\frac{S^3}{P^2}, \frac{P}{S}\right) = 0,2892$$

$$r^2\left(\frac{C}{S}, \frac{P}{S}\right) = 0,1237$$

Remarques.

η^2 est significatif pour 184 et 9 d.l. s'il est supérieur à 0,086.

1 - Profils radicellaires : prélèvements.



1 - Matériel de prélèvement



3 - Planage du profil



2 - Préparation d'une planche à clous



4 - Présentation de la planche à clous

2 - Profils radicellaires : prélèvements [suite].



5 - Enfouissement de la planche à clous



7 - Basculement du profil



6 - Cisaillement du profil



8 - Sortie du profil

3 - Profils radicellaires : traitements.



9 - Hotte chauffante



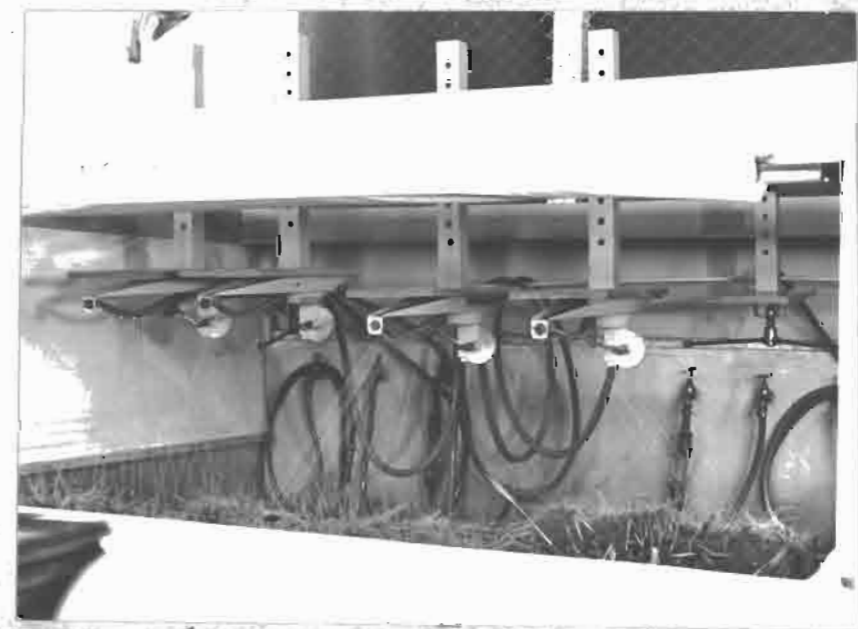
12 - Stalle de déterrage



10 - Résistances électriques



11 - Profil sec : trempage dispensant



13 - Déterrage d'un profil radicellaire.



14 - Matériel de sondage



15 - Enfouissement de la sonde



16 - Ouverture de la sonde



17 - Ouverture de la sonde



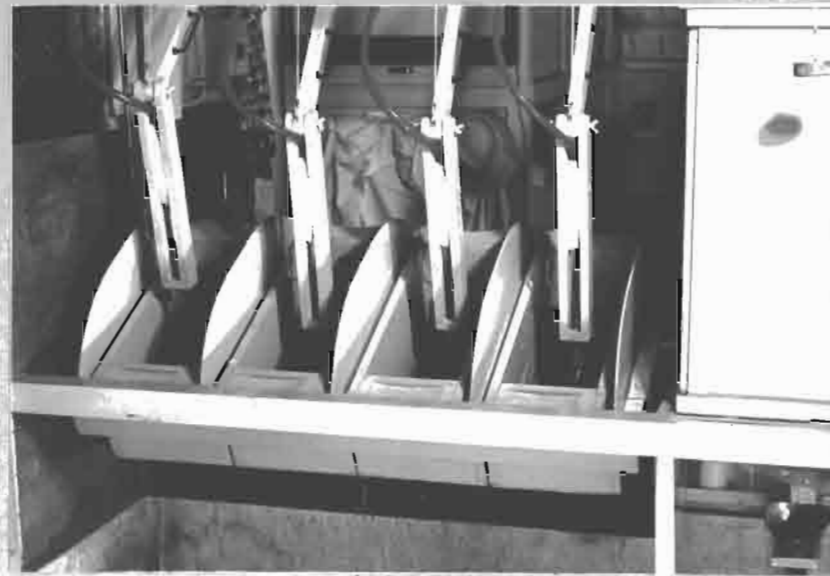
18 - Récupération de la carotte

4 - Sondages : prélèvements.

5 - Sondages : traitements



19 - Appareil de déferpage



20 - Doubles - tamis et lances d'arrosage



21 - Postes de nettoyage et d'étalement



22 - Nettoyage et étalement des racines



23 - Planimètre

6 - Etude n°2 - Profils radicellaires.

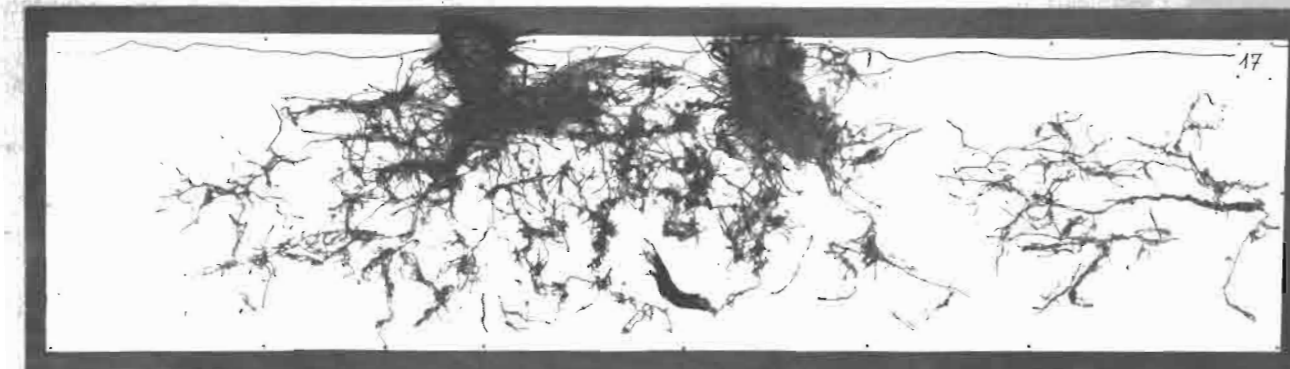


24 - Fosses de prélèvements

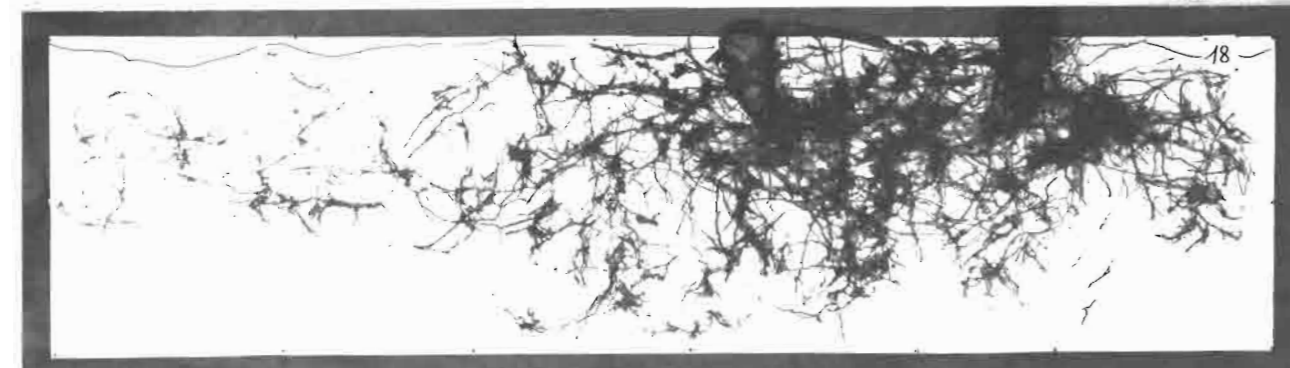


25 - Préparation d'un prélèvement

Densité moyenne : culture sous polyéthylène



26

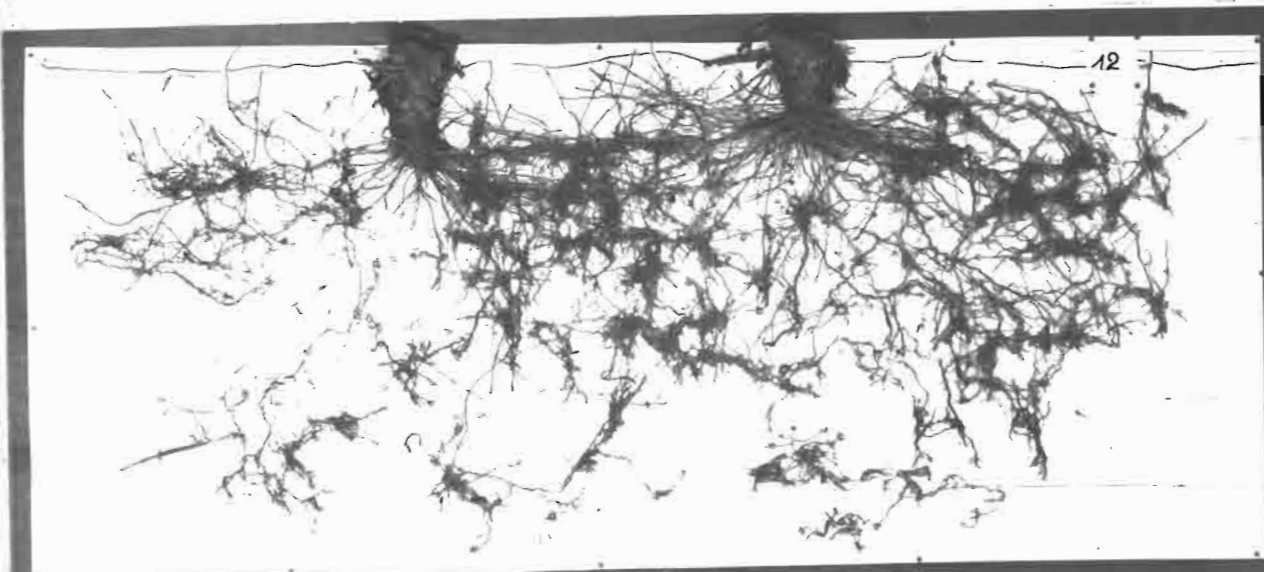


27

Densité moyenne : culture sur sol nu

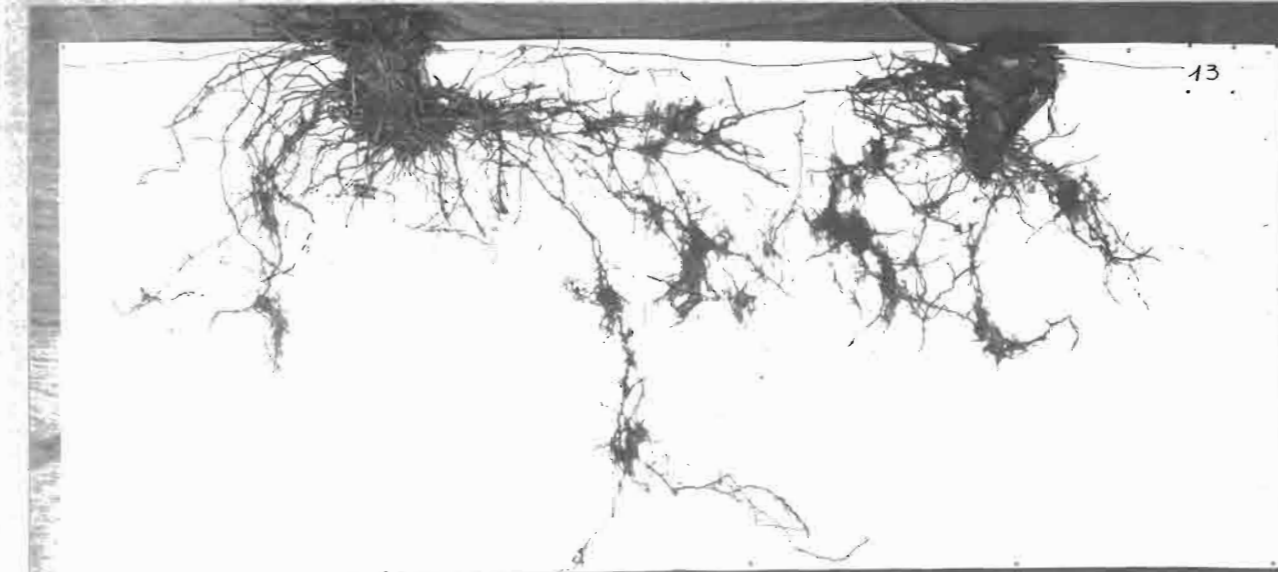


28

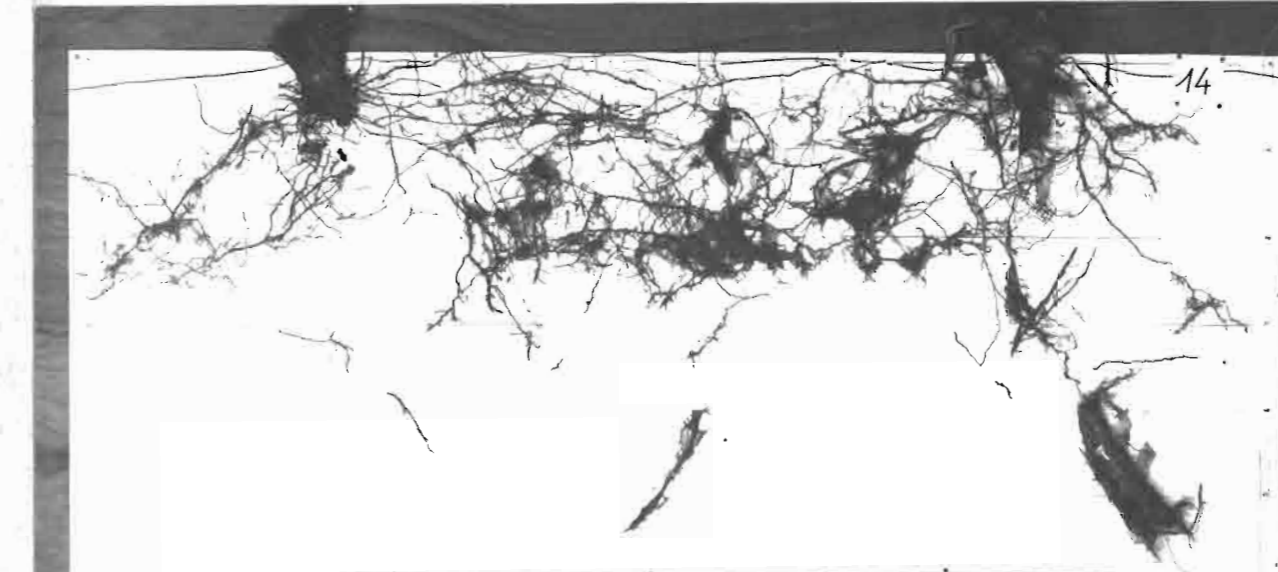


29

Faible densité : culture sur sol nu

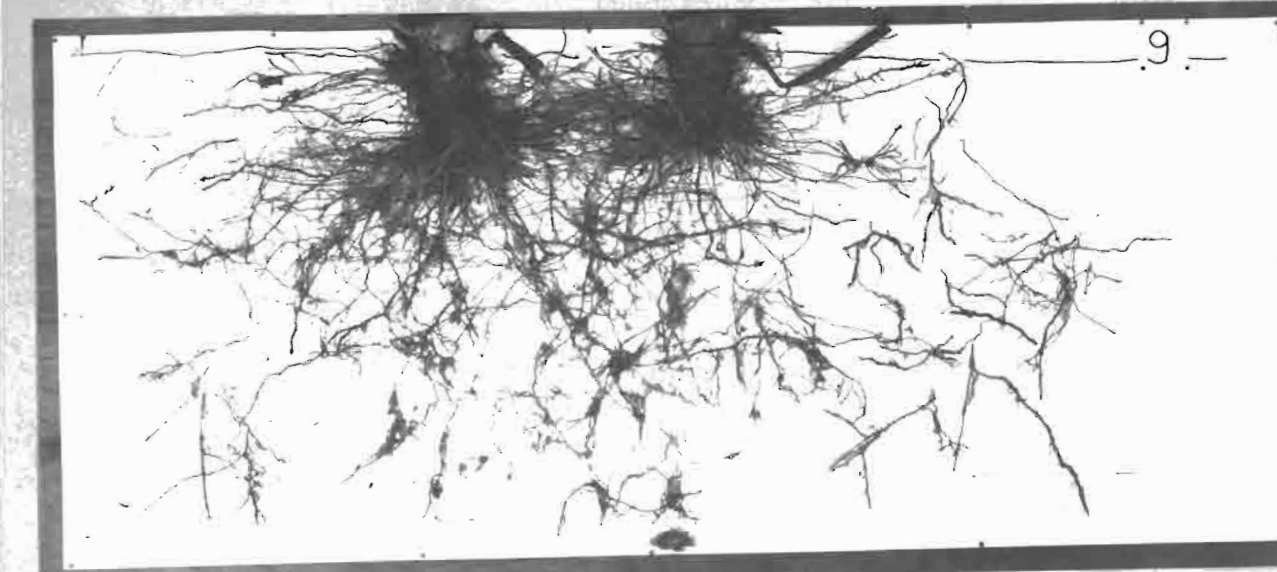


30



31

Densité élevée : culture sur sol nu



32



33



34



37 - Densité moyenne : culture sous paillage



35



36

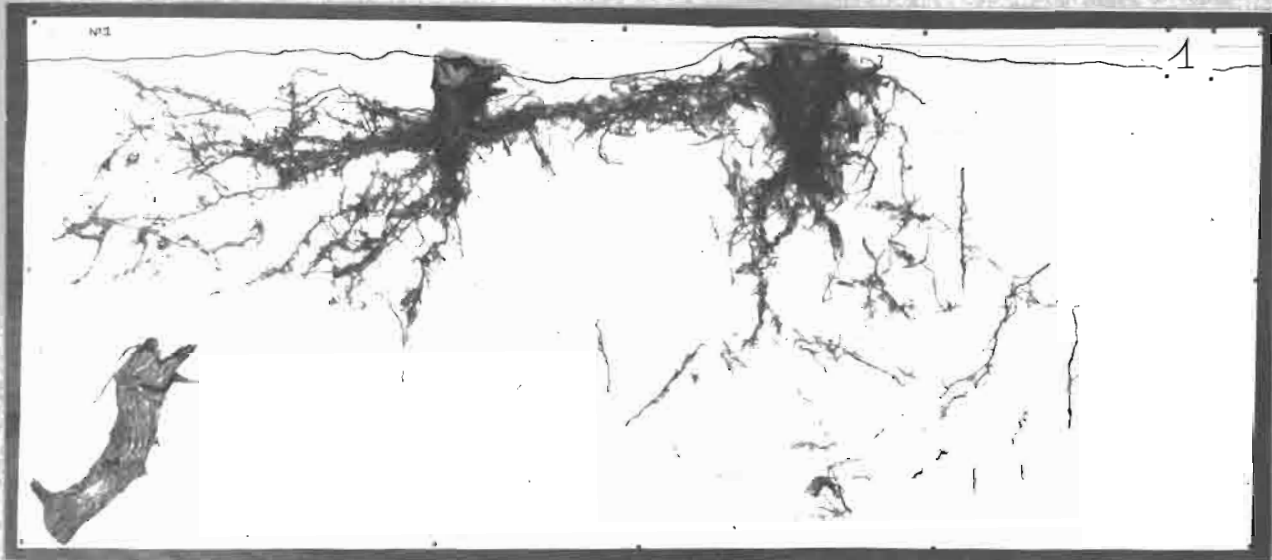


38 - id 37 : culture sous polyéthylène

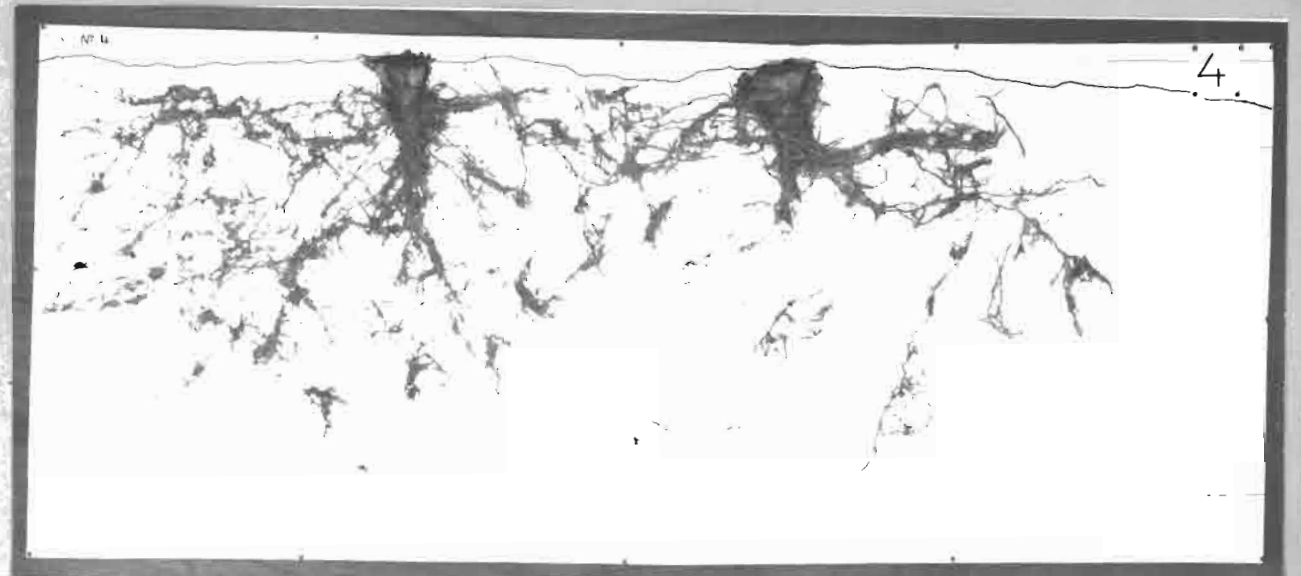
8 - Etude n° 3 - Profils radicellaires

Premiers profils

Seconds profils

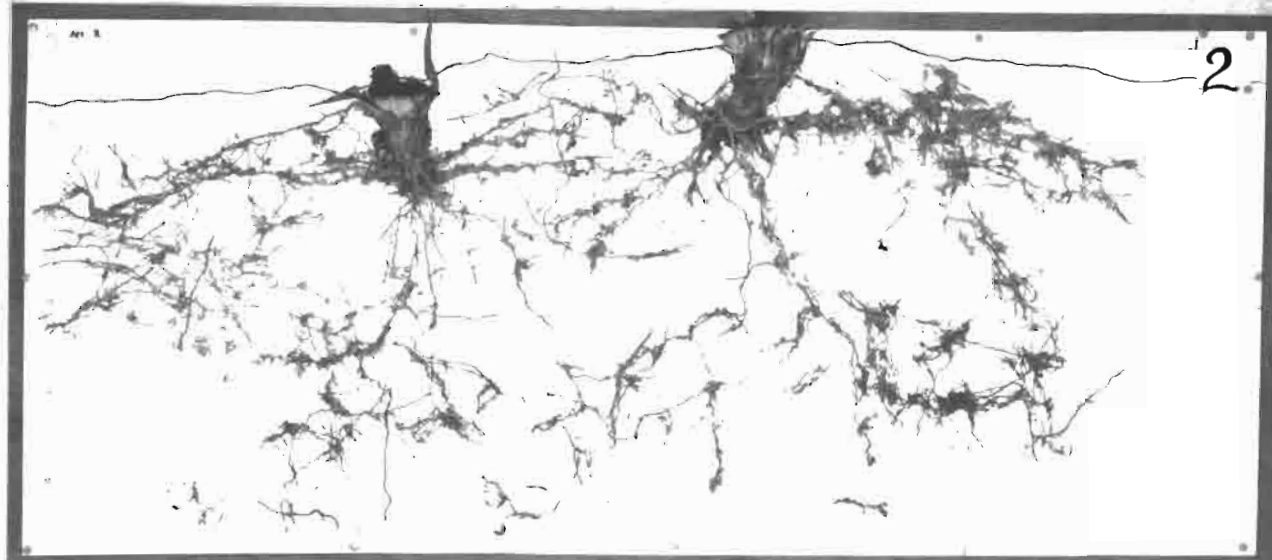


39

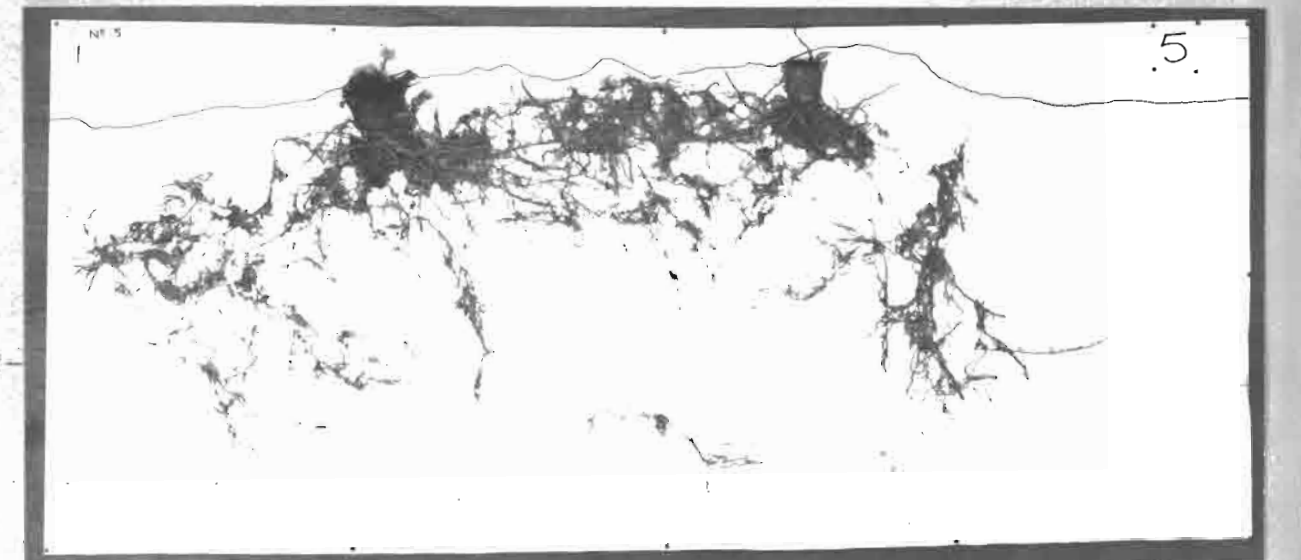


42

Fosse 1

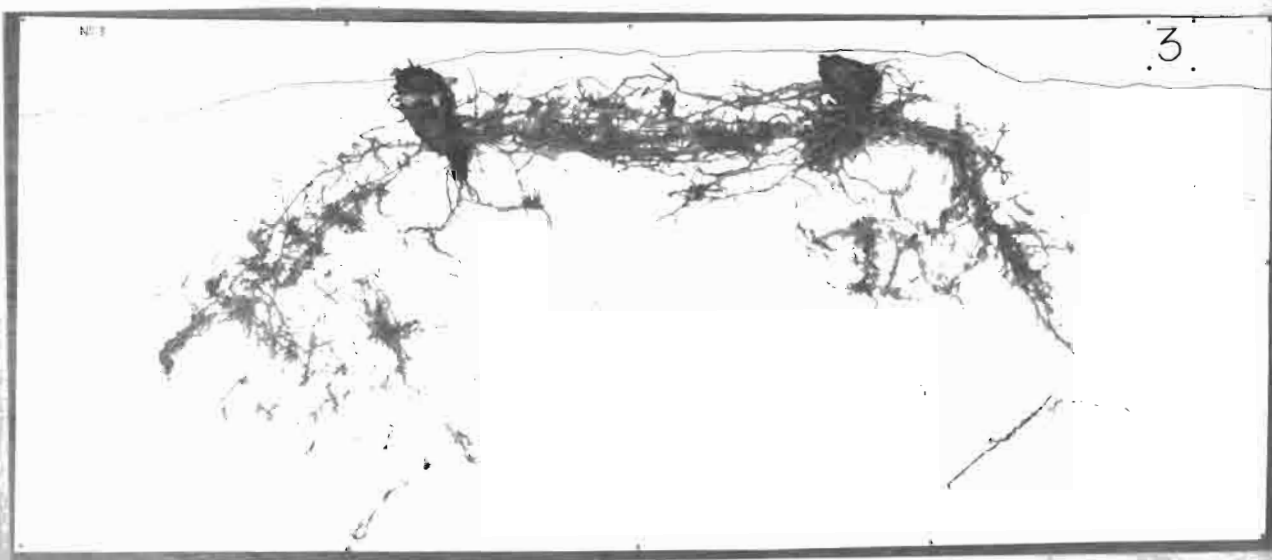


40

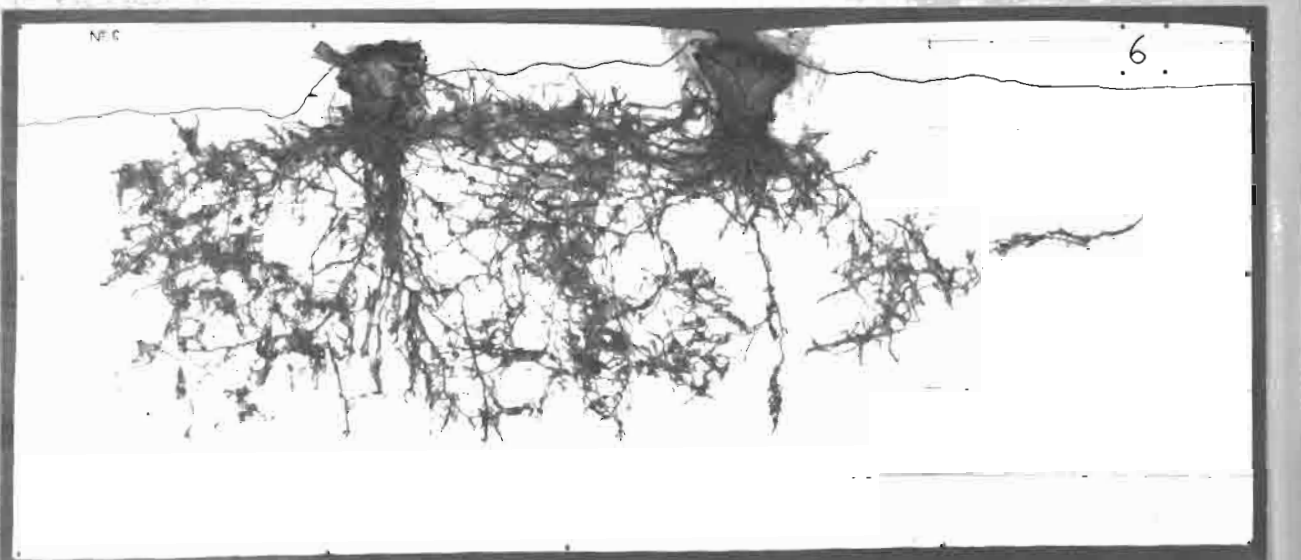


43

Fosse 2



41



44

Fosse 3

9 - Etude n° 3 - Profils culturaux



45



46