

T H È S E

présentée

à l'UER de Sciences exactes et naturelles
de l'Université de Clermont

pour obtenir le grade de Docteur ès-Sciences

par

D. PICARD

**DYNAMIQUE RACINAIRE DE *PANICUM MAXIMUM* JACQ.
ET APPORT AU SOL DE MATIÈRE ORGANIQUE**

Soutenu le 2 juillet 1976 devant la Commission d'Examen :

JURY	}	MM. CHAMPAGNAT	Président
		GACHON	} Examineurs
		HENIN	
		LOISEAU	
		ROBELIN	

UNIVERSITE DE CLERMONT

- - - -

U.E.R. des Sciences Exactes et Naturelles

Président de l'Université :

Directeur (Recherche) : M. GUILLAUME Marcel.

- - - -

Professeurs

M. RAMBAUD René	Chimie Organique
M. ROQUES Maurice	Géologie
M. LAPADU-HARGUES Pierre	Minéralogie
M. LUTZ Hubert	Biologie Animale
M. RAOULT Gaston	Optique Physique Atomique et Moléculaire
M. CHAMPAGNAT Paul	Physiologie Végétale
M. DUPLESSIS-KERGOMARD Alain	Chimie Organique
Mme HENNEQUIN Françoise	Mathématiques Pures
Mle BERTHET Ginette	Physique Electronique
M. LOISEAU Jean	Biologie et Physiologie Végétales
M. COMBE René	Physique du Solide et Cristallographie
M. de PUYTORAC Pierre	Zoologie
Mme AVAN Madeleine	Physique Nucléaire et Corpusculaire
M. DELOST Paul	Physiologie Animale
M. VIALLARD André	Chimie Physique
M. KOHLMULLER Robert	Chimie Minérale
M. GUILLAUME Marcel	Algèbre
M. COMBE Jean	Physique Nucléaire & Corpusculaire
M. HENNEQUIN Paul	Mathématiques Appliquées
M. VINCENT Pierre	Volcanologie
M. VESSIERE Roger	Chimie Organique
M. BAILLAUD Lucien	Biologie de Physiologie Végétales
M. JOYON Louis	Biologie I.U.T. Clermont
M. PETERLONGO Jean-Marc	Géologie
M. ISABELLE Oidier	Physique Nucléaire et Corpusculaire
M. SOULAGE René	Géophysique
M. LEMAIRE Jacques	Chimie Physique
M. ACCARY André	Métallurgie - C.U.S.T.
M. BADRIKIAN Albert	Mathématiques Appliquées
M. MARTINET Pierre	Chimie Organique
M. ACKERMANN Patrick	Electronique automatique C.U.S.T.
M. COURDUROUX Jean-Claude	Biologie et Physiologie Végétales
M. LARPENT Jean-Paul	Microbiologie appliquée C.U.S.T.
M. THOMAS Jean	Optique Physique Atomique et Moléculaire
M. LEVY Philippe	Physique

Professeurs sans chaire.

Mle DUCHER Suzanne	Chimie Organique
M. BATHIER Marcel	Physique du Solide et Cristallographie
M. CAPESTAN Michel	Chimie Minérale
M. FALGAS Maurice	Mathématiques Pures
M. MAISONNEUVE Jacques	Géologie
M. ROCHE Jean	Physique I.U.T. Clermont
M. LENOIR Marcel	Mathématiques Pures

Professeurs sans chaire

M. DRAGESCO Jean	Biologie Animale
M. GRAIN Jean	Zoologie et Biologie Cellulaire
M. PRORIOI Joseph	Physique I.U.T. Montluçon
M. ROCHE Guy	Physique Nucléaire et Corpusculaire
M. TEMPIER Paul	Géologie
M. DUFAURE Jean-Pierre	Cytophysiologie
M. FANGUIN René	Physique I.U.T. Clermont
M. COUSSEINS Jean-Claude	Chimie Minérale
M. NIGOND Jacques	Agronomie I.U.T. Clermont
M. VELLE Georges	Psychophysiologie
M. MIGNOT Jean-Pierre	Zoologie
M. CHADEYRAS Marcel	Mathématiques Pures

Maîtres de conférences

Mme BESSERRE Anne-Marie	Mathématiques Pures
M. JEAN Claude	Physiologie comparée et endocrinologie
M. FONDEVILLE Jean-Claude	Biologie et Physiologie Végétales
M. BOILLAT Guy	Mathématiques Pures
M. CADORET Robert	Physique du Solide et cristallographie
M. BESSERRE Daniel	Spectroscopie C.U.S.T.
M. LHOMME Jean	Chimie des Substances Naturelles C.U.S.T.
M. IMBAUD Jean-Pierre	Physique électronique
M. MERCIER Michel	Physique I.U.T. Montluçon
M. AUSLENDER Alfred	Mathématiques Appliquées
M. GRAMAIN Jean-Claude	Chimie et Biochimie des Substances Nat.
M. DUCATEAU Charles	Mathématiques Appliquées I.U.T. Clermont
M. DURAND Roger	Biochimie C.U.S.T.
M. HADDAD Labib	Mathématiques Pures
M. IRIGARAY Jean-Léon	Physique I.U.T. Clermont
M. BREGLIAND Jean-Claude	Génétique
M. FONTAINE Jacques	Génie Electrique C.U.S.T.
M. HUGON Lionel	Physique I.U.T. Montluçon
M. KORNPORST Jacques	Géologie
M. LE THAN PHONG	Mathématiques Pures
M. QUERROU Michel	Physique Nucléaire et Corpusculaire
M. SCHNEIDER Michel	Informatique C.U.S.T.
M. YOUNES Antoine	Biochimie I.U.T. Clermont
M. RODDIER Pierre	Mathématiques Pures C.U.S.T.
M. CHEVALIER Raymond	Physique
M. MOREL Jean-Pierre	Chimie Physique

Maîtres de conférences associés.

M. COFFI-NKETSIA Barben	Mathématiques Pures
M. MAISONNEUVE Georges	Informatique C.U.S.T.

Secrétaire Générale de l'Université :

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
<i>Première partie.</i> INTRODUCTION.	5
1. <u>Problèmes posés par l'étude des rotations en zone tropicale humide.</u>	7
2. <u>Objet de l'étude : évaluation de la quantité de matière organique apportée au sol par la mort et la décomposition des racines de <i>Panicum maximum</i>.</u>	9
2.1. Equation fondamentale utilisée pour cette évaluation.	9
2.2. Données bibliographiques.	10
2.3. Démarche suivie : Mise en évidence de la nécessité d'étudier l'évolution des masses racinaires et les rythmes d'émission des racines.	12
<i>Deuxième partie.</i> MATERIEL VEGETAL, METHODES ET MILIEUX D'ETUDE.	17
1. <u>Revue bibliographique des méthodes pour l'étude de l'enracinement des plantes cultivées en pleine terre.</u>	19
1.1. Méthodes n'utilisant pas les éléments radioactifs.	20
1.2. Méthodes utilisant les éléments radioactifs.	23
2. <u>Rappel sur la morphogenèse des racines chez les graminées. Définitions.</u>	24
3. <u>Principales caractéristiques des clones de <i>Panicum maximum</i> étudiés.</u>	27
4. <u>Méthodes utilisées pour la mesure du poids total de matière sèche des racines à un instant donné et des nombres de racines émises dans un intervalle de temps.</u>	29
4.1. Les données à mesurer.	29
4.2. Caractères généraux des méthodes utilisées.	30
4.3. Méthodes de mesure des caractéristiques du développement du système aérien nécessaires à l'étude.	30
4.3.1. Biomasses.	30
4.3.2. Nombre et âge des talles.	31
4.3.3. Stade des touffes.	31
4.4. Méthode de mesure des caractéristiques du développement du système racinaire nécessaires à l'étude.	33
4.4.1. Poids total de matière sèche des racines, PRT.	33
4.4.2. Nombre de racines primaires émises dans un intervalle de temps.	38
4.5. Notations.	40
4.6. Interprétation statistique des résultats.	41
4.7. Conclusion sur les méthodes utilisées.	49
5. <u>Les milieux d'étude.</u>	55
5.1. Le climat des 3 stations.	55
5.2. Les sols.	59

	<u>Page</u>
<i>Troisième partie.</i> ETUDE DU RYTHME D'EMISSION DES RACINES PRIMAIRES.	65
1. <u>Protocoles expérimentaux et résultats.</u>	67
1.1. Variations du rythme d'émission au cours de l'année (essai RER 70).	67
1.1.1. Protocole expérimental.	68
1.1.2. Résultats.	69
1.2. Evolution du nombre de racines émises au cours d'un intercoupe.	72
1.2.1. Mise en évidence du rythme d'émission des racines dans un intercoupe (essai RER 70).	73
1.2.2. Influence d'un épisode sec en début d'intercoupe (essai RER 73).	74
1.2.2.1. Dispositif expérimental.	75
1.2.2.2. Résultats.	75
1.2.3. Influence de la rosée (essai RER 74,a).	77
1.2.3.1. Dispositif expérimental.	77
1.2.3.2. Résultats.	79
1.2.4. Expérience préliminaire pour la détermination de l'âge des talles sur lesquelles apparaissent les nouvelles racines (essai RER 74,a).	83
1.2.4.1. Dispositif expérimental.	83
1.2.4.2. Résultats.	84
1.2.4.2.1. Résultats sur touffes non baguées.	84
1.2.4.2.2. Résultats sur touffes baguées.	84
1.2.5. Etude plus précise, par baguage systématique des talles, de l'âge de celles sur lesquelles apparaissent les nouvelles racines (essai RER 74, b).	94
1.2.5.1. Dispositif expérimental.	94
1.2.5.2. Résultats.	97
2. <u>Discussion.</u>	106
2.1. Les facteurs de variation de l'émission racinaire.	106
2.1.1. Variations à l'échelle de l'intercoupe.	107
2.1.1.1. Les facteurs liés à l'environnement.	107
2.1.1.1.1. Effet de périodes déficitaires en pluie sur l'émission des racines primaires.	107
2.1.1.1.2. Rôle des coupes.	109
2.1.1.2. Les facteurs liés à la plante	110
2.1.2. Variations à l'échelle de l'année.	113
2.2. Nombre de racines primaires émises par intercoupe.	116
2.2.1. Age des racines primaires nouvellement émises.	116
2.2.2. Estimation du nombre de racines primaires émises par intercoupe sur 2 exemples. Taux de renouvellement de ces racines.	119
2.2.3. Eléments pour la modélisation de l'émission des racines primaires dans un intercoupe.	123
3. <u>Conclusion sur l'étude des rythmes d'émission des racines primaires.</u>	127

	<u>Page</u>
<i>Quatrième partie.</i> ETUDE DES MASSES RACINAIRES SOUS PRAIRIE.	129
1. <u>Protocoles expérimentaux et résultats.</u>	132
1.1. Masses de racines sous une prairie exploitée régulièrement par fauche et fertilisée (essai RER 70).	132
1.1.1. Protocole expérimental.	132
1.1.2. Résultats.	133
1.1.2.1. Développement des parties aériennes.	133
1.1.2.1.1. Variations dans un intercoupe.	134
1.1.2.1.2. Variations dans l'année.	135
1.1.2.2. Evolution des masses racinaires, PRT.	136
1.1.2.2.1. Sur l'ensemble du profil.	136
1.1.2.2.1.1. Variations dans un intercoupe.	137
1.1.2.2.1.2. Variations dans l'année.	138
1.1.2.2.2. Selon les horizons.	139
1.1.2.2.2.1. Horizon 0-10 cm.	139
1.1.2.2.2.2. Horizon 10-25 cm.	141
1.1.2.2.2.3. Horizon sous-jacents.	143
1.1.2.3. Liaisons entre le développement des parties aériennes et celui des racines.	144
1.1.3. Conclusions préliminaires	147
1.2. Influence du milieu, du rythme de coupe et de la fertilisation sur les masses de racines dans le sol (essai B multilocaux).	147
1.2.1. Protocole expérimental.	148
1.2.2. Résultats.	149
1.2.2.1. Station d'Adiopodoumé (Basse Côte d'Ivoire)	149
1.2.2.2. Station de Gagnoa (Côte d'Ivoire forestière)	153
1.2.2.3. Station de Bouaké (Côte d'Ivoire pré-forestière)	155
1.2.3. Conclusions préliminaires.	158
1.3. Profils racinaires de pieds à grand écartement (essai PI 68).	159
1.3.1. Protocole expérimental.	159
1.3.2. Résultats.	160
2. <u>Discussion.</u>	161
2.1. Interprétation des gradients de masses racinaires observés : mise en évidence d'une corrélation positive entre le nombre de racines primaires émises et la biomasse des racines néoformées.	165
2.1.1. Position du problème.	165
2.1.2. Rappel sur les lois de la diffusion. Leur utilisation pour les études d'enracinement.	166
2.1.3. Ajustement du modèle.	168
2.1.4. Effet des facteurs et conditions de milieu et du mode de conduite des prairies sur la répartition des racines dans le profil.	171
2.2. La dynamique racinaire de <i>Panicum maximum</i> .	172
2.2.1. Dynamique racinaire dans un intercoupe : effet des coupes.	173
2.2.2. Dynamique racinaire dans une succession d'intercoupes	179
2.2.2.1. Influence du rythme de coupe.	179
2.2.2.2. Influence de la fertilisation.	180
2.2.2.3. Etude de l'interaction rythme de coupe x fertilisation.	182
2.2.2.4. Effets des facteurs et conditions du milieu.	186
2.2.2.4.1. Caractéristiques climatiques.	187
2.2.2.4.2. Interactions climat x sol x mode de conduite des prairies.	190

	<u>Page</u>
2.2.2.5. Influence des caractères morphologiques de l'espèce et des clones étudiés.	192
2.2.3. Conclusion : schéma théorique de l'évolution des masses racinaires dans un intercoupe.	194
2.3. Evaluation de la quantité de matière organique fournie au sol par la décomposition de la nécro-masse racinaire.	196
2.3.1. Exemple d'une prairie exploitée toutes les 6 semaines et fertilisée.	196
2.3.1.1. Hypothèses du calcul.	197
2.3.1.2. Calcul des poids de racines émises et décomposées dans le cas où l'ensemble des racines meurt à chaque coupe : limite supérieure de PRD.	200
2.3.1.3. Calcul des poids de racines émises et décomposées dans le cas où la nécro-masse devient négligeable en fin d'intercoupe limite inférieure de PRD.	203
2.3.1.4. Discussion du modèle.	207
2.3.2. Estimation de l'apport de matière organique au sol par la décomposition de la nécro-masse racinaire pour différents mode de conduite des prairies.	209
3. <u>Conclusion sur la dynamique racinaire de <i>Panicum maximum</i>.</u>	211
<i>Cinquième partie.</i> CONCLUSION.	213
<u>Résumé.</u>	223
<u>Bibliographie.</u>	227
<u>Annexe 1.</u> Essai RER 70. Résultats des tests de Newman et Keuls.	247
<u>Annexe 2.</u> Analyse statistique des résultats des essais B multi-locaux.	257

expérimental à celle de la réflexion et de la rédaction : nous les en remercions particulièrement.

Les directeurs successifs du Centre d'Adiopodoumé en Côte d'Ivoire, Messieurs Bouchardeau, Luc, grâce à l'appui duquel l'actuel laboratoire d'études des systèmes racinaires a été construit, Maignien et Tonnier, ont toujours montré un grand intérêt pour nos recherches : qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude.

Notre travail doit aussi beaucoup aux membres de notre Comité Technique qui ont orienté nos recherches soit en choisissant le thème, soit en faisant régulièrement avec nous le point de nos résultats, particulièrement Monsieur Aubert, notre parrain scientifique, qui nous a consacré beaucoup de temps. Messieurs Fournier, Franquin et Sébillotte. Monsieur Dejardin, Chef du Service Biométrie de l'ORSTOM a bien voulu revoir la partie statistique de notre travail. Monsieur Hiernaux nous a fait bénéficier de sa grande expérience pour la réalisation du mémoire final. Nous les remercions tous vivement de nous avoir ainsi aidés.

Dans la phase finale de notre travail, nous avons pu utiliser à titre comparatif les très vastes connaissances acquises sur les plantes fourragères de zone tempérée à la station d'Amélioration des Plantes fourragères de l'Institut National de la Recherche Agronomique à Lusignan. Nous exprimons toute notre reconnaissance à Monsieur Mansat, Directeur de cette station, Monsieur Salette, Directeur de la station Agronomique d'Angers et Monsieur Gillet, pour leur accueil, les informations qu'ils nous ont données.

Mais avant tout, ce travail doit énormément à tous nos camarades agronomes d'Adiopodoumé, J.C. Talineau, M. Sicot, G. Hainnaux, C. Fillonneau, E. Bonin, placés sous la responsabilité amicale et efficace de B. Bonzon. Pendant près de dix ans, nous avons travaillé ensemble sur un programme commun, confronté nos résultats, nos idées. Notre dette envers eux est donc immense et particulièrement celle envers B. Bonzon, dont le dévouement à notre équipe a toujours été remarquable. Nous lui devons, parmi tant d'autres choses, la réalisation du laboratoire d'étude des systèmes racinaires où ce

travail a été effectué, celle de l'interprétation statistique en collaboration avec C.Fillonneau et M.Géri, d'une partie de nos résultats.

Nous devons surtout à tous d'avoir pu travailler dans une atmosphère de grande amitié. Nous leur adressons nos remerciements les plus sincères.

Nous y associons Monsieur Cadot agronome de l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire Tropicale, L.Leteneur, directeur de l'IEMVT en Côte d'Ivoire, G.Roberge, agronome de cet Institut, Monsieur Dumont, ancien directeur de l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des cultures vivrières en Côte d'Ivoire et B. Le Buanec, agro-pédologue de cet Institut, qui nous ont ouvert leurs stations.

Ce travail n'aurait pas été possible sans le concours des différents responsables du Service d'Expérimentation Biologique d'Adiopo-doumé, et particulièrement de Monsieur Brun, J.Réné et J.Dizés, à qui nous adressons tous nos remerciements.

Il n'aura pas été possible sans l'aide infiniment précieuse de nos collaborateurs Ivoiriens qui ont assuré avec beaucoup de conscience et de patience le prélèvement et le traitement de plus de 25.000 échantillons élémentaires. Nous remercions en particulier Messieurs Guélalaka, Kouamé Issa, Madou Dote, Zoko Balet, D'Jro Akré, N'Guessan N'Dri et Adama Ouedraogo, sans oublier les autres.

Enfin le travail de tous n'aurait pas été concrétisé sans l'aide de Mesdames Honoré, Chambre, qui ont assuré la dactylographie de ce mémoire, et l'ensemble du personnel de l'imprimerie qui en a effectué le tirage.

Première Partie :

INTRODUCTION

R E M E R C I E M E N T S

Nous remercions tout d'abord Monsieur le Professeur Champagnat d'avoir bien voulu nous accueillir à l'Université de Clermont Ferrand, présider notre jury, nous faire découvrir une nouvelle manière d'aborder l'étude du système racinaire d'une plante.

Notre reconnaissance va tout particulièrement à Monsieur Hénin qui nous a suivi et dont la pensée nous a marqué tout au long de notre carrière, d'abord comme Professeur à l'Institut National Agronomique, puis en tant que Président du Comité Technique d'Agronomie de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer et notre directeur scientifique. Notre dette à son égard est double : c'est grâce à son action que le Comité Technique d'Agronomie a pu se développer. D'autre part, malgré ses multiples et très lourdes responsabilités, Monsieur Hénin nous a toujours fait bénéficier de ses conseils et de ses encouragements : ce travail lui doit énormément.

A ces remerciements, nous associons Monsieur le Professeur Loiseau, Monsieur Gachon, Chef du Département Agronomie de l'INRA et Monsieur Robelin, Directeur de la station Agronomique de Clermont-Ferrand, qui ont bien voulu faire parti de notre jury, lire notre mémoire dans sa forme provisoire et le critiquer avant la rédaction finale.

Monsieur le Ministre de l'Agriculture et Monsieur le Ministre de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire ont bien voulu marquer de l'intérêt pour notre programme et nous permettre de travailler à la Station de Recherche de Gagnoa. Nous les en remercions.

Monsieur Camus, Directeur Général et Monsieur Séverac, Directeur Général Adjoint de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, nous ont toujours encouragé dans notre travail. Ils nous ont donné les moyens de le réaliser. Nous faisant bénéficier de leur expérience, ils ont su nous convaincre de passer de la phase du travail

1. PROBLEMES POSES PAR L'ETUDE DES ROTATIONS EN ZONE TROPICALE HUMIDE.

L'une des grandes questions qui se posent, en zone tropicale humide, et particulièrement en Côte d'Ivoire, lorsqu'on cherche à définir quelle pourrait être l'évolution optimale des systèmes de production agricoles, est de savoir s'il faut ou non inclure une sole fourragère dans les rotations.

Cette question, énoncée il y a déjà longtemps, n'a pas encore été résolue, comme le montre la synthèse des nombreux essais effectués jusqu'à une époque récente (Anonyme, 1964). Les résultats obtenus sont très variables d'un point d'essai à l'autre et ne permettent pas de conclure.

Ceci n'est pas surprenant, car l'objet de ces expériences est le plus souvent de mesurer les arrières-effets des plantes fourragères de façon globale, c'est-à-dire en comparant le rendement de la culture qui leur succède à celui de la même culture pratiquée, toutes conditions égales par ailleurs, après un autre précédent qui sert de témoin. Or, la différence de rendement observée est la résultante de l'interaction d'un nombre considérable de facteurs et conditions (Hénin et Deffontaine, 1970) dont quelques uns seulement sont dus à l'effet plante fourragère (Jacquard, Croisier et Monnier, 1969). Cet effet lui-même se manifestera de façon très différente selon la façon dont la culture est conduite (fauchée, pâturée, en jachère...).

Deux méthodes sont théoriquement utilisables pour surmonter ces difficultés : travailler par voie d'enquête, dans la mesure où l'on peut réaliser un très grand nombre d'observations ; ou tenter d'analyser les propriétés du sol modifiées selon un protocole expérimental durant la phase fourragère de façon à pouvoir interpréter la mesure synthétique de l'arrière-effet.

En Afrique de l'Ouest, le développement des structures de production modernes est très récent et encore peu important : le champ potentiel d'études par enquête est insuffisant. Seule, la méthode expérimentale est possible.

C'est pourquoi un important programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères a été mis en place en Côte d'Ivoire à partir

de 1967 par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.), avec la collaboration du Ministère de l'Agriculture, de l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire Tropicale (I.E.M.V.T.) et de l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (I.R.A.T.) (Anonyme, 1967 ; 1968 ; 1969).

Il a comporté 2 types de dispositifs expérimentaux :

- un dispositif principal multilocal sur lequel des observations systématiques ont permis de suivre l'évolution d'un grand nombre de caractéristiques du sol et de la végétation durant 3 à 4 ans de cultures fourragères, puis 2 ans de maïs ;
- des dispositifs annexes pour approfondir certaines questions.

Les principaux points étudiés ont été :

- l'évolution des caractéristiques les plus représentatives de l'état physique du sol (densité apparente, nombre et stabilité des agrégats, vitesse de filtration de l'eau...) ;
- les bilans minéraux des éléments N, P, K, Ca, Mg (exportations par l'exploitation des plantes ; immobilisations dans les chaumes, la litière, les racines ; évolution des teneurs en éléments échangeables du sol...) ;
- le bilan organique.

L'influence sur ces caractéristiques de 2 modes de conduite des soles fourragères, un mode d'exploitation intensif, un mode simulant la jachère (mais qui doit tenir compte des nécessités de l'échantillonnage), ont été testés.

Sous prairie (*), l'apport de matière organique au sol se fait à partir des produits du lessivage de la végétation par les eaux de pluies, des résidus laissés par l'exploitation, de la litière, des exudats racinaires, de la décomposition des racines mortes. Ce dernier terme du bilan est très mal connu, particulièrement en zone tropicale humide (Laudelout, 1962 ; Nye et Greenland, 1960 ; Boissezon, 1973).

(*) : prairie étant prise dans ce mémoire au sens de culture fourragère exploitée, que ce soit en zone tempérée ou en zone tropicale humide. Les cultures fourragères peuvent elles-mêmes être, en théorie, très variées. Il ne sera question ici que des graminées et des légumineuses fourragères.

Notre travail, qui constitue la première des synthèses réalisées à partir du programme, a pour objet de le mesurer. Les autres termes importants du bilan et, de façon générale, les autres résultats décrivant l'évolution du système sol-plante fourragère étudié et permettant d'expliquer en partie les arrières-effets mesurés sur maïs seront présentés ultérieurement par les autres membres de l'équipe qui a conduit ces recherches.

L'estimation des apports de matière organique par les exudats racinaires fait appel à des méthodes totalement différentes de celles mises en oeuvre dans ce programme et n'a pas été abordée.

2. OBJET DE L'ETUDE : EVALUATION DE LA QUANTITE DE MATIERE ORGANIQUE APPORTEE AU SOL PAR LA MORT ET LA DECOMPOSITION DES RACINES DE *PANICUM MAXIMUM*

2.1. Equation fondamentale utilisée pour cette évaluation.

Sous une végétation quelconque, la quantité de matière organique fournie au sol par la mort et la décomposition des racines sur un intervalle de temps donné ($i, i+1$) peut se déterminer à partir des données suivantes :

- masse des racines présentes dans le sol au début de l'intervalle de temps considéré, PRT_i ;
- masse des racines présentes dans le sol à la fin de l'intervalle, PRT_{i+1} ;
- masse des racines émises dans l'intervalle, PRE_{i+1} ;
- masse des racines mortes et décomposées dans l'intervalle, PRD_{i+1} .

$$PRT_{i+1} - PRT_i + PRD_{i+1} - PRE_{i+1} = 0 \quad (1).$$

L'étude de cette équation pose 3 problèmes d'ordres différents.

- Quel terme choisir comme inconnue ? Quels termes déterminer expérimentalement ?

- Quel intervalle de temps choisir pour répondre à la question ?
- Comment varient les apports en fonction de la nature des prairies et de leur conduite ?

Une revue bibliographique des connaissances déjà acquises montre que très peu d'éléments sont disponibles pour résoudre l'équation et répondre aux questions posées.

2.2. Données bibliographiques.

Les quelques études sur prairies en zone tropicale humide indiquent, pour différentes espèces, des masses de racines à un instant donné.

Si l'on prend par exemple le cas de *Panicum maximum*, qui est l'une des espèces les plus étudiées, Villares, Becker et Tundisi (1953), dans l'état de Sao Paulo au Brésil, trouvent entre 2,37 et 3,30 t.ha⁻¹ (moyenne : 2,99 t.ha⁻¹) pour des profondeurs variant entre 2 et 4 m. Ils considèrent ces valeurs comme peu élevées par rapport à celles qu'on peut obtenir avec d'autres graminées ou légumineuses, sans toutefois donner de chiffres.

Laudelout et Germain (1954) donnent, à Yangambi (Zaïre), pour une jachère de 4 ans, entre 1,1 et 1,9 t.ha⁻¹. Ces masses apparaissent faibles en comparaison de celles qu'ils donnent pour d'autres graminées.

Nye (1958), indique, toujours pour une jachère à *Panicum maximum* au Ghana, 1,90 t.ha⁻¹ à 1 an, 2,38 t.ha⁻¹ à 2 ans, 3,92 t.ha⁻¹ à 3 ans.

Taerum (1970, b) trouve, pour une prairie de 28 mois, 3,3 t.ha⁻¹ de racines jusqu'à 3 m.

Bartholomew, Meyer et Laudelout (1953) observent cependant une valeur beaucoup plus forte pour une jachère de 3 ans ; 9,88 t.ha⁻¹.

Il est très difficile de déduire l'apport de matière organique au sol par la mort et la décomposition des racines de ces études ponctuelles.

Les seules études sur la dynamique racinaire de plantes fourragères tropicales apparemment publiées sont celles de Barnes (1960, 1961) et Barnes et Hava (1963) qui, travaillant sur *Panicum maximum* et *Cynodon plectostachyus*, donnent l'évolution du poids de matière sèche de l'ensemble (racines + bases enterrées des talles) soit toutes les 3 semaines

soit tous les mois, pendant un an, sur des prairies établies par semis depuis moins d'un an dans le premier cas, depuis 3 ans dans le second, fauchées ou non. les variations saisonnières enregistrées, de peu d'amplitude, sauf en début de saison des pluies où le poids de l'ensemble (racines + bases enterrées des talles) augmente rapidement, n'ont pas été analysées.

Les conditions de milieu sont cependant très différentes de celles de Côte d'Ivoire et le fait de n'avoir pas séparé les racines des bases des talles ne renseigne pas sur l'évolution des masses racinaires elles-mêmes.

Les données en milieu naturel (savane) sont encore plus rares (César, 1971).

En zone tempérée (Stuckey, 1941 ; Jacques et Edmond, 1952 ; Jacques et Schwass, 1956 ; Garwood, 1967 a) l'émission des racines est saisonnière. En zone tropicale humide, aucune donnée n'est disponible sur la question.

De même, aucun résultat d'études au champ, dans cette région, n'existe sur l'interaction : développement des racines x développement des parties aériennes.

Les connaissances sur la productivité des prairies tropicales sont par contre très abondantes. Leur exploitation reste limitée du fait du polymorphisme des espèces étudiées et de la méconnaissance des interactions entre leur cycle biologique et les rythmes d'exploitation (Pernès et al., 1975). Ceci est particulièrement vrai pour les interactions rythme de coupe x tallage et rythme de coupe x induction à floraison.

En conclusion, il semble n'y avoir eu en zone tropicale humide aucune étude ayant le même objet que celle entreprise ici et, de ce fait, peu de résultats acquis sont utilisables.

2.3. Démarche suivie : mise en évidence de la nécessité d'étudier l'évolution des masses racinaires et les rythmes d'émission des racines primaires.

La nature même du problème que l'on se propose d'étudier impose de travailler en pleine terre. Il est en effet difficilement concevable de déduire d'études en pots de culture les quantités de matière organique susceptibles de retourner au sol par la mort et la décomposition des racines.

Parmi les termes de l'équation (1), 2 sont faciles à mesurer, de nombreuses méthodes existent pour cela (2ème partie, § 11) : ce sont PRT_i et PRT_{i+1} .

Par contre, PRD_{i+1} et PRE_{i+1} sont beaucoup plus difficiles à déterminer. Il est cependant possible de s'en passer dans certains cas. En effet, si les périodes d'émission alternent avec les périodes de décomposition et que les dates d'observation coïncident avec celles où les phénomènes s'inversent, on se trouvera alors dans des situations (que l'on appellera situations I) où :

$$\begin{aligned} \text{soit } PRD_{i+1} \approx 0 & \quad \text{et} \quad PRE_{i+1} \approx PRT_{i+1} - PRT_i & ; \\ \text{soit } PRE_{i+1} \approx 0 & \quad \text{et} \quad PRD_{i+1} \approx PRT_i - PRT_{i+1} & . \end{aligned}$$

Mais si les 2 phénomènes sont concomitants et/ou si les dates d'observation sont mal choisies (situations II), il faut alors mesurer 3 des termes de (1) pour résoudre l'équation.

Le choix des termes à mesurer et de l'intervalle de temps entre observations sont donc liés.

Dans le premier plan d'expérience (dispositif multilocal principal), établi avec comme référence les résultats obtenus en zone tempérée (Troughton, 1957 ; Dahlman et Kucera, 1965), on n'a retenu que PRT_i et PRT_{i+1} comme termes étudiés et prévu des observations que 3 fois par an. Les premiers résultats ont montré qu'on était dans une situation de type II, avec $PRT_{i+1} \approx PRT_i$.

On a donc cherché à mesurer un 3e terme de (1), qui peut être soit PRD_{i+1} soit PRE_{i+1} .

Mesurer PRD_{i+1} implique de savoir déterminer à un instant donné la quantité de racines susceptible de se décomposer, puis de suivre

son évolution. Il faut donc disposer d'une méthode permettant de séparer facilement racines vivantes et racines mortes dans un échantillon, ce qui n'était pas le cas à Adiopodoumé (2ème partie, § 322).

Pour connaître PRE_{i+1} , il faut pouvoir repérer toutes les nouvelles racines qui apparaissent dans un intervalle de temps donné. C'est cette 2ème voie que l'on a choisi d'explorer, en partant de la constatation que, chez les graminées, il était possible de compter régulièrement le nombre de racines primaires ⁽⁺⁾ émises au niveau du plateau de tallage (Garwood, 1967 a), que l'on appellera $NR3P^{(+)}$. Pour passer de $NR3P$ à PRE_{i+1} , il faut :

- d'une part intégrer ce nombre en fonction du temps, ce qui repose le problème de savoir avec quelle périodicité d'observations travailler ;
- d'autre part établir une relation entre nombre de racines primaires et masse totale des racines émises :

$$PRE_{i+1} = f \left(\sum_i^{i+1} NR3P \right) \quad (2).$$

Des études du rythme d'apparition des racines primaires au niveau du plateau de tallage ont donc été entreprises systématiquement. Les premières observations ont été faites toutes les 2 semaines pendant 2 ans, toujours en fonction des résultats obtenus en zone tempérée (Garwood, 1967 a). Dans ce cas encore, il a fallu procéder ultérieurement à des études complémentaires sur des durées beaucoup plus courtes avec des observations plus fréquentes (2 par semaines).

Simultanément, on a été amené à étudier de façon détaillée les gradients racinaires dans le sol, de façon à essayer de mettre en évidence si, statistiquement, la répartition des racines dans le sol se fait selon un schéma prévisible, ce qui justifierait la recherche d'une relation entre $NR3P$ et PRE_{i+1} .

Et, toujours dans ce même but, pour la 1ère expérience sur le rythme d'émission des racines primaires, le protocole prévoyait des déterminations systématiques de PRT_i et PRT_{i+1} , mais avec une

(+) : Les notations utilisées sont justifiées ultérieurement : 2ème partie, § 2 et § 4.5.

périodicité plus réduite. On a ainsi retrouvé des situations de type I dans certaines conditions, qu'il a été possible d'interpréter grâce aux connaissances acquises sur les rythmes d'émission des racines nodales.

Pour répondre à la 3ème question (comment varient les apports en fonction de la nature des prairies et de leur conduite ?), l'étude d'agro-écosystème (Harper, 1974) trop complexes a été délibérément écartée. La démarche qui a été suivie correspond à celle utilisée pour l'étude analytique d'un système quelconque, selon laquelle on procède à des simplifications successives pour arriver à la compréhension de son fonctionnement dans quelques cas simples avant de revenir progressivement au système initial.

La nécessité de travailler sur des peuplements monospécifiques est apparue d'emblée. En effet, même si, pour chaque espèce d'un peuplement plurispécifique, les phases d'émission et de décomposition des racines existent et alternent, il suffit que ces cycles ne soient pas synchrones pour qu'il soit très difficile de tenir compte de leurs parts respectives dans les résultats globaux.

De même, étant donné que le pâturage se traduit par l'apparition de sources d'hétérogénéités difficilement contrôlables (exploitation différentielle des touffes, tassements, apports localisés de fertilisants), l'étude a été limitée au cas des prairies exploitées par fauche.

Si, dans le premier essai réalisé, un grand nombre d'espèces ont été retenues, l'obligation de multiplier les observations a conduit à restreindre les études ultérieures à une seule espèce et à un seul point d'expérimentation. Les résultats exposés ici ne concernent en fin de compte que *Panicum maximum*. Et si, au départ, les effets de 2 rythmes d'exploitation de la prairie et de 2 niveaux de fertilisation ont été testés, ensuite, seul le cas de prairies exploitées à un stade proche de l'optimum économique et fertilisées de façon à compenser les exportations a été envisagé.

En résumé, pour *Panicum maximum*, la détermination de la quantité de matière ^{organique}/retournée au sol par la mort et la décomposition des racines nécessite de connaître d'une part les rythmes d'émission des racines nodales, d'autre part, l'évolution des masses racinaires, sur des intervalles de temps qui restent à déterminer et pour des conditions de milieu et d'exploitation variables.

Pour ces études, on a utilisé 5 dispositifs expérimentaux :

- le dispositif principal déjà évoqué, désigné dans la suite par :
essai B Multilocaux ;
- un 2ème essai implanté en 1970 pour 2 ans uniquement à Adiopodoumé,
sur lequel ont été effectuées les déterminations de masses raci-
naires avec une faible périodicité et les 1ères études de rythme
d'émission des racines nodales, baptisé RER 70 ;
- enfin 3 autres essais de durée plus courte pour préciser les
rythmes d'émission des racines nodales, baptisés RER 73 ; RER 74 a ;
RER 74 b.

Pour l'exposé des résultats, on a regroupé d'une part tous ceux concernant l'étude des rythmes d'émission des racines nodales (3ème partie), d'autre part ceux ayant trait aux mesures des masses racinaires et à leur répartition dans le profil (4ème partie). Le détail des plans expérimentaux a été décrit immédiatement avant les résultats. Par contre, le matériel végétal utilisé, les milieux d'étude et les techniques de détermination des éléments mesurés, communs à beaucoup d'expériences, ont été décrits au préalable (2ème partie).

Deuxième Partie :

MATERIEL VEGETAL, METHODES ET MILIEUX D'ETUDE

Matériel végétal, méthodes et milieux d'étude utilisés ont été évoqués rapidement en introduction, au cours de l'exposé de la démarche suivie.

L'objet de cette 2ème partie est de préciser ces 3 points.

Le choix de l'inconnue dans l'équation (1) (introduction, § 2.3.) a été effectué en confrontant :

- d'une part les méthodes disponibles pour l'étude de l'enracinement des plantes qui croissent et se développent en pleine terre ;
- d'autre part les caractères morphogénétiques des systèmes racinaires des plantes fourragères de zone tropicale humide.

Sachant que de nombreuses méthodes permettent de mesurer PRT_i , cette confrontation a conduit à envisager de calculer PRE_{i+1} en retenant comme matériel végétal une graminée à port en touffe dont la morphologie se prête au comptage du nombre de racines nouvellement émises au niveau du plateau de tallage.

Le choix des points d'essai répond au souci d'étudier l'effet de facteurs et conditions de milieu aussi variés que possible, tout en restant dans les limites des exigences climatiques et édaphiques de *Panicum maximum*.

1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE DES METHODES POUR L'ETUDE DE L'ENRACINEMENT DES PLANTES CULTIVEES EN PLEINE TERRE.

L'enracinement d'une plante peut être étudié de plusieurs points de vue. Les méthodes qui nous intéressent sont celles permettant de mesurer les termes de l'équation (1).

Un certain nombre de travaux récents ont passé en revue les différentes méthodes d'étude des systèmes racinaires en place : Troughton (1957), Schuurman et Goodewaagen (1965), Wiersum (1967,

Milner et Hughes (1968), Whittington (1969). Ceux de Schuurman et Goedewaagen mentionnent en particulier les origines des méthodes les plus anciennes. Le but de cette revue est davantage de citer les exemples récents de leur utilisation et les résultats qu'elles permettent d'obtenir.

Les méthodes peuvent se subdiviser en deux grandes catégories : celles n'utilisant pas les éléments radioactifs, les plus anciennes, et celles les utilisant.

1.1. Méthodes n'utilisant pas les éléments radioactifs.

Elles mettent en oeuvre des techniques d'observation directe ou de prélèvement de volumes de sol plus ou moins importants d'où les racines sont extraites.

Les observations directes peuvent être réalisées en déterrants précautionneusement soit une partie soit la totalité du système racinaire d'une plante.

Ainsi, pour observer les rythmes d'émission des racines de graminées tempérées, Jacques et Edmond (1952) cultivent leurs plantes en pleine terre mais sur de petits dômes de plâtre recouverts de mousse. Ils peuvent ainsi, en enlevant la mousse, mettre en évidence les premiers centimètres des racines qui courent sur le plâtre avant de pénétrer dans le sol.

Dans le même but, Stuckey, 1941, et Garwood (1967 a) prélèvent à la bêche les bases des touffes avec quelques centimètres de terre puis déterrants les racines et comptent celles nouvellement apparues.

Le déterrants complet des racines d'une plante n'est possible, à moins de très grandes précautions, que dans le cas d'espèces à enracinement particulièrement résistant comme les arbres fruitiers (Rogers et Booth, 1959).

Il est aussi possible de creuser une tranchée et déterrants partiellement les racines : c'est la technique utilisée anciennement par Weaver (1919-1920-1926), reprise et englobée par la méthode de l'examen du profil cultural (Hénin et al., 1960) et adaptée par Deffontaines (1964) pour permettre une évaluation de la masse des racines.

Ces techniques perturbent le milieu d'étude. Leur but est essentiellement de donner des informations qualitatives sur la morphologie de l'enracinement.

Pour des observations répétées, certains auteurs garnissent les parois de fosses avec des plaques de verre quadrillées et plantent à proximité les espèces à étudier : quelques racines viennent s'appliquer sur les parois vitrées et leur croissance peut être suivie. On peut ainsi mesurer les variations relatives de vitesses de croissance et de ramification, en fonction des cycles saisonniers par exemple, mais il est difficile d'utiliser les valeurs absolues des paramètres mesurés, les conditions de croissance des racines étant assez particulières. Cette technique, très utilisée pour les arbres fruitiers (Rogers et Booth, 1959 ; Rogers, 1968 ; Taylor, 1969), l'ananas (Bonzon, 1966), l'a été aussi pour les plantes fourragères cultivées en pleine terre (Crider, 1955 ; Muzik et Whitworth, 1962) ou en containers (Oswalt et al., 1959 ; Lavin, 1961 ; Garwood, 1967 a ; Evans, 1971 ; Speidel et Weiss, 1974 ; Soileau et al., 1974).

Pour les techniques de prélèvement d'échantillons, les volumes prélevés peuvent être des monolithes de fortes dimensions (Pavlychenko, 1937 ; Weaver et Darland, 1949 ; Fehrenbacher et al., 1960) souvent prélevés à l'aide de "planches de fakir" (Fox et Lipps, 1955 ; De Roo, 1957 ; Oswalt et al., 1959 ; Bennet et Doss, 1960 ; Schuurman et Goedewaagen, 1965 ; Bonzon et Picard, 1969 ; Nelson et Allmaras, 1969 ; Taerum et Gwynne, 1969). Pour le prélèvement de monolithes, Blevins et al., (1968) proposent l'utilisation d'azote liquide, ce qui rend l'opération plus rapide. Ces techniques peuvent être utilisées, comme la précédente, qualitativement, pour obtenir des données sur la morphologie racinaire des plantes étudiées et une image de la répartition des racines d'une plante dans une tranche de sol. Elles peuvent aussi procurer des données quantitatives si l'on récupère les racines secteur par secteur pour les peser (Nelson et Allmaras, 1969). Kirby et Rackham (1971) l'estiment meilleure que celle par carottage pour étudier les irrégularités dans la répartition des racines.

Mais la plupart des études quantitatives sur les enrachements ont été faites jusqu'à présent par prélèvement de carottes et extraction des racines de ces carottes.

Un certain nombre d'appareils pour le prélèvement des échantillons ont été décrits (Jacques, 1937 ; Kelley, Hardman et Jennings,

1947 ; Jaminson, Weaver et Reed, 1950 ; Williams et Baker, 1957 ; Andrews et Broadfoot, 1958 ; Thames et Mc Reynolds, 1961 ; Runge, 1965 ; Boehle et al., 1963 ; Schuurman et Goedewaagen, 1965 ; Welbank et Williams, 1968 ; Bonzon et Picard, 1969 ; Ellis et Barnes, 1971).

D'autres appareils ont été proposés pour séparer rapidement les racines du sol (Jacques, 1945 ; Gates, 1951 ; Fribourg, 1953 ; Williams et Baker, 1957 ; Cahoon et Morton, 1961 ; Mc Kell, Wilson et Jones, 1961 ; Schuurman et Goedewaagen, 1965 ; Bonzon et Picard, 1969 ; Wyk, 1974).

Le prélèvement des échantillons peut se faire verticalement : c'est la méthode la moins destructrice du milieu, mais elle suppose, si l'on ne dispose pas d'appareil pour prélever des carottes de grande longueur, de connaître le profil du sol de façon à procéder à un pré-décaupage rationnel des horizons sondés.

Dans le cas contraire, on peut prendre les échantillons dans les parois d'une fosse, dans des zones dûment repérées (Maertens, 1964 a). Les deux techniques, utilisées dans le même milieu, conduisent aux mêmes résultats moyennant quelques précautions dans la présentation de ces derniers (Picard, 1969).

Le paramètre poids des racines étant peu indiqué de façon générale pour les études d'enracinement en liaison avec l'alimentation en eau ou la nutrition minérale des plantes (Barley, 1970), Melhuish (1968) a adapté la méthode pour la mesure de la longueur des racines par unité de volume du sol (Melhuish et Lang, 1968 ; 1971 ; Lang et Melhuish, 1970).

Les critiques faites à la méthode sont de 2 ordres : technique et de principe.

Elle est en effet longue, et fastidieuse, demande beaucoup de main d'oeuvre. Avec un équipement moderne, on peut cependant arriver à de bonnes performances (Bartos, 1972). D'autre part, il est difficile d'éviter de perdre la fraction la plus fine des racines, en particulier en sol argileux, malgré l'emploi de dispersants lors de la séparation racines-sol (Schuurman et Goedewaagen, 1965). L'erreur due aux particules argileuses restant fixées aux racines malgré les lavages peut être facilement éliminée par calcination des échantillons ou séparation densimétrique (Bonzon et Picard, 1969).

Les critiques de principe portent d'une part sur l'impossibilité de séparer racines vivantes et mortes, d'autre part sur l'absence de corrélation entre poids de matière sèche des racines et activité racinaire dans un horizon (Boehle, Kardos et Washko, 1961 ; Burton, De Vane et Carter, 1954).

Certains auteurs ont cherché à pallier la première difficulté en utilisant des méthodes de coloration vitale (Schuurmann et Goedewagen, 1965 ; Sator, 1972 ; Knievel, 1973) mais ces méthodes ne donnent que des résultats approximatifs et se prêtent mal à une utilisation en aval de méthodes de prélèvement par carottage.

La deuxième critique est en partie liée à la première. C'est elle qui a conduit un certain nombre de chercheurs à développer, à partir des années 1950, les méthodes utilisant les éléments radioactifs dans ce domaine.

1.2. Méthodes utilisant les éléments radioactifs.

Ces méthodes utilisent 2 groupes de techniques principalement : celles dans lesquelles l'élément radioactif est placé dans le sol, celles qui consistent en son injection dans la plante.

Les premières sont aussi les plus anciennement utilisées. Elles l'ont été d'abord pour mesurer la profondeur maximale atteinte par les racines, puis pour mesurer leur activité lorsque la technique est associée à des déterminations de masses racinaires par carottage (Hall et al., 1953 ; Burton et al., 1954 ; Mackie et Fried, 1955 ; Lipps et al., 1957 ; Boggie et Knight, 1958 ; 1960 ; Hunter et Knight, 1960 ; Oswalt et al., 1959 ; Nye et Foster, 1960 ; Troughton, 1960 ; Mathis et al., 1965 ; Ozane et al., 1965 ; Bray et al., 1969 ; Newbould, 1969 ; Newbould et al., 1971 ; Pettit et Jaynes, 1971).

Elles font intervenir essentiellement ^{32}P , dans une moindre mesure ^{42}K , ^{89}Sr , ^{86}Rb , ^{35}S .

Les secondes utilisent soit les mêmes éléments que précédemment, injectés avec une seringue dans un organe de la plante, soit ^{14}C introduit en plaçant une partie ou la totalité de la plante dans une atmosphère contenant du $^{14}\text{CO}_2$. Elles permettent, mieux que les précédentes, de

mesurer les biomasses racinaires puisque seules les racines vivantes sont marquées (Quinlan et Sagar, 1962 ; Racz, Rennie et Hutcheon, 1964 ; Rennie et Halstead, 1965 ; Nielson, 1964 ; Subbiah et al., 1967 ; Ueno, Yoshira et Okada, 1967 ; Dahlman et Kucera, 1968 ; Russell et Ellis, 1968 ; Dodd et Van Amburg, 1970 ; Sator, 1972 ; Ellis et Barnes, 1973 ; Gerwitz et Page, 1973 ; Singh et Coleman, 1973, 1974 ; Warembourg et Paul, 1973 ; Warembourg et al., 1974). Elles nécessitent cependant l'intervention d'une technique complémentaire pour le prélèvement des carottes contenant les racines marquées et, le plus souvent, leur séparation d'avec le sol.

On peut aussi utiliser ces techniques pour distinguer les racines de 2 espèces cultivées en association (Ellern, Harper et Sagar, 1970).

Enfin, en les associant à celle de Melhuish (1968), on peut étudier de façon très détaillée la distribution dans le sol de racines de plantes en culture pure ou mixte de 2 espèces associées (Baldwin, Tinker et Marriott, 1971 ; Baldwin et Tinker, 1972).

2. RAPPEL SUR LA MORPHOGENÈSE DES RACINES CHEZ LES GRAMINÉES. DEFINITIONS.

Chez les graminées, l'unité morphologique de base est la talle.

La talle principale, ou maître-brin, est celle qui se développe à partir de l'embryon. Les talles suivantes proviennent des bourgeons initiés à l'aisselle de chaque feuille de la talle principale puis des feuilles des autres talles.

Les graminées ont 2 systèmes racinaires qui apparaissent successivement :

- un système séminal (ou primaire) ;
- un système nodal (ou adventif, ou secondaire, selon les auteurs) (Troughton, 1957).

Nos essais ayant été implantés par bouturage, seul le système nodal nous intéresse donc.

La terminologie utilisée pour décrire le système nodal varie avec les auteurs et mérite d'être précisée.

Troughton (1957) parle de racines principales pour celles émises au niveau du plateau de tallage, puis de racines latérales secondaires, tertiaires... ou de 2ème ordre, 3ème ordre... Barley (1970) et, en accord avec lui, Hackett et Rose (1972), Baldy (1973), désignent la racine principale par le terme : axe, les ramifications successives étant les latérales de 1er ordre, 2ème ordre...

En fait, l'axe et ses latérales possèdent tous la même morphologie, que le terme racine sert à désigner de façon classique (coiffe, zone méristématique, zone d'élongation, zone de différenciation des vaisseaux du liber et du bois, zone pilifère, zone de ramification...).

C'est pourquoi nous avons appelé :

- racine primaire la racine émise au niveau du plateau de tallage ;
- racine secondaire, tertiaire, ..., les ramifications de 1er ordre, 2ème ordre...;
- réseau racinaire l'ensemble comprenant une racine primaire et ses ramifications ;
- système racinaire nodal l'ensemble des réseaux ;
- enracinement d'une plante , l'état du système racinaire à un instant donné.

Durant la phase de croissance végétative de la plante, les racines primaires apparaissent d'abord à la base du 1er entre-noeud de la talle principale, puis à celle des premiers entre-noeuds successifs qui ne s'allongeront pas . De nouvelles racines apparaissent de la même manière à la base des ^{autres} talles suivantes, la sortie des racines sur une talle suivant avec un certain retard celle de la talle.

Toutes ces racines primaires sont issues de cellules du parenchyme cortical situées à proximité des faisceaux vasculaires les plus externes du cylindre central. Le nombre de sites par entre-noeud susceptibles de se différencier pour donner naissance à une racine est mal connu. Il ne paraît pas déterminé de façon stricte, à la différence de ce qui se passe pour les bourgeons de talles (Troughton, 1957 ; Spedding et Diekmahns, 1972).

Du fait de cette origine interne, une racine primaire ne devient visible sans dissection de la talle qu'un certain temps après la différenciation de son apex. On peut donc distinguer 3 stades dans le début de son développement:

- son initiation, qui traduit le début de la formation de l'apex ;
- son émission lorsqu'elle devient visible en traversant la gaine foliaire la plus externe ;
- son élongation dans le sol.

Le passage de la plante au stade reproductif a des répercussions sur la rhizogenèse, qui sont mal connues chez les graminées fourragères de zone tempérée et n'ont jamais été étudiées en zone tropicale.

Ainsi, l'émission des racines primaires est facilement observable au niveau du plateau de tallage des graminées à port en touffe, mais le décalage dans le temps entre initiation et émission peut constituer une source de difficultés pour interpréter les fluctuations de rythmes d'émission.

Du point de vue du problème que nous nous sommes posés, l'intérêt de l'étude des rythmes d'émission est double. Elle permet en effet :

- d'une part, de calculer $\sum_{i=1}^{i+1} (NR3P)$, première étape de la résolution de l'équation (2) ;
- d'autre part, de connaître les périodes d'émission des racines et donc de pouvoir mettre en évidence, s'ils existent, les épisodes où PRE_{i+1} peut être considéré comme négligeable, ce qui est une façon de résoudre l'équation (1) (Introduction, § 2.3.).

Ce rappel sur la morphogenèse des racines chez les graminées montre aussi l'étroite relation qui existe entre le développement du système aérien de la plante et celui du système racinaire. Cette liaison est facilement mise en évidence dans les études sur plantes cultivées en pots, en étudiant les variations du rapport (Troughton, 1955) :

Log (poids de matière sèche des racines)

Log (poids de matière sèche des parties aériennes)

Ce rapport reste constant pour des conditions de milieu données durant toute la période végétative du développement des plantes mais diminue lors du passage à la période reproductrice (Troughton, 1961). Il varie avec les facteurs et conditions de milieu et ces variations peuvent s'interpréter comme une tendance au maintien d'un équilibre stable entre photosynthèse d'une part, absorption d'eau et d'éléments minéraux d'autre part (Troughton, 1960 ; 1974 ; Brouwer, 1966).

Il apparaît donc important, dans les études de dynamique des systèmes racinaires, de ne pas négliger l'évolution des parties aériennes.

3. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES VARIETES DE *PANICUM MAXIMUM* ETUDIEES.

Parmi toutes les graminées de zone tropicale humide ayant un port en touffe permettant l'observation du nombre de racines émises au niveau du plateau de tallage, *Panicum maximum* offre un intérêt particulier.

Les études menées par le laboratoire de Génétique permettent en effet de disposer d'un matériel d'origine et de caractéristiques connues ce qui est important car le très grande polymorphisme de l'espèce peut, à lui seul, expliquer pourquoi les résultats d'expériences comparables menées dans plusieurs régions du monde peuvent être divergents (Pernès et al., 1975).

Trois clones ont été utilisés :

- "Adiopodoumé", qui existe à l'état spontané dans la région d'Adiopodoumé, pour les études effectuées sur ce centre uniquement ;
- G 23, mieux adapté aux conditions climatiques de Bouaké, pour le dispositif multilocal ;
- K 187 B, variété sélectionnée pour sa haute productivité, pour 2 essais limités, à Adiopodoumé, utilisant des dispositifs expérimentaux préexistants.

La description de la morphologie de leurs parties aériennes est reprise en grande partie des travaux du Laboratoire de Génétique (Pernès, 1972 ; Combes, 1972 ; Pernès et al., 1973).

"Adiopodoumé" est la forme *common guinea*, ou type I de Côte d'Ivoire. Elle est de taille moyenne, possède un grand nombre de talles, a un port du pied demi-étalé. Les feuilles, de couleur verte, sont longues et minces (largeur du limbe comprise entre 1 et 2 cm).

G 23 est plus grande. Elle possède un nombre de talles faible, a un port du pied demi-étalé. Les feuilles, pruinées, blutées, sont plus larges : 2 à 3 cm.

K 187 B est une forme très vigoureuse de *Panicum maximum*. Les talles, peu nombreuses, sont épaisses. Le port est dressé. Les feuilles, vertes, ont un limbe large de 3 à 4 cm.

Dans les conditions d'expérience, ces 3 clones se montrent peu sensibles au photopériodisme : exploités et fertilisés, ils remontent et fleurissent tout au long de l'année. Remontaison et floraison paraissent liés ; aucun clone n'est caulescent.

Monteny, Combes et Prévost (1971) ont confirmé par des études morphologiques de limbe que les *Panicum* appartenaient au groupe des plantes à cycle photosynthétique en C4.

A partir des études de bioclimatologie effectuées par Eldin (1971) à Adiopodoumé, Pernès et René (1969) ont montré que le rendement d'une coupe est en corrélation avec la valeur minimale de la pluviométrie ou de l'évapotranspiration potentielle pendant l'intervalle de temps qui précède la coupe. Talineau (1970) a cependant mis en évidence les limites de cette liaison et la nécessité de faire intervenir les réserves en eau du sol.

La morphologie de leur enracinement, qui n'a pas fait l'objet de comparaisons aussi systématiques, diffère apparemment moins d'un clone à l'autre que celle des parties aériennes.

Le système nodal comprend en général 3 ordres de racines (fig. 1, planche I).

Les racines primaires, issues du plateau de tallage, de diamètre 0,9 mm à 1,1 mm environ lorsqu'elles sont intactes, peuvent atteindre une longueur de plusieurs mètres.

Sous une prairie à *Panicum maximum* "Adiopodoumé" de 5 ans, des sondages à 2,60 m de profondeur y ont en effet révélé la présence de racines, et il n'est pas exclu qu'elles aient pénétré encore plus bas.

De même, l'étude sur pieds plantés à grand écartement (4ème partie, § 1.3.) montre que les racines primaires, en surface, se propagent au moins jusqu'à 2,50 m. Pour la variété "Adiopodoumé", les racines primaires peuvent atteindre 6 à 10 cm de long, parfois plus, avant que les premières ramifications n'apparaissent à la base des racines. Pour les autres variétés étudiées, G 23 et K 187 B, les premières ramifications apparaissent en général plus rapidement, lorsque les racines ont 4 à 5 cm de long.

Les racines secondaires sont beaucoup plus courtes que les précédentes (quelques dizaines de cm). Elles ont un diamètre de 0,20 mm.

Les racines tertiaires enfin, encore plus courtes (quelques cm) ont un diamètre peu inférieur aux précédentes.

Les racines possèdent des poils absorbants

4. METHODES UTILISEES POUR LA MESURE DU POIDS TOTAL DE MATIERE SECHE DES RACINES A UN INSTANT DONNE ET DES NOMBRES DE RACINES EMISES DANS UN INTERVALLE DE TEMPS.

4.1. Les données à mesurer.

La revue bibliographique des méthodes disponibles pour les études d'enracinement des plantes en pleine terre montre que la mesure de PRT_i et PRT_{i+1} est possible.

Etant donné les caractères de la morphogenèse des racines chez les graminées à port en touffe en général et chez *Panicum maximum* en particulier, il est possible :

- d'une part, d'observer et de compter le nombre de racines primaires émises au niveau du plateau de tallage, NR3P ;
- d'autre part, de montrer que l'étude de l'évolution de l'enracinement ne peut pas être dissociée de celle de l'évolution des parties aériennes (Troughton, 1960 ; Williams, 1969).

Nous pouvons donc, maintenant, définir avec précision les éléments à mesurer pour comprendre la dynamique racinaire de *Panicum maximum* et résoudre l'équation (1), puis décrire les méthodes utilisées.

Pour les parties aériennes, les observations porteront sur :

- les biomasses, exprimées en poids de matière sèche, à comparer avec PRT_i ;
- le nombre et l'âge des talles, la dynamique racinaire étant liée à celle du tallage ;
- le stade des touffes lors des coupes pour savoir si, dans l'intervalle entre 2 coupes, la plante est restée au stade végétatif ou si elle est passée au stade reproductif, ce passage pouvant avoir des conséquences sur l'émission des racines primaires.

Pour les racines, les mesures comporteront :

- la détermination des masses racinaires dans le sol à intervalles réguliers, PRT_i et PRT_{i+1} ; pour des raisons qui apparaîtront clairement en 4ème partie (§ 2.2.), le terme de biomasse a été réservé strictement aux racines vivantes, celui de nécro-masse (Duvigneaud, 1974) utilisé pour les racines mortes mais conservant leur structure ; la masse racinaire est la somme des deux ;
- la mesure périodique du nombre de racines primaires émises au niveau du plateau de tallage, NR3P.

4.2. Caractères généraux des méthodes utilisées.

Pour les études en plein champ, la difficulté dans le choix des méthodes réside dans l'équilibre à trouver entre des méthodes rapides et des méthodes suffisamment précises pour mesurer exactement les valeurs des paramètres que l'on cherche à connaître.

Les méthodes doivent être suffisamment rapides pour permettre un grand nombre de mesures simultanées et autoriser les analyses statistiques qui permettent seules de savoir si les fluctuations observées sont dues au hasard ou à la variabilité introduite dans le système pour faciliter son étude. Or les méthodes précises sont souvent très longues et difficilement utilisables.

D'autre part, beaucoup de méthodes simples ne permettant pas de connaître la valeur prise par un caractère mais la valeur d'une somme de caractères qu'il est difficile de dissocier sans faire appel à des méthodes beaucoup plus complexes et longues à mettre en oeuvre.

4.3. Méthodes de mesure des caractéristiques du développement du système aérien nécessaire à l'étude.

4.3.1. Biomasses.

Les biomasses des parties aériennes sont mesurées dans tous les essais effectués. Elles sont exprimées en poids de matière sèche.

Les jours de coupe, 2 fractions sont distinguées :

- celle au-dessus du niveau de la coupe ;
- celle entre le niveau de la coupe et le sol.

Les autres jours, la biomasse totale seule est en général mesurée.

Deux méthodes sont utilisées.

Lorsque l'échantillon à mesurer n'est pas trop volumineux, il est récolté manuellement, placé à l'étuve à 105°C, séché à poids constant et pesé.

Lorsque l'échantillon est trop important, il est récolté à l'aide d'une motofaucheuse et pesé en vert ; un sous-échantillon de 1 kg est alors prélevé, et traité comme précédemment, pour déterminer le taux puis le volume de la matière sèche récoltée.

Les superficies de prélèvement des échantillons, variables, seront indiquées avec les protocoles expérimentaux.

4.3.2. Nombre et âge des talles.

Le nombre des talles a été compté à intervalles réguliers dans la plupart des essais, les comptages étant effectués au laboratoire sur des touffes prélevées intactes, immédiatement après le prélèvement.

On a parfois distingué 2 catégories de talles : celles issues du plateau de tallage et celles issues des noeuds au-dessus, que l'on a appelé talles perchées et dont les racines sont aériennes à leur début.

Cette méthode ne permet pas de mesurer le tallage réel entre 2 observations, car le nombre de talles comptées à un instant donné est égal au nombre de talles au comptage précédent, moins le nombre de talles mortes plus le nombre de talles nouvellement apparues dans l'intervalle. Elle n'indique donc que le tallage apparent.

Pour connaître le tallage réel, on peut par exemple procéder au baguage systématique des talles nouvellement apparues à intervalles réguliers à l'aide de bagues de couleurs différentes. Les bagues, en plastique, de diamètre initial 14 mm, sont fendues pour éviter toute perturbation de la croissance en épaisseur des talles.

4.3.3. Stade des touffes.

Le comportement d'une plante après coupe dépend en grande partie du stade des talles lors de la coupe, (Gillet, 1973). Les talles dont les apex sont au-dessus du niveau de la coupe meurent.

S'il est facile de caractériser le stade d'une talle par dissection et observation de l'apex, ceci demande un temps assez long. S'il est donc théoriquement possible de caractériser celui d'une touffe en disséquant l'ensemble des talles et en établissant le pourcentage de talles à chacun des stades, pratiquement, ce n'est guère réalisable de façon suivie.

Il reste donc 2 solutions :

- caractériser le stade de la touffe par celui de la ou des quelques talles les plus précoces. Mais cela ne donne aucune indication sur le stade des autres talles de la touffe ;
- trouver une méthode de détermination rapide du pourcentage de talles ayant dépassé un certain stade lors de la coupe, quitte à perdre un peu de précision dans la détermination.

Lors d'une coupe, les apex des talles montées étant éliminées, ces talles meurent. La hauteur de coupe, en général 15 cm, a été choisie de façon à ce que seuls les apex des talles dont la montaison a commencé soient éliminés.

On peut donc caractériser approximativement à posteriori le stade moyen des touffes à une coupe par l'évolution de leur nombre de talles dans les jours qui suivent. Ce nombre sera fonction :

- du nombre de talles à la coupe ;
- du nombre de talles nouvellement apparues ;
- du nombre de talles mortes.

Les 2 erreurs systématiques commises en utilisant cette approximation sont donc liées :

- au nombre de talles qui meurent sans être montées ;
- au nombre de talles apparues entre le comptage lors de la coupe et le suivant.

La première cause d'erreur est sans doute faible, et l'on peut supposer qu'elle est relativement constante d'une coupe à l'autre. La deuxième peut être réduite en effectuant les 2 comptages à intervalles de temps suffisamment rapprochés.

Le temps dont on dispose pour effectuer le 2ème comptage apparaît variable. Begg (1965) a en effet montré que, pour des *Pennisetum typhoides* coupés par lots successifs chaque semaine, le nombre de

jeunes talles apparaissant après la coupe ne devient important qu'à la 9ème semaine : jusqu'à la 5ème semaine inclus, ce sont les talles primitives non encore montées qui repoussent ; entre la 6ème et la 8ème semaine, la repousse est pratiquement nulle.

4.4. Méthodes de mesure des caractéristiques du système racinaire nécessaires à l'étude.

4.4.1. Poids total de matière sèche des racines, PRT.

Les 2 méthodes les mieux adaptées à la mesure de PRT sont la méthode des sondages, utilisant les techniques de carottage, d'isolement et de pesée de la fraction racinaire et celle mettant en oeuvre les techniques d'injection d'éléments marqués dans la plante.

La technique de Racz, Rennie et Hutcheon (1964) a été essayée sans succès sur *Panicum maximum*. En effet, les touffes ayant beaucoup de talles, il n'est pas possible de marquer toutes celles d'un nombre suffisant de touffes. Et l'on n'a pas réussi, en procédant à l'injection de ^{32}P ou ^{35}S dans 20 % des talles (ce qui représente pour la variété "Adiopodoumé", 10 à 25 talles par plante) à obtenir un marquage uniforme.

Celle de Nielson (1964) avec $^{14}\text{CO}_2$ n'était pas réalisable avec l'équipement disponible à Adiopodoumé au moment où les études ont commencé.

On a donc retenu la méthode des sondages, en utilisant les appareils et installations décrits précédemment (Bonzon et Picard, 1969).

Prélèvement des échantillons.

Lorsque la profondeur de sondage ne dépasse pas 25 cm, les prélèvements sont effectués à l'aide de sondes très simples, constituées d'un tuyau en fer galvanisé sur lequel est soudée une couronne en acier cémenté aiguisée à son extrémité, de 3 cm de long. (Fig. 2, planche II).

Pour faire des prélèvements plus profondément, on utilise un carottier comprenant un corps de 30 cm de long et de diamètre à la base 5,5 cm, vissé sur un bouchon qui sert d'enclume pour l'enfoncement

de la sonde. Celui-ci se fait par martelage, à l'aide d'une masse de forme cylindrique de 17 kg coulissant le long de la tige guide du carottier (Fig. 3, planche II).

L'appareil permet de prélever des carottes de 25 cm de long au maximum sur une profondeur de 1,25 m au plus.

Les échantillonnages ont toujours été effectués sur des parcelles de *Panicum maximum* implantées par bouturage en carrés de 40 cm de côté.

Dans les horizons superficiels, pour déterminer la quantité moyenne de racines par unité de surface des prélèvements en nombres égaux sont réalisés systématiquement sur 3 sites de sondage : entre 4 touffes (site 1), entre 2 touffes (site 2), sous une touffe arasée préalablement au niveau du sol (site 3).

Au-delà de 25 cm à 30 cm de profondeur, les différences entre sites deviennent négligeables (tableau 1).

Horizons cm	Sites de sondage :		
	3	2	1
	P	P	P
	mg	mg	mg
0-10	762	499	320
10-20	208	162	131
20-30	85	80	102
30-50	81	90	87
50-75	64	47	67
0-75	1200	878	707

Tableau 1 : Gradients de développement horizontaux et verticaux de *Panicum maximum* G 11.

P : Poids de matière sèche des racines.

Afin de faciliter les comparaisons entre les résultats obtenus dans les différents essais (des méthodes similaires de préparation du terrain, en particulier une même profondeur de labour, ayant été adoptées) tous les prélèvements ont été effectués selon un même découpage des horizons : 0-10 cm ; 10-25 cm ; 25-45 cm ; 65-85 cm ; 85-105 cm ; 105-125 cm. A Gagnoa et Bouaké, en raison de l'existence de niveaux indurés au-delà de 65 cm dans certaines parcelles, tous les sondages ont été arrêtés à cette profondeur.

Dans les dispositifs expérimentaux, on a procédé à des répétitions à 2 niveaux : un traitement étudié étant appliqué à une parcelle, chaque parcelle est reproduite un certain nombre de fois, ce nombre étant fonction du dispositif adopté. Mais si l'on n'avait effectué qu'un seul carottage par site et horizon et par parcelle, on aurait eu un nombre de répétitions insuffisant.

Bonzon (1966) ayant montré sur ananas et pour les sols d'Adiopodoumé qu'environ 10 à 15 répétitions suffisent pour arriver à séparer statistiquement à 5 % près des traitements dont les valeurs moyennes diffèrent de 20 %, ces résultats ont été utilisés pour définir le nombre de répétitions à effectuer par parcelle, à partir de la relation suivante :

nombre de prélèvements par parcelle = (10 à 15)/(nombre de répétitions de la parcelle).

Afin de gagner du temps sur le traitement des échantillons et malgré la perte d'information que cela représente, les échantillons homologues prélevés par parcelle ont été regroupés en un échantillon unique.

Traitement des échantillons.

Chaque échantillon ainsi obtenu a été traité selon l'organigramme ci-joint (Fig. 4).

La carotte est d'abord séchée à poids constant dans un four à infrarouges ventilé dont la température ne dépasse pas 60°C au niveau des échantillons et pesée. Elle est ensuite généralement stockée un certain temps avant d'être reprise pour la suite des opérations.

La terre est éliminée en plaçant l'échantillon dans un jeu de 2 tamis superposés encastrés dans un support oscillant et surmontés d'un jet d'eau (Fig. 5 a).

Les racines, autres débris organiques et éventuellement gravillons sont recueillis en nettoyant les tamis toujours à l'aide d'un jet d'eau, au-dessus d'un évier-entonnoir en ciment sous lequel est placé un récipient à fond en toile de tamis (Fig. 5 b).

Les gravillons sont éliminés par gravité à l'aide d'un 2ème entonnoir muni d'une arrivée d'eau à la base placé à son tour dans l'évier-entonnoir : le flot d'eau entraîne les racines et débris organiques divers, les gravillons restent au fond de ce 2ème entonnoir (Fig. 5 c)*.

La séparation entre les racines et les autres débris organiques est effectuée manuellement.

Puis la surface diamétrale des racines est mesurée par photoplanimétrie (Bonzon, 1964 ; Bonzon et Picard, 1969), leur poids de matière sèche déterminé ensuite, après passage à l'étuve 18 h à 105°C et pesée à 0,1 mg près.

Les valeurs mesurées sont systématiquement contrôlées graphiquement en utilisant la corrélation étroite qui existe entre le poids de matière sèche et la surface diamétrale d'échantillons d'une même espèce recueillis dans un même site et à une même profondeur (Picard, 1968). Lorsqu'un point s'écarte trop de la droite de régression, l'échantillon est retraité à partir de la phase : étalement sur une plaque de verre (organigramme Fig. 4). Si, par les nouvelles valeurs obtenues, le point correspondant se rapproche de la droite de régression, ces nouvelles valeurs sont conservées (point α). Il arrive cependant souvent que le point se déplace parallèlement à la droite, en direction de l'origine. Cela indique alors simplement qu'une partie de l'échantillon a été perdue au cours des manipulations et les anciennes valeurs sont conservées (point β).

Après ces vérifications systématiques, les différents paramètres caractérisant un échantillon (site et profondeur de sondage, hauteur et diamètre de la carotte, poids de la carotte, poids des gravillons, poids de matière sèche des débris organiques, poids de matière sèche

* L'ensemble des appareils et installations a été conçu et réalisé sous la direction de B. Bonzon.

PARAMETRE
MESURE :

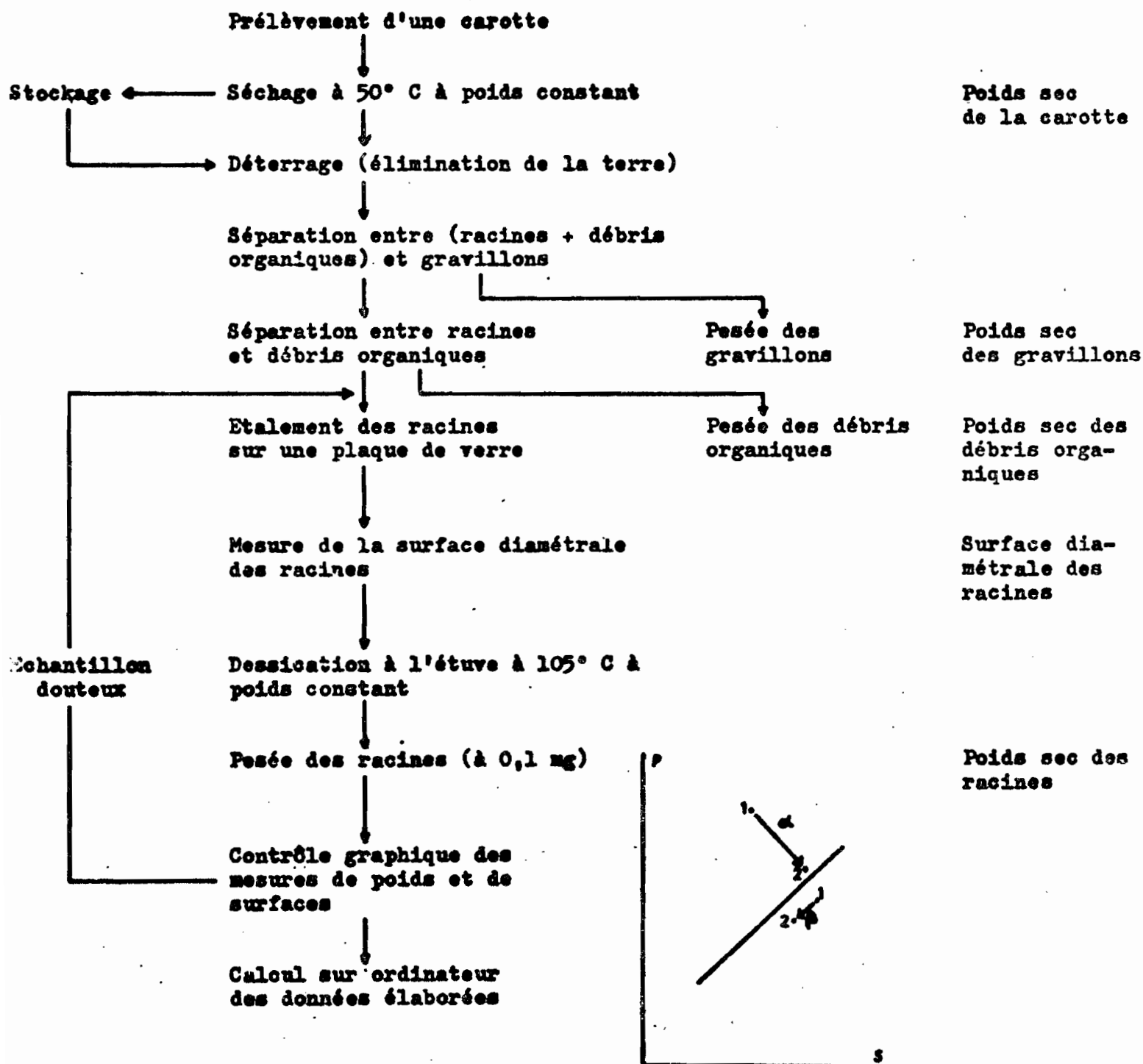
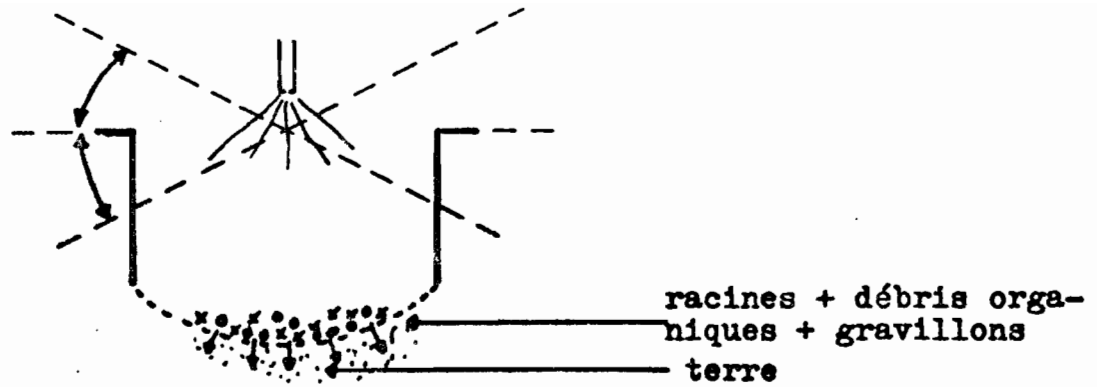
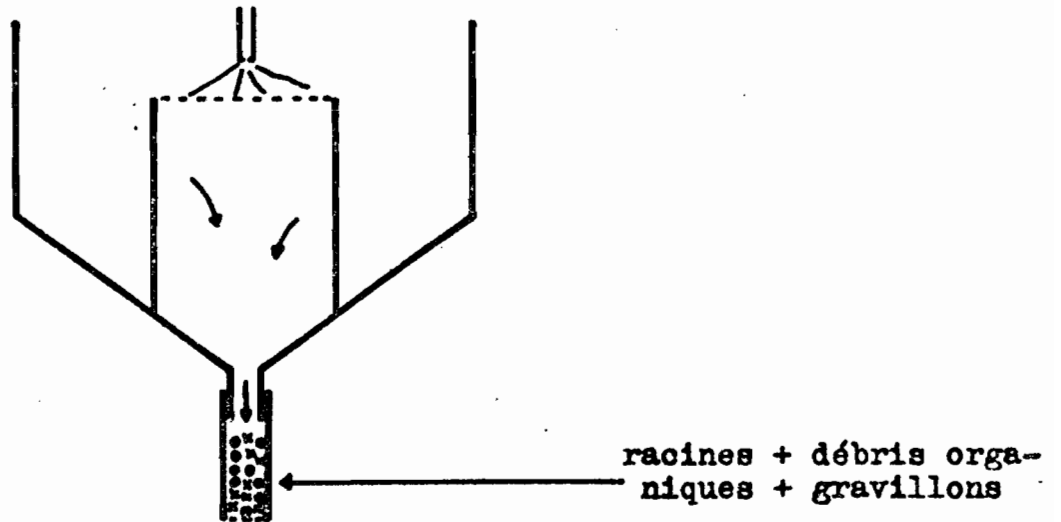


Figure 4 : organigramme des opérations de traitement d'un échantillon.

(a)



(b)



(c)

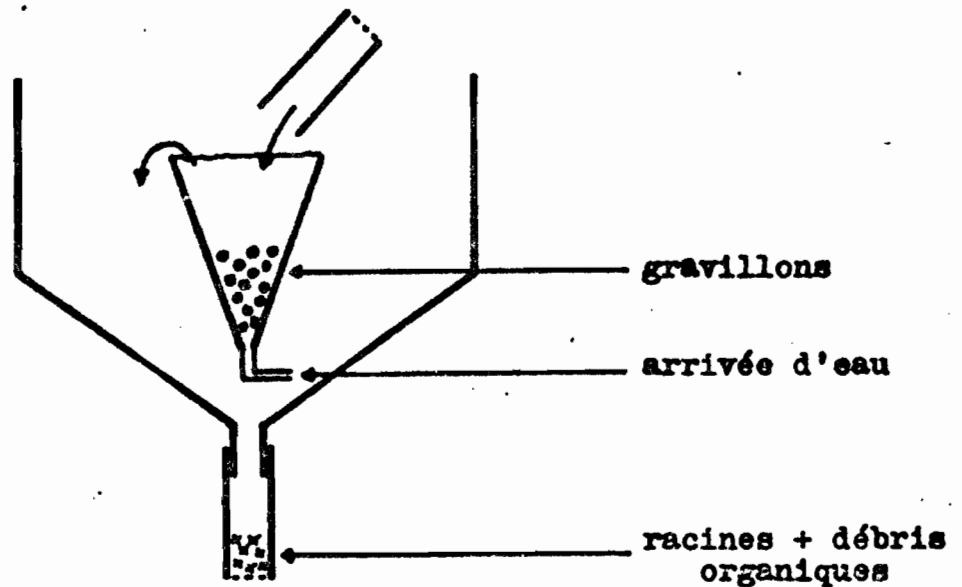


Figure 6 : schéma des dispositifs pour l'élimination de la terre, la séparation des gravillons et l'isolement de la fraction racines + débris organiques divers.

et surface diamétrale des racines) sont introduits en ordinateur pour calculer les données finales.

Présentation des résultats.

L'interprétation des données concernant les débris organiques divers et la surface diamétrale des racines fera l'objet de travaux ultérieurs. Seules seront envisagées désormais les données qui intéressent cette étude : les poids de matière sèche des racines, présentés sous 2 formes : en g.m^{-2} (ou t.ha^{-1}) et en mg pour 100 g de terre.

En effet, la présentation sous forme de g.m^{-2} ne permet pas de comparer les quantités de racines dans les différents sites d'un même horizon, problème d'ailleurs rarement étudié sous prairie.

Pour les plantes annuelles (maïs, blé, coton...) semées en ligne, l'étude des gradients horizontaux se fait en général à partir des poids de racines par unité de volume de sol, pour tenir compte des variations de densité du sol (Maertens, 1964 a). Cela nécessite cependant que le volume du sol prélevé par carottage corresponde bien au volume théorique. La technique du prélèvement horizontal se prête mieux que celle du prélèvement vertical à cela et, dans le cas présent, on a préféré rapporter les poids de racines au poids de terre prélevé. On n'observe en effet aucune fluctuation de densité de sol attribuable à la variabilité contrôlée dans le système. On a par ailleurs vérifié (Picard, 1969) que lorsque le volume de sol prélevé est effectivement proche du volume théorique, les coefficients de variation des données exprimées soit en mg pour 100 g de terre soit en mg par dm^3 de terre sont tout à fait comparables.

Dans 0-10 cm et 10-25 cm, le poids moyen de racines pour 100 g de terre est la moyenne des 3 valeurs observées aux sites 1, 2 et 3. Le poids de racines en g.m^{-2} est calculé en utilisant pour le sol une densité moyenne de 1,5.

A Adiopodoumé, les sols ne sont pas gravillonnaires. A Gagnoa et Bouaké les données ont été calculées à partir du poids total des carottes, terre + gravillons.

On désignera désormais par : profil racinaire, l'ensemble des poids moyens de matière sèche des racines par unité de poids de terre pour les différents sites et horizons d'une parcelle.

4.4.2. Nombre de racines primaires émises dans un intervalle de temps.

La méthode utilisée dans cette étude est celle utilisée par Garwood (1967 a).

Le nombre de racines nouvellement émises au niveau du plateau de tallage est compté par observation directe.

Pour cela, des touffes sont prélevées avec une motte de terre suffisante. Au laboratoire, après élimination de la terre par aspersion, les touffes sont disséquées délicatement talle par talle. Dans le premier essai effectué, en raison des délais de manipulation, elles sont placées dans de l'eau 24 h en attendant de procéder aux observations.

Dans les essais ultérieurs, les observations sont effectuées immédiatement après la dissection des touffes.

Pour les observations, on a distingué 3 types de racines primaires :

- celles de longueur inférieure à 3 cm, appelées R3 dans la suite du texte (Fig. 6, planche III) ;
- celles de longueur supérieure à 3 cm mais non encore ramifiées, appelées RN (Fig. 7, planche III) ;
- celles enfin qui portent des ramifications sur leur partie observable, appelées racines développées ou RD.

Le nombre de RD n'a été compté que dans quelques cas bien précis : en début d'expérience, dans le cas où la prairie vient juste d'être plantée, lorsqu'on est sûr qu'aucune racine n'est encore décomposée ; ou alors dans les expériences où les talles sont baguées, qu'on peut donc préciser l'âge approximatif des RD comptées : il est alors certain que, pour la catégorie de talles pour laquelle le comptage est effectué, aucune racine n'est omise.

Les 3 catégories de racines sont assez facilement reconnaissables à l'oeil. Il y a cependant 2 sources d'erreurs possibles.

D'une part, malgré les précautions prises lors de la dissection des touffes, le réseau racinaire est tellement dense qu'il arrive que certaines racines des 2 premières catégories soient cassées pendant cette opération. Toutes celles-là, lorsqu'elles sont bien blanches et non ramifiées dans leur partie observables, sont comptées comme RN étant donné que les R3, plus courtes, sont moins susceptibles d'être brisées.

D'autre part, il arrive que le méristème apical d'une racine soit attaqué et rendu inactif par des agents pathogènes (champignons, nématodes...) alors qu'elle n'a pas 3 cm de long. Elle prend alors une teinte nettement ivoire puis brune. Mais dans certains cas, il est difficile de décider si elle vient d'être émise ou non.

Les racines primaires issues des talles perchées qui sont donc aériennes sur le début de leur parcours, n'ont pas été comptées.

Cas particulier où les talles sont laissées 24 h dans l'eau avant les comptages.

Une expérience préliminaire, d'ailleurs vérifiée ultérieurement avait permis de constater que, lorsque l'humidité de l'horizon superficiel du sol est suffisante, le stage de 24 h dans l'eau des bases de talles ne provoque l'apparition d'aucune nouvelle racine (Tableau 2). Il s'est avéré, en cours d'expérience, que ce n'était cependant pas toujours vrai en période de saison sèche, lorsque l'humidité du sol en surface était réduite.

Humidité du sol	Nbre de talles observées	Nbre de R3 apparues après un séjour dans l'eau de :		
		0 h	24 h	48 h
Sec	465	14	35	98
Humide	632	23	24	24

Tableau 2 : Evolution du nombre de R3 en fonction du temps de trempage des talles, selon que les touffes ont été prélevées en sol sec ou humide.

C'est donc un élément dont il faudra tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

4.5. Notations.

Afin d'alléger le texte et de permettre l'étude ultérieure du système par simulation, un certain nombre de notations ont été adoptées dont le symbolisme s'inspire de celui utilisé en langage de programmation Fortran.

Pour les parties aériennes :

PAP : poids de matière sèche des parties aériennes par plante ;

PAT : poids de matière sèche des talles ;

NTT : nombre de talles total ;

NTV : nombre de talles vivantes ;

NTM : nombre de talles mortes.

Pour les racines :

NR3P : nombre de racines primaires de longueur inférieure à 3 cm par plante ;

NR3T : nombre de racines primaires de longueur inférieure à 3 cm par talle ;

NRNP : nombre de racines primaires non ramifiées par plante ;

NRNT : nombre de racines primaires non ramifiées par talle ;

NRDP : nombre de racines développées par plante ;

NRDT : nombre de racines développées par talle ;

PRT : poids de matière sèche de toutes les racines ;

PRV : poids de matière sèche des racines vivantes ;

PRM : poids de matière sèche des racines mortes ;

PRD : poids de matière sèche des racines décomposées ;

PRE : poids de matière sèche des racines nouvellement émises (aussi bien R3 que RN et RD).

Indices : on utilisera au maximum 4 indices, i, j, k et l, toujours dans cet ordre.

Dans une prairie régulièrement fauchée, le déroulement du temps est régulièrement jalonné par les coupes. L'unité de temps choisie étant le jour, les dates d'observations sont mentionnées en indice des éléments mesurés, à l'aide de 2 indices :

i : numéro de l'intercoupe considéré ;

j : nombre de jours depuis la coupe marquant le début de l'intercoupe ;

Exemple : $PRE_{10,14}$: poids des racines émises au 14ème jour du 10ème intercoupe.

L'indice k désigne les classes d'âge des talles dans les essais où les talles ont été baguées.

L'indice l désigne les répétitions.

4.6. Interprétation statistique des résultats.

L'influence des dates d'observation, celle des différents traitements introduits dans les dispositifs expérimentaux ont été analysés statistiquement à l'aide des tests d'analyse de variance. Ceci est possible car les observations, du fait des techniques d'échantillonnage employées, sont indépendantes.

Lorsque l'analyse de variance a révélé l'effet significatif du traitement, les différences entre moyennes prises soit une par une soit par groupes homologues ont été comparées par le test de Newman et Keuls (abrégé en N.K. pour la suite) ou par la méthode de décomposition de la Somme des Carrés des Ecartés (SCE) appelée encore méthode des contrastes).

Ces méthodes ont été empruntés à Snedecor et Cochran (1957).

Contrairement aux règles en matière de statistique, certains contrastes étudiés ont été choisis à posteriori, en fonction des résultats, car il était évidemment impossible, comme on le verra, de prévoir ceux à tester. Cependant, la SCE traitements comportant alors entre 45 et 61 dl, cela signifie qu'il était en théorie possible d'effectuer 45 à 61 décompositions systématiques, parmi lesquelles celles qui ont été retenues. Ce choix a posteriori apparaît donc comme une méthode de simplification des calculs plus que comme une contravention aux règles.

Afin d'utiliser l'analyse de variance sur des variables distribuées normalement et aussi dans la perspective de la réalisation de programmes de simulation du système selon des modèles probabilistes, les lois de distribution des principaux paramètres ont été étudiées.

Une étude particulière a été faite pour la loi de distribution de PRT dans l'horizon 20-40 cm (Picard, 1968).

Les autres lois de distribution ont été étudiées sur les résidus d'ajustement des données d'un des essais effectués, les effets du seul traitement (date d'observation) ayant été ainsi éliminés.

Nombre de talles par plante.

Les nombres de talles par plante sont distribués selon une loi de Poisson ; une transformation :

$$NT \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \sqrt{NT}$$

des données permet de normaliser la distribution (tableau 3).

Ce résultat a déjà été obtenu par Pernès (1972).

Poids de matière sèche par plante PAP.

Les termes résiduels sont distribués selon une loi de Poisson, comme dans le cas précédent (tableau 4).

Poids de matière sèche des talles, PAT.

Ce paramètre, exprimé en g de matière sèche pour 100 talles, suit une loi log-normale. La transformation :

$$PAT \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \log (100.PAT)$$

permet de normaliser la distribution (tableau 5).

Poids de matière sèche de toutes les racines, PRT.

Une étude effectuée sur 200 carottes prélevées dans l'horizon 20-40 cm d'une prairie à *Panicum maximum* "Adiopodoumé", (Picard, 1968), a permis de montrer qu'une fonction normalisante de PRT était :

$$PRT \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow 1000 \log (PRT + 200) - 2400.$$

Ultérieurement, la pratique a révélé qu'une simple transformation logarithmique :

$$PRT \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \log (PRT + 1)$$

était suffisante pour normaliser les distributions observées dans la plupart des cas et c'est cette dernière fonction qui est utilisée dans ce travail.

Données non transformées				Données transformées			
Limites de classes	Effectifs observés	Effectifs théoriques	χ^2	Limites de classes	Effectifs observés	Effectifs théoriques	χ^2
$\leq - 0,2485$	4	1,60	2,88	$\leq - 4,485$	12	7,8	2,26
- 0,2485 : - 0,2485	8	7,74	0,01	- 4,485 : - 3,485	8	9,2	0,16
- 0,2485 : - 0,1485	18	23,48	2,37	- 3,485 : - 2,485	10	15,68	2,05
- 0,1485 : - 0,0485	37	45,02	1,43	- 2,485 : - 1,485	22	22,82	0,03
- 0,0485 : - 0,0505	80	64,18	0,83	- 1,485 : - 0,485	23	26,68	1,12
0,0505 : 0,1505	80	41,10	8,88	- 0,485 : 0,505	38	31,00	2,06
0,1505 : 0,2505	8	18,98	5,72	0,505 : 1,605	34	28,72	0,97
0,2505 : 0,3505	4	5,88	0,60	1,605 : 2,505	21	23,04	0,18
$\geq 0,3505$	2	1,24	0,67	2,505 : 3,505	20	15,78	1,13
				3,505 : 4,505	6	9,98	1,21
				$\geq 4,505$	5	7,98	1,10
			$\chi^2_{0,05} = 15,51$				
			22,80				
							$\chi^2_{0,05} = 16,31$
							12,27

Tableau 9 : Loi de distribution des ~~classes~~ résiduels pour le paramètre :

nombre de tiges par plante, NTT.

Transformation : $NTT \rightarrow \sqrt{NTT}$.

Données non transformées				Données transformées			
Limites de classes	Effectifs Observés	Effectifs théoriques	χ^2	Limites de classes	Effectifs Observés	Effectifs théoriques	χ^2
$\leq - 13,25$	12	7,74	7,34	$\leq - 3,45$	4	5,80	0,58
- 13,25 - 14,82	4	6,11	2,08	- 3,45 - 2,45	18	13,74	1,32
- 14,82 - 11,59	7	13,97	3,18	- 2,45 - 1,45	32	30,28	0,30
- 11,59 - 8,23	35	20,24	1,33	- 1,45 - 0,45	34	48,38	4,28
- 8,23 - 4,82	27	28,78	0,83	- 0,45 - 0,55	38	58,12	1,74
- 4,82 - 1,58	32	31,62	0,06	0,55 - 1,55	48	47,14	0,07
- 1,58 - 1,75	50	38,58	8,03	1,55 - 2,55	30	28,72	0,06
- 1,75 - 5,00	40	34,32	2,28	2,55 - 3,55	8	12,67	1,72
- 5,00 - 8,42	28	33,48	0,98	$\geq 3,55$	7	5,18	0,84
- 8,42 - 11,75	10	18,82	4,87	$\chi^2_{0,05} = 14,07$			
- 11,75 - 15,08	9	13,17	1,32				10,47
- 15,08 - 18,42	6	7,04	0,43				
$\geq 18,42$	8	7,38	0,05				
			$\chi^2_{0,05} = 19,69$				
			28,04				

Tableau 4 : Loi de distribution des termes résiduels pour le paramètre :

poide de matière sèche par pied, PAP.

Transformation : $PAP \rightarrow \dots \rightarrow PAP \rightarrow \sqrt{PAP}$.

Données non transformées				Données transformées			
Limites de classes	Fréquences		χ^2	Limites de classes	Fréquences		χ^2
	observées	théoriques			observées	théoriques	
$\leq - 0,445$	6	13,0	7,3	$\leq - 0,175$	3	5,36	1,04
- 0,445 : - 0,345	6	13,1	3,0	- 0,175 : - 0,125	14	12,67	0,09
- 0,345 : - 0,245	5	20,3	51,5	- 0,125 : - 0,075	28	29,16	0,00
- 0,245 : - 0,145	21	27,6	1,7	- 0,075 : - 0,025	46	47,52	0,00
- 0,145 : - 0,045	52	33,5	30,2	- 0,025 : 0,025	64	58,15	1,10
- 0,045 : 0,055	62	35,4	81,2	0,025 : 0,075	43	47,39	0,52
0,055 : 0,155	42	33,0	2,5	0,075 : 0,125	26	28,78	0,02
0,155 : 0,255	8	28,4	11,4	0,125 : 0,175	30	19,42	0,87
0,255 : 0,355	8	15,7	5,8	$\geq 0,175$	3	5,83	1,01
0,355 : 0,455	6	12,6	3,4				
$\geq 0,455$	3	12,6	1,0				
						$\chi^2_{0,05} = 14,07$	4,83
			$\chi^2_{0,05} = 16,82$				

Tableau 5 : Loi de distribution du paramètre : poids de matière sèche pour 500 talles, 100 PAT.

Transformation : 500.PAT $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \log(100.PAT)$.

Nombre de R3 par plante, NR3P.

On vérifie qu'une transformation logarithmique :

$$\text{NR3P} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \log (\text{NR3P} + 1)$$

normalise les distributions (Tableau 6).

Nombre de R3 par talle, NR3T.

On a en fait étudié la distribution de 100.NR3T, c'est-à-dire celle du nombre de R3 pour 100 talles.

La transformation :

$$100 \text{ NR3T} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \log (1 + 100 \text{ NR3T})$$

normalise la distribution de ce paramètre (Tableau 7).

Autres paramètres.

Pour les nombres de racines primaires non ramifiées, par plante ou par talle, on a utilisé les mêmes lois de transformation que pour NR3P et NR3T pour normaliser les distributions.

Pour les racines primaires développées, RD, on ne dispose pas de séries suffisantes de données pour pouvoir procéder à cette étude.

4.7. Conclusion sur les méthodes utilisées.

A partir des outils qui viennent d'être décrits, nous avons les moyens de mesurer PRT_i , PRT_{i+1} et NR3P, ainsi qu'un certain nombre de caractéristiques du développement des parties aériennes de *Panicum maximum*.

La possibilité de résoudre l'équation (1) reste soumise :

- soit à l'existence de périodes où l'un des 2 termes PRE_{i+1} ou PRD_{i+1} peut être considéré comme négligeable ;
- soit à la mise en évidence d'une relation liant PRE_{i+1} et NR3P.

Données non transformées				Données transformées			
Limites de classes	Effectifs observés	Effectifs théoriques	χ^2	Limites de classes	Effectifs observés	Effectifs théoriques	χ^2
$\leq - 17,5$	11	11,8	0,05	$\leq - 0,3495$	14	10,3	1,33
- 17,5 - 12,5	7	14,6	4,11	- 0,3495 - 0,2495	10	14,5	1,40
- 12,5 - 7,5	12	24,2	6,17	- 0,2495 - 0,1495	23	25,0	0,16
- 7,5 - 2,5	32	32,5	0,01	- 0,1495 - 0,0495	24	34,4	3,14
- 2,5 - 2,5	79	35,8	52,91	- 0,0495 - 0,0505	45	36,2	1,21
2,5 - 7,5	30	32,1	0,14	0,0505 - 0,1505	42	39,6	1,94
7,5 - 12,5	17	19,2	0,28	0,1505 - 0,2505	20	24,2	0,73
12,5 - 17,5	8	16,7	6,58	0,2505 - 0,3505	19	13,8	0,08
$\geq 17,5$	8	11,1	2,37	$\geq 0,3505$	8	9,8	0,04
$\chi^2_{0,05} = 15,51$			74,80	$\chi^2_{0,05} = 15,51$			10,00

Tableau 8 : Loi de distribution des termes résiduels pour le paramètre : nombre de R3 par plante, NR3P.

Transformation : NR3P $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \log (NR3P+1)$.

Données non transformées				Données transformées				
Limites de classes	Fréquence observée	Fréquence théorique	χ^2	Limites de classes	Fréquence observée	Fréquence théorique	χ^2	
$\leq - 7,45$	12	21,64	4,3	$\leq - 0,345$	3	2,68	0,04	
- 7,45 : - 8,45	5	6,60	0,4	- 0,345 : - 0,245	8	8,92	0,09	
- 6,45 : - 5,45	2	7,84	4,4	- 0,245 : - 0,145	24	23,70	0	
- 5,45 : - 4,45	4	9,12	2,9	- 0,145 : - 0,045	37	42,26	0,65	
- 4,45 : - 3,45	6	10,26	0,5	- 0,045 : 0,055	60	50,48	1,80	
- 3,45 : - 2,45	8	11,34	0,5	0,055 : 0,155	38	40,38	0,14	
- 2,45 : - 1,45	11	12,08	0,1	0,155 : 0,255	21	21,62	0,02	
- 1,45 : - 0,45	29	12,60	21,3	0,255 : 0,355	7	7,76	0,07	
- 0,45 : 0,55	54	12,90	130,9	$\geq 0,355$	2	2,2	0,02	
0,55 : 1,55	30	12,72	23,5	$\chi^2_{0,05} = 14,07$			2,84	
1,55 : 2,55	10	12,36	0,5					
2,55 : 3,55	2	11,54	7,9					
3,55 : 4,55	4	10,66	11,0					
4,55 : 5,55	4	9,48	3,2					
5,55 : 6,55	3	8,24	3,3					
6,55 : 7,55	1	7,04	5,2					
$\geq 7,55$	12	23,06	5,7					
			$\chi^2_{0,05} = 25,00$					225,6

Tableau 7 : Loi de distribution du paramètre : nombre de R3 par talle, NR3T.

Transformation : (100.NR3T) + + + + log (100.NR3T+1).

Le problème de la périodicité des observations, resté en suspens, ne pourra être résolu qu'après l'obtention des résultats des premiers essais dans lesquels cette périodicité aura été fixée arbitrairement, en fonction des données obtenues en zone tempérée.

5. LES MILIEUX D'ETUDE.

Les 3 points d'essais sur lesquels un certain nombre d'interactions sol-plantes fourragères ont été étudiées (introduction, §1), ont été choisis de façon à représenter différentes situations de la Côte d'Ivoire forestière et pré-forestière. Adiopodoumé est à la limite Sud de cette région climatique, Gagnoa au centre et Bouaké à la limite Nord.

Les essais annexes ont dû être limités à Adiopodoumé, en raison de l'importance des mesures à effectuer sur l'ensemble des dispositifs (Introduction, § 2.3.).

5.1. Le climat des 3 stations.

Seules les caractéristiques générales des 3 stations seront présentées ici, les données particulières à chaque essai l'étant avec leurs résultats.

Le climat de la Côte d'Ivoire a été décrit récemment de façon détaillée par Eldin (1971) qui en a exposé le déterminisme.

A Adiopodoumé et Gagnoa, le régime climatique est caractérisé par 2 saisons des pluies alternant avec 2 saisons sèches. Par contre, la région de Bouaké se situe dans la zone de transition entre le régime à 4 saisons au Sud et le régime à 2 saisons au Nord (Tableau 8 ; Fig. 7, 8 et 9). C'est pourquoi les pluies y sont extrêmement irrégulières, d'une année à l'autre, les fréquences d'épisodes secs de longue durée élevées durant la saison des pluies.

	Adiopodoumé	Gagnoa	Bouaké
Régime	2 saisons des pluies du 15/3 au 15/7 et du 1/9 au 15/12	2 saisons des pluies du 1/3 au 1/7 et du 15/8 au 30/11	Zone de transition : suivant les années : 2 saisons des pluies du 20/3 au 30/6 et du 20/8 au 10/11 ou 1 saison des pluies à maximum en septembre
P	2 248 mm	1 478 mm	1 187 mm
ETP	1 335 mm	1 482 mm	1 478 mm
T min.	24,1 °C	22,1 °C	21,4 °C
T max.	28,7 °C	30,7 °C	30,7 °C

Tableau 8 : Caractéristiques climatiques des trois stations d'essai.

P : pluviométrie totale annuelle en mm. - ETP : évapotranspiration potentielle totale annuelle en mm, calculée selon la formule de Turc. - T min. : moyenne des températures minimum mensuelles (1969). - T.max. : moyenne des températures maximum mensuelles (1969). - (Données du laboratoire de Bioclimatologie de l'ORSTOM et de l'ASECNA).

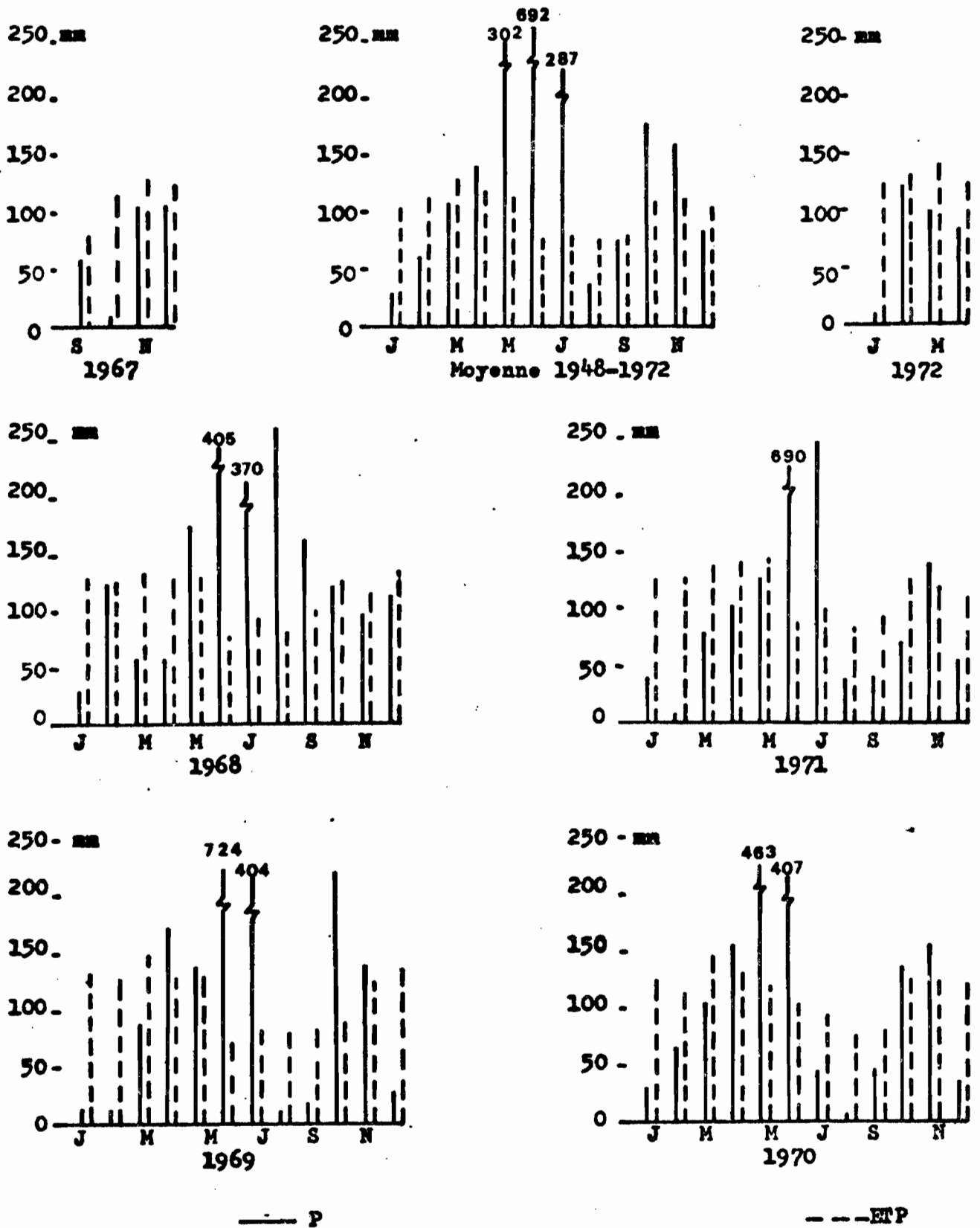


Figure 8 : Pluviométrie et ETP mensuelles à la station d'Adiopodoumé.

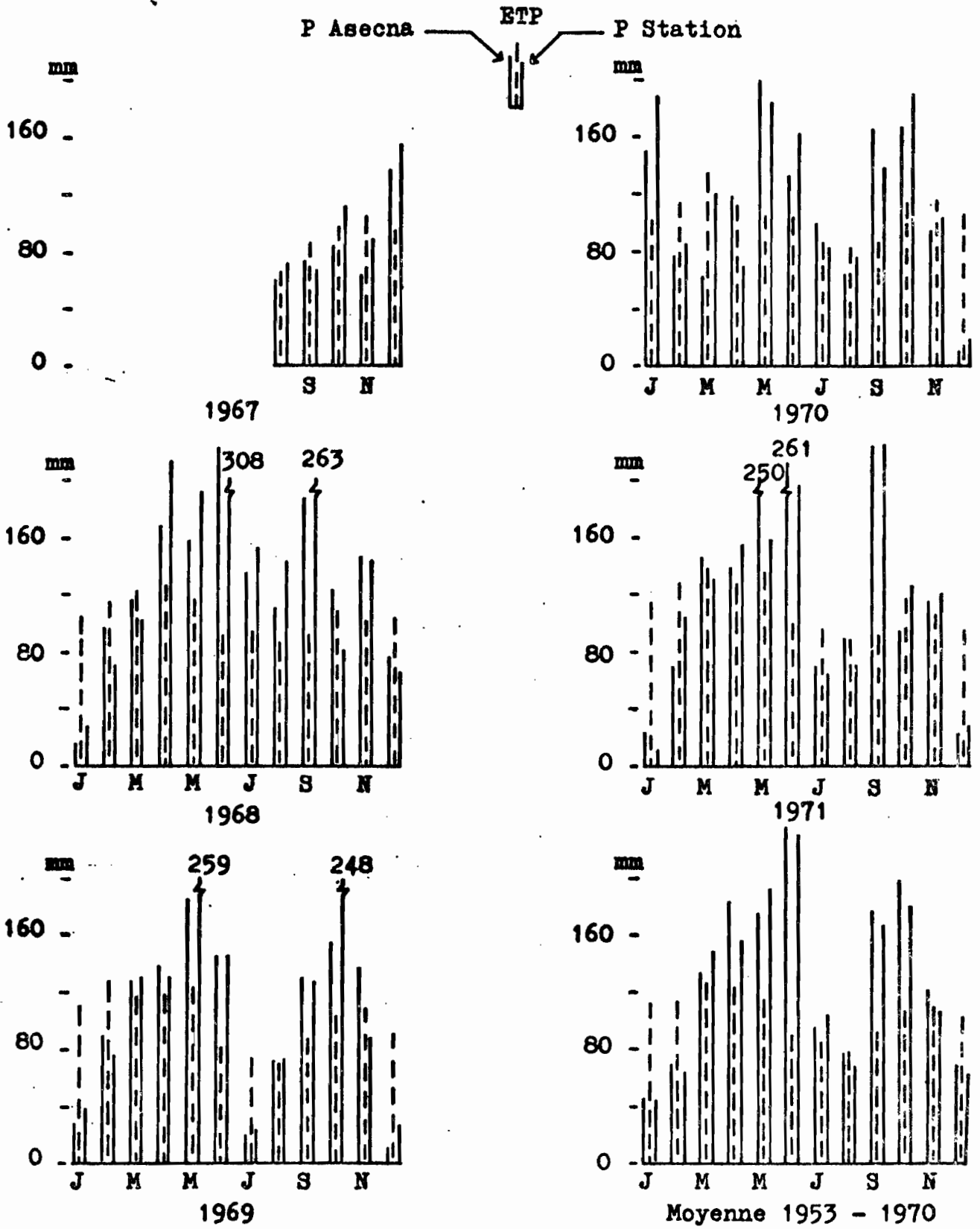


Figure 9 : Pluviométrie et ETP mensuelles à la Station de Gagnoa.

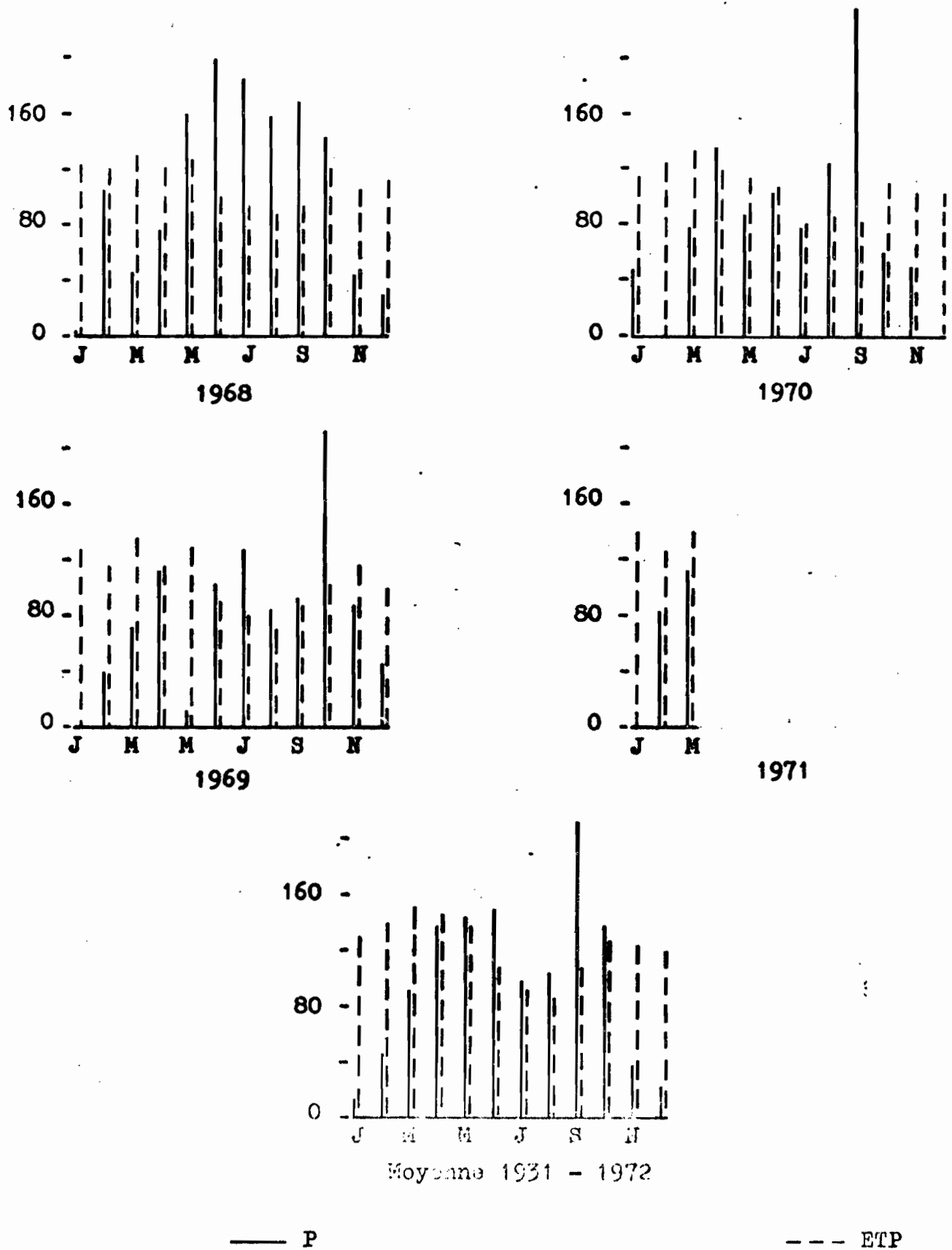


Figure 10 : Pluviométrie et ETP mensuelles
à la Station de Bouaké.

La pluviométrie moyenne annuelle décroît d'Adiopodoumé à Gagnoa et Bouaké mais sa répartition au cours de l'année est bien meilleure à Gagnoa qu'à Adiopodoumé et les mois secs (mois sec : mois où la pluviométrie est inférieure à la somme de l'évapotranspiration potentielle et des réserves en eau du sol. Sébillotte, 1967) y sont moins nombreux. De même le drainage y est très inférieur.

Les températures moyennes mensuelles varient peu au cours de l'année et d'une station à l'autre.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) a été mesurée à Adiopodoumé à partir d'un évapotranspiromètre engazonné en *Paspalum notatum* (Eldin, 1970) et calculée sur les 3 stations par la formule de Turc (1961). Les comparaisons mensuelles entre ETP mesurée et ETP calculée en plusieurs points de Côte d'Ivoire (Eldin, 1971) montrent que l'ETP calculée peut différer de l'ETP mesurée de $\pm 15\%$, particulièrement pour les fortes valeurs de rayonnement global, sans que le sens de la variation soit systématique.

L'ETP annuelle calculée varie peu d'une station à l'autre.

L'Harmattan, vent sec venu du Sahara, se fait surtout sentir à Bouaké, entre décembre et février. Il est beaucoup moins sensible à Gagnoa et encore moins à Adiopodoumé. Il provoque de fortes baisses de la teneur de vapeur d'eau de l'air dans la journée et des chutes de températures importantes la nuit.

5.2. Les sols.

Les sols des 3 stations appartiennent à la classe des sols ferrallitiques.

Les principales caractéristiques des horizons de surface ont été rassemblées au Tableau 9.

Formés sur sables tertiaires, ceux d'Adiopodoumé (décrits en détail par Roose et Cheroux, 1966) sont sablo-argileux, sans éléments grossiers. Exception faite des termitières et compte tenu de leur défrichement récent, ils sont relativement homogènes sur l'ensemble des parcelles d'essai. Ils ont une très bonne porosité : aucun engorgement temporaire n'apparaît même au mois de juin. A l'état humide, ils ne

Stations	Horizons cm	Gravillons Ø > 2 mm %	Argile + limon %	Carbone total %	Azote total %	P ₂ O ₅ assimila- ble Olsen %	Bases échangeables méq/100 g	pH
Adiopodoumé	0-10	0	10,2	8,25	0,72	0,14	0,66	5,3
	10-25	0	10,5	8,62	0,71	0,12	0,54	5,2
Gagnoa	0-10	8,5	25,4	11,05	1,17	0,06	3,01	5,9
	10-25	15,0	30,0	8,83	1,10	0,05	2,30	5,8
Bouaké	0-10	8,5	20,9	10,82	0,85	0,06	3,31	6,0
	10-25	21,5	23,1	10,63	0,83	0,05	3,10	5,8

Tableau 9 : Caractéristiques physiques et chimiques principales des sols des trois stations d'essai.

(D'après Talineau, 1970).

présentent aucun obstacle à la pénétration des racines sur plusieurs mètres de profondeur. Par contre, ils deviennent très compacts à l'état sec. Leur réserve en eau (humidité à la capacité au champ - humidité au point de flétrissement) est faible, de l'ordre de 100 mm sur 1 m. Ces sols sont pauvres en matière organique et bases échangeables mais riches en phosphore.

Les sols de Gagnoa et Bouaké, formés sur granite et fortement remaniés, sont beaucoup plus hétérogènes d'une parcelle élémentaire à l'autre des essais et même au sein d'une même parcelle. A Bouaké, par exemple, les teneurs en éléments grossiers varient de 0 à plus de 40 % dans l'horizon 0-10 cm (Talineau et Hainnaux, 1974). Ces teneurs en éléments grossiers du sol dans les parcelles gravillonnaires augmentent fortement avec la profondeur, ce qui a contraint à limiter les carottages à 65 cm, bien que les racines puissent pénétrer au-delà par les nombreux macro-pores. Comme à Adiopodoumé, ces sols sont très compacts à l'état sec. Leur réserve en eau est aussi de l'ordre de 100 mm sur 1 m, en raison de l'importance des éléments grossiers. Leur teneur en matière organique est cependant plus élevée, ainsi que leur teneur en bases échangeables, mais ils sont moins riches en phosphore.

En conclusion, les conditions climatiques et édaphiques paraissent meilleures à Gagnoa qu'à Adiopodoumé et Bouaké, et des différences dans les masses de racines PRT mesurées dans les 3 stations devraient en résulter. Les expériences complémentaires entreprises uniquement à Adiopodoumé ayant surtout pour but d'étudier la dynamique racinaire de *Panicum maximum* par le biais des observations sur les rythmes d'émission des racines primaires, il est vraisemblable qu'un certain nombre des enseignements dégagés par ces études pourront être utilisés pour interpréter les variations de PRT observées dans les autres points d'essai.

Troisième Partie :

ETUDE DU RYTHME D'EMISSION DES RACINES PRIMAIRES.

Aucune donnée n'est apparemment disponible sur le rythme d'émission des racines primaires des graminées de zone tropicale humide et en particulier *Panicum maximum* (introduction, § 2.2.).

Six expériences, utilisant 4 dispositifs, ont été effectuées pour l'étudier sur des prairies exploitées régulièrement et fertilisées (introduction § 2.3.) avec comme objectif de répondre aux questions suivantes (2ème partie, § 2.):

- comment se répartissent dans l'année les périodes d'émission des racines primaires ?

- Quel est le nombre de racines primaires émises dans un intervalle de temps donné de j jours, $\sum_j NR3P_j$?

Les 6 expériences étant chacune la conséquence de la précédente, il aurait été logique, pour en rendre compte, de procéder chronologiquement, en développant les résultats de la première puis en les discutant de façon à justifier la suivante, etc...

Cependant, chaque expérience, tout en permettant d'acquérir de nouvelles données, constituait aussi une vérification de certains résultats déjà trouvés.

Pour éviter les répétitions au niveau des discussions, nous avons choisi d'organiser cette 3ème partie en exposant d'abord chacun des protocoles expérimentaux et ses résultats puis en discutant l'ensemble des données acquises.

1. PROTOCOLES EXPERIMENTAUX ET RESULTATS.

1.1. Variations du rythme d'émission des racines primaires au cours de l'année (essai RER 70).

Cette première expérience a été conçue pour mettre en évidence les périodes de l'année pendant lesquelles se faisaient les émissions de racines primaires, sachant que, en zone tempérée, elles ont lieu principalement d'une part à la fin de l'hiver et au début du printemps, d'autre part à l'automne (Stuckey, 1941; Jacques et Edmond, 1952; Jacques et Schwass, 1956; Garwood, 1967,a).

Des comptages de racines nouvellement émises ont donc été effectués toutes les 2 semaines pendant 2 ans sur une prairie exploitée et fauchée régulièrement, en prenant comme modèle les expériences de Garwood (1967,a) mais avec des observations 2 fois plus fréquentes (tous les 14 jours au lieu de tous les mois).

Ces observations ont été conduites sur une prairie exploitée car il était prévisible que le fait de couper périodiquement la végétation aurait une influence sur le rythme d'émission des racines.

1.1.1. Protocole expérimental.

L'essai a été réalisé à Adiopodoumé entre le 1er avril 1970 et le 3 mars 1972 avec la variété "Adiopodoumé" de *Panicum maximum*.

La pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle mesurées durant la période expérimentale sont indiquées à la figure 11.

Une parcelle de dimensions 100 x 15,60 m a été plantée par éclats de souches à 0,40 x 0,40 m. Elle a été subdivisée en sous-parcelles de 2,8 x 1,6 m (10 pieds utiles et un rang de bordure) (fig.12). Toutes les 6 semaines sauf pendant les 2 saisons sèches principales, la parcelle a été fauchée à l'aide d'une moto-faucheuse à 15 cm de haut environ puis fertilisée à raison de 100 unités de N, 50 de P_2O_5 et 100 de K_2O à l'ha. Deux fois par an, après la 1ère coupe suivant la reprise des pluies et après celle située vers le 15 septembre, cette fumure a été complétée par 150 unités de CaO et 100 de MgO à l'ha.

L'essai a été implanté entre le 25 mars et le 1er avril 1970.

La première fauche ainsi que la première détermination de masse racinaire ont été faites le 1er juin. Les coupes se sont ensuite succédées, sauf exception, toutes les 6 semaines durant les saisons des pluies mais ont été arrêtées en grande saison sèche, entre le 23 novembre 1970 et le 16 mars 1971 puis entre le 3 janvier et le 13 mars 1972.

Il y a donc eu, à partir du 1er juin, 13 intercoupes, numérotés dans l'ordre de 1 à 13. Par extension, on notera intercoupe 0 la période du 1er avril au 1er juin 1970.

Figure 11.

Pluviométrie et évapotranspiration potentielle moyenne par intercoupe
exprimées en mm par semaine.

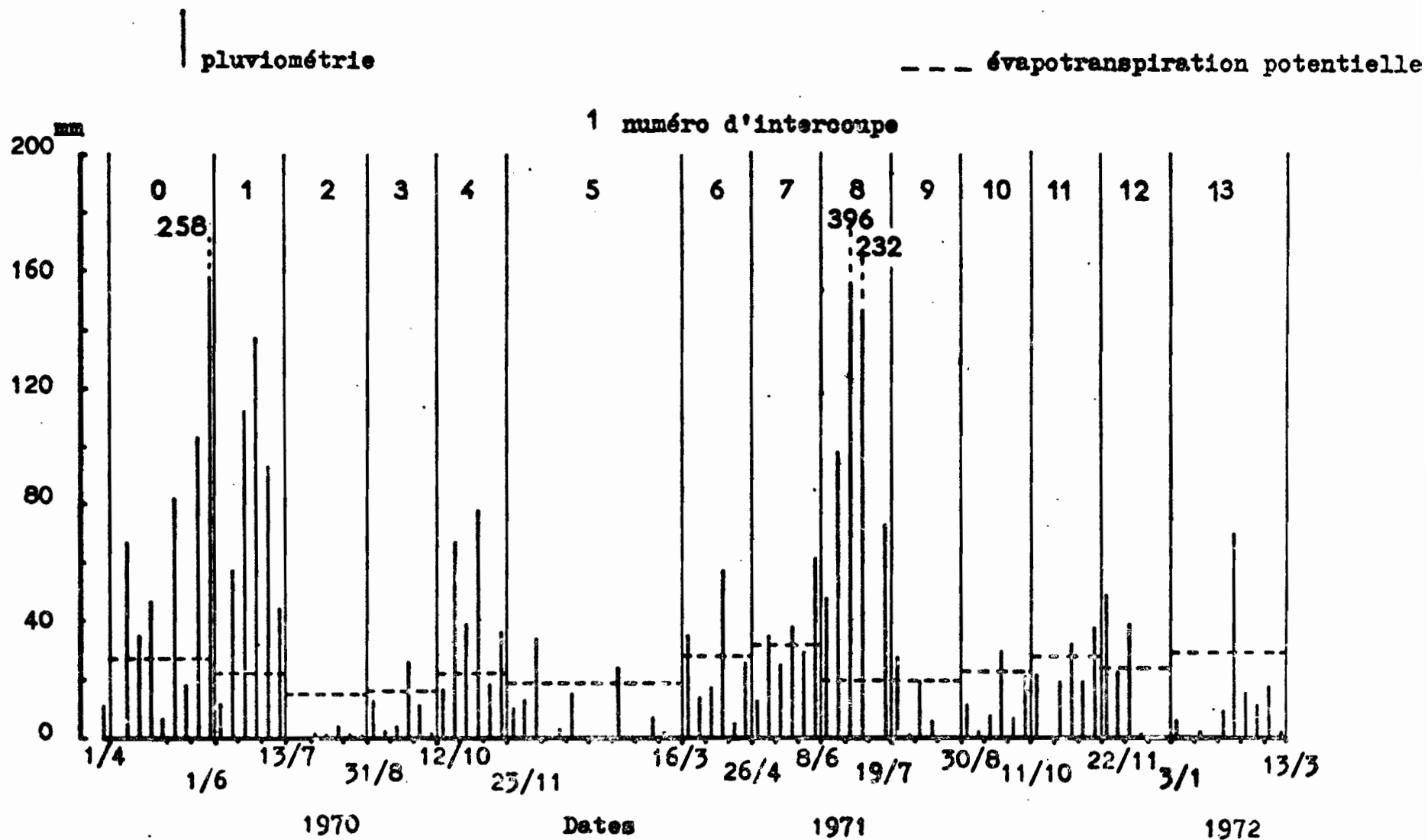
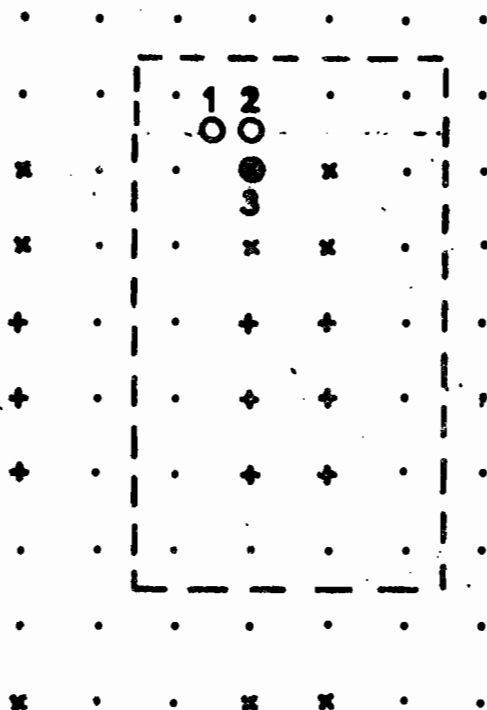


Figure 12.

Schéma d'une sous-parcelle.



- - - limite de la sous-parcelle.

. pied de bordure.

+ pied prélevé à la bêche pour les comptages (talles, R₃, RNR, RD)

x pied utilisé pour les carottages.

○ emplacement des sondages par rapport à un pied.

40 cm
→

échelle.

Dans la suite du texte, le terme année sera pris au sens climatique :

- 1ère année : du 1er avril 1970 au 16 mars 1971.
- 2ème année : du 16 mars 1971 au 13 mars 1972.

Toutes les 2 semaines à partir du 14 avril 1970 inclus, à quelques exceptions près, 4 sous-parcelles ont été tirées au hasard. Le poids de matière sèche a été mesuré sur l'ensemble de chaque sous-parcelle puis 6 touffes ont été prélevées par sous-parcelle, le nombre de talles et le nombre de racines de chaque catégorie comptés, après que les talles disséquées aient été laissées 24 h dans l'eau, (2ème partie, § 4.4.2) Les résultats concernant les parties aériennes seront exposés en 4ème partie avec les mesures de masses racinaires.

L'interprétation statistique des résultats a été faite par analyse de variance puis test de Newman et Keuls et test des contrastes. Pour l'analyse de variance, le modèle simple suivant a été utilisé :

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}, \quad (3)$$

où x_{ij} est l'une quelconque des valeurs d'un paramètre;

$i^{(+)}$ est l'indice des dates d'échantillonnage (de 1 à 46 ou 62);

$j^{(+)}$ est l'indice des répétitions (de 1 à 4);

μ est la moyenne ;

α_i est l'effet du traitement ;

ϵ_{ij} est le terme résiduel.

Auparavant, on a testé la normalité des distributions des ϵ_{ij} et recherché la transformation convenable chaque fois que le test sur les données initiales s'est avéré négatif (2ème partie, § 4.6.).

1.1.2. Résultats.

Le nombre de racines primaires de longueur inférieure à 3cm, NR3P, compté à chaque observation est extrêmement variable : de 0 en période de saison sèche à 23,2 par pied le 27 novembre 1971, dans le 10ème intercoupe (figure 13).

(+) Le sens des indices i et j utilisées ici n'est pas celui défini en 2ème partie, § 4.5.

L'analyse de variance sur les données transformées (2ème partie, § 4.6), indique que les différences observées entre les valeurs aux différentes dates sont significatives (tableau 10).

Cependant, le carré moyen résiduel étant élevé en raison de la faible homogénéité des répétitions, le recouvrement des groupes de moyennes séparées par le test N.K. (annexe 1, fig.13) est très important.

	SCE	dl	F
Dates	40,5328	49	12,2 **
Erreur	10,1700	150	

Tableau 10 : analyse de variance pour le paramètre : NR3P.

Jusqu'au 3ème intercoupe inclus, NR3P est toujours relativement élevé et varie peu d'un comptage à l'autre, sauf entre le 15 et le 29 juin 1970.

Au-delà, les amplitudes de variation dans un intercoupe sont souvent très fortes. Les valeurs les plus élevées sont obtenues soit après 2 soit après 4 semaines. La méthode des contrastes permet de montrer que les valeurs de fin d'intercoupe sont significativement inférieures aux autres.

Contraste testé : NR3P après 2 ou 4 semaines par rapport au NR3P après 6 semaines, pour les intercoupes 1 à 4 et 6 à 12.

Coefficients : $-\frac{1}{2}$ aux sommes par traitement 14 et 28 jours après une coupe ;

+ 1 aux sommes par traitement en fin d'intercoupe.

SCE = 9,145 ; dl = 1 ; F = 135 **

Dans les intercoupes 0,4,5,6,7,10,11 et 13, la différence entre la valeur la plus forte et la valeur la plus faible est significative selon le test de N.K. De plus, la 1ère valeur observée dans l'intercoupe 8, le 21 juin, est supérieure à celle trouvée en dernier dans

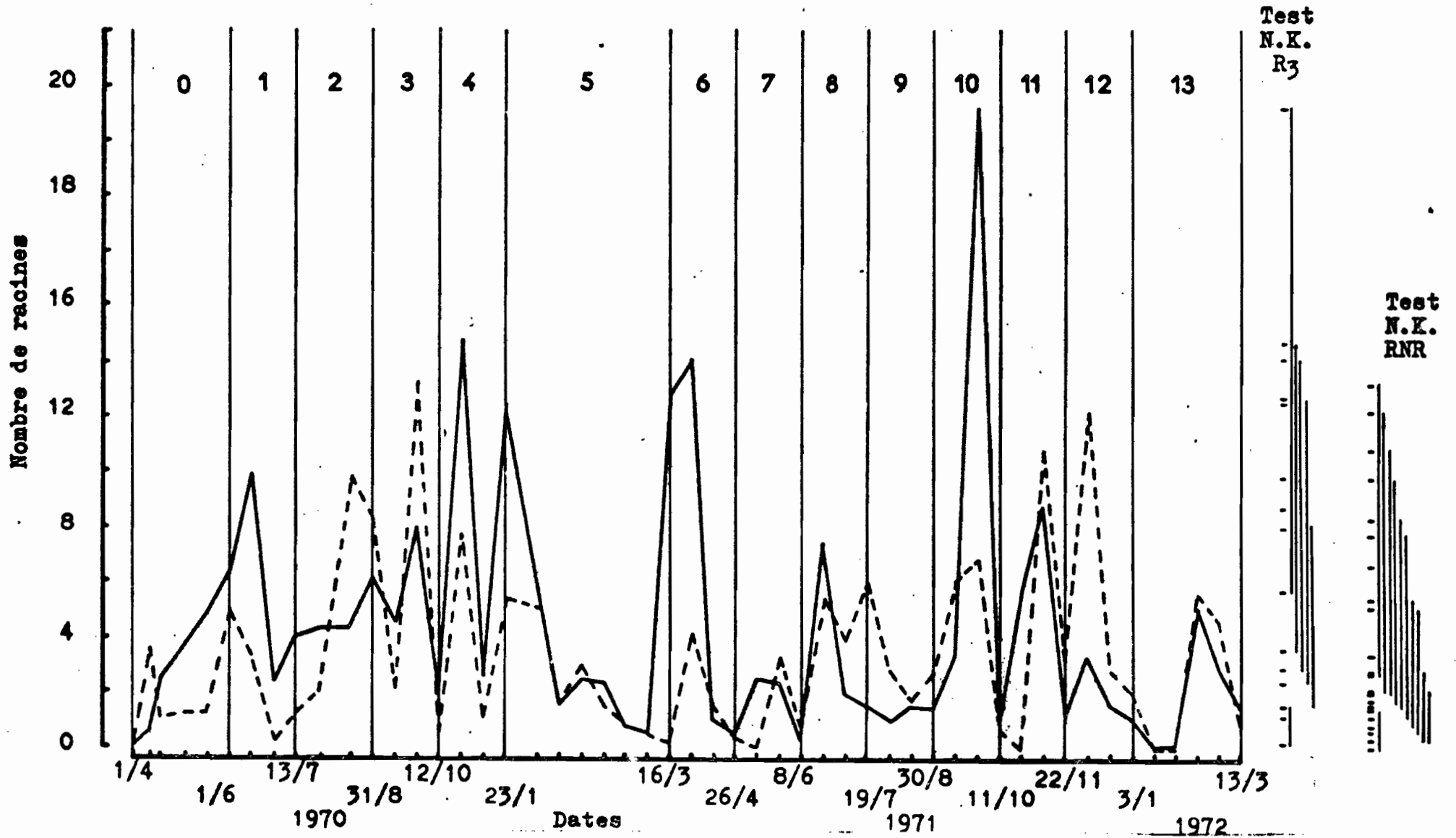
Figure 13.

Evolution du nombre de R_3 et de RNR.

— nombre de R_3 .

--- nombre de RNR.

1 numéro d'intercoupe



l'intercoupe 7, le 8 juin. Il n'y a que pour le 9ème intercoupe qu'il apparaît n'y avoir aucune différence entre les données.

Les variations du nombre de racines primaires non ramifiées, NRNP, sont le plus souvent comparables à celles de NR3P (fig.13).

L'analyse de variance indique que les différences observées sont significatives (tableau 11).

	SCE	dl	F
Dates	49,2883	49	12,2 **
Erreur	12,3733	150	

Tableau 11 : analyse de variance pour le paramètre : NRNP.

Pour les mêmes raisons que dans le cas grand de NR3P, le test N.K. (annexe 1, fig.13) sépare un grand nombre de groupes de moyennes qui se recouvrent largement et les valeurs d'un même intercoupe ne sont pas distinguées.

Les amplitudes de variation de NRNP sont fortes dès le début de l'expérimentation. Là encore, les valeurs les plus élevées sont obtenues soit après 2 soit après 4 semaines et celles en fin d'intercoupe sont inférieures aux autres.

Contraste testé : NRNP après 2 ou 4 semaines par rapport à NRNP après 6 semaines, pour les intercouples 1 à 4 et 6 à 12.

Coefficients : comme précédemment.

SCE = 0,8068 ; dl = 1 ; F = 9,79 **

Les différences entre la valeur la plus forte et la valeurs la plus faible dans un même intercoupe sont significatives pour la période d'installation de la prairie et tous les intercouples sauf le 9ème.

Les NR3P et NRNP cumulés comptés sont de 121 et 82 le 16 mars 1971 à l'issu de la première année et de 215 et 165 le 13 mars 1972, à la fin de l'essai (fig.14).

Le nombre de racines primaires développées par plante, NRDP, augmente très rapidement pendant la période où il a été observé, atteignant 151 racines par plante le 30 juillet 1970.

A une date donnée i, j il y a une corrélation positive étroite entre le nombre de R3P jusqu'à cette date et le nombre de RDP (fig.15).

$$r = 0,86^{**} \quad (30 \text{ dl}) \quad ;$$

$$NRDP_{ij} = 3,86 \sum_{ij} NR3P_{ij} - 1,87$$

L'ordonnée à l'origine n'est pas statistiquement différent de 0 :

$$t = 0,00576 \quad \text{pour } 30 \text{ dl, non significatif.}$$

L'équation devient alors :

$$NRDP_{ij} = 3,80 \sum_{ij} NRDP_{ij} \quad (4)$$

Conclusions préliminaires.

Ainsi, les résultats montrent que :

- les nombres de racines primaires nouvellement émises (que l'on considère celles de longueur inférieure à 3 cm ou celles non ramifiées) varient apparemment moins en fonction du temps d'un intercoupe à l'autre qu'au sein d'un même intercoupe ;
- dans un intercoupe, NR3P et NRNP passent par un maximum puis diminuent fortement;
- trois déterminations sur 6 semaines sont insuffisantes pour calculer $\sum_j NR3P_j$.

1.2. Evolution du nombre de racines émises au cours d'un intercoupe.

Il apparaît nécessaire de mieux préciser les fluctuations du nombre de racines primaires nouvellement émises lors d'un intercoupe: c'est l'objet des essais suivants. Le premier a été réalisé en utilisant le même dispositif expérimental, RER 70, mais en faisant passer la périodicité des observations de 1 tous les 14 j à 2 par semaine.

Figure 14.

Nombres de R₃ et de RNR cumulés.

1 numéro d'intercoupe

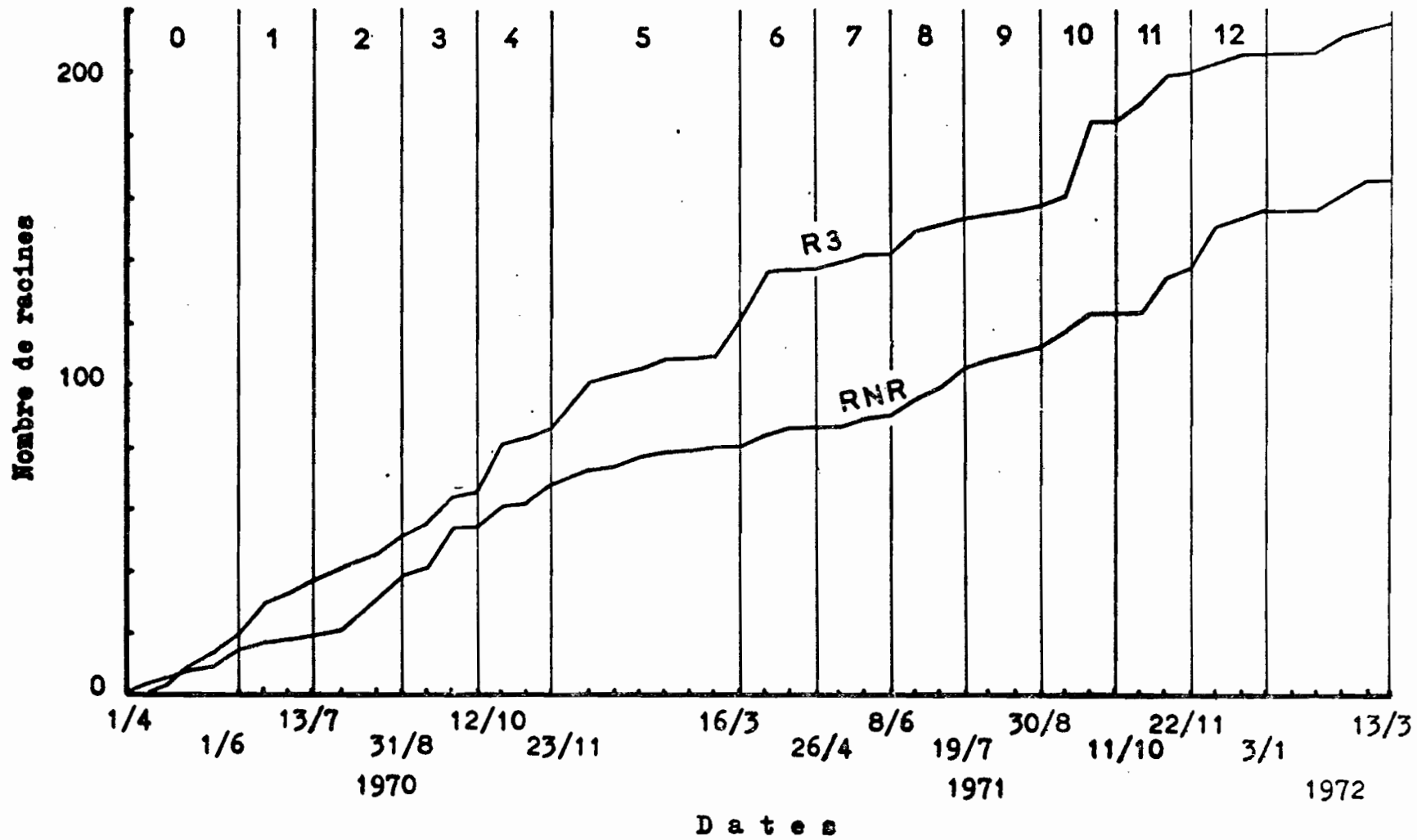
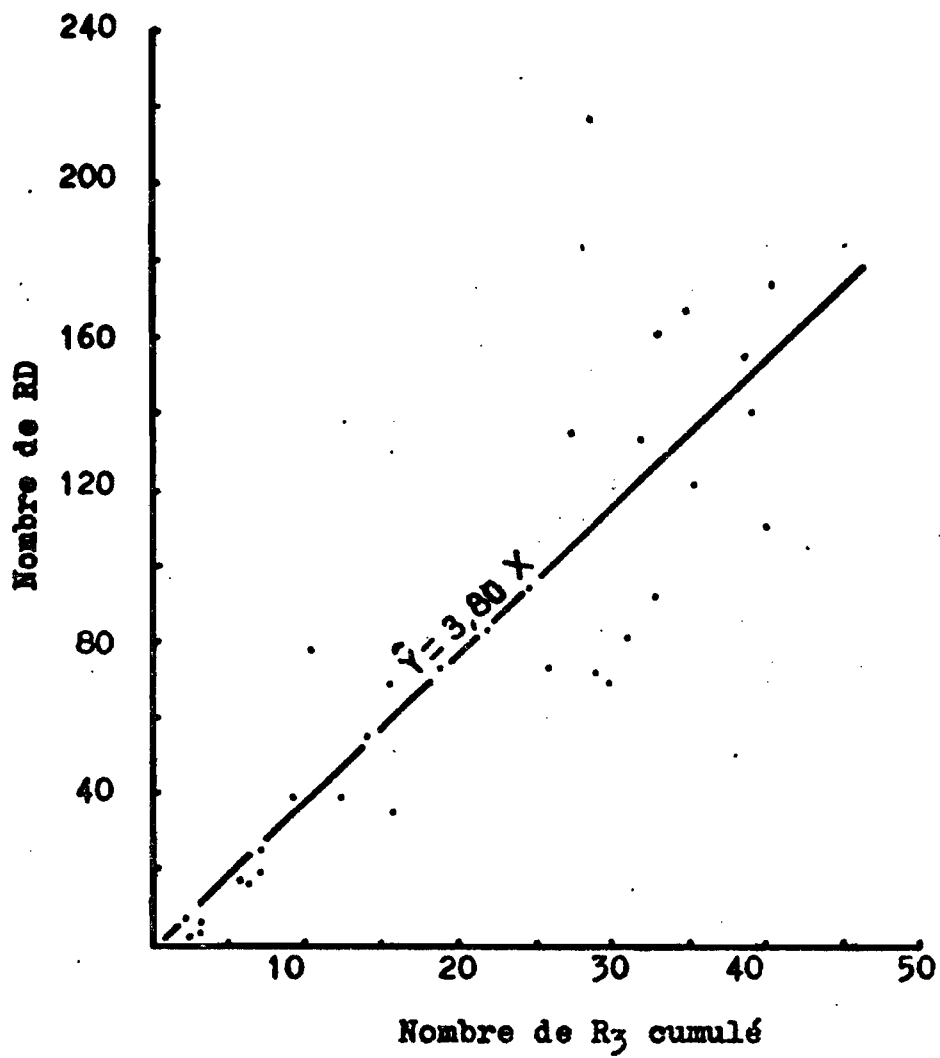


Figure 15.

Corrélation entre le nombre de RD à une date et le nombre cumulé de R₃ à cette date.



1.2.1. Mise en évidence du rythme d'émission des racines dans un intercoupe (essai RER 70).

Les observations ont été effectuées entre les coupes du 11 octobre et du 22 novembre 1971, lors de la 2ème saison des pluies. Elles ont portées à la fois sur le développement du système aérien et sur celui du système racinaire. (Les résultats en ont déjà été publiés : Picard, 1973).

Après une petite saison sèche particulièrement marquée (fig.7) il est tombé 26 mm dans la 1ère décade d'octobre et 22,5 mm juste après la coupe les 11 et 12 octobre. Des pluies importantes ne sont survenues ensuite qu'au delà du 28 septembre.

Evolution du nombre de talles.

Le tallage reprend 3 jours après la coupe, le 14/10, et se poursuit jusqu'au 8/11, mais de façon irrégulière, du fait des variations climatiques : entre le 14 et le 21, le nombre de talles croît rapidement ; du 21 au 28, un certain nombre de jeunes talles apparues se dessèchent et meurent ; à partir du 28, après la reprise des pluies, le nombre de talles réaugmente (fig.16).

A partir du 8/11, le tallage s'arrête et, jusqu'au 22/11, le nombre de talles diminue par suite de nouvelles disparitions de jeunes talles.

Variation du poids de matière sèche du système aérien.

La courbe de variation du poids de matière sèche par talle présente 2 phases : entre le 11/10 et le 8/11, ce poids passe de 0,38 à 0,48 g par talle, soit une augmentation de 3,4 mg par jour ; l'augmentation est donc très lente. A partir du 8/11 et jusqu'à la coupe suivante, il passe de 0,48 à 1,0g par talle, soit une augmentation de 34,6 mg/jour ; la progression est 10 fois plus rapide (fig.16).

Evolution du nombre de racines primaires nouvellement émises.

Les premières racines nouvellement émises apparaissent le 25/10, soit 2 semaines après la coupe (fig. 16).

Cependant, les 21 et 28/10, on n'observe que des racines de longueur inférieure à 3 cm et aucune racine (nouvellement émise)

de plus de 3 cm, non ramifiée.

Par contre, après la pluie du 29/10, si le nombre de racines de moins de 3 cm de long augmente encore, celui des racines de plus de 3 cm non ramifiées augmente bien plus fortement, passant de pratiquement 0 à près de 50 par touffe. Il y a donc, entre le 29/10 et le 2/11, élongation d'un très grand nombre de jeunes racinaires primaires.

A partir de cette date, le nombre de jeunes racinaires primaires comptées va décroître régulièrement jusqu'au 11/11.

Conclusions préliminaires.

Fortuitement, les observations ont eu lieu durant un intercoupe marqué par 16 jours consécutifs sans pluie peu après la coupe.

Cet épisode sec a pour effet de bloquer le tallage, qui ne reprend qu'après le retour des pluies et de ralentir considérablement la croissance du système aérien.

Comme les résultats précédents le laissent supposer NR3P varie selon une courbe en cloche, mais il n'est pas possible de savoir quelles furent les répercussions de l'épisode sec sur la forme de la courbe. Apparemment, la reprise de l'émission se situe avant le retour des pluies mais l'élongation des racines primaires paraît bloquée.

1.2.2. Influence d'un épisode sec en début d'intercoupe (essai RER 73).

Cet essai a pour but de mettre en évidence le rôle d'un épisode sec en début d'intercoupe, comme il s'en est produit un dans l'essai précédent, sur le rythme d'émission des racines, en comparant les courbes de variation de NR3P sur 2 prairies, l'une irriguée, l'autre non, durant la grande saison sèche, afin de voir :

-comment varie NR3P en fonction du temps lorsque l'humidité n'est pas facteur limitant ;

-si la pluviométrie est un facteur du milieu susceptible de déterminer des variations saisonnières des rythmes d'émission et des masses de racines.

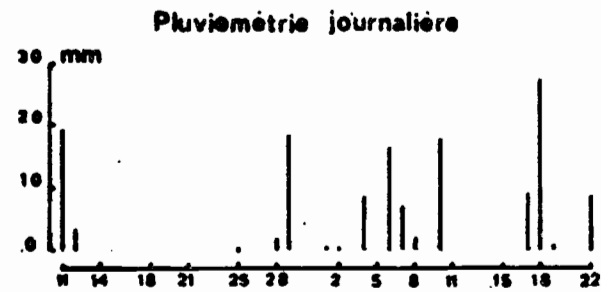
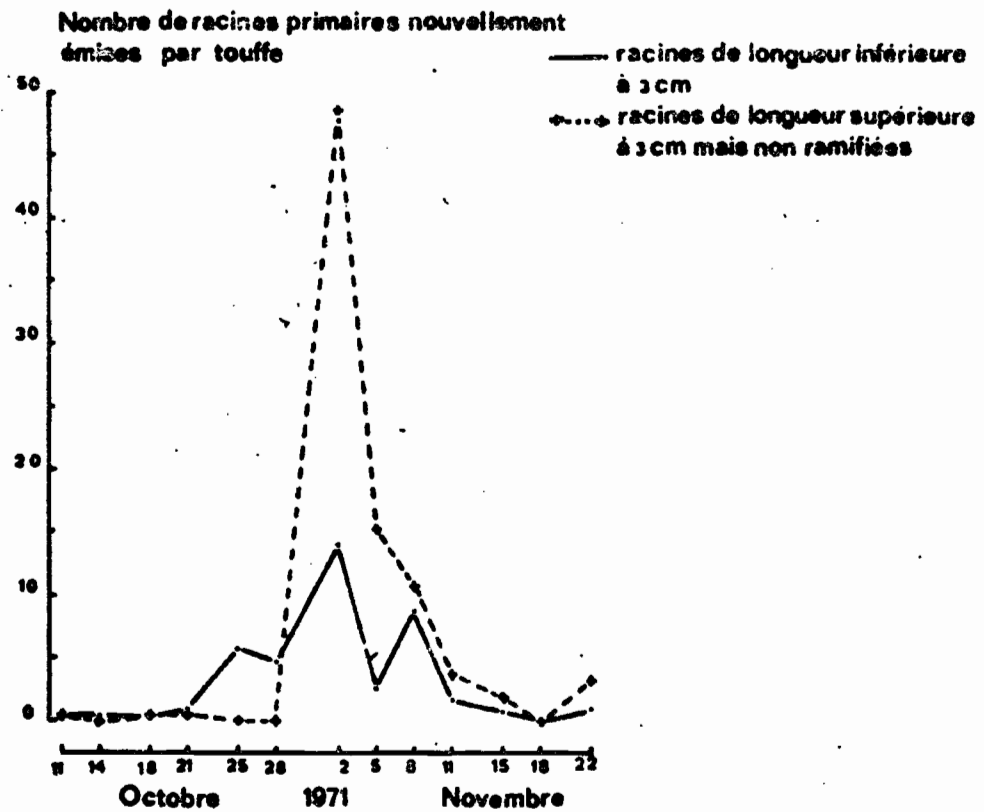
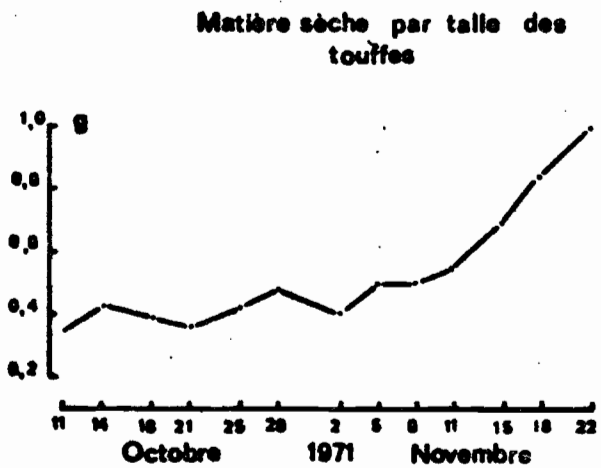
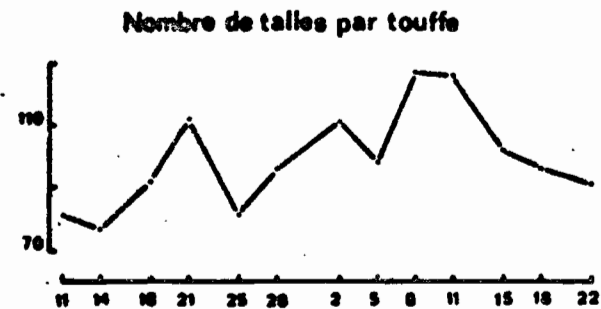


Fig 16: *Panicum maximum* variété "Adiopodoumé"
Influence d'une période sèche sur l'émission et l'élongation des racines au niveau du plateau de tallage



1.2.2.1. Dispositif expérimental.

Les observations ont eu lieu dans l'intercoupe du 16 janvier au 19 février 1973 sur 2 parcelles de *Panicum maximum* K 187 B, l'une irriguée, l'autre non ⁽⁺⁾ (les résultats de cette expérience ont été publiés précédemment avec ceux du § 1.2.1: Picard, 1973).

Les 2 parcelles, mitoyennes, ont été implantées par boutures en quinconces à 0,5 x 0,5 m entre le 2 et le 7 octobre 1972. Elles ont été fauchées simultanément les 15 et 16 janvier 1973. Dans chacune, on a délimité 3 sous-parcelles de 8 x 5,5 m dans lesquelles on a prélevé 4 touffes à chaque observation.

Les observations effectuées systématiquement 2 fois par semaine comprennent : le nombre de talles, le poids de matière sèche des plantes, le nombre de R3P et de RNP immédiatement à la suite du prélèvement et de nouveau après 24 h de trempage dans l'eau.

Pluies et irrigations sont indiquées à la figure 17.

1.2.2.2. Résultats.

Avant la coupe des 15 et 16/1/1973 les deux parcelles, irriguée et non irriguée, ont le même nombre de talles mais à des stades différents : 61% sont montées dans la parcelle irriguée contre 16% dans l'autre.

Après la coupe, le nombre de talles par touffe augmente rapidement jusqu'au 5/2 sur la parcelle irriguée puis rediminue ensuite faiblement mais régulièrement. Sur l'autre, le tallage se poursuit à vitesse lente pendant toute la durée de l'expérience.

De même, l'augmentation de matière sèche est beaucoup plus rapide sur la parcelle irriguée, sauf dans les 3 derniers jours de l'essai, entre le 16 et le 19/2.

(+) Ce dispositif expérimental a été mis en place et exploité principalement par le Laboratoire de Bioclimatologie de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire pour étudier les divers facteurs du milieu physique en relation avec les propriétés physiologiques de la plante intervenant sur la productivité et la consommation en eau. Nous remercions vivement M. Eldin et ses collaborateurs, en particulier B. Monteny, de nous avoir permis de l'utiliser.

Evolution du nombre de talles.

Comme dans l'expérience RER 70, § 1.2.11e tallage reprend 2 à 3 jours après la coupe. Pour le traitement non irrigué, il va se poursuivre à un rythme lent jusqu'à la fin de l'essai. Pour le traitement irrigué, le nombre de talles croît jusqu'au 5/2, puis le tallage s'arrête. L'épiaison commence à partir du 10/2. Entre l'arrêt du tallage et la coupe du 19/2, un certain nombre de jeunes talles disparaissent sans pouvoir se développer, comme dans l'expérience précédente.

Evolution du poids de matière sèche par talle.

Dans les premiers jours qui suivent la coupe, les chaumes des talles montées avant la coupe sont encore verts : ils participent certainement à la vie de la touffe. Ils sont donc pesés jusqu'à ce qu'ils paraissent complètement desséchés, le 26/1. Dans le cas du traitement non irrigué, le % de chaumes est faible, ce dessèchement n'a que peu d'incidence sur le poids de matière sèche par talle. Par contre, dans le cas du traitement irrigué, ce % est élevé et le poids de matière sèche par talle diminue fortement pendant cette période.

A partir du 26/1, on n'a plus pesé que les talles vivantes. Jusqu'à la fin du tallage, le poids de matière sèche par talle reste à peu près constant. A partir du 5/2, il augmente, rapidement pour le traitement irrigué, beaucoup moins vite pour le traitement non irrigué.

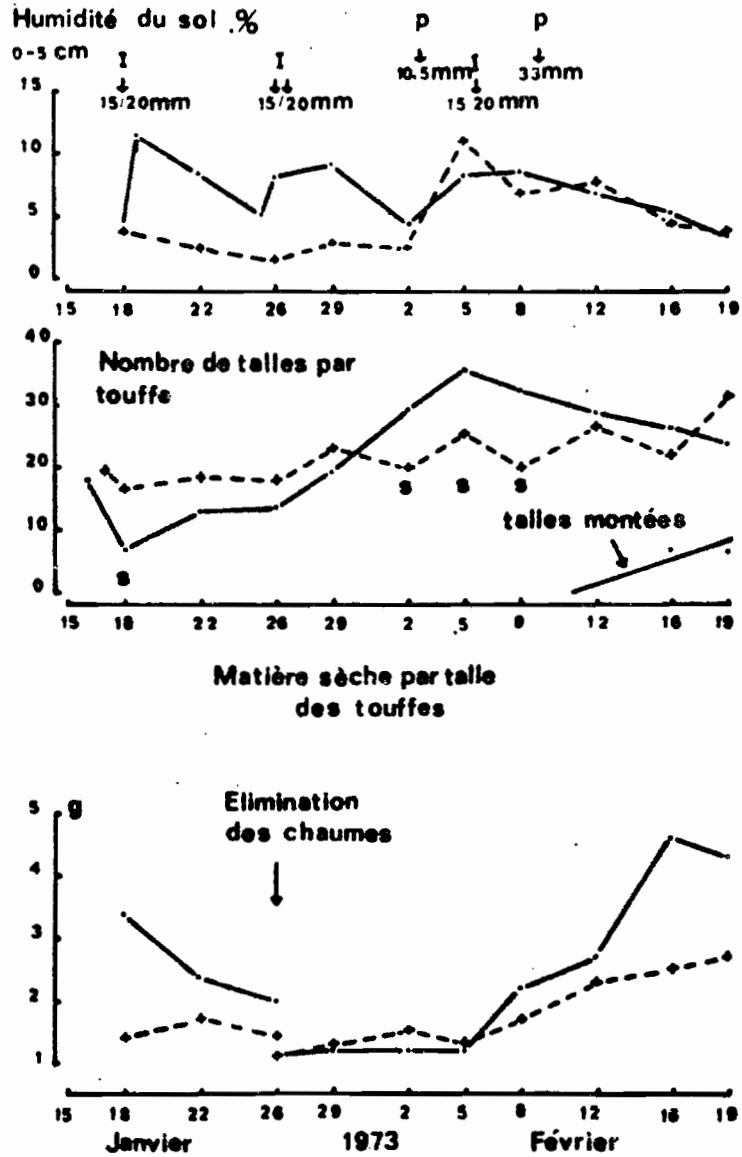
Evolution du nombre de racines primaires nouvellement émises.

Comme dans l'expérience précédente, les premières racines primaires nouvellement émises apparaissent avec un certain retard par rapport au démarrage du tallage le 29/1.

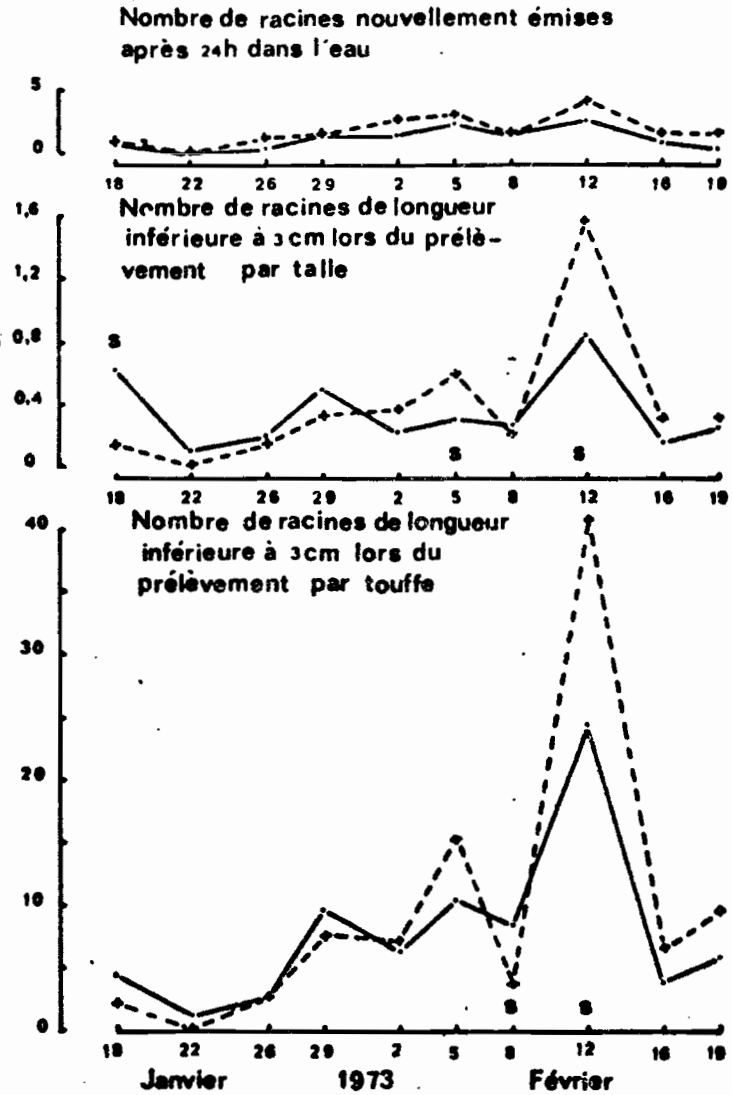
Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre traitements du 18/1 au 2/2, c'est-à-dire avant la reprise de la pluie.

Par contre, juste après les 2 pluies du 3 février et du 9 février, des différences statistiquement significatives apparaissent entre traitements.

Fig 17: *Panicum maximum* variété K 187 B - Comparaison du rythme d'émission des racines avec et sans irrigation



x--x parcelle non irriguée s: différence significative entre traitements à $P_{0.05}$
 parcelle irriguée



Les 5 et 12 février, NR3T est plus élevé pour le traitement non irrigué. Mais, le 8 février et, par la suite, les 16 et 19 février, NR3T est semblable sur les 2 traitements.

Conclusions préliminaires.

L'allure de la courbe de variation de NR3P est la même que dans l'essai précédent : NR3P est très faible dans les premiers jours de l'intercoupe ; il augmente ensuite progressivement puis rediminue pour être à nouveau très faible en fin d'intercoupe.

Les différences entre traitements sont peu marquées : ceci paraît lié au rôle de la rosée qui, collectée par les feuilles et drainée vers la base de la touffe, humecte quelques cm de sol au niveau même du plateau de tallage. Mais il est possible que la différence de stade des touffes juste avant la coupe ait joué.

1.2.3. Influence de la rosée (Essai RER 74,a).

La rosée est-elle suffisante pour maintenir une humidité du sol suffisante à la base des touffes, ce qui expliquerait la faible perturbation du rythme d'émission des racines primaires dans un intercoupe ? Nous avons cherché à le vérifier en comparant les rythmes d'émission des racines primaires sur 2 parcelles dont l'une était irriguée, l'autre maintenue sans irrigation ni rosée. Ces parcelles avaient été conduites de façon identique jusqu'à la coupe marquant le début des observations, de façon à avoir des touffes au même stade.

1.2.3.1. Dispositif expérimental.

Le dispositif comprend 2 parcelles, l'une irriguée, l'autre protégée de la rosée et des pluies grâce à un cadre supportant une bâche en polyéthylène transparente qui est mise en place toutes les nuits du coucher au lever du soleil et, dans la journée, en cas de pluie.

Les deux parcelles, de dimensions identiques, comportent chacune 12 rangées de 8 touffes de *Panicum maximum* variété "Adiopodoumé" séparées les unes des autres par 2 rangées de bordure, qui limitent aussi les parcelles.

Elles ont été mises en place en deux temps : les rangées de bordure ont été implantées le 25/6/73 ; le même jour un grand nombre de boutures ont été placées dans des pots de terre pressée ; le 9/7, celles qui étaient réparties de façon correcte ont été repiquées sur le terrain.

Entre le 23/8/73 et le 17/1/74, on a effectué 5 coupes d'égalisation. Le produit des fauches de chaque couple de ligne montre que ceux-ci sont statistiquement homogènes. Après chaque coupe, on a apporté une fertilisation minérale équivalent à 80 unités de N, 40 unités de P et 80 unités de K à 1'ha. Deux traitements nématicides ont été effectués, à partir de Furadan, à 60 kg/ha puis 30 kg/ha, les 15/7 et 25/10/1973.

Les observations ont débuté le 17/1. Jusqu'à cette date, les 2 parcelles ont été conduites de manière identique. Ensuite, la parcelle irriguée a été maintenant globalement en conditions d'ETP, cependant que l'autre parcelle était mise à l'abri de la rosée et des pluies jusqu'au 1/2/1974 (tableau 12). A cette date, une tornade a emporté l'abri et les observations sur cette parcelle ont été arrêtées.

Irrigations		Pluies	
Date	Quantité	Date	Quantité
17/1/1974	12 mm	30/1	8,6 mm
21/1/1974	30 mm	1/2	12,6 mm
24/1/1974	15 mm	10/2	17 mm
28/1/1974	12 mm		
7/2/1974	12 mm		

Tableau 12 : irrigations et pluies durant l'essai RER 74,a.

Deux fois par semaine (le lundi et le jeudi), à compter du 21/1, un couple constitué de 1 ligne (8 touffes) par parcelle a été prélevé à la bêche, sur les 2 parcelles, jusqu'au 31/1.

Sur chaque touffe, les observations suivantes ont été faites :

- nombre de talles issues du plateau de tallage et nombre de talles issues des noeuds au dessus ;
- poids de matière sèche de la touffe ;
- nombre de R3P ;

Les observations à chaque date étant indépendantes les unes des autres, l'analyse de variance a été effectuée, en considérant les différentes dates comme un traitement, selon un dispositif factoriel, en utilisant les méthodes de décomposition de la "Somme des Carrés des Ecartés" des effets principaux et interactions dans les cas difficiles à interpréter.

1.2.3.2. Résultats.

Les figures 18 à 20 présentent les résultats, pour la période allant du 21/1 au 31/1 inclus.

Développement des parties aériennes.

Le nombre total de talles, après avoir diminué entre le 21 et le 24/1, augmente fortement pour le traitement irrigué du 24 au 28/1, beaucoup plus lentement pour le traitement non irrigué.

L'analyse statistique indique que les différences enregistrées entre les 2 traitements au delà du 24/1 sont hautement significatives (tableau 13).

Le nombre de talles issues du plateau de tallage croît moins vite : ce sont les talles issues des noeuds au dessus du plateau de tallage qui démarrent le plus rapidement.

	SCE	dl	F
Dates	27.443	3	5,27 **
Irrigation	17.194	1	9,90 **
Dates x irrigation	15.702	3	3,01 *
Résiduelle	97.223	56	

Tableau 13 : analyse de variance pour NTT.

L'interaction Date x Irrigation est explicitée par la décomposition de la SCE.

On a fait apparaître les oppositions suivantes :

	SCE
(1) Irrigation / pas d'irrigation.....	17.194**
(2) Résultats jusqu'au 24 inclus/résultats à partir du 28...	17.922**
(3) Interaction (2) x (1).....	15.594**
(4) Résultats le 21/résultats le 24.....	9.350*
(5) Interaction (4) x (1)	109
(6) Résultats le 28/résultats le 31.....	171
(7) Interaction (6) x (1).....	0

Ces résultats soulignent que la différence entre traitements irrigué et non irrigué apparaît au delà du 24/1 (fig.18). La diminution du nombre de talles entre le 21 et le 24/1 est significative, ce qui n'apparaît pas sur un simple test de comparaison des moyennes par la méthode de Newman et Keuls.

La matière sèche par touffe augmente lentement (fig.19).

La différence entre traitements irrigué et non irrigué n'est pas significative. Seul apparaît un effet dates (tableau 14).

	SCE	dl	F
Dates	993,04	2	5,22 **
Irrigation	310,08	1	3,26
Dates x irrigation	310,80	2	1,63
Résiduelle	3992,56	42	

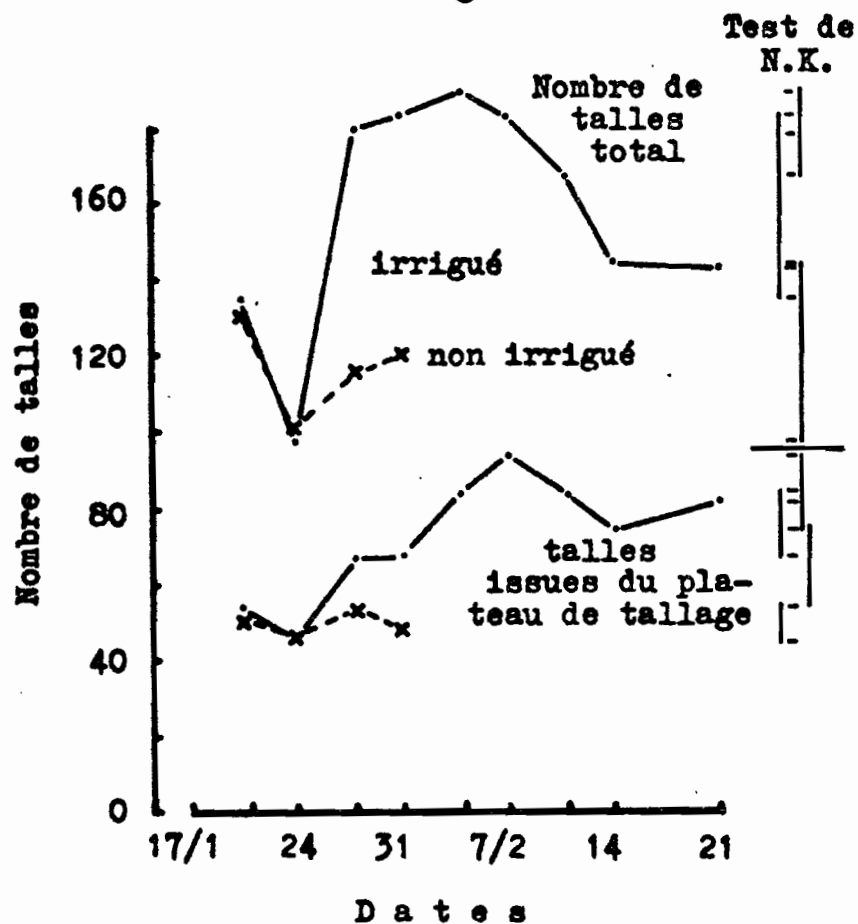
Tableau 14 : analyse de variance pour PAP.

Figure 18 : Evolution du nombre de talles.

Touffes non baguées.

Comparaison des traitements et évolution des différentes catégories de talles.

Le test de Newman et Keuls porte seulement sur le traitement irrigué.



Comparaison des résultats obtenus avec les touffes baguées et de ceux avec les touffes non baguées pour le traitement irrigué ; talles issues du plateau de tallage.

- talles baguées, tracé hypothétique.
- talles baguées, tracé certain.
- x---x talles non baguées.

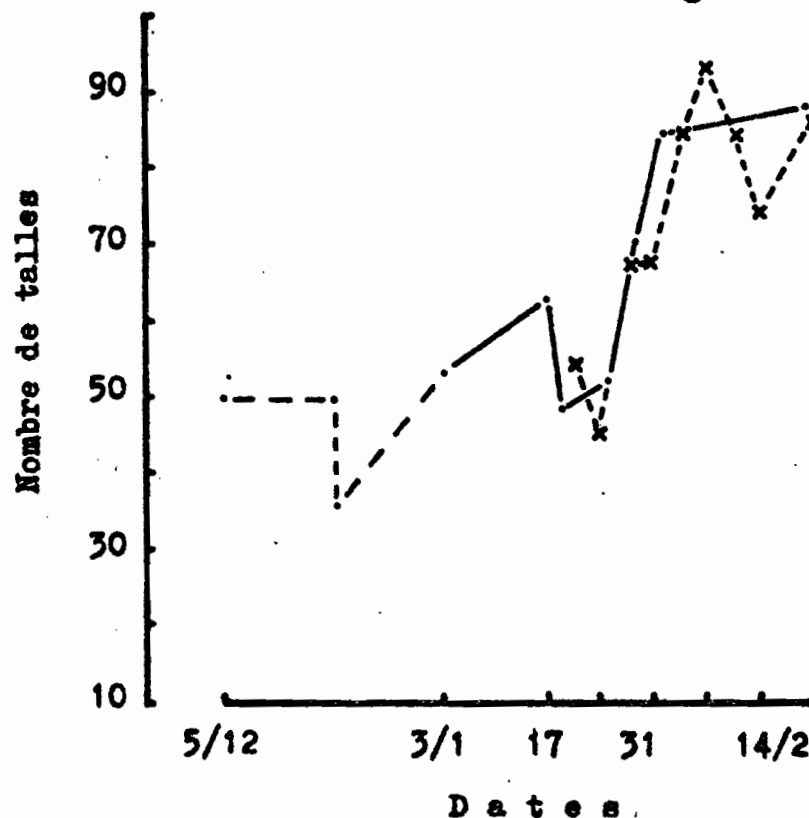


Figure 19 : Evolution du poids
de matière sèche des parties aériennes.

x-----x traitement non irrigué

..... traitement irrigué

Le test de Newman et Keuls porte seulement sur le traitement irrigué.

Matière sèche par plante

Matière sèche par talle

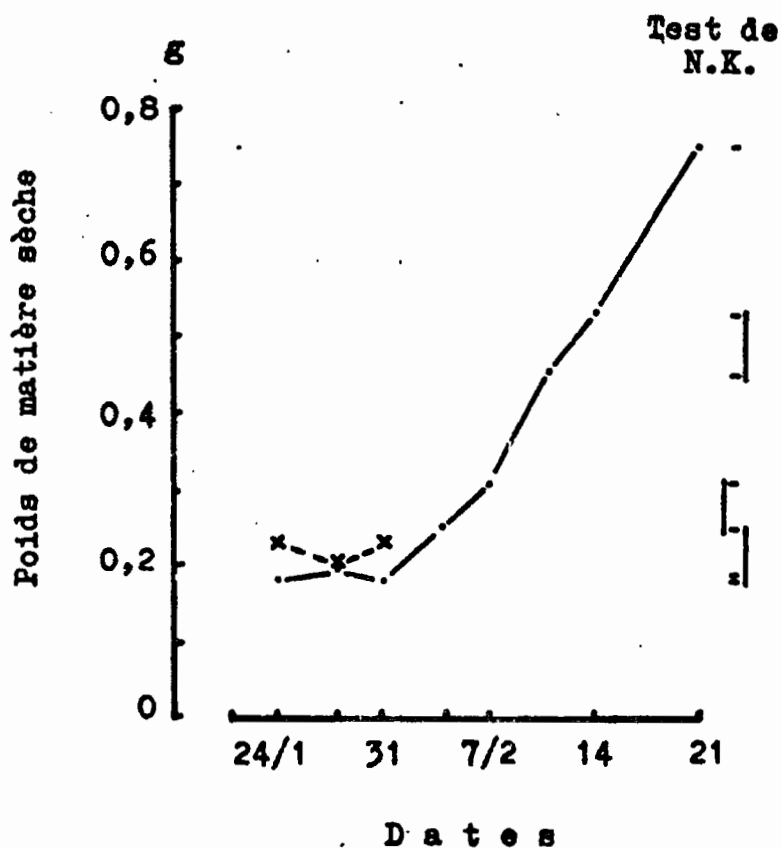
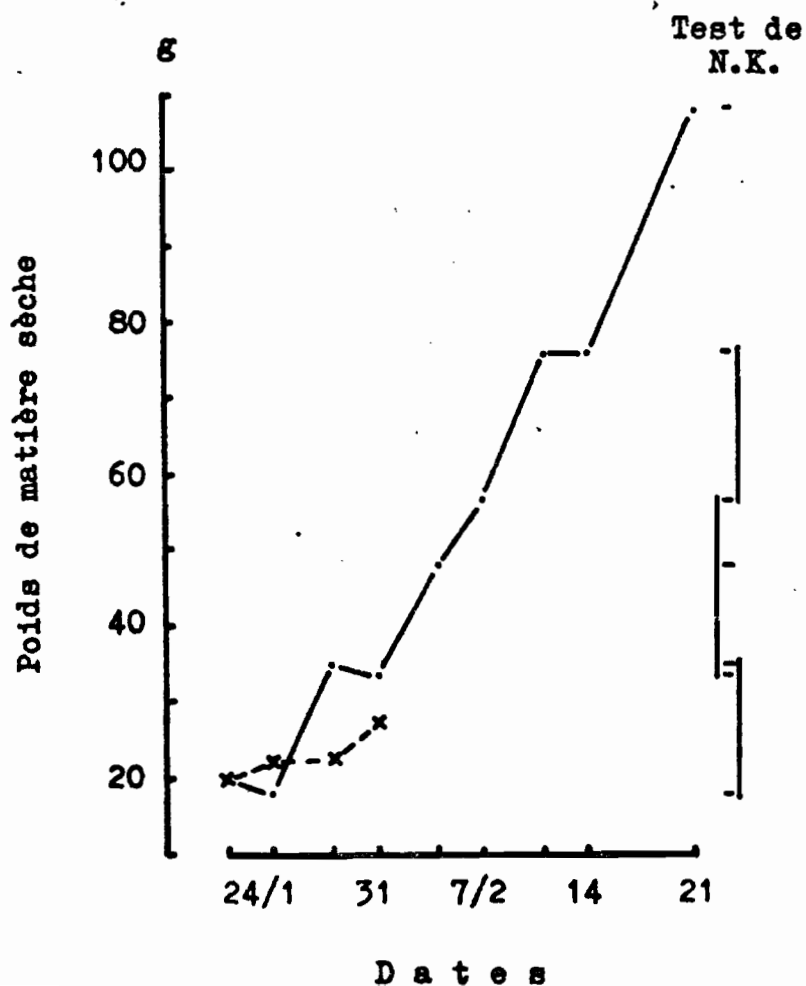


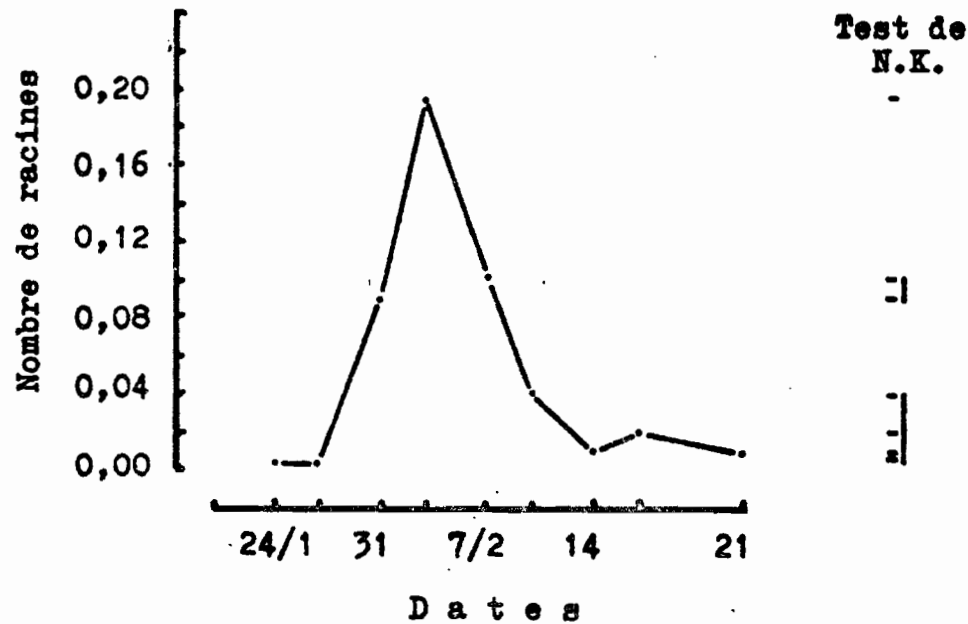
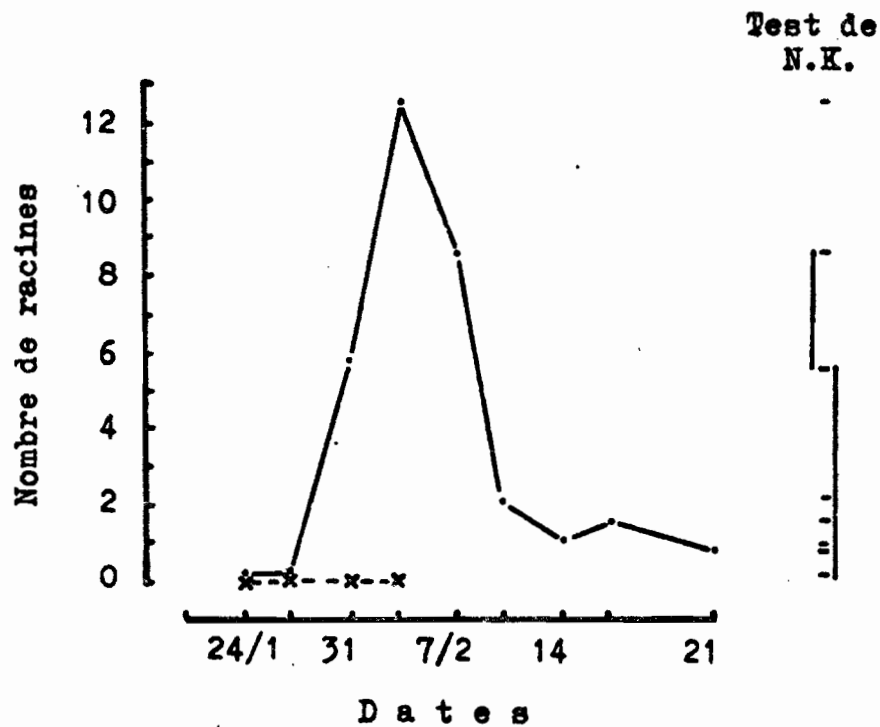
Figure 20 : Nombre de racines primaires
de longueur inférieure à 3 cm émises.

x-----x traitement non irrigué.

----- traitement irrigué.

Nombre de racines par plante.

Nombre de racines par talle.



Les oppositions suivantes ont été testées:

	SCE
(1) Irrigation/pas d'irrigation	310,08
(2) Résultats le 28/résultats le 24	648,00 *
(3) Interaction (2) x (1)	569,53 *
(4) Résultats le 31/résultats le 28	11,28
(5) Interaction (4) x (1)	75,03

La décomposition confirme que la différence entre traitement irrigué et non irrigué se creuse entre le 24 et le 28/1, comme le montre la fig.19.

Par contre la matière sèche par talle (calculée à partir du nombre total de talles) est significativement plus élevée (au seuil 0,01) pour le traitement non irrigué (tableau 15).

	SCE	dl	F
Dates	0,0014	2	0,49
Irrigation	0,0125	1	8,84 **
Dates x irrigation	0,0051	2	1,81
Résiduelle	0,0594	42	

Tableau 15 : analyse de variance pour PAT.

L'effet de la sécheresse se traduit donc, au niveau des parties aériennes, par une réduction du tallage et une augmentation plus rapide du poids de matière sèche par talle.

Emission de nouvelles racines primaires.

Il n'y a aucune émission de nouvelles racines primaires chez les touffes des parcelles non irriguées. Elles apparaissent entre le 24 et le 28 pour le traitement irrigué. Les différences entre traitements sont statistiquement hautement significatives. De même, pour le traitement irrigué, les différences entre les résultats des 21 et 24 d'une

part, ceux du 28, enfin ceux du 31/1, date à laquelle NR3P est le plus fort (tableau 16 et 17).

	SCE	dl	F
Dates	415,13	3	11,71**
Irrigation	361,00	1	30,55**
Dates x Irrigation	415,13	3	11,71**
Résiduelle	661,75	56	

Tableau 16 : analyse de variance pour NR3P.

	SCE	dl	F
Dates	474,69	3	19,30**
Irrigation	248,06	1	30,26**
Dates x Irrigation	486,19	3	19,77**
Résiduelle	659,00	56	

Tableau 17 : analyse de variance pour NR3T.

Remarque : La part de la variance expliquée apparaît dans tous les cas faible et particulièrement pour les paramètres concernant le développement des parties aériennes. Si les couples testés sont globalement homogènes, l'hétérogénéité des touffes prises individuellement est très forte.

Conclusions provisoires.

Le fait d'empêcher la formation de rosée sur les feuilles de *Panicum maximum* suffit à bloquer l'émission de nouvelles racines primaires.

1.2.4. Expérience préliminaire pour la détermination de l'âge des talles sur lesquelles apparaissent les nouvelles racines primaires (essai RER 74,a).

Les 3 expériences précédentes réalisées sur 1 intercoupe ont permis de mettre en évidence :

- d'une part l'allure de la variation de NR3P en fonction du temps lorsque l'humidité du sol n'est pas condition limitante;
- d'autre part le rôle des facteurs pluviométrie et rosée sur l'élongation des racines primaires initiées.

La réponse à la première question formulée dans l'introduction de cette 3ème partie paraît donc acquise.

Mais la détermination de $\sum_j \text{NR3P}_{ij}$ n'a pas été résolue (sauf lorsqu'on connaît NRDP).

Pour y arriver, il est intéressant de chercher à connaître l'âge des talles portant des nouvelles racines primaires : en effet, si ces racines n'apparaissent que sur les talles elles-même émises dans l'intercoupe, il peut être possible de calculer $\sum_j \text{NR3P}_{ij}$ à partir du dénombrement de ces talles, qui est beaucoup plus facile à réaliser.

Les observations ont donc été poursuivies sur la parcelle irriguée du dispositif RER 74, a (§ 1.2.3), d'une part suivant le même protocole que précédemment, sur un intercoupe complet, dans le but de confirmer l'allure de la courbe de variation de NR3P en fonction du temps, d'autre part sur quelques touffes dont les talles ont été baguées lors de leur apparition.

1.2.4.1. Dispositif expérimental.

Le dispositif décrit au § 1.2.3.1. est conservé et les observations poursuivies jusqu'au 21 février (il n'y en a cependant pas eu le 17/2).

L'analyse des résultats utilise un modèle en blocs. Les différentes moyennes ont été comparées par le test de Newman et Keuls (fig. 18 à 20).

En plus, 3 groupes de 4 touffes (3 demi-lignes) ont été choisies au hasard, sur lesquelles on a bagué les talles aux dates suivantes :

- les 28/11 et 5/12/73 entre la 3ème et la 4ème coupe;
- les 27/12/73 et 3/1/74, entre la 4ème et la 5ème coupe ;
- le 19/1 ;
- le 21/1 ;
- le 25/1 ;
- le 29/1 ;
- le 1/2.

A noter que, les 27/12 et 3/1, puis le 19/1, on a mis une nouvelle bague à toutes les talles vivantes, déjà baguées ou non les 28/11 et 5/12. Mais, à partir du 21/1, on n'a plus bagué que les nouvelles talles apparues, qu'elles soient issues du plateau de tallage ou d'un noeud supérieur.

Les 4 premières touffes baguées ont été déterrées les 5 et 6/2, les 4 suivantes les 12 et 13/2 et les 4 dernières les 20 et 21/2.

En plus des autres observations, on a compté le nombre de RNP sur toutes les talles et celui des RDT sur les talles baguées à partir du 27/12.

1.2.4.2. Résultats.

Dans cet essai préliminaire, le nombre de touffes baguées étant limité, le rythme d'émission est étudié avant tout, comme dans les expériences précédentes, sur des touffes non baguées.

1.2.4.2.1. Résultats sur touffes non baguées.

Evolution des caractéristiques du système aérien.

Apparemment, le tallage s'arrête dès le 28/1. En réalité, il se poursuit jusqu'au 4 ou au 7/2, comme le montre la courbe d'évolution du nombre de talles issues du plateau de tallage (fig.18). Mais ceci ne se voit pas au niveau du nombre de talles car il y a simultanément mort d'un certain nombre de celles apparues à des noeuds supérieurs,

phénomène qui va en s'accélégrant à partir du 4/2. Les résultats permettent de mettre clairement en évidence ce fait déjà signalé (Picard et al., 1973; 2ème partie, §4.3.2) à propos de *Panicum maximum* ou d'autres graminées fourragères (tableaux 18 et 19; fig.18).

	SCE	dl	F
Dates	59.936	8	4,61**
Résiduelle	100.650	63	

Tableau 18 : analyse de variance pour le nombre total de talles par plante, NTT.

Test de Newman et Keuls.

Dates :	24/1	21/1	21/2	14/2	11/2	28/1	31/1	7/2	4/2
Moyennes ordonnées :	97	135	143	144	167	178	183	183	189

Il y a des chevauchements importants dans les groupes de moyennes. L'augmentation très forte entre le 24 et le 28/1 est significative. Entre le 28/1 et le 2/2, les moyennes ne sont pas significativement différentes. La diminution entre le 4/2 et le 14/2 est significative.

	SCE	dl	F
Dates	15.357	8	5,70**
Résiduelle	21.250	63	

Tableau 19 : analyse de variance pour le nombre de talles par plante issues du plateau de tallage.

Test de Newman et Keuls.

Dates :	24/1	21/1	28/1	31/1	14/2	21/2	4/2	11/2	7/2
Moyennes ordonnées :	45	54	67	67	74	81	84	84	93

La valeur atteinte le 7/2 (93) est significativement supérieure à celles des 28 et 31/1 (67). La diminution montrée par le graphique entre le 7 et le 21/2 n'est pas significative.

La matière sèche par touffe croît régulièrement (fig.19), alors que la matière sèche par talle n'augmente réellement qu'à partir du 4/2 c'est-à-dire une semaine après l'arrêt apparent de tallage, lors de son arrêt effectif.

	SCE	dl	F
Dates	47 420	7	18,7**
Résiduelle	20 299	56	

Tableau 20 : analyse de variance pour le poids de matière sèche des parties aériennes par plante, PAP.

Test de Newman et Keuls.

Dates :	24/1	31/1	28/1	4/2	7/2	14/2	11/2	21/2
Moyennes ordonnées :	17,9	33,5	35,4	47,9	56,6	75,8	76,0	108,1

L'augmentation de poids des touffes apparaît régulière graphiquement. Le test de Newman et Keuls ne le fait pas ressortir clairement.

	SCE	dl	F
Dates	0,9418	7	25,7**
Résiduelle	0,2930	56	

Tableau 21 : analyse de variance pour le poids de matière sèche des parties aériennes par talle, PAT.

Test de Newman et Keuls.

Dates : 24/1 31/1 28/1 4/2 7/2 11/2 14/2 21/2

Moyennes ordonnées : 0,18 0,18 0,19 0,25 0,31 0,45 0,53 0,75

Les écarts significatifs entre moyennes font mieux ressortir que dans le cas précédent l'allure de la courbe. Par rapport au paramètre matière sèche par touffe, la variance expliquée augmente légèrement, passant de 70 à 76%.

Emission des racines.

Le nombre de racines par talle a été calculé à partir du nombre de talles issues du plateau de tallage uniquement.

L'émission débute entre le 24 et le 28/1, soit 7 à 10 jours après la fauche. Elle est très intense pendant environ 10 jours puis elle redevient très faible (fig.20).

La valeur la plus forte trouvée, 12,6 NR3P soit 0,18 NR3T le 31/1, est significativement supérieure aux autres. Pour le paramètre: NR3T, les 2 valeurs intermédiaires du 28/1 et du 4/2 sont aussi significativement supérieures à celles obtenues aux premières et dernières observations (les 21 et 24/1; entre le 7 et le 21/2) (tableaux 22 et 23).

En moyenne sur l'ensemble de la période, il est apparu 3,70 NR3P par jour, soit 0,050 NR3T par jour.

	SCE	dl	F
Dates	1239	8	9,85**
Résiduelle	990	63	

Tableau 22 : analyse de variance pour le nombre de R3 par plante, NR3P.

Test de Newman et Keuls.

Dates : 21/1 24/1 21/2 11/2 14/2 7/2 28/1 4/2 31/1

Moyennes ordonnées : 0,25 0,25 0,75 1,00 1,63 2,25 5,85 8,63 12,63

	SCE	dl	F
Dates	0,2461	8	15,0**
Résiduelle	0,1292	63	

Tableau 23 : analyse de variance pour le nombre de R3 par taille, NR3T.

Test de Newman et Keuls.

Dates : 21/1 24/1 21/2 11/2 14/2 7/2 28/1 4/2 31/1

Moyennes ordonnées : 0,005 0,006 0,010 0,010 0,021 0,024 0,089 0,099 0,185

La part de la variance expliquée est de 76% contre 66% dans le cas précédent : les groupes de moyennes significativement différentes se séparent mieux.

1.2.4.2.2. Résultats sur touffes baguées.

Les premières observations de touffes baguées ont commencé le 6/2, soit après l'arrêt du tallage.

Les comptages ne peuvent porter que sur un petit nombre de touffes, en raison du travail important demandé par la dissection d'une touffe (3 à 4 h).

Dénombrement des talles par classe d'âge.

Les échantillonnages ont été faits à 3 dates différentes, ils portent sur 4 touffes à chaque fois.

Sept classes d'âges de talles ont été distinguées :

- 1) les talles apparues avant le 5/12;
- 2) les talles apparues entre le 5/12 et le 3/1;
- 3) les talles apparues entre le 3/1 et 19/1;
- 4) les talles apparues entre le 19/1, et le 25/1;
- 5) les talles apparues entre le 25/1 et le 29/1;
- 6) les talles apparues entre le 29/1 et le 1/2;
- 7) les talles apparues après le 1/2.

Soit j l'indice des dates d'échantillonnage dans l'intercoupe, k , celui des classes d'âge, l , celui des répétitions (2ème partie, § 4.5.), le nombre moyen de talles apparues par classe d'âge est le suivant :

$$NTV_{.k} = \frac{1}{12} \sum_j \sum_l NTV_{j,k,l} \quad (5).$$

Le tableau 24 résume les résultats. Les comptages portent uniquement sur les talles issues du plateau de tallage.

Date d'apparition	NTV _k	Total cumulé
Avant le 5/12.	28,2	28,2
Entre le 5/12 et le 3/1.	10,2	38,4
Entre le 3/1 et le 19/1.	9,6	48,0
Entre le 19/1 et le 25/1.	4,1	52,1
Entre le 25/1 et le 29/1.	17,7	69,8
Entre le 29/1 et le 1/2.	14,5	84,3
Après le 1/2.	3,5	87,8

Tableau 24 : Nombre de talles encore vivantes les 6, 12 et 20 février, en fonction de leur date d'apparition.

De plus, un certain nombre de bagues ont été trouvées encadrant des chaumes. L'état de décomposition parfois avancé de certains chaumes n'a permis de faire qu'un décompte global, sans pouvoir préciser la date de la mort des talles correspondantes.

Nombre total de bagues placées le 5/12 : 49,4 par touffe.

Nombre total de bagues placées le 3/1 : 53,1 par touffe.

Ces chiffres déterminent le nombre de talles vivantes aux dates correspondantes.

A partir du 19/1, date du 3ème marquage, il n'y a plus eu de fauche jusqu'à la fin de l'essai. Le nombre de talles marquées, classe par classe, est celui des talles apparues dans l'intervalle de temps correspondant.

Par contre, les fauches du 20/12 entre les marquages du 5/12 et du 3/1, celle du 17/1, entre ceux du 3/1 et du 19/1, ont entraîné la mort d'un certain nombre de talles. Les valeurs du tableau 24 correspondent aux talles encore vivantes dans l'intercoupe du 17/1 au 21/2 et non à celles apparues entre 2 marquages consécutifs.

La figure 18 permet de comparer les résultats des 2 méthodes d'étude du tallage : il y a une très bonne concordance des résultats.

Dénombrement des racines portées par chaque catégorie de talles.

En raison du petit nombre de touffes qu'il est matériellement possible d'échantillonner en une fois, les résultats des comptages- (tableau 25) rendent imparfaitement compte de la nature des phénomènes que l'on cherche à étudier.

Date d'apparition Talles	Nombre de R3T			Nombre de RNT			Nombre de RDT		
	6/2	12/2	20/2	6/2	12/2	20/2	6/2	12/2	20/2
Avant le 5/12.	4	3	0	2	0	0	NC (1)	NC	NC
Entre le 5/12 et le 3/1.	11	0	0	13	0	0	200	153	121
Entre le 3/1 et le 19/1.	3	8	1	7	1	0	44	157	95
Entre le 19/1 et le 25/1.	3	5	0	1	0	0	5	16	8
Entre le 25/1 et le 29/1.	2	3	0	4	0	0	11	19	20
Entre le 29/1 et le 1/2.	1	1	0	0	4	1	0	14	8
Après le 1/2.	0	0	0	0	0	0	0	1	0

(1) NC : non comptée.

Tableau 25. Nombre de racines observées (NR3T, NRNT, NRDT) par catégorie (classes d'âge) de talles (total des 4 touffes).

L'hétérogénéité des résultats est en partie due à ce que, à chaque date, le nombre de talles observé par catégorie varie fortement. Il est possible d'atténuer cette hétérogénéité en rapportant les données au nombre moyen de talles par catégorie.

En utilisant les mêmes indices que précédemment, on calcule :

$$NR3T_{jk.} = \frac{NTV_{.k.}}{4} \sum_{l=1}^4 \frac{NR3T_{jkl}}{NTV_{jkl}} \quad (6) ;$$

$$NRNT_{jk.} = \frac{NTV_{.k.}}{4} \sum_{l=1}^4 \frac{NRNT_{jkl}}{NTV_{jkl}} \quad (7) ;$$

$$NRDT_{jk.} = \frac{NTV_{.k.}}{4} \sum_{l=1}^4 \frac{NRD_{jkl}}{NTV_{jkl}} \quad (8) ;$$

Les valeurs calculées (tableau 26) correspondent au nombre de racines des différentes catégories par touffe que l'on obtiendrait si chaque touffe avait une composition moyenne en talles des différentes classes d'âge.

Date d'apparit.	Talles Nombre	NR3P			NRNP			NRDP		
		6/2	12/2	20/2	6/2	12/2	20/2	6/2	12/2	20/2
Avant le 5/12	28,2	0,8	0,6	0	0,3	0	0	NC	NC	NC
Entre le 5/12 et le 3/1	10,2	1,6	0	0	1,6	0	0	39,8	32,6	46,1
Entre le 3/1 et le 19/1.	9,6	0,6	1,2	0,2	2,1	0,2	0	14,6	18,6	26,8
Entre le 19/1 et le 25/1.	4,1	0,2	1,4	0	0,05	0	0	0,6	3,1	2,1
Entre le 25/1 et le 29/1.	17,7	0,4	0,7	0	0,9	0	0	2,3	3,9	10,4
Entre le 29/1 et le 1/2.	14,5	0,3	0,1	0	0	0,6	0,3	0	3,2	3,5
Après le 1/2.	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0

(1) NC : non comptées.

Tableau 26 : Effectif théorique des racines des différentes catégories par touffe, en fonction des classes d'âge des talles.

Il reste dans ce nouveau tableau une valeur manifestement aberrante, celle correspondant au nombre de RD le 6/2 pour les talles apparues entre le 5/12 et le 3/1.

Conclusions préliminaires.

Les nouvelles racines sont portées aussi bien par les talles âgées que par les talles jeunes. Elles sont même en proportion plus forte sur les talles âgées : le 6/2, il y a en effet 3 R3 pour 48 talles apparues avant la dernière fauche, contre 0,9 R3 pour 40 talles sorties après.

Ceci complique beaucoup le problème du dénombrement des racines émises pendant un intercoupe donné, problème qui sera repris dans la discussion.

D'autre part, l'arrêt de l'émission des racines se fait sur toutes les talles simultanément, quel que soit leur âge : c'est ce que montrent les résultats concernant les R3 comme les RN le 20/2. De plus, le 6/2 les talles âgées de moins de 12 jours portent des R3, que l'on retrouve RD le 20/2, alors que, le 20/2, les talles apparues après le 1/2, donc âgées pour certaines de 18 jours, n'en présentent pas.

On a vérifié que toutes les racines sont portées par des talles toujours vivantes mais qui, pour la totalité des celles apparues avant le 3/1 et une partie de celles apparues entre le 3 et le 19/1, sont des talles montées. Les noeuds supérieurs en ont été éliminés par la fauche mais les bourgeons des noeuds restant, au dessus du plateau de tallage, ont donné naissance à de jeunes talles, qualifiées précédemment de talles perchées (2ème partie, §44.3.2).

1.2.5. Etude plus précise par baguage systématique des talles, de l'âge de celles sur lesquelles apparaissent les nouvelles racines (essai RER 74 b).

L'essai précédent ayant montré que les nouvelles racines primaires apparaissent sur les talles de tous âges d'une touffe, l'étude a été reprise dans un nouvel essai portant sur 2 intercouples consécutifs durant lesquels on a procédé au baguage systématique de toutes les talles apparues.

1.2.5.1. Dispositif expérimental.

L'essai a été réalisé à Adiopodoumé, à partir d'un dispositif préexistant comprenant 8 parcelles de 7 x 7 m implantées en *Panicum maximum* variété K 187 B, par boutures en carré à 0,50 x 0,50 m les unes des autres.

Au sein de chaque parcelle, après avoir éliminé 2 rangs de bordure, on a choisi au hasard 8 touffes. Deux fois par semaine, les talles nouvellement émises ont été baguées avec des bagues en plastique de couleur différente à chaque fois. Une fois par semaine, une touffe par parcelle a été prélevée et traitée comme indiqué précédemment.

L'opération étant longue à réaliser, il n'a pas été possible de traiter plus de 4 touffes par jour. Aussi les opérations, pour un ensemble de 4 parcelles tirées au hasard une fois pour toutes, ont-elles été décalées de 24 h par rapport à celles du 2ème ensemble.

L'essai, implanté en juillet 1973, avait été exploité régulièrement par fauche jusqu'en mars 1974 puis laissé au repos. Il a été coupé ensuite les 9 et 10 juillet 1974, coupe marquant le début de l'essai, recoupé ensuite 2 fois à 4 semaines d'intervalle.

Les fumures appliquées 6 jours après les 2 premières fauches ont été :

- première fauche : 120 N, 60 P₂O₅, 120 K₂O, 100 CaO, 65 MgO ;
- deuxième fauche : 50 N, 30 P₂O₅, 50 K₂O.

Le calendrier des opérations est indiqué au tableau 27.

Les données ont été partiellement regroupées par la suite, en cumulant les résultats liés aux 2 marquages précédant un prélèvement, comme indiqué au tableau 27. Ceci permet d'augmenter l'effectif des observations par catégorie de talles et améliore la précision des résultats.

Pour la commodité de l'exposé, on fera comme si toutes les opérations avaient été effectuées simultanément pour les 8 parcelles et on se réfèrera aux dates auxquelles elles ont été réalisées pour le premier ensemble.

Chaque résultat est référencé i, j, k, l (2ème partie, § 4.5.):

- i , indice du numéro d'intercoupe, prend les valeurs 1 ou 2;
- j , indice du jour dans l'intercoupe, varie de 0 à 28;
- k , indice des catégories, c'est-à-dire des classes d'âge des talles, varie de 1 à 10 ; les chaumes, constitués par les bases des talles non réparties après la fauche du 9 juillet forment la catégorie 1 ;
- l , indice des répétitions, varie de 1 à 8.

Les 3 fauches sont référencées :

- F_0 pour celle du 9 juillet ;
- F_1 pour celle du 6 août;
- F_2 pour celle du 3 septembre.

(F_0, F_1) représente le premier intercoupe ; (F_1, F_2) , le deuxième.

Tableau 27 : Calendrier des opérations. Catégories des talles baguées.

OPERATION	Date de l'opération		Catégorie des talles
	1er ensemble de 4 parcelles	2ème ensemble de 4 parcelles	
1ère fauche	9/7/74	10/7/74	
1er baguage de talles	11/7	12/7	2
2e baguage	15/7	16/7	3
1er prélèvement de touffes	16/7	17/7	
3e baguage	18/7	19/7	} 4
4e baguage	22/7	23/7	
2e prélèvement de touffes	23/7	24/7	
5e baguage	25/7	26/7	} 5
6e baguage	29/7	30/7	
3e prélèvement de touffes	30/7	31/7	
7e baguage	1/8	2/8	6
2e fauche et 4e prélèvement	6/8	7/8	
8e baguage	8/8	9/8	} 7
9e baguage	12/8	13/8	
5e prélèvement	13/8	14/8	
10e baguage	15/8	16/8	} 8
11e baguage	19/8	20/8	
6e prélèvement	20/8	21/8	
12e baguage	22/8	23/8	} 9
13e baguage	26/8	27/8	
7e prélèvement	27/8	28/8	
14e baguage	29/8	30/8	10
3e fauche et 8e prélèvement	3/9	4/9	

1.2.5.2. Résultats.

L'essai s'est déroulé en fin de grande saison des pluies et petite saison sèche. La pluviométrie journalière (figure 21) a été abondante jusqu'au 30 juillet mais nulle entre le 3 et le 25 août. Bien que le sol ait été très humide à la fin de juillet, étant donnée sa faible capacité de rétention en eau (2ème partie, § 5.2), l'effet de la sécheresse sur la croissance des racines a pu se faire sentir dès le 10 août, celle sur la croissance des parties aériennes quelques jours après.

La méthode du baguage permet de calculer le nombre moyen de talles de chaque catégorie sur un nombre décroissant de plantes, de 8 x 8 le 16 juillet à seulement 8 le 3 septembre (tableau 28). Le nombre de répétitions est élevé pendant la période où le tallage s'avère important.

Lors de la coupe F_0 , les touffes comportaient en moyenne 21 talles ayant pour la plupart dépassé le stade montaison. La mortalité engendrée par la coupe a donc été très forte et les talles de la catégorie 2, très peu nombreuses, comprennent surtout des talles issues de bourgeons des premiers noeuds au-dessus du plateau de tallage (dites talles perchées) (figure 22, a).

Le tallage est très intense pendant les périodes du 11 au 18 juillet et du 25 au 31 juillet. La courbe de fréquence d'apparition des talles (figure 22, b) est très nettement bimodale. Selon les observations, le ralentissement marqué entre le 18 et le 25 juillet correspond au temps nécessaire aux talles apparues dans la période précédente pour croître et former les bourgeons qui donneront celles émises entre le 25 et le 31 juillet.

A la coupe du 6 août, la mortalité des talles a été très faible et il n'y a pratiquement pas eu de reprise du tallage ensuite. Aucune nouvelle tige n'est apparue après le 23 août.

Le poids de matière sèche des plantes augmente peu (figure 23, d) pendant l'intercoupe 1, beaucoup plus pendant l'intercoupe 2, malgré la sécheresse. Le poids de matière sèche par talle suit une évolution très comparable (figure 23, b). L'analyse de variance indique des

Tableau 28 : nombre de talles baguées observées par catégorie en fonction du temps. Lorsque 2 nombres figurent dans la même case, le 2e est celui des talles mortes après baguage. Total sur 8 plantes.

Date d'appari- tion des talles	Caté- gorie	Dates d'observation ①								Moyenne par plante	Moyenne cumulée		
		16/7	23	30	6/8	13	20	27	3/9		avant F ₁	après F ₁ (1)	
avant le 9/7	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
- chaumes	1	191	123	46	148	nc	nc	nc	nc	15,9	-	-	
- talles	2	32	42	17	38	54+5	30+8	26+14	6+2	4,7	4,7		
du 9/7 au 15/7	3	0	71	46	58+2	42+3	51+4	17+2	62+3	6,4	11,1		
16 18	4		64	37	95+2	61+1	88+8	52	44+4	8,2	19,3		
19 22	4		25	6	5+1	4	14+4	11	8	1,4	20,7		
23 25	5		0	9	16	11	17+1	18	9	1,7	22,4		
26 29	5			78	80	45	84+1	69	73+2	9,0	31,4		
30/7 1/8	6			0	44	58	56	41	56	6,4	37,8		36,8
2 8	7				0	28	20	48	11	3,3			40,1
9 12	7					5	3	8	2	0,6			40,7
13 16	8					0		0	0				
17 19	8						2	2	1	0,45			41,2
20 22	9						0	0	2				
23 26	9							0	0				

n.c. : non compté

(1) : après déduction de la mortalité liée à la fauche.

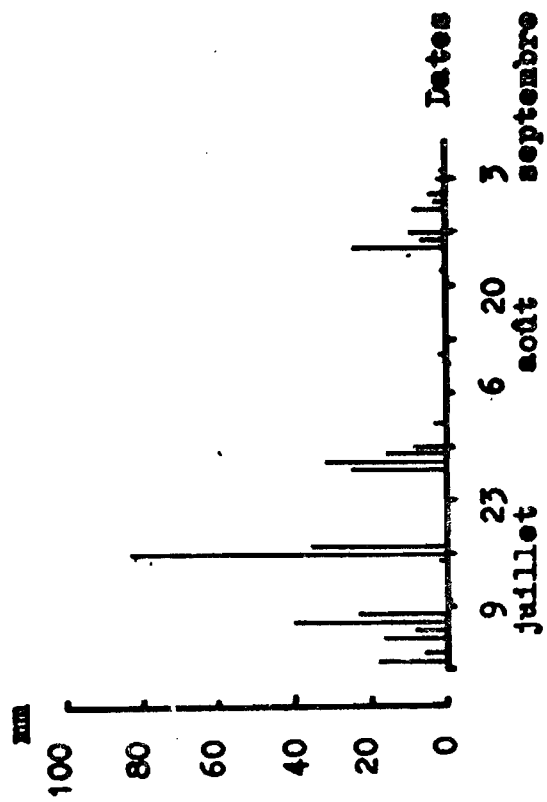
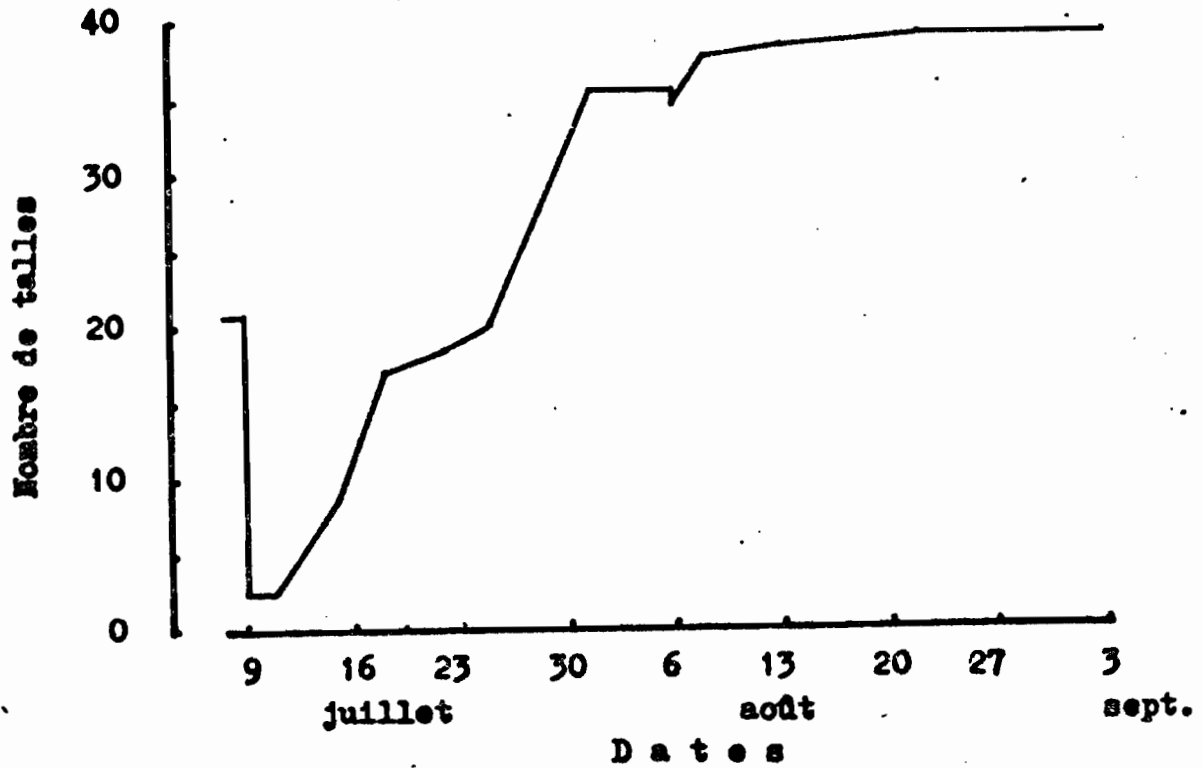


Figure 21. Pluviométrie journalière.

Figure 22.

a) Evolution du nombre de talles par plante.



b) Fréquence d'apparition des nouvelles talles.

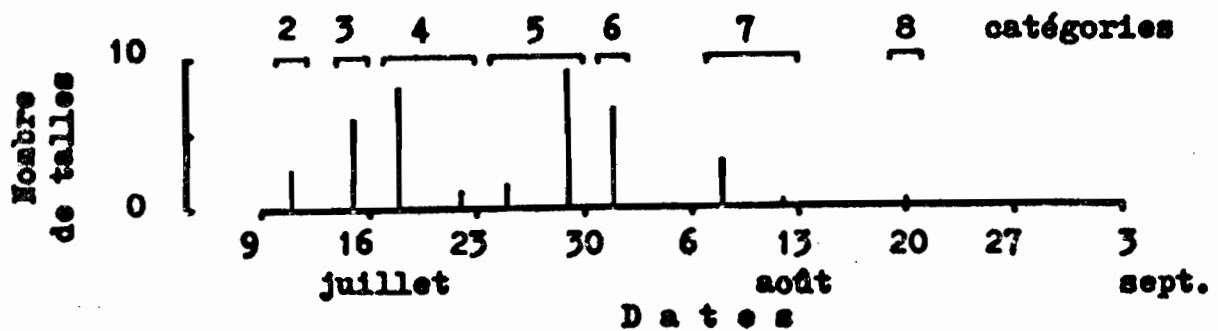
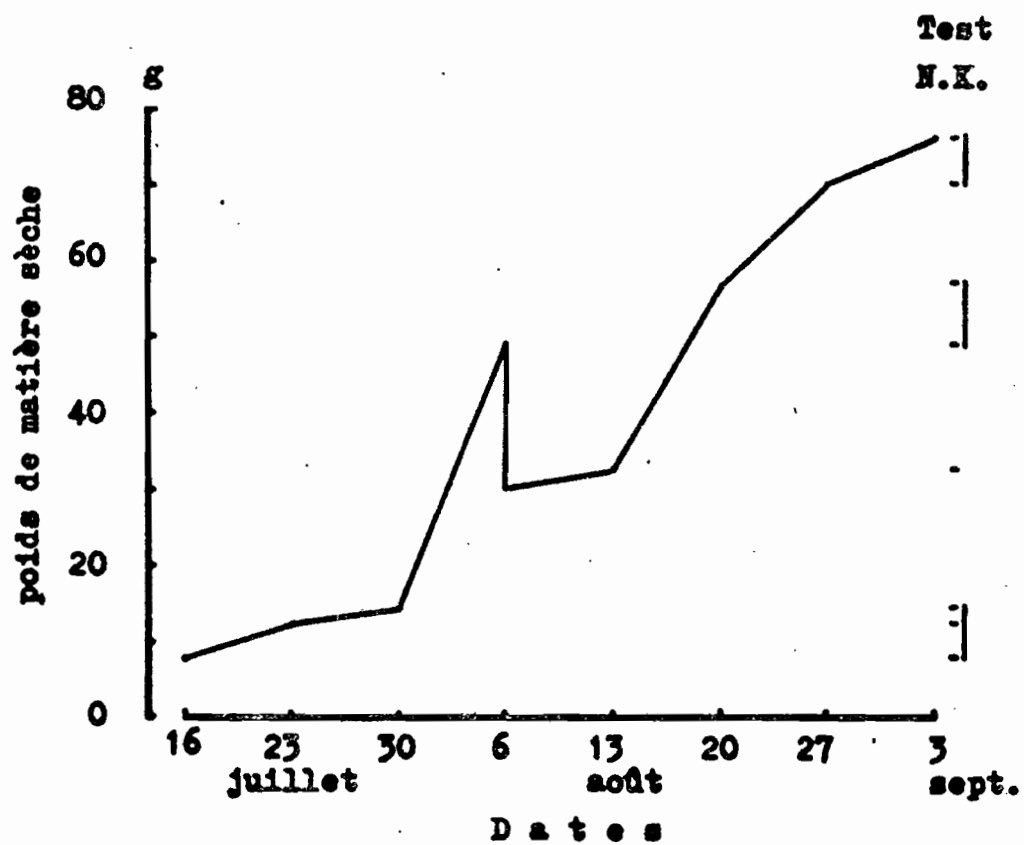


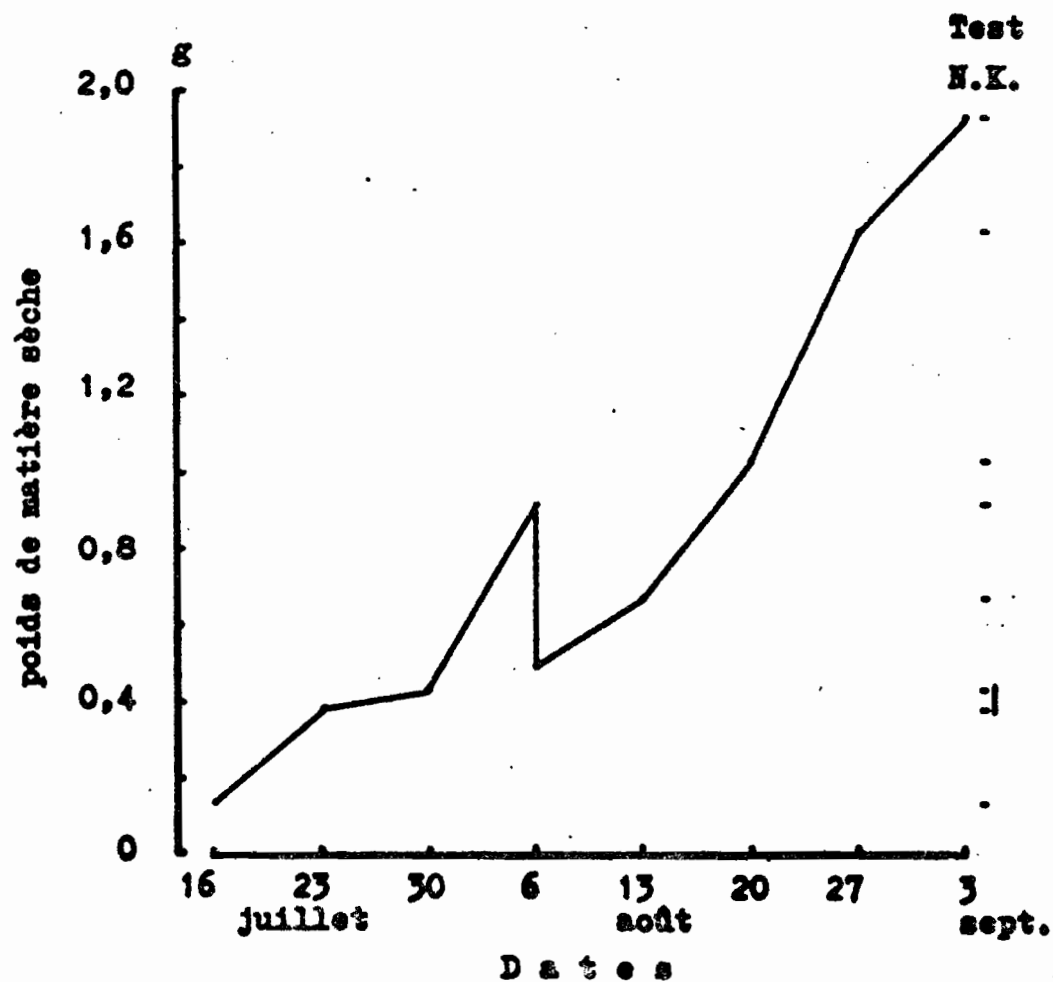
Figure 23.

Evolution du poids de matière sèche des parties aériennes.

a) Matière sèche par plante.



b) Matière sèche par talle.



différences hautement significatives entre dates. Le test de Newman et Keuls permet de distinguer les groupes de moyennes suivantes :

Dates : 16/7 23/7 30/7 6/8 13/8 20/8 27/8 3/9

Matière sèche par plante : $\overline{8,3}$ $\overline{12,6}$ $\overline{14,5}$ $\overline{32,5}$ $\overline{48,9}$ $\overline{56,6}$ $\overline{70,1}$ $\overline{76,4}$

Matière sèche par talle : $\overline{0,33}$ $\overline{0,58}$ $\overline{0,62}$ $\overline{0,87}$ $\overline{1,11}$ $\overline{1,23}$ $\overline{1,83}$ $\overline{2,13}$

Pour les résultats des comptages de racines, afin de corriger en partie l'hétérogénéité liée à celle de la composition des touffes en talles de différentes catégories (comme dans le cas de l'essai précédent, §1.2.4.2.2), ils ont été présentés à partir des paramètres suivants :

- nombre de racines pour 100 talles :

$$100 \text{ NR3T}_{ijk.} = \frac{100}{8} \sum_{l=1}^8 \frac{\text{NR3T}_{ijkl}}{\text{NTV}_{ijkl}} \quad (9) ;$$

$$100 \text{ NRDT}_{ijk.} = \frac{100}{8} \sum_{l=1}^8 \frac{\text{NRDT}_{ijkl}}{\text{NTV}_{ijkl}} \quad (10) ;$$

- nombre de racines par plante :

$$\text{NR3P}_{ij..} = \sum_{k=1}^{10} \frac{\text{NTV}..k.}{8} \sum_{l=1}^8 \frac{\text{NR3T}_{ijkl}}{\text{NTV}_{ijkl}} \quad (11) ;$$

$$\text{NRDT}_{ij..} = \sum_{k=1}^{10} \frac{\text{NTV}..k.}{8} \sum_{l=1}^8 \frac{\text{NRDT}_{ijkl}}{\text{NTV}_{ijkl}} \quad (12) ;$$



Des R3 sont visibles sur les chaumes dès le 16 juillet (figure 24). Leur nombre restera à peu près constant jusqu'au 6 août. Il n'y en aura plus après. Les R3 sur les talles émises après F_0 apparaissent dès le 23 juillet mais leur nombre par plante ne devient important qu'à partir du 30 juillet.

Le nombre de R3 par plante est toujours élevé le 6 août ; il diminue brusquement le 13, redevient très élevé le 20; le 3 septembre, il est très faible. Cependant, durant le deuxième intercoupe, il y a peu de R3 sur les talles émises après le 30 juillet.

Les RD n'ont pas été comptées sur les chaumes et les talles de la catégorie 2, qui portent des racines ^{d'âge} antérieur au début des observations. Les premières RD sur les nouvelles talles (fig.25) apparaissent avec une semaine de décalage par rapport aux R3. A l'issue du premier intercoupe, il y a environ 32 RD sur ces nouvelles talles.

Durant le deuxième intercoupe, leur nombre augmente très fortement à partir du 20 août. Il y en a environ 140 par touffe le 3 septembre. A cette date, 99% des racines comptées sont portées par les talles émises avant F_1 :

- 30% sont portées par les talles apparues la première semaine après F_0 ;
- 37% sont portées par les talles apparues la deuxième semaine après F_0 ;
- 22% sont portées par les talles apparues la troisième semaine après F_0 .

Le nombre de R3 pour 100 talles (figure 26) évolue comme le nombre de R3 par plante. Mais les talles des catégories 3 et 4 ont un nombre de R3 supérieur à la moyenne, celles des catégories 6 et 7, un nombre inférieur, cependant que celles de la catégorie 5 présentent une situation intermédiaire. Par contre, le nombre de R3 apparues sur les chaumes (catégorie 1) est très en dessous de cette moyenne ; celui sur les talles de la catégorie 2 est aussi proportionnellement peu élevé, sauf le 16 juillet.

Figure 24.

Nombre de racines primaires de longueur inférieure à 3 cm par plante en fonction des catégories de talles.

3 : catégorie de talles portant les racines.

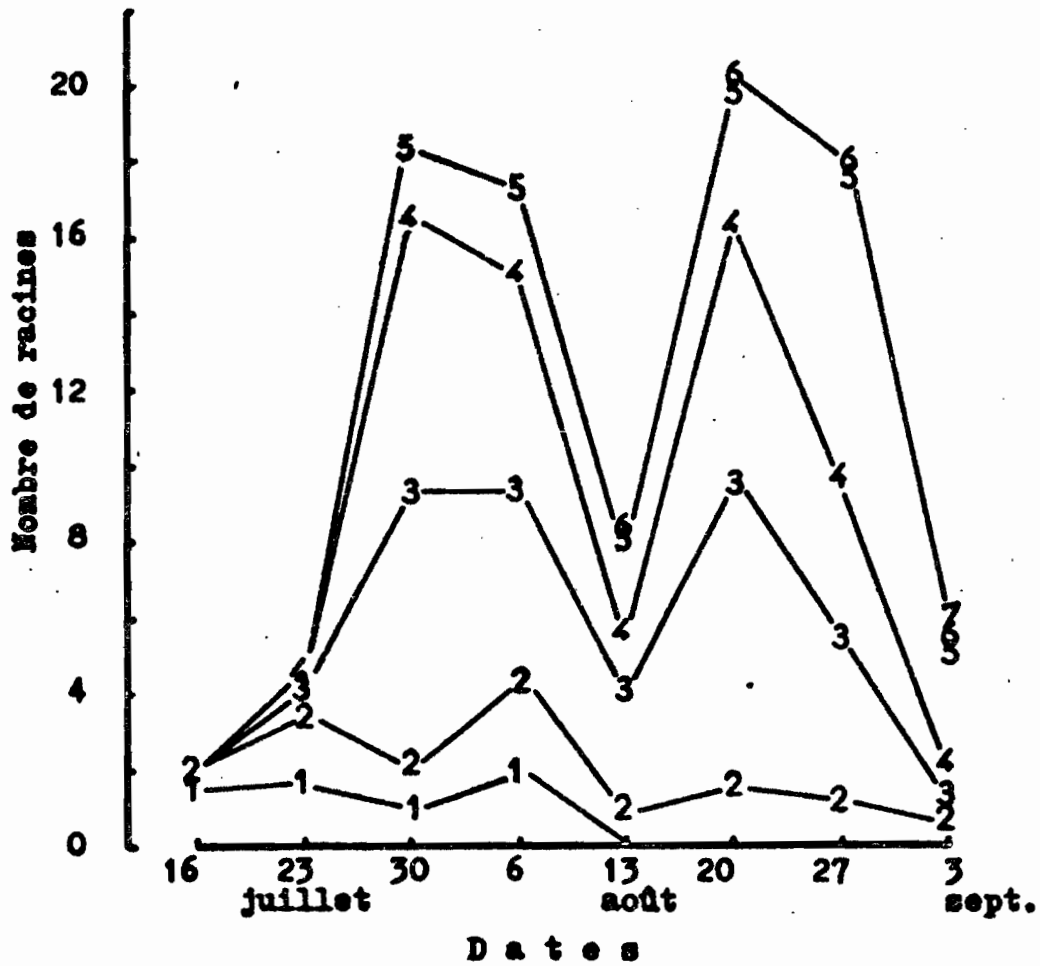


Figure 25.

Nombre de racines primaires développées par plante en fonction des catégories de talles.

3: catégorie de talles portant les racines.

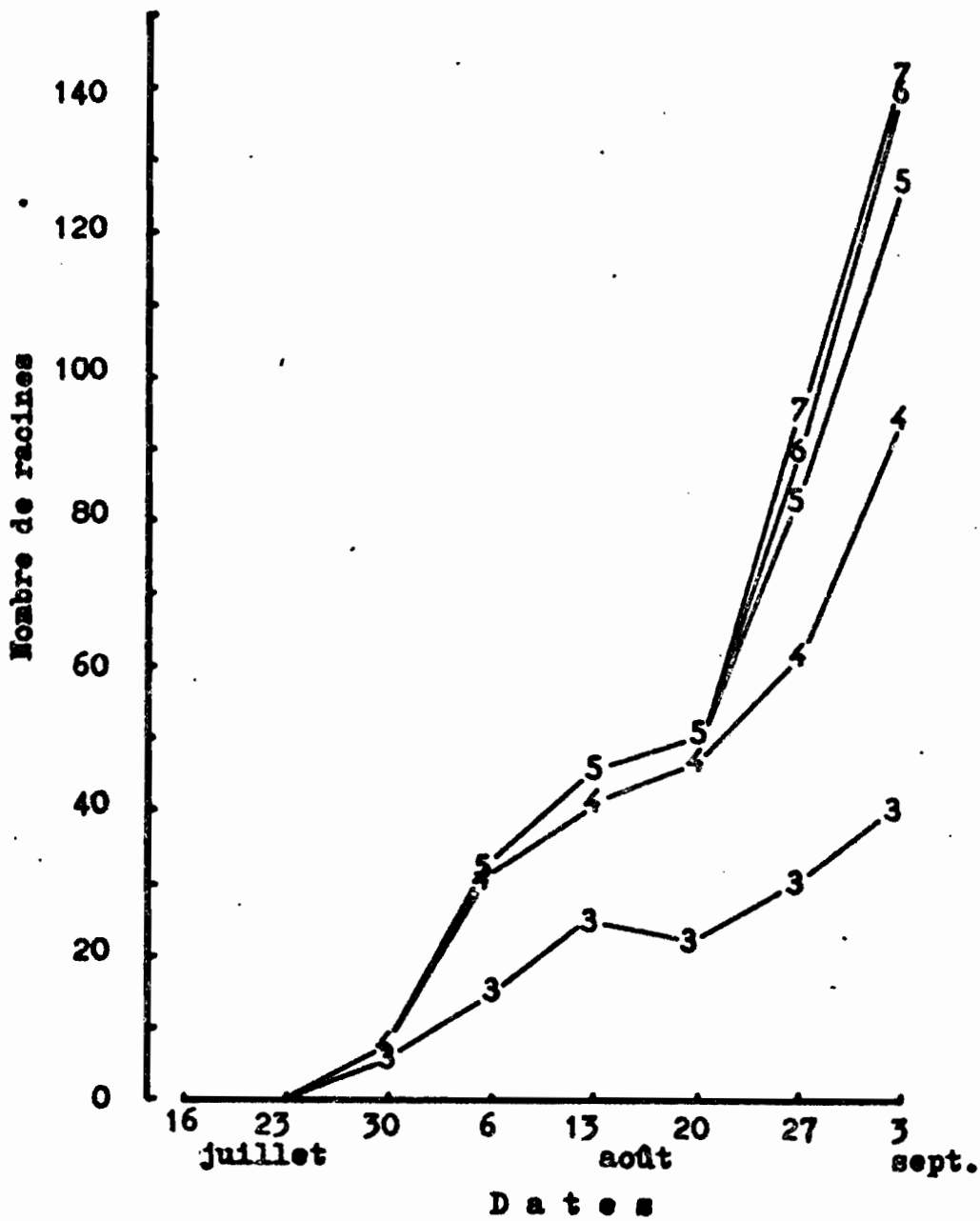


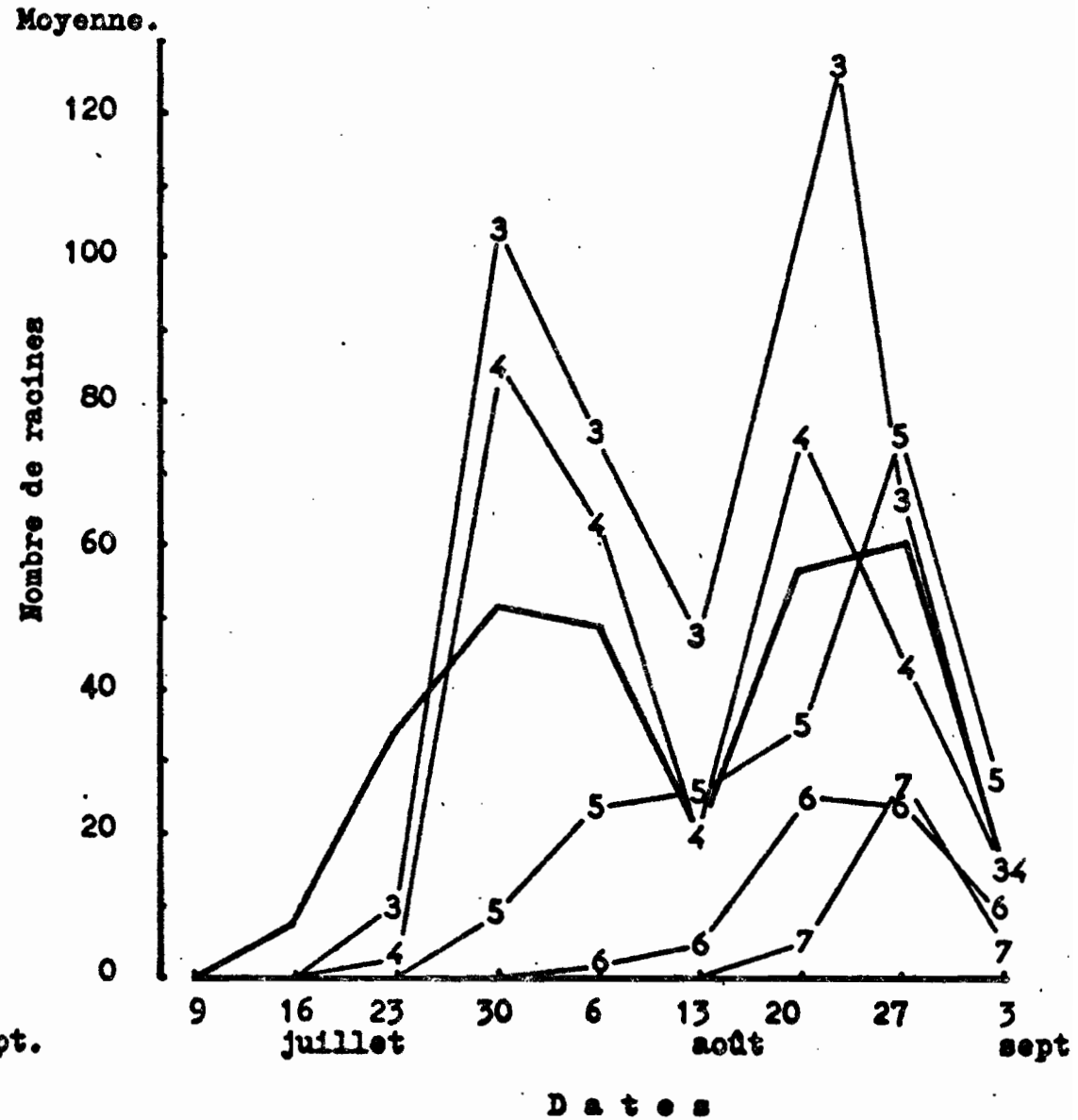
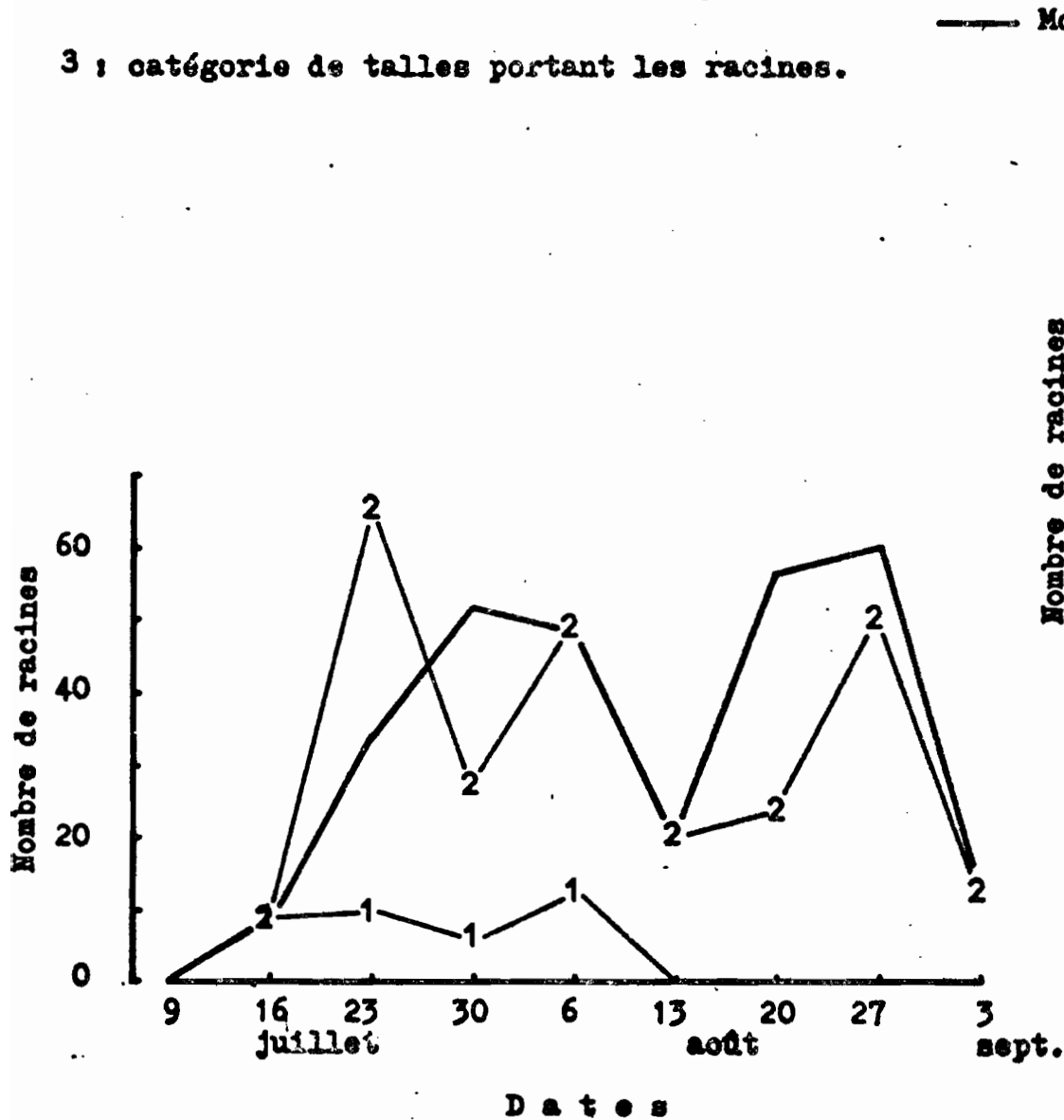
Figure 26.

Nombre de racines primaires de longueur inférieure à 3 cm
pour 100 talles, par catégorie de talles.

a) Talles apparues avant le 9 juillet.

b) Talles apparues après le 9 juillet.

3 : catégorie de talles portant les racines.



Alors que, le 3 septembre, le nombre de R3 par 100 talles a diminué quelle que soit la catégorie des talles observée, le 13 août, il semble n'avoir baissé que pour les catégories de talles les plus âgées émises après F_0 .

L'analyse de variance (sur les données transformées) en fonction des dates d'observation et des catégories des talles indique des différences hautement significatives (tableau 29).

	SCE	dl	F
Dates	38,2289	7	15,2**
Catégories de talles	58,3029	6	27,0**
Dates x catégories	67,2428	42	4,5**
Erreur	140,9763	392	

Tableau 29 : analyse de variance pour le nombre de R3 pour 100 talles. Essai RER 74, b.

Le test N.K. sur les moyennes des traitements principaux indique les résultats suivants :

- moyennes par date :

Dates :	16/7	23/7	3/9	13/8	30/7	6/8	27/8	20/8
Moyennes :	0,15	0,42	0,49	0,64	0,79	0,87	1,01	1,02

- moyennes par catégorie :

Catégories :	7	1	6	2	5	4	3
Moyennes :	0,18	0,32	0,37	0,82	0,83	1,01	1,21

Le nombre de RD pour 100 talles croît très rapidement en fonction du temps, sauf dans la (les 2) première (s) semaine (s) où l'on peut les observer (figure 27,a).

L'analyse statistique, là encore, confirme le haut degré de signification des différences observées (tableau 30).

	SCE	dl	F
Dates	111,5884	6	50,4**
Catégories de talles	153,6360	5	83,2**
Dates x Catégories	75,7232	30	6,8**
Erreur	108,5267	294	

Tableau 30 : analyse de variance pour le nombre de RD pour 100 talles. Essai RER 74,b.

Test N.K.

- moyennes par dates :

Dates :	23/7	30/7	6/8	13/8	20/8	27/8	3/9
Moyennes :	0,05	0,48	0,74	0,96	0,98	1,62	1,85

- moyennes par catégories

Catégories :	8	7	6	5	4	3
Moyennes :	0,04	0,36	0,65	1,10	1,68	1,91

Les courbes de variation par catégorie de talles, en fonction du temps, apparaissent très parallèles. Soit le vecteur \vec{i} défini comme suit :

- axe parallèle à celui des abscisses ;
- orientation comptée positivement en direction de l'origine;
- module : l'unité de temps considérée, 1 semaine.

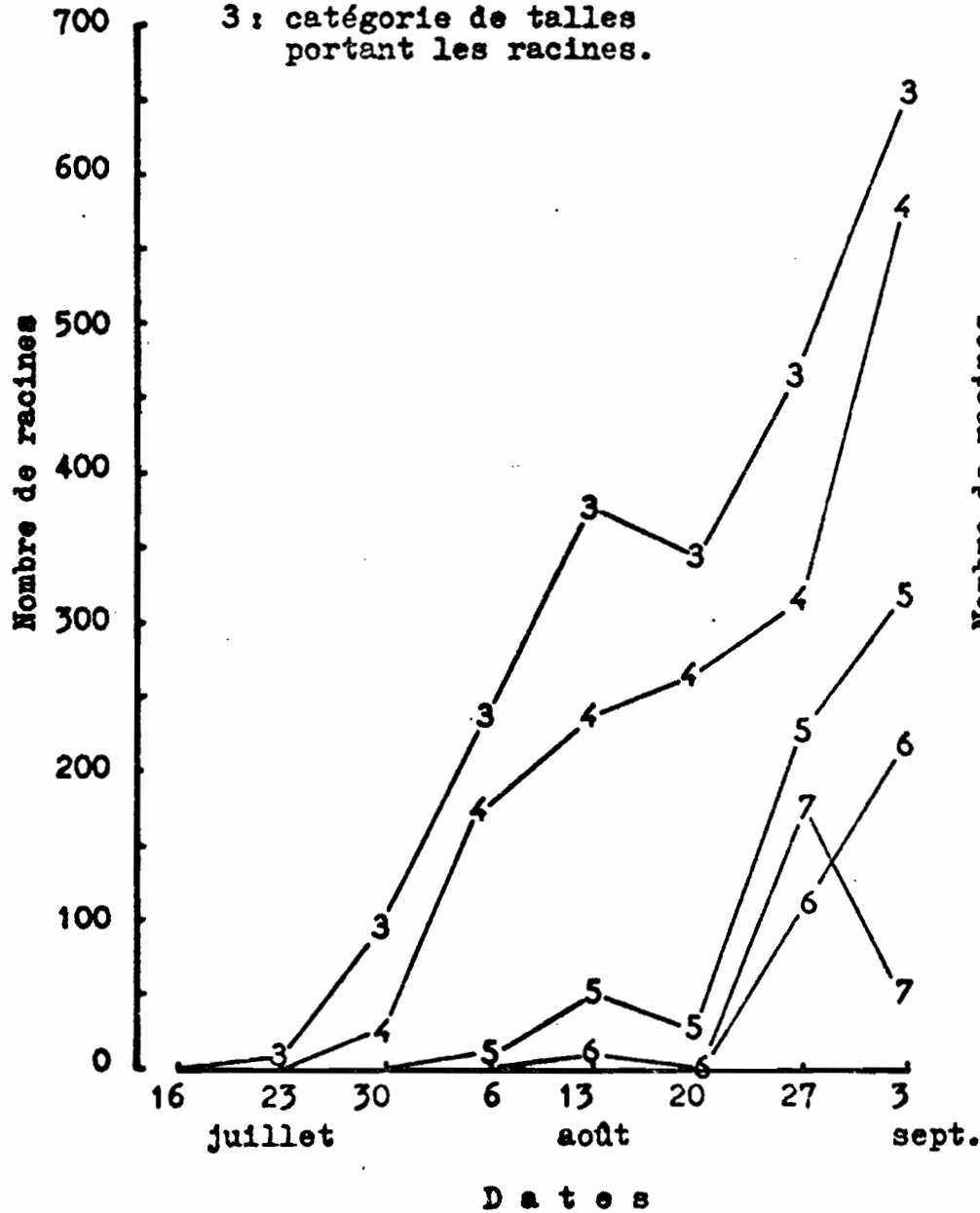
Si on applique une translation de vecteur \vec{i} aux données liées aux talles de catégorie 4 d'une part, une translation de même vecteur aux données liées aux talles de catégorie 6 et une translation de vecteur $2\vec{i}$ aux données liées aux talles de catégorie 7, on obtient une bonne superposition des ensembles liés aux catégories 3 et 4 d'une part, 5,6 et 7 d'autre part, à condition, dans ce dernier cas,

Figure 27.

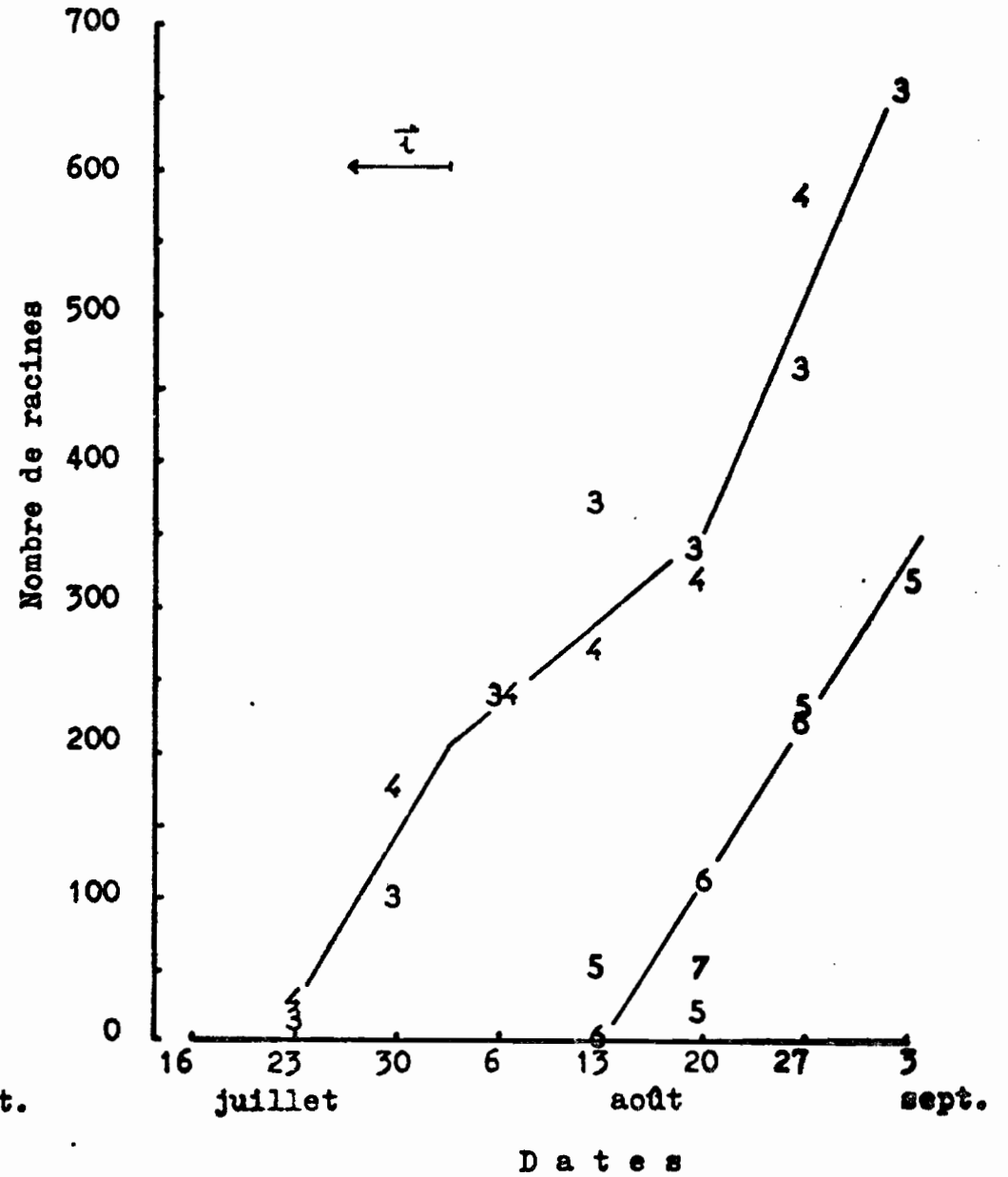
Nombre de racines primaires développées pour 100 talles
par catégorie de talles.

a) Avant translation.

3 : catégorie de talles
portant les racines.



b) Après translation.



d'éliminer la première observation dans chaque catégorie (figure 27,b). Si l'on rapproche ces résultats de la courbe de fréquence d'apparition des talles (figure 22,b) on constate que le premier ensemble correspond à la première génération de talles apparues, entre le 9 et le 22 juillet, le deuxième correspondant à la deuxième génération émise entre le 25 juillet et le 1er août.

Enfin, il existe une corrélation hautement significative entre le nombre de RDT et le nombre de R3T cumulé sur la période allant de la date d'apparition des talles d'une catégorie à la semaine précédant celle pour laquelle RD est pris en compte, ceci quelle que soit la catégorie des talles étudiée (figure 28).

Le coefficient de corrélation est de 0,95, hautement significatif (une valeur, manifestement aberrante, celle concernant le couple de données obtenu le 27 août pour la catégorie de talles 7, a cependant été éliminée).

L'équation de la droite de régression obtenue par la méthode de calcul normal est :

$$NRDT_{ijk.} = 1,43 \sum_{i,j-7} NR3T_{ijk.} + 36,54$$

Le test de signification de l'ordonnée à l'origine indique que celle-ci n'est pas différente de 0.

$$t = 0,030 \quad \text{pour } 20 \text{ ddl, non significatif.}$$

L'équation de la droite passant par l'origine est :

$$NRDT_{ijk.} = 1,57 \sum_{i,j-7} NR3T_{ijk.} \quad (13).$$

La corrélation entre $NRDT_{ijk.}$ et $\sum_{i,j} NR3T_{ijk.}$ (le cumul étant effectué cette fois sur la période allant de la date d'apparition des talles d'une catégorie à la date même pour laquelle RD est pris en compte), n'est pas linéaire si on considère les points catégorie de talles par catégorie de talles. Globalement, elle est linéaire mais moins étroite que la précédente.

2. DISCUSSION.

Les informations recueillies au cours des 6 expériences effectuées permettent de répondre aux 2 questions formulées dans l'introduction de cette 3ème partie.

2.1. Les facteurs de variation de l'émission racinaire.

Quelle que soit l'expérience réalisée, le nombre de R3 ou de RN compté à chaque observation est rarement nul.

Cependant, durant chaque intercoupe, sauf exception, le nombre de R3 et de RN passe d'un niveau bas à un niveau beaucoup plus élevé au moins lors de l'une des observations, puis revient à un niveau bas.

On considérera qu'il y a véritablement émission dans un intercoupe uniquement lorsque cette évolution se manifeste.

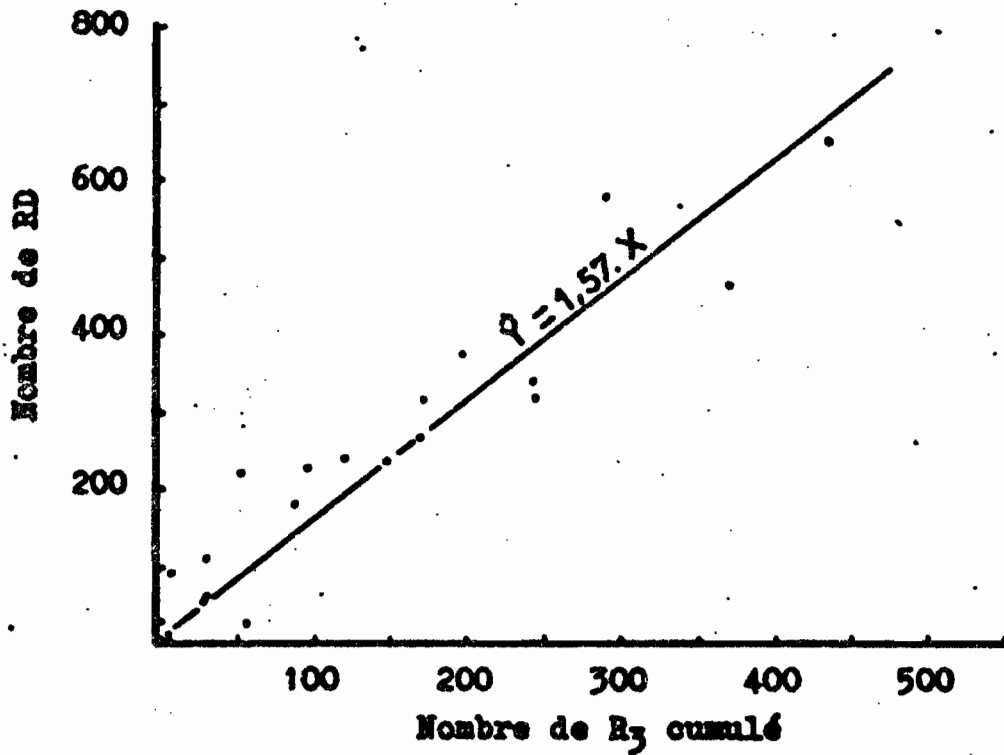
Il est en effet difficile de savoir à quoi correspond exactement l'émission, en permanence, d'un très petit nombre de racines primaires, mais son importance relative paraît tout à fait négligeable : elle ne peut expliquer les masses racinaires que l'on trouve dans le sol à un instant donné et, comme cela apparaîtra ultérieurement (4ème partie), leurs fluctuations en fonction du temps.

A l'échelle de l'année, l'intensité de l'émission peut varier d'un intercoupe à l'autre.

A l'échelle de l'intercoupe, un certain nombre de facteurs interviennent pour déclencher (ou bloquer le déclenchement) puis arrêter l'émission des racines. Ces facteurs sont soit internes à la plante, soit liés à son environnement.

Figure 28.

Corrélation entre le nombre de racines de longueur inférieure à 3 cm cumulé et le nombre de racines développées.



2.1.1. Variations à l'échelle de l'intercoupe.

2.1.1.1. Les facteurs liés à l'environnement.

En zone tempérée, les facteurs physiques externes qui agissent sur l'émission des racines des graminées sont essentiellement la température et l'humidité du sol (Garwood, 1967,b ; 1968).

En zone tropicale humide, la température varie peu. L'humidité du sol est donc vraisemblablement le principal facteur susceptible d'agir.

Parmi les facteurs liés à l'intervention de l'agriculteur, seul le rôle des coupes peut être envisagé ici, toutes les études ayant été faites sur prairies fertilisées.

2.1.1.1.1. Effet de périodes déficitaires en pluie sur l'émission des racines primaires.

En l'absence de tout apport d'eau au sol, aussi bien sous forme de rosée que de pluie, l'émission racinaire est complètement bloquée (essai RER 74,a ; § 1.2.3.) durant un épisode sec.

Cependant la rosée seule est suffisamment abondante à Adiopodoumé en saison sèche dans une prairie à *Panicum maximum* pour humecter le sol immédiatement à la base des touffes (la tache d'humidité est nettement visible par observation directe) et permettre l'émission des racines (essais RER 70 sur un intercoupe et RER 73, § 1.2.1. et 1.2.2.). Mais ces racines ne peuvent pas s'allonger puisqu'aucune RN n'apparaît lors des observations. Ceci est particulièrement net dans l'essai RER 70 (fig. 17) : entre le 21 et le 28 octobre 1971, le nombre de RN est nul, alors que celui des R3 augmente progressivement.

Quelques travaux ont ainsi mis en évidence l'impossibilité pour les racines de croître en milieu sec. Par exemple, en conditions naturelles, Lea (1961) note l'arrêt de la croissance des pivots d'arachide lorsqu'ils atteignent la couche non encore réhumecter en début de saison des pluies. En milieu contrôlé, Olmsted (1942)

a observé les mêmes effets de périodes de sécheresse sur l'initiation et l'élongation des racines de *Bouteloua curtipendula* : lorsque le sol est sec les racines primaires initiées ne peuvent pas être émises et, si l'épisode sec se prolonge, finissent par dépérir. Boatwright et Ferguson (1967) et plus récemment Troughton (1973) ont exploité avec succès cette impossibilité des racines de s'allonger en milieu complètement déshydraté. Cullen, Turner et Wilson (1972), arrosant des plantes fourragères cultivées en containers avec différents régimes, notent l'arrêt des racines à la profondeur à partir de laquelle le sol est maintenu sec.

Garwood et Williams (1967, a et b) Garwood (1967, b ; 1968), en Angleterre, ont montré que pendant la période de sécheresse estivale, les racines ne croissent et ne se ramifient plus en surface, mais restent actives en profondeur, dans les zones humides; ils attribuent le ralentissement de la croissance des parties aériennes non pas au manque d'eau mais au manque d'éléments nutritifs, principalement d'azote, dans les horizons profonds où la plante s'alimente.

L'impossibilité pour les racines de s'allonger en sol sec pourrait provenir de l'augmentation de résistance mécanique du sol à la pénétration, qui augmente lorsque l'humidité décroît (Maertens, 1964, b).

Mirreh et Ketcheson (1973) proposent une autre explication : lorsque le sol est en voie de dessèchement, son potentiel hydrique agit sur la turgescence de la plante et par voie de conséquence sur l'aptitude des racines à vaincre la résistance mécanique opposée par le sol.

Les 2 explications ne sont d'ailleurs pas contradictoires.

Mais l'influence d'un épisode sec lors d'un intercoupe ne se limite pas à l'arrêt de l'élongation des racines primaires durant cette période.

Le retour des pluies provoque une émission particulièrement intense des racines et leur élongation rapide.

Un déficit hydrique en début d'intercoupe a donc 2 conséquences :

- il empêche l'élongation des racines primaires qui sont émises grâce à la seule rosée ;

- après le retour des pluies, l'émission des racines se trouve stimulée par rapport à celle des plantes n'ayant pas subi le déficit hydrique.

Olmsted (1942) a obtenu les mêmes résultats.

Tout se passe donc comme s'il y avait compensation, et au-delà, de l'arrêt momentané de l'élongation des racines primaires émises durant l'épisode sec. Ce "rattrapage" n'existe pas pour les parties aériennes : l'arrêt des pluies après une coupe provoque un ralentissement du tallage. Le poids de matière sèche des parties aériennes par plante augmente plus lentement alors que, du fait du peu de nouvelles talles apparues, le poids de matière sèche par talle est souvent plus élevé en début d'intercoupe sur le traitement non irrigué. Le retard pris au moment du retour des pluies n'est plus rattrapé par la suite.

Ainsi donc, l'équilibre de croissance entre les parties aériennes et les racines se trouve déplacé à la suite d'une période de sécheresse, la croissance racinaire se trouvant favorisée. Cette modification d'équilibre, qui est révélée, dans le cas de cultures en milieu contrôlé par l'augmentation du rapport : $\text{Log (poids de matière sèche des parties aériennes) / Log (poids de matière sèche des racines)}$ (Troughton, 1974), pourrait, selon Yoash Vaadia et Chanan Itai (1969) être liée à l'action des cytokinines, hormones synthétisées par les racines qui retardent la croissance foliaire et accélèrent leur sénescence. Toutefois, Ludlow (1975) note que, chez *Panicum maximum*, l'un des effets d'une période sèche est de ralentir le vieillissement des feuilles, qui conservent leur activité photosynthétique plus longtemps.

2.1.1.1.2. Rôle des coupes.

L'effet des coupes apparaît double.

D'une part, dans l'immédiat, la suppression des parties aériennes bloque les possibilités d'initiation racinaire si la coupe a lieu avant l'arrêt de cette émission sous l'action des facteurs internes à la plante : c'est ce qui se passe, dans l'essai RER 74,b, lors de la fauche du 6 août 1974 (fig.24). Ce jour là, le nombre de R3 est encore élevé mais, le 13, 7ème jour du 2ème intercoupe, il est beaucoup plus faible.

D'autre part, à plus longue échéance, en supprimant la cause de blocage de l'émission racinaire, une fauche a pour effet de permettre la reprise de l'initiation racinaire sur des talles sur lesquelles elle s'était arrêtée. Il n'y a en effet pas d'autre explication possible au fait que, pour une même talle, l'initiation s'arrête sous l'action d'un facteur interne au système dans un intercoupe et reprenne, après un certain temps, dans l'intercoupe suivant. Ceci n'a pas été observé directement mais l'on sait que dans un intercoupe, de nouvelles racines apparaissent sur toutes les talles vivantes, quel que soit leur âge, même si elles ont déjà subi une ou plusieurs coupes (essais RER 74, a et RER 74, b), et que l'émission racinaire diminue en fin d'intercoupe (essais RER 70; RER 73; RER 74, a ; 2ème intercoupe de RER 74, b), sauf cas exceptionnel.

Les conséquences d'une coupe paraissent essentiellement liées au fait qu'on élimine la plupart des parties aériennes de la plante, ce qui perturbe brutalement les équilibres glucidiques, protéiques et enzymatiques existant au sein de la plante juste avant la coupe. Leur examen sera repris avec l'étude des facteurs agissant sur l'émission des racines primaires liés à la plante.

2.1.1.2. Les facteurs liés à la plante.

Les différents essais réalisés montrent que l'émission racinaire commence un certain temps après la coupe (entre 10 et 12 jours) et après la reprise du tallage; elle dure relativement peu (de 10 jours à 3 semaines).

La liaison entre tallage et émission des racines primaires est certaine : à la base de chaque nouvelle talle se développent plus ou moins rapidement de nouvelles racines primaires. Il est vraisemblable que des études comparant les nombres de racines primaires émises dans un intervalle de temps donné soit chez des variétés à tallages très différents soit chez des plantes de même variété mais plantées à écartements croissants, ferait apparaître ce que l'on trouve pour les graminées annuelles (Pinthus et Eschel, 1962, et Pinthus, 1969, sur blé ; Picard et Jacquot, 1976, sur riz) : lorsque le nombre de talles par plante croît, le nombre de racines primaires par plante croît aussi.

Mais cette liaison n'est pas directe chez une graminée pérenne régulièrement exploitée comme *Panicum maximum*.

Deux faits conduisent à le penser : d'une part, les nouvelles racines apparaissent sur les talles vivantes de tous âges, et même exceptionnellement, sur des chaumes. D'autre part, l'âge des talles auquel la première racine qu'ils porteront apparaît est aussi variable : ainsi, dans le dernier essai sur 2 intercoupes, pour lequel les talles ont été baguées systématiquement, (essai RER 74,b, §1.2.5) les premières racines des talles apparues en dernier dans le 2ème intercoupe n'ont été émises qu'après 2 semaines, alors que celles des talles apparues durant le 1er intercoupe ont été émises moins d'une semaine après. Par conséquent, le délai qui existe entre l'apparition d'une nouvelle talle et l'apparition de ses premières racines primaires ne semble pas constant.

La reprise de l'émission des racines primaires n'est pas directement subordonnée à l'apparition de nouvelles talles, mais plus vraisemblablement, au développement d'un appareil foliaire suffisant.

Crider (1955) a montré, pour des graminées fourragères de zone tempérée, que si plus de 70% des parties aériennes étaient éliminées lors d'une coupe, la croissance des racines était bloquée pendant 13 à 17 jours.

De même, Oswalt, Bertrand et Teel (1959) ont observé sur *Bromus inermis* et *Dactylis glomerata* cultivés en containers ayant une paroi vitrée, que de nouvelles racines primaires ne sont émises que lorsque la repousse des parties aériennes atteint 8 à 12,5 cm, ce qui demande 7 à 10 jours.

Une coupe bloque la croissance et le développement des racines de *Lolium perenne* même à un stade jeune (à 6 semaines après le semis) (Evans, 1973).

Les travaux de Hess (1969) sur la rhizogénèse chez les graminées fournissent une explication conforme aux observations sur *Panicum maximum* et à celles des autres auteurs. Hess propose en effet le schéma suivant pour expliquer le mécanisme de régulation de l'initiation racinaire : 4 co-facteurs combinés à l'AIA forment

un complexe actif en présence de molécules glucidiques et protéiques. Ces substances étant synthétisées dans les feuilles, il faut donc que la plante possède un appareil foliaire suffisant avant que de nouvelles racines puissent être initiées et donc émises.

Ce mode de régulation de la rhizogénèse expliquerait aussi l'effet immédiat des coupes.

Lorsque l'intercoupe se prolonge, assez rapidement après être passé par un maximum, le nombre de R3 diminue et reprend des valeurs faibles. L'arrêt se manifeste chez toutes les talles d'une touffe simultanément, quel que soit leur âge (essai RER 74 b, 2ème intercoupe).

Les études effectuées sur les graminées fourragères de zone tempérée (Stuckey, 1941 ; Garwood, 1967,a) comme sur les céréales (Pinthus, 1969, sur le blé), ont conduit leurs auteurs à penser que l'arrêt de l'émission des racines était lié à l'initiation à floraison de la plante. En fonction de ce que l'on sait (Gillet, 1970) sur les conséquences de l'induction à floraison (apparition du stade "Doubles Rides") chez les graminées de zone tempérée, cet arrêt de l'émission racinaire pourrait être lié, comme l'arrêt du tallage, soit à une compétition intense pour les éléments nutritifs lors de la montaison, soit à une inhibition hormonale, soit aux deux intervenant simultanément.

Selon Troughton (1960,b; 1974) les graminées de zone tropicale pourraient se comporter différemment des graminées tempérées de ce point de vue, mais ceci n'est pas confirmé par les travaux de Burt (1968) sur *Cenchrus ciliaris*.

Si pour *Panicum maximum*, le phénomène de compétition lors de la montaison est le phénomène moteur de l'arrêt du tallage et de celui de l'émission des racines, ceux-ci devraient donc se produire simultanément. Plus exactement, ce sont l'arrêt de l'initiation des bourgeons de talle et l'arrêt de l'initiation des racines qui devraient être simultanés. Etant donné la nature des observations effectuées, cette simultanéité est difficile à apprécier.

Cependant les 4 expériences réalisées montrent que :

- les plantes sont restées au stade végétatif durant tout l'intercoupe dans 2 cas : lorsque le début de l'intercoupe correspond à un épisode sec (essai RER 73, traitement non irrigué)

et après une coupe à un stade très tardif, provoquant la mort de la plupart des talles (essai RER 74,b; 1er intercoupe); le tallage s'est poursuivi sur toute la durée de l'intercoupe ainsi que l'émission des racines primaires dans le 2ème cas; par contre, dans le 1er cas elle s'est arrêtée nettement avant la fin de l'intercoupe;

- il y a eu tallage puis montaison d'un certain nombre de talles durant l'intercoupe dans les 4 autres cas analysés; si l'arrêt du tallage, et celui de l'émission des racines, paraissent simultanés dans 2 cas (essai RER 70 et essai RER 74,a) cela semble moins vrai dans le 3ème (essai RER 73, traitement irrigué) et tout à fait exclu dans le 4ème : durant la 2ème intercoupe de l'essai RER 74,b, en effet, le tallage est pratiquement nul alors que l'émission racinaire est très forte pendant la 2ème et la 3ème semaine et s'arrête seulement après.

Il est donc certain qu'il existe un ou plusieurs phénomènes susceptibles d'agir pour arrêter l'initiation des racines primaires. Apparemment, ils exercent leur action sur l'ensemble des talles d'une touffe. Mais leur nature reste hypothétique.

Cependant, si début et arrêt de l'émission des racines semblent dans une large mesure indépendants de l'âge des talles, l'intensité de l'émission des racines, elle, semble être plus directement fonction de cet âge. Les résultats obtenus sur RER 74,b montrent en effet (fig.26) que les NR3T ne sont pas les mêmes pour les différentes catégories de talles. La comparaison des biomasses des parties aériennes et des racines néoformées dans un intercoupe (4ème partie) peut fournir un début d'explication à ce phénomène, par ailleurs apparemment jamais étudié jusqu'à présent.

2.1.2. Variations à l'échelle de l'année.

Dans l'essai RER 70 portant sur 2 ans d'observations, au sens où l'émission racinaire a été définie précédemment (§ 2.1) il n'y a que durant l'intercoupe 9 et certaines périodes en saison sèche qu'il n'y a pas eu émission de racines.

Ce résultat n'est pas dû à la méthode d'étude employée, et en particulier à la conservation 24 h dans l'eau des bases des talles, entre le moment du prélèvement des échantillons et celui des observations. En effet, il ne sort de racines primaires dans ce laps de temps que lors des épisodes secs, lorsque l'humidité du sol dans les horizons supérieurs est insuffisante. Ceci ne concerne que les intercoupes 3, 5, 10 et 13. Dans les intercoupes 2, 9 et 12, la sécheresse apparaît trop tardivement, ou bien après un épisode extrêmement pluvieux, et il n'y a vraisemblablement pas eu de perturbation du rythme d'émission des racines. Or les intercoupes 3, 5, 10 et 13 ont été plus ou moins tardivement interrompu par de fortes pluies qui ont permis la reprise de l'émission.

De plus, lorsque le sol devient sec, les racines ne s'allongent plus (§2.2.2.1); par conséquent on n'observe plus, dans ces moments-là, de RN. Le temps de trempage est de toutes manières trop court pour qu'il y ait apparition de ce type de racines après le prélèvement des échantillons. Or les résultats montrent que le rythme d'apparition des RN suit le plus souvent celui des R3.

D'autre part, le fait qu'il y ait émission dans chaque intercoupe est en accord avec les autres expériences réalisées sur des périodes de 1 ou 2 intercoupes : quelles que soient les conditions expérimentales, les époques de l'année, on a toujours observé une émission racinaire dans un intercoupe, sauf durant celui où à la fois pluie et rosée ont été interceptées.

Il est certain cependant que le nombre d'observations, une tous les 15 jours, est insuffisant pour avoir une idée du nombre total de racines émises par intercoupe, puisque les autres études montrent que la période d'émission est courte : de 10 jours à 3 semaines. Il est donc fort possible que, dans l'intercoupe 9, les observations se soient situées en dehors de la période d'émission et que, durant les autres intercoupes, elles n'aient pas été effectuées au moment où l'émission est la plus intense.

Il ne semble pas y avoir eu jusqu'à présent d'étude similaire sur *Panicum maximum* ailleurs ou sur d'autres graminées tropicales. Les seules comparaisons possibles sont donc avec les rythmes d'émission des racines des graminées de zone tempérée.

Stuckey (1941), travaillant sur 12 espèces et variétés de graminées fourragères non exploitées, Garwood (1967,a) travaillant sur 4 espèces et variétés fauchées toutes les 4 semaines, ont tous deux mis en évidence le caractère saisonnier de l'émission racinaire chez ces espèces : elle a lieu essentiellement au printemps et, de façon moins intense, à l'automne. Les travaux de Jacques et Edmond (1952) et Jacques et Schwass (1956), en milieu partiellement perturbé, confirment ce caractère périodique de l'émission des racines en zone tempérée. Plus récemment, Speidel et Weiss (1974), grâce à des observations à partir de tranchées à parois vitrées et Behaegue (1974) arrivent aux mêmes conclusions. Garwood (1968) a de plus montré que le fait que le sol soit desséché en été est insuffisant pour expliquer l'arrêt des émissions à cette époque de l'année. Il trouve par contre une corrélation négative entre le nombre de racines primaires émises et la température. Ainsi, des températures trop élevées pourraient être responsables de cet arrêt (Troughton, 1957 ; Kleinendorst et Brouwer, 1965 ; Cooper, 1972 ; Lemaire, 1975).

De nombreux auteurs ont cherché à déduire les époques d'émission des racines des variations de masses de racines : étant donné que ces variations résultent à la fois de l'émission de nouvelles racines et de la décomposition des racines mortes (introduction, §2.1; Bartos, 1972), il n'est pas étonnant qu'ils puissent obtenir des résultats contradictoires.

Les variations de température du sol étant faibles en Côte d'Ivoire au cours de l'année, il n'est pas surprenant que ce facteur du milieu n'intervienne apparemment pas.

Finalement l'absence de variation marquée au cours de l'année du rythme d'émission des racines, à Adiopodoumé et pour *Panicum maximum* s'explique par le fait que les variétés étudiées remontent toute l'année, que, même en saison sèche, les épisodes sans pluie sont de durée relativement courte, sauf exception, et que, dans ces moments-là, la rosée est suffisante pour permettre l'émission des racines primaires. Il pourrait en aller différemment d'une part pour des plantes non exploitées, ne fleurissant alors qu'une fois dans l'année, ou pour des plantes présentant un photopériodisme marqué, d'autre part dans des régions où la saison sèche est plus accentuée, comme à Bouaké par exemple.

2.2. Nombre de racines primaires émises par intercoupe.

En période d'émission, le nombre de jeunes racines observable par plante chez les graminées tempérées est très comparable à celui trouvé chez *Panicum*, selon les chiffres de Stuckey (1941) à 2 exceptions près : *Phleum pratense* S 50 et *Poa trivialis*, pour lesquels elle trouve jusqu'à 50 racines par plante à certaines époques.

Par contre, à la superficie, le nombre de racines émises chez les plantes de prairies tempérées apparaît très supérieur. Garwood (1957, a, 1968) trouve, pour *Lolium perenne*, jusqu'à 720 racines par sq.ft soit 7.750 racines par m² et, pour *Dactylis glomerata*, 230 racines par sq.ft soit 2475 racines par m² alors que, pour dans cet essai, on trouve au maximum, le 27 septembre 1971, 23 racines par touffe soit 144 par m².

La détermination du nombre de racines émises par intercoupe, $\sum_j \text{NR3P}_{ij}$, oblige à revenir à la notion de racine nouvellement émise, définie arbitrairement comme étant de longueur inférieure à 3cm (2ème partie, §4.4.2) afin de connaître l'âge précis de cette racine qui est fonction de sa vitesse de croissance au départ.

Il sera ensuite possible de calculer $\sum_j \text{NR3P}_{ij}$ dans un certain nombre de cas.

Cependant, l'étude expérimentale des rythmes d'émission des racines primaires par le comptage de NR3P est une méthode très longue : il serait intéressant d'essayer de déduire ces rythmes d'observations plus faciles à obtenir et donc de voir à partir de quels éléments il est possible de les modéliser.

2.2.1. Age des racines primaires nouvellement émises.

La corrélation étroite trouvée entre le nombre cumulé de R3 pour 100 talles et le nombre de RD pour 100 talles lors de l'essai RER 74, b n'est pas surprenante. Elle correspond au fait qu'une racine, après émission, passe en s'allongeant de la catégorie R3 à la catégorie RD. Elle explique pourquoi il n'y a pas nécessairement corrélation linéaire entre le nombre cumulé de R3 par touffe et le nombre de RD par touffe. En effet :

$$\text{NRDT}_{ijk} = \lambda \sum_{i,j-7} \text{NR3T}_{ijk} \quad \not\rightarrow \quad \text{NRDP}_{ij} = \lambda' \sum_{i,j-7} \text{NR3P}_{ij} \quad (14)$$

Bien que l'ordonnée à l'origine de la droite de corrélation soit non significativement différente de 0, il n'est pas certain que, si les observations avaient été plus fréquentes, la sommation sur un intervalle de temps plus court n'ait pas conduit à un ajustement encore meilleur.

Si v est la vitesse de croissance des racines, supposée constante, lorsque la longueur de la racine passe de 0 à 3 cm, le temps mis par une racine pour passer du stade R3 au stade RD est :

$$\theta_{RD} = 3.v^{-1} \quad (15).$$

La pente de la droite de régression entre $NRDT_{ijk}$ et $\sum_{i,j-7} NR3T_{ijk}$: $\lambda = 1,57$ (cf équation 13, § 1.2.5.2), est directement liée à v . En effet, à un instant donné et pour une catégorie de talles donnée, le nombre de R3 est donné par (Picard et Jacquot, 1976) :

$$NR3T_{ijk} = 3.v^{-1}.v, \quad (16).$$

où v est le nombre de racines émises par unité de temps (ici le jour).

Sur l'ensemble de la période expérimentale, i étant constant par exemple, on peut estimer le nombre de R3 à un instant donné par :

$$\frac{1}{j} \sum_j NR3T_{ijk}$$

et v par :

$$\frac{1}{\alpha_j} NRDT_{ijk}$$

où α est le nombre de jours entre 2 observations, d'où :

$$v = \frac{3}{\alpha} \lambda \quad (17).$$

Le coefficient λ représente donc, à une constante près, la vitesse de croissance initiale des racines. Cette vitesse calculée est en fait légèrement inférieure à la vitesse réelle de croissance puisque toutes les R3, comme on l'a vu (2ème partie, § 4.4.2.), ne donnent pas de RD. On peut l'appeler vitesse initiale de croissance pondérée.

Dans le cas présent, avec :

$$\alpha = 7 \text{ jours} \quad \text{et} \quad \lambda = 1,57 ;$$

$$v = 0,67 \text{ cm.j}^{-1}.$$

La corrélation entre $NRDT_{ijk}$ et $\sum_{j=7} NR3T_{ijk}$, étant la même pour toutes les catégories de talles, v est donc indépendant de l'âge des talles.

Sur une variété de riz (Picard et Jacquot, 1976), on a obtenu une bonne correspondance entre la vitesse d'élongation des racines primaires mesurée de cette façon et celle obtenue en divisant la profondeur atteinte par les racines les plus profondes par le nombre de jours écoulés entre l'apparition de la première racine primaire du système nodal et celui de l'observation. Pour les 2 autres variétés étudiées, cette correspondance était moins bonne.

En solution nutritive, May et al. (1965, 1966) ont montré que cette vitesse d'élongation des racines primaires de l'orge était constante. Toujours pour l'orge, Drew et al. (1973) ont trouvé qu'elle était dans une large mesure indépendante de la concentration en azote de la solution.

Par contre Evans (1971, 1973 a et b), étudiant les effets des coupes sur la vitesse d'élongation des racines primaires d'un certain nombre de plantes fourragères de zone tempérée cultivées en pots ayant une paroi vitrée, signale que la vitesse d'élongation des racines des plantes-témoin, non coupées, variait fortement en fonction des conditions du milieu. Il est cependant possible que les techniques expérimentales aient conduit à des variations plus marquées que celles existant en conditions naturelles.

Malgré la restriction apportée par la relation (14), dans l'essai RER 70, sur les premiers mois pendant lesquels le nombre de RD a été compté, on trouve bien une corrélation entre $NRDP_{ij}$ et $\sum_{i,j} NR3P_{ij}$ (§ 1.1.2, fig.15). En effet, lorsque les dates d'observation deviennent espacées et portent sur plusieurs intercoupes, les variations en fonction du temps de $NRDP_{ij}$ d'une part, $\sum_{i,j} NR3P_{ij}$ d'autre part, qui sont en théorie une succession de sigmoïdes, apparaissent linéaires.

L'approximation, qui constitue une erreur à l'échelle de l'intercoupe, devient correcte sur un certain nombre d'intercoupes.

Avec :

$$\alpha = 14 \text{ jours} \quad \text{et} \quad \lambda = 3,80 \quad ;$$
$$v = 0,81 \text{ cm.j}^{-1}.$$

La vitesse initiale de croissance pondérée apparaît plus élevée pour la variété "Adiopodoumé" que pour la variété K 187 B.

Cette vitesse est aussi très inférieure à celle que l'on peut observer directement après une période de sécheresse bloquant l'élongation racinaire.

L'intervalle de temps entre le début de la pluie qui marque la reprise de l'élongation et le prélèvement pour observation fixe la durée maximum pendant laquelle les racines ont pu s'allonger. La longueur finale des nouvelles racines est mesurable directement (à condition que l'intervalle de temps ne soit pas trop long). Leur longueur initiale est au plus de 3 cm. On peut donc en déduire leur vitesse d'élongation.

Par exemple, on a observé, 77 h après une forte pluie suivant une période sèche de 15 jours :

3 racines de 10,3 cm de long en moyenne ; $2,3 < v < 3,2 \text{ cm.j}^{-1}$;
1 racine de 12,8 cm de long ; $3,1 < v < 4,0 \text{ cm.j}^{-1}$.

Ce mode de calcul n'est donc correct que dans la mesure où la vitesse de croissance initiale pondérée des racines n'est pas modifiée par l'action d'une période sèche.

2.2.2. Estimation du nombre de racines primaires émises par intercoupe sur deux exemples. Taux de renouvellement de ces racines.

. Essai RER 74,a. Estimation du nombre de racines primaires émises dans l'intercoupe du 17 janvier au 21 février 1974.

Les racines sont issues des talles de tous âges.

Les 39,8 talles recensées après le 19/1 portent 16,8 racines primaires en fin d'essai.

Les observations dans cet intercoupe sur les talles non baguées ayant eu lieu en moyenne tous les 3,5 jours (2 fois par semaine), en supposant que la vitesse initiale de croissance pondérée, s'agissant de la même variété et du même milieu, soit comparable à celle obtenue pour RER 70 :

$$\alpha = 3,5 \text{ jours ;} \quad v = 0,81 \text{ cm.j}^{-1} ;$$

d'où (selon 17) : $\lambda = 0,97.$

D'après les résultats (fig.20), i étant constant,

$$\sum_{i,j=1}^{1,38} \text{NR3D}_{ij} = 33,1 ;$$

d'où le nombre total de RD émis dans l'intercoupe :

$$\text{NRDP}_{1,38} = 32.$$

Le tableau 29 résume les éléments disponibles.

Intercoopes pendant lesquels les talles ont été émises	Talles vivantes		RD émises entre le 17/1 et le 21/2/74		RD totales émises
	Nombre	%	Nombre	%	
Avant le 20/12/73	28,2	32	(15)	47	?
Du 20/12/73 au 17/1/74	19,6	22			73
Du 17/1/74 au 21/2/75	39,8	45	17	53	17
TOTAL	87,6	100	(32)	100	

Tableau 31 : Estimation du nombre de racines émises entre le 17 janvier et le 21 février en fonction de l'âge des talles qui les portent. Les chiffres entre parenthèses sont des estimations.

Environ la moitié des racines émises sont portées par les talles émises dans l'intercoupe étudié. Le nombre de racines émises par les talles apparues avant le 20/12/73 n'est pas nul puisqu'on a observé des R3 sur cette catégorie de talles le 6 et le 12 février (tableau 25).

Le fait que de nouvelles racines apparaissent sur toutes les catégories de talles limite singulièrement les possibilités de recensement des racines émises dans un intercoupe à partir d'un petit nombre d'observations.

. Essai RER 74, b. Estimation du nombre de racines émises dans les 2 intercoupes étudiés.

Pour pouvoir comparer le nombre de RD émises dans les 2 intercoupes, il faut arriver à estimer le nombre de celles apparues sur les chaumes et les talles de catégorie 2. Là encore, il est logique de penser que l'étroite corrélation entre le nombre de R3 cumulées et le nombre de RD peut être utilisée pour cette estimation, puisque cette corrélation apparaît indépendante de la catégorie de talles à laquelle on l'applique.

Pour les chaumes, pour lesquels l'émission cesse après la fauche F_1 , on en déduit qu'il est apparu environ 11,5 RD dans le premier intercoupe et 14,4 RD en tout.

Pour les talles de catégorie 2, cela représente aussi respectivement 4,2 et 9,0 RD.

Autrement dit, environ 50 racines se seraient développées dans (F_0, F_1) contre 120 dans (F_1, F_2) soit près de 2,5 fois plus (tableau 32).

	Intercoupe (F ₀ , F ₁)		Intercoupe (F ₁ , F ₂)	
	Nombre	%	Nombre	%
RD issues de talles apparues au moins 2 intercoupes avant	15,7	33	7,7	7
RD issues de talles apparues à l'intercoupe précédent			107,5	91
RD issues de talles apparues durant l'intercoupe	32,1	67	1,8	2
TOTAL	47,8	100	117,0	100

Tableau 32 : Nombre de racines développées en fonction du stade des talles.

Ces résultats et estimations, obtenus d'une part après une coupe à un stade très tardif, F₀, d'autre part après une coupe à un stade très précoce, F₁, traduisent des conditions extrêmes. Ceux de l'étude précédente où l'on avait obtenu 53% de RD sur les talles émises durant la même intercoupe et 47% de RD sur celles émises durant les intercoupes précédents ont été obtenus dans des conditions de répartition plus équilibrée des talles de différents âges au sein des touffes; la prairie étant exploitée régulièrement toutes les 4 semaines depuis 6 mois.

. Taux de renouvellement moyen journalier.

Dans l'essai RER 70 sur 2 ans, à l'aide de la corrélation :

$$RDP_{1,j} = 3,80 \sum_{i,j} R3P_{1,j} \quad (4) \quad (\S 1.1.2.),$$

on peut estimer le nombre théorique de RD par plante qu'on aurait trouvé en fin de 1ère et de 2ème année s'il n'y avait pas eu mort

et décomposition de racines, en déduire le taux de renouvellement journalier des racines de *Panicum maximum*, τ_j .

On obtient :

RDP_{1,j} estimé le 16 mars 1971 : 460 ; $\tau_{j1} = 1,31$;

RDP_{1,j} estimé le 13 mars 1972 : 820 ; $\tau_{j2} = 1,00$;

τ_j moyen = 1,16 racines par jour.

Il est cependant vraisemblable que dans la phase d'implantation de la prairie, l'émission racinaire est plus intense que par la suite et que le taux de renouvellement journalier de 1 racine par jour est une meilleure estimation de τ_j dans une prairie installée depuis un an ou plus.

Ce taux n'a évidemment de signification que sur un intervalle de temps suffisamment long, de plusieurs intercoupes, puisque l'émission racinaire est un phénomène discontinu.

2.2.3. Eléments pour la modélisation de l'émission des racines primaires dans un intercoupe.

Les données en fin de compte nécessaires pour arriver à calculer $\sum_j \text{NR3P}$ sont nombreuses et longues à obtenir. Pour en avoir une estimation correcte, il faut connaître les dates d'apparition des talles sur plusieurs intercoupes successifs et compter le nombre de racines développées portées par ces talles.

Malgré l'absence de liaison directe entre tallage et émission des racines primaires, il paraît intéressant de voir dans quelle mesure $\sum \text{NR3P}$ ne pourrait pas être obtenu à partir de l'observation du tallage et donc d'essayer de modéliser les rythmes d'émission.

En général, les modèles que l'on peut trouver pour décrire l'évolution de l'enracinement des plantes, particulièrement sous prairie, utilisent comme caractéristique la masse totale de racines (Brouwer, 1969; Ares et Singh, 1974; Trenbath, 1974; Whysong et Fisser, 1974). Ils ne renseignent pas sur les rythmes d'émission des racines primaires.

Lungley (1972) propose un modèle qui décrit l'évolution spatio-temporelle de l'enracinement d'une graminée, en tenant compte de la date d'apparition des racines primaires. Il utilise les résultats de Pinthus (1969) sur blé et de Schuurman et de Boer (1970) sur avoine comme valeurs de référence mais il ne donne pas de relation permettant de calculer les nombres de racines primaires émises en fonction du temps.

Franquin (1974) a montré que le développement structural des parties aériennes d'une plante pouvait se prévoir de façon théorique, ceci en fonction des lois régissant la morphogenèse des feuilles et des rameaux ou des talles chez les graminées.

Aucun modèle similaire n'existe apparemment pour décrire le développement du système racinaire des graminées.

Les résultats obtenus dans l'essai RER 74,b (§ 1.2.5.) fournissent quelques éléments.

En effet, nombre de R3 par plante (NR3P), nombre de RD par talle (NRDT) et nombre de RD par plante (NRDP), peuvent se calculer aisément à partir des données du tallage et du nombre de R3 par catégorie de talle en fonction du temps.

En effet, pour un intercoupe, i étant constant, en utilisant la notation matricielle, on peut écrire les NTV_{ijk1} pour chaque observation selon une matrice T_i de dimensions (m,n) avec :

- m = nombre de jours de l'intercoupe ;
- n = nombre de catégories de talles ;
- p = nombre de répétitions ;

$$t_{ijk.} = \frac{1}{p} \sum_1^p NTV_{ijk1} ;$$

$$T_i = \begin{bmatrix} t_{i11}. & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ t_{i21}. & t_{i22}. & 0 & \dots & \dots & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ t_{ij1}. & \dots & \dots & t_{ijk}. & \dots & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ t_{im1}. & \dots & \dots & \dots & \dots & t_{imn}. \end{bmatrix} \quad (18).$$

Les termes de cette matrice ont la propriété suivante :

$$t_{i11}. = t_{ij1}. = t_{im1}.$$

$$t_{i22}. = t_{ij2}. = t_{im2}. \quad \dots$$

Ce n'est pas forcément une matrice triangulaire.

De la même manière, les nombres de R3 par catégorie de taille peuvent s'écrire selon une matrice de dimensions identiques $R3_i$:

$$r_{ijk}. = \frac{100}{p} \sum_{l=1}^{NR3T} NR3T_{ijkl} \quad ;$$

$$R3_i = \begin{bmatrix} r_{i11}. & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ r_{i21}. & r_{i22}. & 0 & \dots & \dots & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ r_{ij1}. & \dots & \dots & r_{ijk}. & \dots & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ r_{im1}. & \dots & \dots & \dots & \dots & r_{imn}. \end{bmatrix}$$

Ce n'est pas non plus forcément une matrice triangulaire, bien qu'elle en soit voisine.

A partir de ces 2 matrices et du scalaire λ , on peut déduire tous les autres paramètres. En effet, à une date d'observation donnée j , le nombre de R3 par touffe s'obtient en sommant le produit des coordonnées des 2 vecteurs ligne correspondants des 2 matrices T_1 et $R3_1$.

Soit la matrice, toujours de dimensions (m,n) , très proche de la matrice unité, que nous appellerons donc I_2 :

$$I_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & \dots \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ 0 & \dots & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (20);$$

Les nombres de RD par talle ou par plante s'obtiennent à partir des éléments de la matrice

$$RD = \lambda R3 I_2 \quad (21);$$

Dans cette étude, on dispose des données pour établir ces matrices sur 2 intercoupes. On peut envisager de les construire sur des durées variables, comportant un nombre plus ou moins grand d'intercoupes.

La matrice R3 peut s'obtenir par observations, comme on vient de le faire. Toutefois, la méthode est coûteuse en temps et les observations ne peuvent porter que sur un nombre réduit d'individus.

Cette matrice ne peut pas se déduire directement de la courbe de variation du nombre de R3 par touffe : il faudrait connaître les lois de variation des $NR3T_{ijk}$ dans le temps.

La simulation sur ordinateur offre une voie tentante pour déterminer ces lois, compte tenu des relations qui viennent d'être obtenues. L'objectif serait d'obtenir des approximations des courbes: nombre de R3 par plante en fonction du temps ou nombre de RD par plante en fonction du temps, à partir de la matrice T , du scalaire λ et de la matrice R3 générée à partir des lois hypothétiques qu'on cherche à tester.

La vérification expérimentale pourra porter sur seulement quelques catégories de talles par touffe pour pouvoir être effectuée sur un plus grand nombre d'individus.

Toutefois, ces lois ne paraissent pas simples. En effet, le nombre de R3 émises par catégorie de talles varie à la fois en fonction de cette catégorie et du temps, comme le montre la figure 26.

3. CONCLUSION SUR L'ETUDE DES RYTHMES D'EMISSION DES RACINES PRIMAIRES.

L'étude des rythmes d'émission des racines primaires de *Panicum maximum* dans un intercoupe et sur l'année, a permis de dégager les éléments suivants.

- Une émission racinaire a lieu à chaque intercoupe en l'absence de contraintes de l'environnement.

- Le début de l'émission est apparemment lié à la possibilité pour la plante de synthétiser à un niveau suffisant molécules glucidiques et protéiques, AIA et co-facteurs nécessaires à l'initiation des racines (Hess, 1969). Ceci demande environ 10 jours après une coupe. L'hypothèse de Hess permet d'expliquer la reprise de l'émission. Mais elle ne fournit aucun "marqueur" morphologique facilement observable sans déterrer de touffe, de cette reprise.

- L'arrêt de l'émission a lieu quelques temps après sans que la cause en ait été élucidée. Elle ne paraît pas nécessairement liée à celle qui provoque l'arrêt du tallage.

- Les facteurs de l'environnement susceptibles de perturber le système sont : les coupes, un déficit de pluviométrie, dont les rôles ont été étudiés, et vraisemblablement l'apport d'engrais, mais ceci reste à préciser.

Quatrième Partie :

ETUDE DES MASSES RACINAIRES SOUS PRAIRIES A *PANICUM MAXIMUM*

Les données bibliographiques sur les masses racinaires PRT que l'on peut trouver sous prairie en zone tropicale humide sont plus abondantes que celles concernant les rythmes d'émission des racines primaires (Introduction, §2.2.).

Mais ce sont surtout des données ponctuelles, qui ne permettent pas d'en déduire l'apport de matière organique au sol dans un intervalle de temps connu, comme le montre l'équation (1) (Introduction, §2.1.).

Deux essais ont donc été réalisés pour mesurer PRT de façon périodique dans l'année. Le premier par ordre chronologique, l'essai multilocal, a eu pour objet de mettre en évidence l'influence sur PRT de différents facteurs et conditions de l'environnement, en implantant les expériences en 3 points et en utilisant plusieurs modes de conduite des prairies. La fréquence des observations a été fixée à 3 par an.

L'examen des premiers résultats ayant montré que PRT variait apparemment peu en fonction du temps, un deuxième essai (RER 70) a alors été effectué à Adiopodoumé sur un seul type de prairie pour voir si des mesures plus rapprochées (une toutes les 2 semaines) permettaient de révéler des fluctuations. Ces mesures ont été faites sur le même dispositif que les premières études de rythme d'émission des racines primaires (3ème partie, § 1.1. et 1.2.1.) afin de pouvoir rapprocher les résultats et interpréter la dynamique racinaire observée.

Enfin, la méthode de détermination de PRT choisie ne permettant pas de distinguer racines vivantes et racines mortes (2ème partie, § 1.1. et 4.4.1.) il était important de montrer, par l'étude des gradients de masses racinaires, que, pour une plante et un milieu donné, le développement des racines et la répartition dans le sol qui en résulte se font non pas au hasard, mais de façon statistiquement prévisible afin d'acquiescer la certitude qu'à l'émission de nouvelles racines primaires correspond un accroissement de la masse racinaire dans l'ensemble du profil.

Comme dans la 3ème partie, et pour la même raison, la discussion de l'ensemble des résultats suit la description du dispositif et l'ex-

posé des résultats propres à chaque essai. Cette discussion aboutit à l'estimation des limites entre lesquelles le poids de racines décomposées dans un intervalle de temps, PRD, est susceptible de varier pour quelques types de prairies.

1. PROTOCOLES EXPERIMENTAUX ET RESULTATS.

1.1. Masses de racines sous une prairie exploitée régulièrement par fauches et fertilisée (essai RER 70).

Sous prairie en zone tempérée, les masses racinaires PRT évoluent à la fois de façon saisonnière et avec les années.

Dans l'année elles augmentent en général au cours du printemps et jusqu'au début de l'été puis rediminuent (Troughton, 1951 ; 1957 ; Garwood, 1967 a, 1967 b, 1968 ; Dahlman et Kucera, 1965 ; Bartos, 1972 ; Behaegue, 1974).

Au fil des années, la masse des racines augmente régulièrement pendant 5 à 8 ans puis se stabilise (Troughton, 1951 ; Garwood, Clement et Williams, 1972 ; Hédin, 1972).

En zone tropicale humide, on ne dispose que de peu de données sur ces questions.

L'objet de cet essai est d'étudier les fluctuations de PRT sur de brefs intervalles de temps dans les 2 premières années d'une prairie exploitée et fertilisée régulièrement.

1.1.1. Protocole expérimental.

Le dispositif expérimental de cet essai a déjà été décrit (3ème partie, § 1.1.1.) car il a été utilisé à la fois pour étudier le rythme d'émission des racines et l'évolution de leur masse.

Sur les 4 sous-parcelles tirées au hasard toutes les 2 semaines, en plus des comptages de catégories de racines, on a procédé aux observations suivantes :

- biomasses des parties aériennes ; le jour des coupes, biomasse totale et biomasse résiduelle après exportation de la fraction fauchée (mesure sur l'ensemble de la sous-parcelle) ;
- nombre de talles par plante (sur 6 touffes par sous-parcelle) ;
- profil racinaire (4 carottes par site et horizon regroupées).

L'analyse statistique des résultats a été faite comme précédemment (2ème partie, § 4.6. ; 3ème partie, § 1.1.1.).

Selon les paramètres, on dispose de 184 à 248 mesures, avec un facteur contrôlé, la date d'échantillonnage (46 à 62 niveaux) et 4 répétitions.

1.1.2. Résultats.

1.1.2.1. Développement des parties aériennes.

Ces résultats ont déjà fait l'objet d'une présentation partielle (Picard et Fillonneau, 1972).

L'analyse de variance effectuée sur le nombre total de talles, NTT, et sur le poids de matière sèche des parties aériennes par plante, PAP, montre qu'il y a des différences significatives entre les valeurs des paramètres selon les dates d'observations (tableaux 33 et 34).

	SCE	dl	F
Dates	5518	49	13,0**
Erreur	1295	150	

Tableau 33 : Analyse de variance pour le paramètre : nombre de talles par plante, NTT, (données transformées).

Pour les poids de matière sèche par plante, l'analyse porte sur 4 x 62 valeurs car on a considéré, à chaque fauche, à la fois le poids de matière sèche totale et le poids de matière sèche restant en place.

	SCE	dl	F
Dates	7558	61	30,88**
Erreur	746	186	

Tableau 34 : Analyse de variance pour le paramètre :
poids de matière sèche par plante, PAP (données transformées).

Les résultats du test N.K. pour ces 2 paramètres sont indiqués en annexe 1 et, de façon schématique, à la figure 29.

Nombre de talles par plante et poids de matière sèche par plante présentent 2 types de variation (Fig. 29).

- dans un même intercoupe, en fonction du temps écoulé depuis la fauche ;
- dans l'année, aux mêmes stades dans l'intercoupe.

1.1.2.1.1. Variations dans un intercoupe.

- Le nombre de talles, dans les 2 semaines qui suivent une coupe,
- soit augmente fortement : intercoupes 1, 3, 4, 6, 9, 12 ;
 - soit au contraire chute de façon marquée : intercoupes 2, 5, 7, 8, 10, 13.

Cette évolution n'est pas toujours statistiquement significative lorsqu'on compare les valeurs individuellement par le test N.K. Elle l'est lorsqu'on oppose globalement toutes les données lors des coupes à toutes celles 2 semaines après, par la méthode des contrastes, en distinguant les 2 cas.

Contraste testé : nombre de talles lors d'une coupe et 2 semaines après pour les intercoupes : 1, 3, 4, 6, 9, 11 et 12 (bien que, pour l'intercoupe 11, le nombre de talles reste constant dans cette période, on l'a rangé dans cette catégorie en raison de l'évolution du poids de matière sèche des plantes).

Coefficients :

- + 1 aux sommes par traitement le jour de la coupe ;
- 1 " " " " 15 jours après ;
- 0 aux autres.

Figure 29.

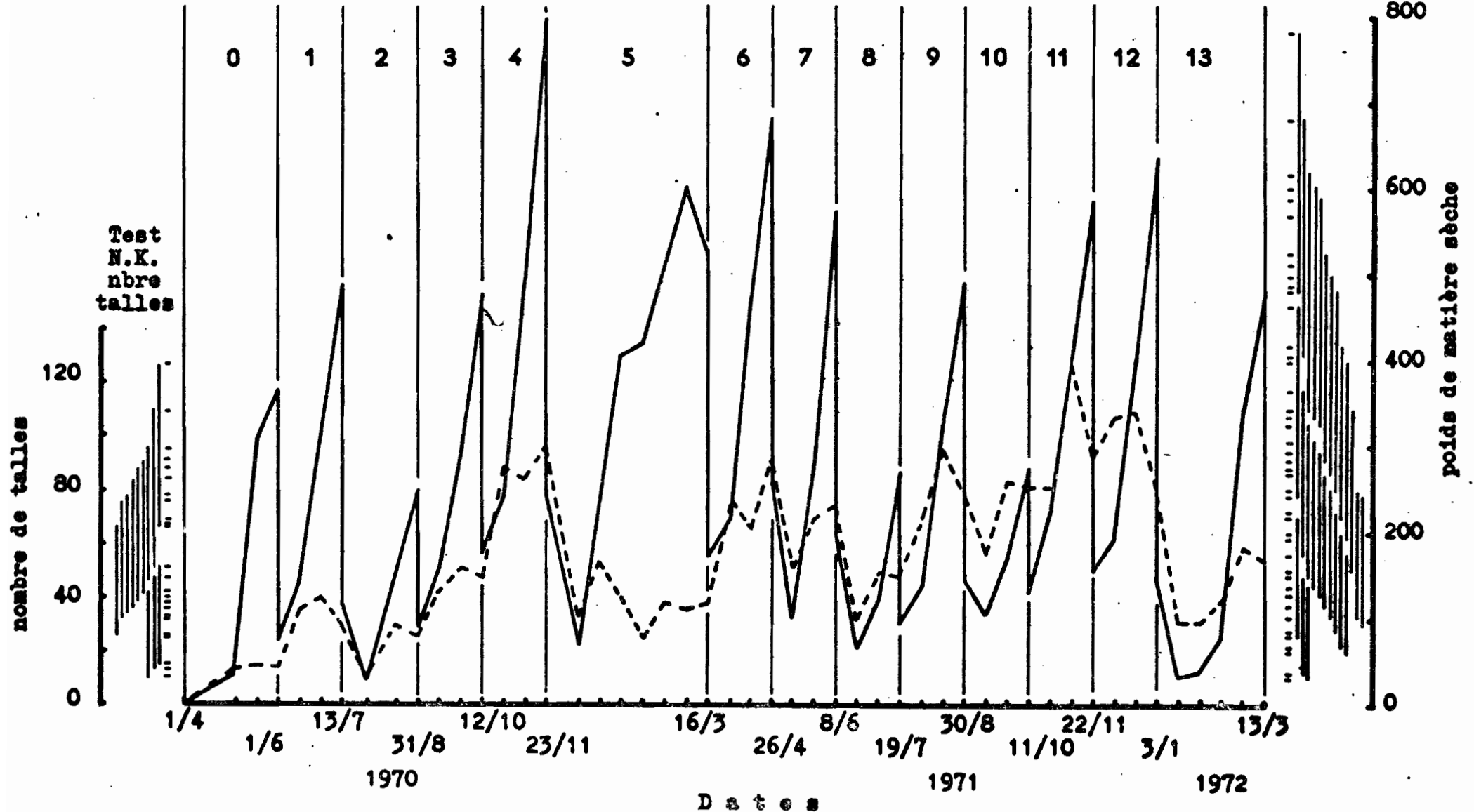
Evolution du nombre de talles et du poids de matière sèche par plante.

--- nombre de talles

— poids de matière sèche des parties aériennes

1 numéro d'intercoupe

Test
N.K.
M.S. g.m⁻²



SCE = 184,7 ; dl = 1 ; F = 21,4^{**}.

Contraste testé : nombre de talles lors d'une coupe et 2 semaines après pour les intercoupes : 2, 5, 7, 8, 10 et 13.

Coefficients : comme précédemment.

SCE = 272,6 ; dl = 1 ; F = 31,6^{**}.

Dans les 2 semaines suivantes, le nombre de talles augmente dans la plupart des cas, de façon plus ou moins marquée.

Enfin, durant les 2 dernières semaines, il a tendance à diminuer, mais faiblement et cette chute n'est statistiquement significative ni par le test N.K. ni par la méthode des contrastes.

Dans la première période de l'intercoupe, le poids de matière sèche des plantes suit une évolution tout à fait semblable à celle du nombre de talles par touffe : par rapport au poids de matière sèche résiduelle après les coupes, dans les intercoupes 1, 3, 4, 6, 9, 11 et 12, il augmente ; dans les intercoupes 2, 5, 7, 8, 10 et 13, il diminue.

Comme auparavant, le test N.K. ne permet pas de tester les différences de comportement. Par contre, la méthode des contrastes, effectuée dans les mêmes conditions, les révèlent.

Contraste testé : poids de matière sèche résiduelle par plante lors des coupes et poids de matière sèche par plante 2 semaines après, pour les intercoupes 1, 3, 4, 6, 9, 11 et 12.

SCE = 383,6 ; dl = 1 ; F = 95,7^{**}.

Contraste testé : le même pour les intercoupes 2, 5, 7, 8, 10 et 13.

SCE = 29,9 ; dl = 1 ; F = 7,4^{**}.

Durant le mois suivant, le poids de matière sèche augmente, quel que soit l'intercoupe considéré, augmentation statistiquement significative selon le test N.K.

1.1.2.1.2. Variations dans l'année.

La première année, le nombre de talles par pied croît fortement en saison des pluies, passant de 14 le 1er juin à 95 le 23 novembre, différence significative.

Après la coupe du 23 novembre, il chute de façon importante puis reste sensiblement constant jusqu'à la fin de la saison sèche.

Durant la 2ème année, il n'y a qu'au plus fort de la saison des pluies, lors du 8ème intercoupe, que le nombre de talles est, à stades comparables, significativement inférieur à celui aux autres intercoupes.

Enfin, pendant la 2ème grande saison sèche, il est de nouveau très bas entre la coupe du 3 janvier 1972 et la reprise des pluies, précoce cette année-là, en février.

Les poids de matière sèche obtenus aux 1ère, 3ème, 9ème et 11ème coupes sont significativement inférieurs aux autres. Ceci correspond :

- à la phase d'installation de la prairie dans le premier cas,
- à certains des intercoupes dans la première phase desquels les nombres des talles et les poids de matière sèche ont baissé, ensuite.

1.1.2.2. Evolution des masses racinaires, PRT.

1.1.2.2.1. Sur l'ensemble du profil.

Le poids de matière sèche des racines calculés sur l'ensemble du profil (Fig. 30) a atteint 14,0 mg pour 100 g de terre ($2,6 \text{ t.ha}^{-1}$) le 23 novembre 1971 et ne dépasse pas 19,5 mg pour 100 g de terre ($3,9 \text{ t.ha}^{-1}$). Comme les autres paramètres, il varie de façon marquée à la fois durant un intercoupe et durant l'année, à stades dans l'intercoupe équivalents.

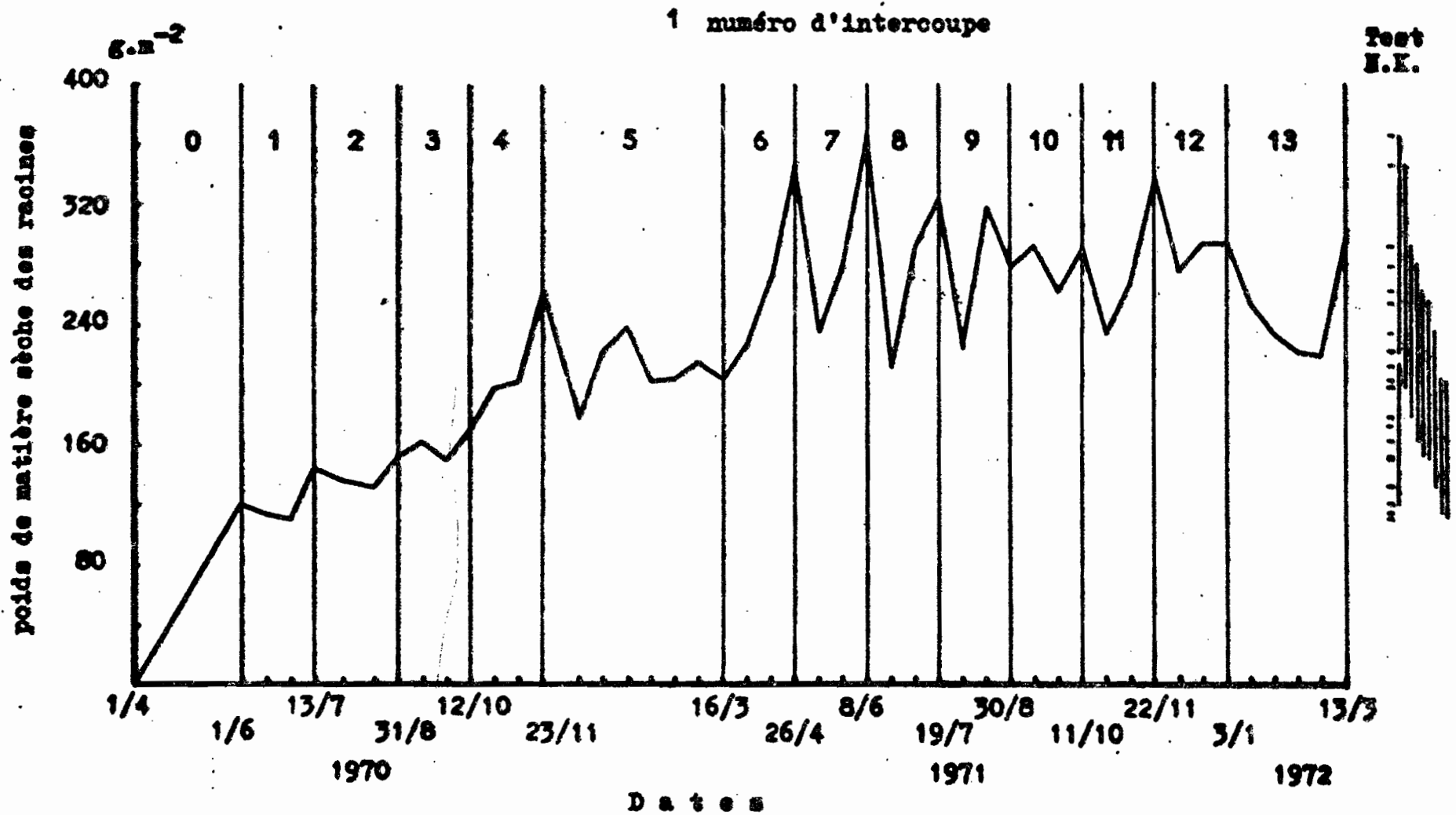
L'analyse de variance sur les données transformées est significative (tableau 35).

	SCE	dl	F
Dates	3,2473	45	9,1**
Erreur	1,0899	138	

Tableau 35 : Analyse de variance pour le paramètre :
Poids de matière sèche des racines PRT sur l'ensemble du profil,
exprimé en mg pour 100 g de terre.

Figure 30.

Evolution du poids de matière sèche des racines sur l'ensemble du profil.



Le test N.K. (annexe 1, fig. 30) permet de séparer un très petit nombre de groupes de moyennes seulement.

1.1.2.2.1.1. Variations dans un intercoupe.

La masse racinaire sur l'ensemble du profil chute dans les 2 premières semaines de l'intercoupe (intercoupes 1, 2, 5, 7, 8 et 9) ou augmente faiblement (intercoupes 3, 4, 6 et 10). La diminution du PRT peut se poursuivre dans les 2 semaines suivantes, mais uniquement en première année (intercoupes 1, 2 et 3) ou en saison sèche (intercoupes 5 et 13). Dans les 2 premières semaines, son importance est très variable, mais elle est en général beaucoup plus forte en 2ème qu'en 1ère année, surtout si l'on ne compare que les saisons des pluies.

Seule la différence enregistrée entre le 8 et le 21 juin 1971, dans le 8ème intercoupe, qui est de 8,2 mg pour 100 g de terre, soit $1,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, est statistiquement significative selon le test N.K..

La méthode des contrastes ne donne pas de réponse significative lorsqu'on oppose le poids de matière sèche des racines le jour des coupes à celui 15 jours après.

Coefficients :

- 1 aux sommes par traitement le jour de la coupe ;

+ 1 " " " " 15 jours après ;

0 aux autres.

SCE = 0,00800 ; dl = 1 ; F = 1,01 n.s.

Mais si l'on considère séparément les données des intercoupes 6 à 12 inclus, celles des saisons des pluies en 2ème année, et que l'on différencie l'effet stade dans l'intercoupe de l'effet intercoupe, selon le schéma :

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (22),$$

où : α_i est l'effet intercoupe,

β_j est l'effet stade dans l'intercoupe ;

$\alpha\beta_{ij}$ est l'interaction entre ces 2 effets principaux ;

on observe un effet hautement significatif du stade dans l'intercoupe (tableau 36). La valeur moyenne 2 semaines après une coupe est inférieure aux 2 autres, selon le test N.K.

	SCE	dl	F
Intercoûpe (1)	0,0147	6	0,40
Stade dans l'inter- coupe (2)	0,2024	2	16,6**
Interaction (1) x (2)	0,1149	12	1,57
Erreur	0,3841	63	
Test N.K. Stades dans l'intercoupe			
Moyennes	1	2	3
	1,105	1,175	1,223.

Tableau 36 : Analyse de variance pour le paramètre : Poids de matière sèche des racines sur l'ensemble du profil, pour les intercoupes 6 à 12, en distinguant l'effet : stade dans l'intercoupe.

1.1.2.2.1.2. Variations dans l'année.

Le poids de matière sèche des racines augmente régulièrement en première année, pendant les 2 saisons des pluies, atteignant déjà 6,4 mg pour 100 g de terre ($1,2 \text{ t.ha}^{-1}$) le 1er juin, 2 mois après l'implantation de la prairie, et 14,0 mg pour 100 g de terre ($2,6 \text{ t.ha}^{-1}$) le 23 novembre, valeur significativement supérieure à celle du 1er juin selon le test N.K.

En saison sèche, il se stabilise autour de 11,2 mg pour 100 g de terre, soit $2,1 \text{ t.ha}^{-1}$.

A partir du 16 mars 1971, il fluctue autour d'une moyenne, en fonction du rythme d'exploitation de la prairie, qui est de 14,9 mg pour 100 g de terre ($2,8 \text{ t.ha}^{-1}$) si on la calcule sur la période des saisons des pluies (du 16 mars 1971 au 3 janvier 1972) et de 14,6 mg pour 100 g de terre ($2,7 \text{ t.ha}^{-1}$) pour un cycle climatique complet.

La méthode des contrastes permet de montrer que les valeurs trouvées en 2ème année sont significativement supérieures à celles de 1ère année.

Contraste testé : poids de matière sèche des racines en 1ère année et en 2ème année.

Coefficients :

+ $\frac{1}{16}$ aux 20 données mesurées entre le 1er juin 1970 et le 16 mars 1971 ;

- $\frac{1}{26}$ aux 26 données mesurées entre le 31 mars 1971 et le 13 mars 1972.

SCE = 0,7879 ; dl = 1 ; F = 61**.

1.1.2.2.2. Selon les horizons.

1.1.2.2.2.1. Horizon 0-10 cm.

Le pourcentage de racines dans 0-10 cm est d'environ 66 % sur le 1er cycle climatique et de 56 % sur le deuxième (Fig. 31)..

Augmentant jusqu'au 13 juillet 1970, relativement constant ensuite, jusqu'à la fin des pluies, il baisse en saison sèche et tout au début de la grande saison des pluies 1971. De nouveau relativement constant entre avril 1971 et janvier 1972, il semble rediminuer durant la saison sèche de janvier-février 1972.

Les variations de masse dans 0-10 cm sont tout-à-fait parallèles à celles sur l'ensemble du profil (Fig. 32).

L'analyse de variance sur les données transformées en logarithmes indique que les différences observées sont significatives (tableau 37).

	SCE	dl	F
Dates	2,5250	45	4,3**
Erreur	1,8005	138	

Tableau 37 : Analyse de variance pour le paramètre :
Poids de matière sèche moyen des racines dans l'horizon 0-10 cm,
en mg pour 100 g de terre.

Mais la part de variance expliquée est faible et le test N.K. (annexe 1, Fig. 32) ne donne que peu d'information.

On retrouve les mêmes variations au sein des intercoupes et sur l'ensemble des 2 cycles saisonniers que dans le cas précédent.

Cependant, la valeur atteinte le 23 novembre 1970, 117 mg pour 100 g de terre, est légèrement supérieure à la moyenne autour de laquelle oscillent les valeurs en 1971, 106 mg pour 100 g de terre entre le 16 mars 1971 et le 1er janvier 1972, ou 102 mg pour 100 g de terre sur l'année.

Les quantités de racines dans 0-10 cm dépendent en fait énormément du site de prélèvement. Il y a en moyenne 4 fois plus de racines par unité de poids de terre sous les touffes qu'entre 4 touffes, et un peu plus entre 2 touffes sur une ligne qu'entre 4 touffes.

L'analyse statistique effectuée sur l'ensemble des sites confirme que les différences sont très hautement significatives (tableau 38).

	SCE	dl	F
Dates	12,0997	45	14,6**
Sites	51,0906	2	1390**
Dates x Sites	3,9433	90	2,4**
Erreur	7,6056	414	

Tableau 38 : Analyse de variance pour le paramètre : Poids de matière sèche des racines dans l'horizon 0-10 cm en fonction des sites de prélèvement.

Les variations au sein des intercoupes sont identiques pour les 3 sites de prélèvement : le poids de racines par 100 g de terre décroît dans les 15 jours qui suivent une coupe, réaugmente ensuite.

Par contre, les évolutions sur l'année apparaissent légèrement différentes : sous les touffes, la quantité de racines atteint un maximum dès la 1ère année et a plutôt tendance à diminuer du début à la fin de la 2ème année, alors que, entre les touffes, elle est plus élevée en 2ème qu'en 1ère année.

Le test des contrastes permet de montrer que, pour le site 3, les valeurs de 2ème année ne sont pas significativement supérieures à celles de 1ère année, alors que pour les sites 1 et 2, elles le sont.

Contraste testé : valeurs sous les touffes (site 3) en 1ère et 2ème année.

Figure 31.

Pourcentage de racines dans les horizons 0-10 et 0-25 cm
par rapport à 0-125 cm.

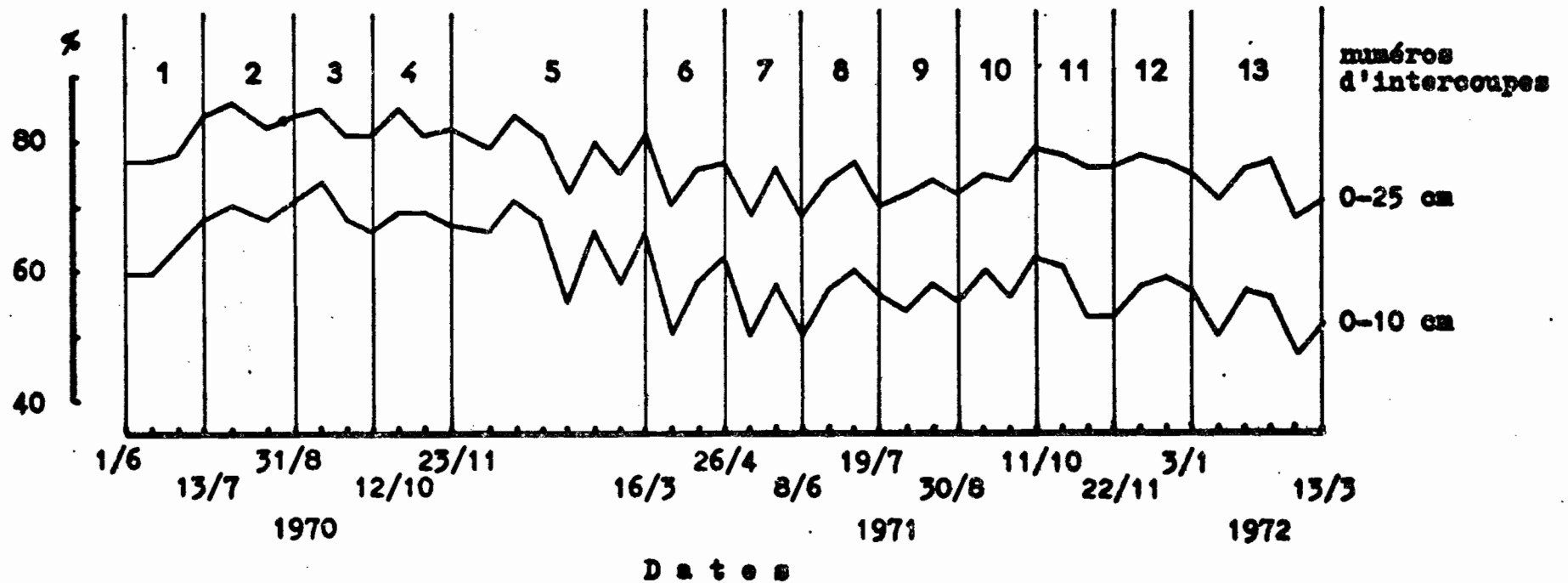
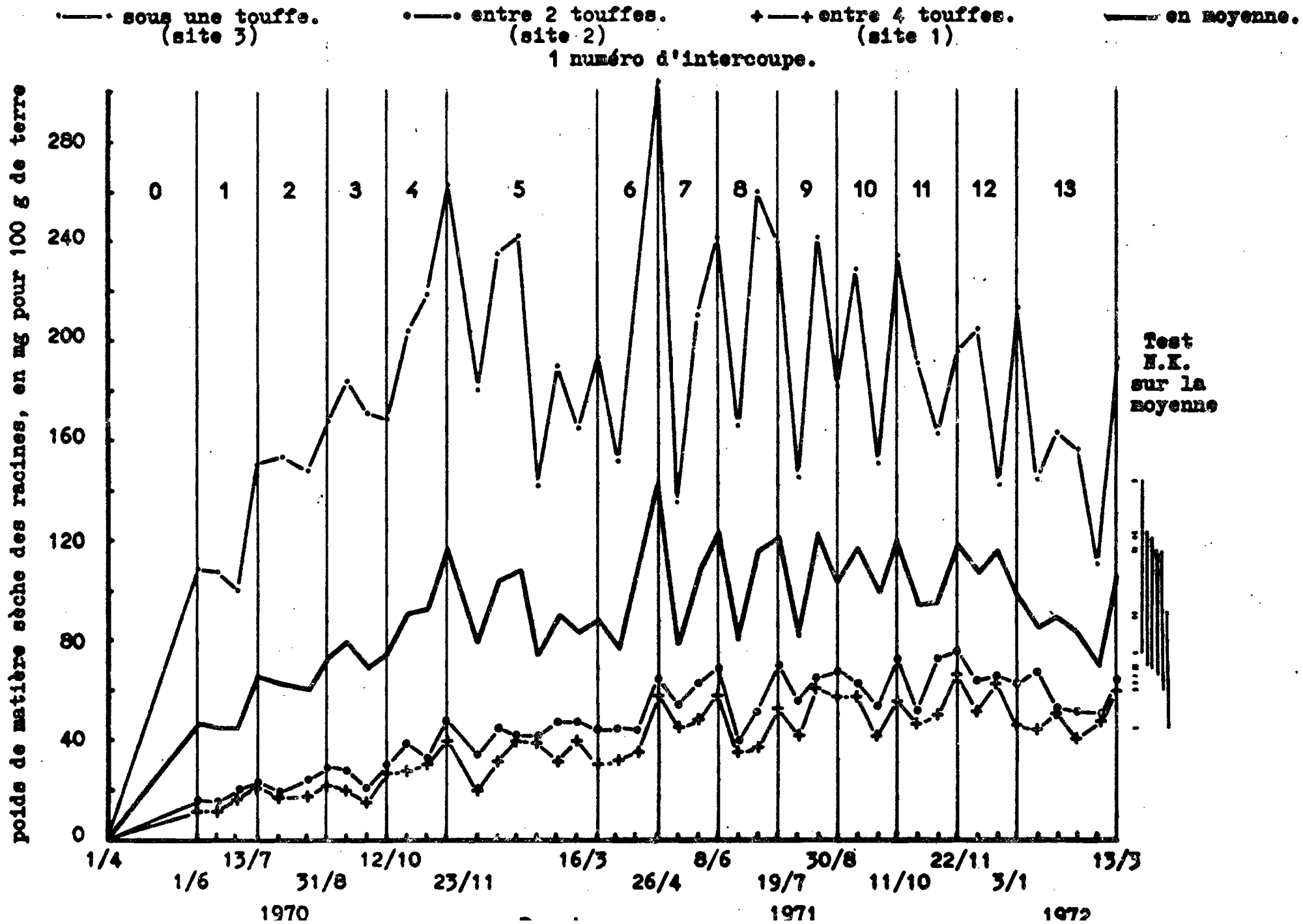


Figure 32.

Evolution du poids de matière sèche des racines dans l'horizon 0-10 cm.



Coefficients affectés :

+ $\frac{1}{20}$ aux 20 données mesurées entre le 1er juin 1970 et le 16 mars 1971 ;

- $\frac{1}{26}$ aux 26 données mesurées entre le 31 mars 1971 et le 13 mars 1972.

SCE = 0,0450 ; dl = 1 ; F = 2,45 n.s.

Contraste testé : valeurs entre les touffes (sites 1 et 2) en 1ère et 2ème année.

Coefficients :

Les mêmes mais sur 40 et 52 valeurs au lieu de 20 et 26.

SCE = 7,9847 ; dl = 1 ; F = 434**.

La même analyse, effectuée sur le poids moyen de racines dans l'horizon, montre que les valeurs en 2ème année sont plus élevées que celles en 1ère année.

Contraste testé : valeurs moyennes (sites 1, 2 et 3) en 1ère et 2ème année.

Coefficients :

Les mêmes que précédemment.

SCE = 0,7879 ; dl : 1 ; F = 61**.

1.1.2.2.2.2. Horizon 10-25 cm.

Le pourcentage de racines sur l'ensemble 0-25 cm est en moyenne de 81 % la 1ère année, de 74 % la 2ème (Fig. 31).

Il varie exactement comme le pourcentage dans 0-10 cm jusqu'au milieu de la 2ème année mais, à partir du 13 juillet, il réaugmente légèrement et rediminue plus lentement en saison sèche ; l'écart entre les 2 pourcentages est alors plus faible : 7 % en 2ème, contre 10 % en 1ère année.

Les quantités de racines dans l'horizon 10-25 cm représentent donc 15 à 18 % du total sur 0-1,20 m.

L'analyse de variance sur les données transformées en logarithme (tableau 39) indique que les fluctuations observées (Fig. 33) sont significatives.

	SCE	dl	F
Dates	5,3396	45	9,7**
Erreur	1,6829	138	

Tableau 39 : Analyse de variance pour le paramètre :
Poids de matière sèche des racines dans l'horizon 10-25 cm,
en mg pour 100 g de terre.

Les 2 groupes extrêmes de moyennes séparés par le test N.K. (valeurs les plus faibles - valeurs les plus fortes) correspondent aux données de 1ère année d'une part, de 2ème année d'autre part, (Fig. 33) (Annexe 1).

L'étude des contrastes permet de confirmer que les valeurs de 2ème année sont plus fortes que celles de 1ère année.

Contraste testé : valeurs moyennes en 1ère et 2ème année.

Coefficients :

+ $\frac{1}{20}$ aux 20 données de 1ère année ;

+ $\frac{1}{26}$ aux 26 données en 2ème année.

SCE = 4,0675 ; dl = 1 ; F = 336 **.

Le développement racinaire dans l'horizon est particulièrement important durant les mois d'avril et mai, aussi bien en 1970, lors de l'implantation, qu'en 1971.

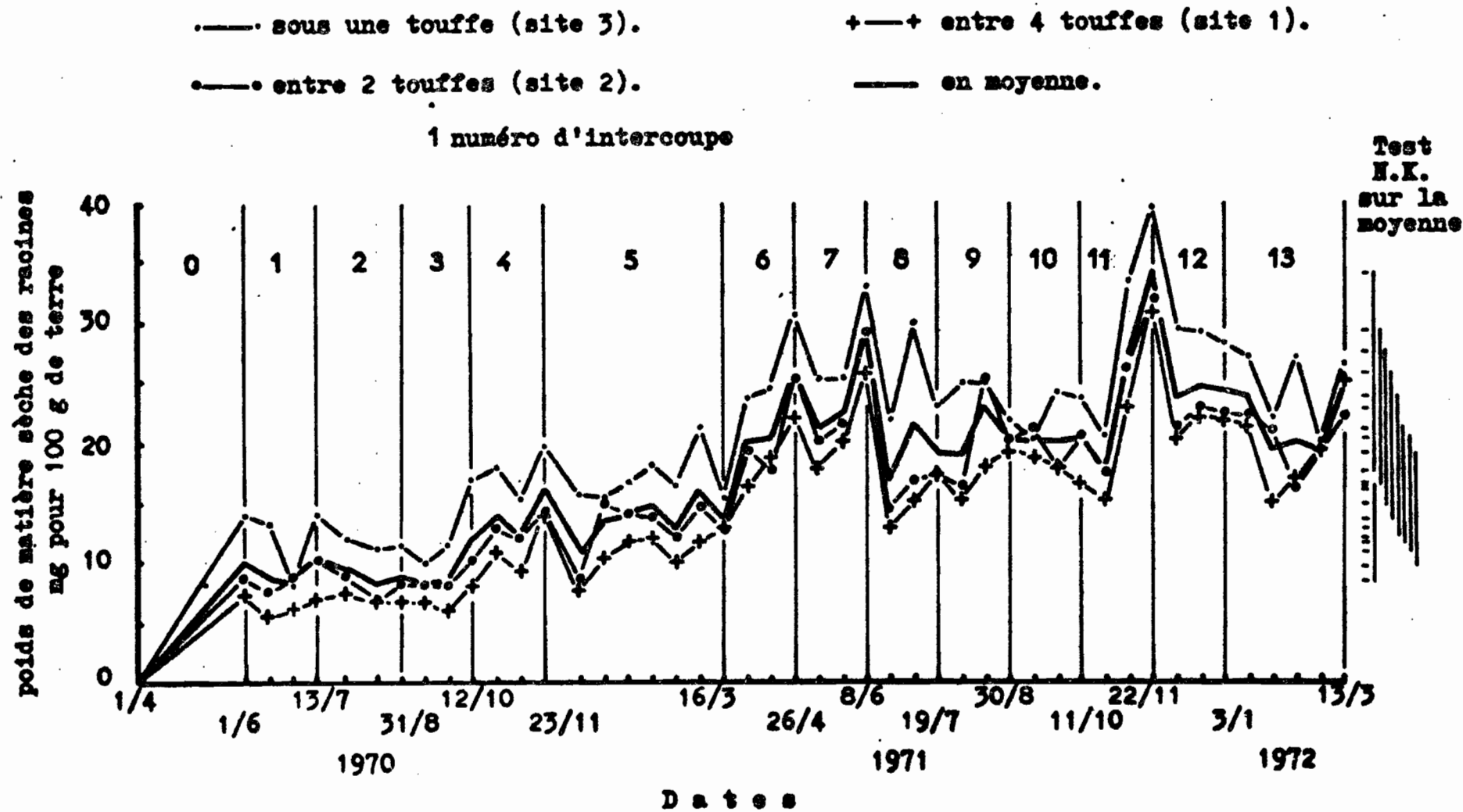
Aucune des variations enregistrées au sein d'un même intercoupe n'est significative, selon les 2 tests, N.K. ou méthode des contrastes.

Les différences entre sites de prélèvement sont nettes, mais beaucoup moins accentuées que dans l'horizon 0-10 cm.

De plus, les concentrations racinaires selon les sites évoluent parallèlement, contrairement à ce qui se passait dans 0-10 cm.

Figure 33.

Evolution du poids de matière sèche des racines dans l'horizon 10-25 cm.



1.1.2.2.3. Horizons sous-jacents.

Les concentrations en racines, qui décroissent très rapidement au début, lorsque la distance du point de prélèvement au plateau de tallage augmente, diminuent ensuite plus lentement.

Les quantités de racines entre 25 et 125 cm correspondent à 19 à 26 % du total.

Les différences entre poids de matière sèche dans 45-65 cm et 65-85 cm d'une part, 85-105 cm et 105-125 cm d'autre part, sont peu marquées. Elles ont donc été regroupées pour l'analyse statistique (Fig. 34).

Dans les 3 horizons finalement distingués, 25-45 cm, 45-85 cm, 85-125 cm, les différences observées entre dates sont significatives (tableau 40) et la méthode des contrastes permet de montrer que les quantités de racines la 2ème année sont plus élevées que celles de la 1ère année.

Horizon		SCE	dl	F
25- 45 cm	Dates	8,9167	45	8,17**
	Erreur	3,3458	138	
45- 85 cm	Dates	4,6559	45	8,68**
	Erreur	1,6454	138	
85-125 cm	Dates	2,7583	45	3,94**
	Erreur	2,1484	138	

Tableau 40 : Analyse de variance pour le paramètre :

Poids de matière sèche des racines, exprimé en mg pour 100 g de terre, pour les horizons 25-45 cm, 45-85 cm, 85-125 cm.

Contrastes testés : valeurs des 1ère et 2ème année.

Coefficients : comme pour les horizons 0-10 et 10-25 cm.

Horizon 25- 45 cm : SCE = 6,8573 ; dl = 1 ; F = 283**.
 Horizon 45- 85 cm : SCE = 2,7304 ; dl = 1 ; F = 229**.
 Horizon 85-125 cm : SCE = 0,9039 ; dl = 1 ; F = 58**.

Comme dans 10-25 cm et plus particulièrement pour 25-45 cm, la période de fort développement de l'enracinement paraît être celle des 2 mois d'avril et mai.

Les variations au sein d'un intercoupe ne sont pas statistiquement décelables par les tests de N.K. et des contrastes. Elles sont analogues à celles observées dans les premiers horizons : la masse de racines a tendance à diminuer dans les 14 premiers jours qui suivent une fauche, puis à réaugmenter. L'exception la plus nette est l'intercoupe 6, du 16 mars au 26 avril 1971, au cours duquel le poids de matière sèche des racines croît fortement dès le début.

1.1.2.3. Liaisons entre le développement des parties aériennes et celui des racines.

Dans les 2 premières semaines.

Les résultats (Fig. 29 et 30) montrent que, dans les 2 premières semaines des intercoupes 2, 5, 7, 8, 10 et 13 durant lesquelles le nombre de talles baisse fortement, simultanément, la masse de racines PRT_i diminue aussi beaucoup. Sur les autres intercoupes la masse de racines reste apparemment constante ou diminue de façon moins marquée.

Pour mettre en évidence une éventuelle liaison entre l'évolution du nombre des talles NTT_i et celle de PRT_i durant cette période, on a calculé pour chaque intercoupe :

- la variation du nombre de talles durant les 2 premières semaines après une coupe en pourcentage du nombre de talles lors de la coupe, P_t , affectée du signe + s'il y a augmentation, du signe - s'il y a diminution :

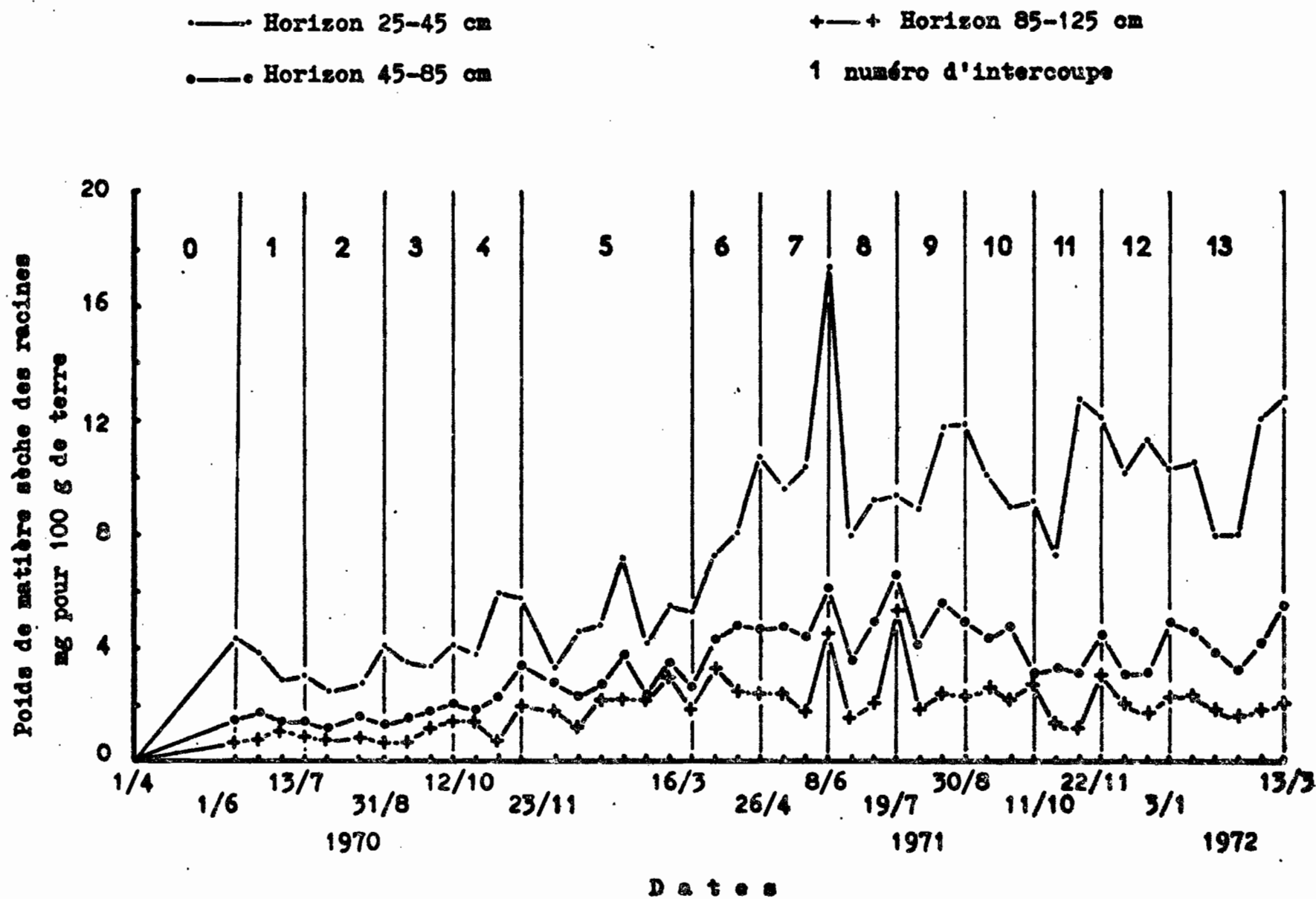
$$P_t = 100. \frac{NTT_{i,14} - NTT_{i,0}}{NTT_{i,0}} \quad (23),$$

- la variation de masse racinaire durant les 2 premières semaines après une coupe, en pourcentage de la masse racinaire lors de la coupe, P_r , affectée également du signe + ou - :

$$P_r = 100. \frac{PRT_{i,14} - PRT_{i,0}}{PRT_{i,0}} \quad (24).$$

Figure 34.

Evolution du poids de matière sèche des racines dans les horizons 25-45 cm ; 45-85 cm ; 85-125 cm.



Si l'on élimine les résultats des intercoupes 1 et 2, ce qui sera justifié ultérieurement (§2.2.1.), on constate qu'il y a une corrélation étroite entre les 2 séries de données (Fig. 35).

La corrélation calculée est de :

$$r = 0,70^* \quad (9 \text{ dl}).$$

L'équation de la droite de régression est :

$$P_r = 0,23 P_t - 14,8 \quad (25).$$

Les résultats (Fig. 29) montrent sans qu'il y ait besoin de calcul, que le nombre de talles et la biomasse des touffes évoluent rigoureusement parallèlement durant cette même période. Mais le poids de biomasse résiduelle des touffes lors des coupes dépend de la hauteur de coupe, alors que le nombre de talles n'en dépend pas, c'est pourquoi la corrélation a été établie à partir de P_t .

Durant le mois suivant.

Durant le dernier mois de l'intercoupe, masse racinaire et masse aérienne augmentent simultanément.

L'augmentation du poids de matière sèche des parties aériennes, ΔPAP_i , est proportionnelle à celle du poids de matière sèche des racines ΔPRT_i , calculée comme étant la différence entre la valeur la plus élevée et la valeur la plus faible dans l'intercoupe lorsque cette augmentation est continue, ou comme la somme cumulée de ces différences lorsqu'elle est discontinue (intercoupe 3, 5 et 10), sauf pour l'intercoupe 12 (Fig. 36).

$$r = 0,58^* \quad (10 \text{ dl}) ;$$

$$\Delta PAP_i = 1,92 \cdot \Delta PRT_i + 2,46.$$

Par ailleurs, la corrélation est très améliorée si l'on ne tient pas compte non plus de l'intercoupe 8 :

$$r = 0,75^{**} \quad (9 \text{ dl}) ;$$

$$\Delta PAP_i = 2,39 \cdot \Delta PRT_i + 2,30 \quad (26).$$

Etant donné l'importance des coefficients de variation obtenus dans les déterminations de masses racinaires, il est peut être hasardeux de chercher une interprétation autre à l'évolution différente lors de ces 2 intercoupes.

Dans l'un, le 12, la croissance des racines est faible par rapport à celle des parties aériennes. La sécheresse s'étant fait sentir en fin d'intercoupe, il est possible qu'elle ait eu des répercussions plus fortes sur le développement des racines que sur celui des parties aériennes. La croissance des racines s'arrête lorsque le sol se dessèche (3ème partie, § 2.1.1.1.1.). Or la plupart d'entre elles sont dans l'horizon superficiel. Par contre, l'alimentation en eau à partir des horizons profonds a pu être suffisante pour permettre une croissance relativement plus forte des parties aériennes.

Dans l'intercoupe 8 au contraire, la croissance des tiges et feuilles est proportionnellement faible. Or les conditions climatiques sont à l'inverse des précédentes : l'humidité du sol est certainement proche de la saturation, par contre l'insolation est facteur limitant, la photosynthèse ralentie amène une limitation de développement aérien.

Il y a également corrélation entre la masse des racines et celle des parties aériennes le jour des coupes mais uniquement en 1ère année (le calcul a été fait sur les 4 x 6 données des coupes 0 à 6, mais la figure 37, pour plus de clarté a été établie sur les valeurs moyennes) :

$$r = 0,61^{**} \quad (22 \text{ dl}) ;$$

$$PAP_{1,0} = 2,00 \text{ PRT}_{1,0} + 129 \quad (27).$$

La corrélation n'existe plus en 2ème année :

$$r = 0,12 \quad \text{n.s.} \quad (30 \text{ dl}) .$$

L'examen du nuage de points obtenu graphiquement (Fig. 37) montre qu'en fait les valeurs en 2ème année se regroupent apparemment en 2 ensembles, l'un correspondant aux intercoupes où le nombre de talles et le poids de matière sèche des parties aériennes chutent dans les 2 premières semaines (intercoupes 7, 8, 10 et 13), l'autre à ceux où ces paramètres augmentent durant la même période (intercoupes 6, 9, 11 et 12). Le nombre de données disponibles dans chaque cas est cependant insuffisant pour poursuivre l'interprétation.

Figure 35.

Corrélation entre la variation du nombre de talles durant les 2 premières semaines d'un intercoupe, comptée algébriquement en pourcentage du nombre de talles lors de la coupe et la variation de biomasse racinaire durant la même période, exprimée pareillement.

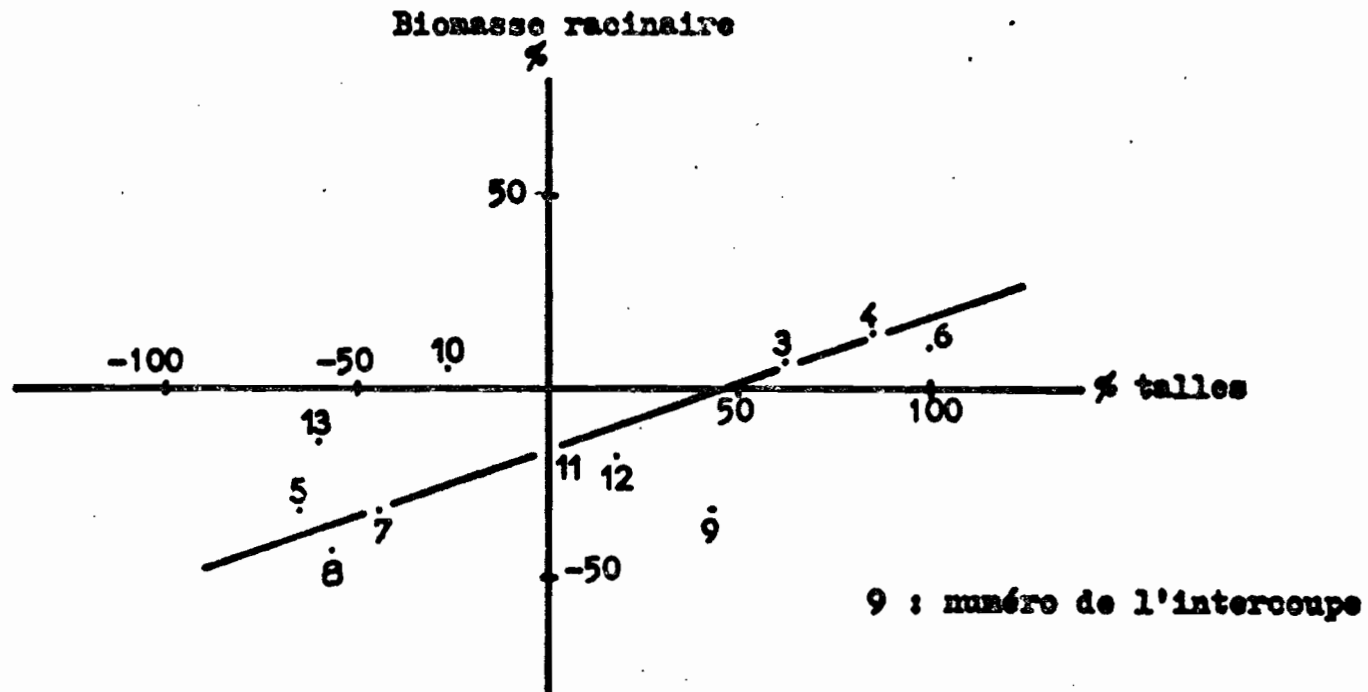
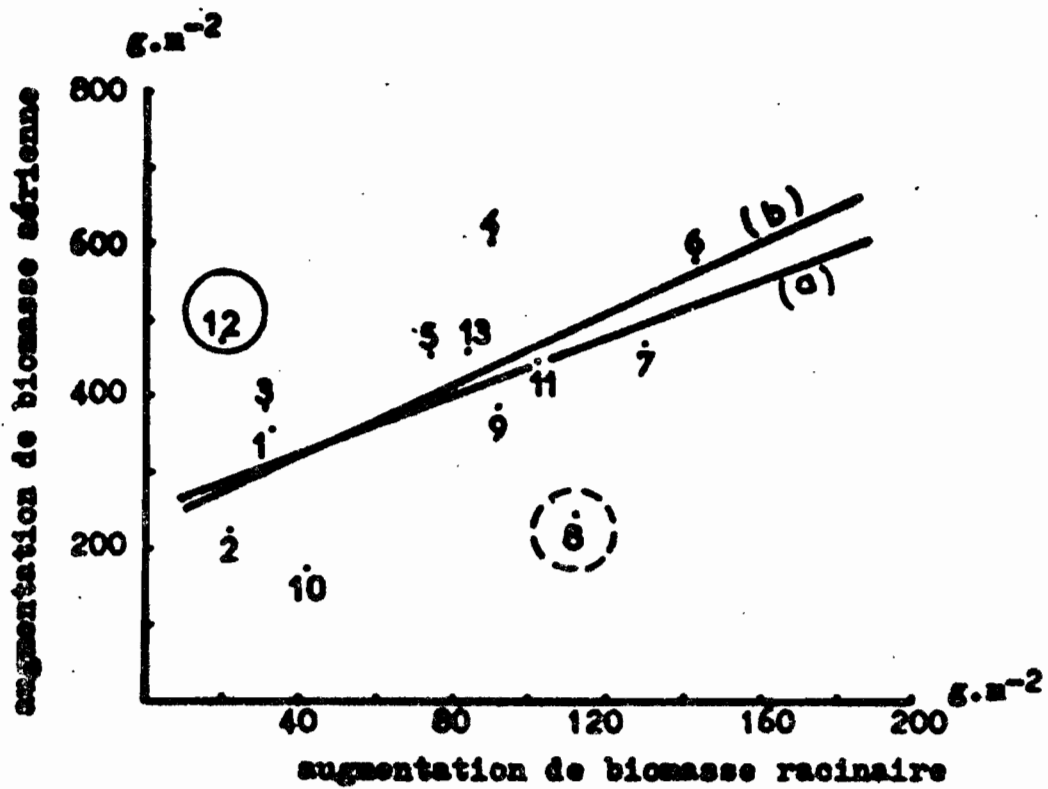


Figure 36.

Corrélation entre les augmentations de biomasse aérienne et racinaire dans un intercoupe.



2 : numéro d'intercoupe

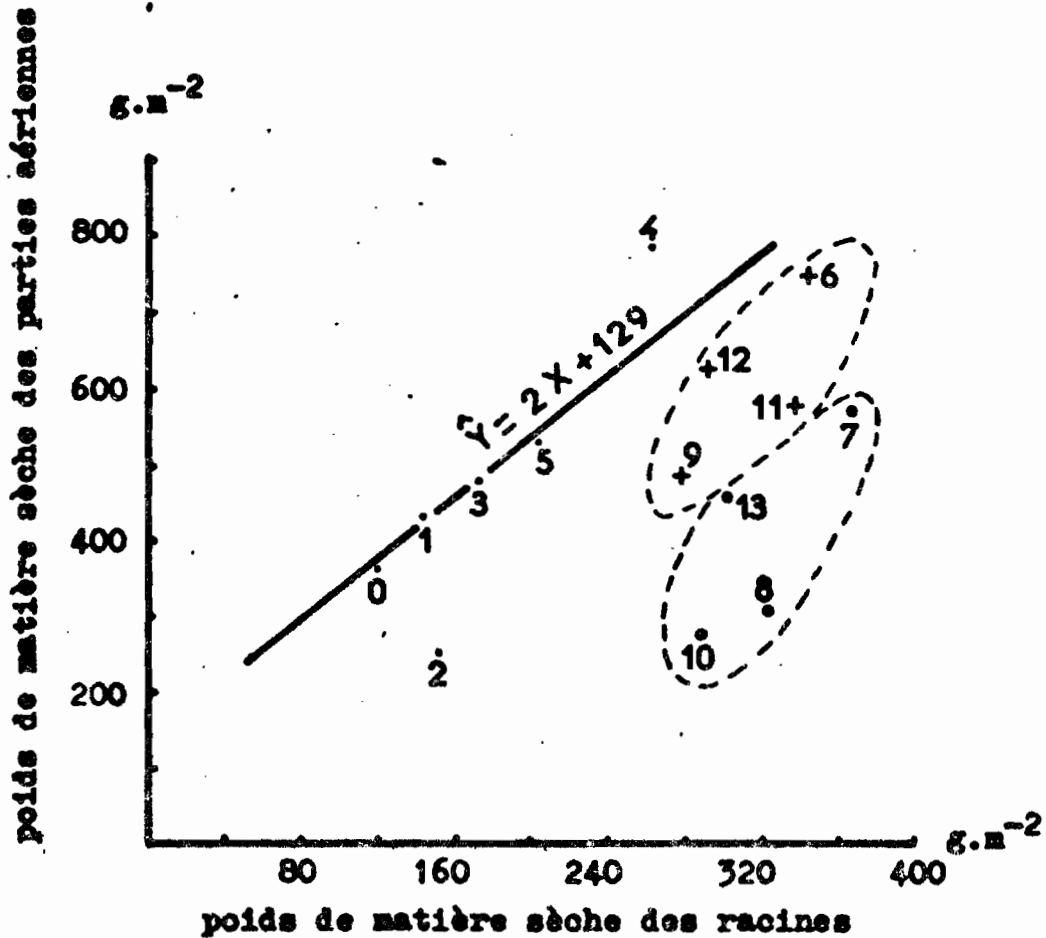
12 : valeur exclue

(a) $\hat{Y} = 1,92 X + 2,46$ (point 8 inclus)

(b) $\hat{Y} = 2,39 X + 2,50$ (point 8 exclus)

Figure 37.

Corrélation entre les biomasses des parties aériennes et des racines lors des coupes.



- .1 : intercoupes de 1ere année.
- .7 : intercoupes de 2e année, durant lesquels la biomasse aérienne baisse dans les 2 premières semaines.
- +6 : intercoupes de 2e année, durant lesquels la biomasse aérienne augmente dans les 2 premières semaines.

1.1.3. Conclusions préliminaires.

Pour une prairie à *Panicum maximum* "Adiopodoumé" régulièrement exploitée toutes les 6 semaines et fertilisée après chaque coupe, la quantité de racines sur 1,25 m de profondeur, PRT, augmente progressivement jusqu'à $2,8 \text{ t.ha}^{-1}$ dans l'année de son installation.

Le fait de faucher provoque l'arrêt de développement des racines dans les 2 premières semaines qui suivent la coupe.

En 2ème année, PRT oscille entre $2,1$ et $3,7 \text{ t.ha}^{-1}$ sur 0-1,25 m. Les oscillations sont directement liées au rythme d'exploitation : dans les 2 premières semaines après une coupe, PRT baisse fortement ; dans les 4 semaines suivantes, il réaugmente et passe par des maxima relatifs lors de chaque coupe.

La quantité de racines dans chaque horizon décroît rapidement avec la profondeur.

Le pourcentage de racines dans l'horizon 0-10 cm diminue dans l'année d'implantation de la prairie, principalement durant la saison sèche, et en début de 2ème année, passant, en moyenne, de 66 % à 56 %. Dans ce même horizon, les masses racinaires sont beaucoup plus fortes sous les touffes qu'entre les touffes.

On retrouve ces gradients dans l'horizon 10-25 cm.

Les oscillations de PRT en fonction du rythme d'exploitation de la prairie sont particulièrement nettes dans l'horizon 0-10 cm à chaque site de prélèvement. Elles sont de plus en plus difficiles à mettre en évidence dans les horizons sous-jacents.

1.2. Influence du milieu, du rythme de coupe et de la fertilisation sur les masses de racines dans le sol, PRT (essais B multiloaux).

Les résultats précédents ont été obtenus pour une prairie régulièrement exploitée et fertilisée à Adiopodoumé.

L'objet de ces essais est de voir, en 3 points d'expérimentation représentatifs de la Côte d'Ivoire forestière et pré-forestière (régime climatique à 4 saisons ; 2ème partie, § 5.1.), l'influence de différents modes de conduite de la prairie sur les masses racinaires lors des coupes.

A coté du mode de conduite intensif déjà analysé (exploitation régulière, fertilisation forte) un 2ème traitement vise à simuler un mode de conduite s'apparentant à celui de la jachère, ceci en raison du grand nombre de travaux effectués ailleurs pour connaître le rôle des soles fourragères assimilées à des jachères dans une rotation (Introduction, § 1) : la prairie n'est exploitée que 3 fois par an, afin de pouvoir procéder aux prélèvements d'échantillons, et fertilisée de façon à compenser les exportations d'éléments minéraux lors des coupes.

Les 2 autres traitements représentent des modes de conduite de degré d'intensité intermédiaire en ces 2 extrêmes.

Les 3 points d'essai sont :

- Adiopodoumé, entre le 13 novembre 1967 et le 12 avril 1972 ;
- Gagnoa, entre le 12 septembre 1967 et le 3 mars 1971 ;
- Bouaké, entre le 16 mai 1968 et le 24 mars 1971.

Le même protocole expérimental a été utilisé pour les trois stations.

Les résultats exposés ici concernant uniquement ceux obtenus pour *Panicum maximum*, qui n'est en fait qu'une des 4 plantes étudiées. Les autres résultats feront l'objet de présentations ultérieures (Introduction, § 1.).

1.2.1. Protocole expérimental.

Le protocole expérimental de l'ensemble du programme a été présenté de façon détaillée par ailleurs (ANONYME, 1967, 1968, 1969).

Seuls sont rappelés ici les éléments indispensables à la compréhension de la suite.

Le dispositif expérimental est un essai factoriel 2^4 à 2 répétitions :

{ graminée	{ port en touffe	{ fertilisé	{ fauché régulièrement
{	- {	- {	- {
{ légumineuse	{ port rampant	{ non fertilisé	{ fauché 3 fois par an.

Les combinaisons des traitements de fauche et de fertilisation sont désignées ainsi :

	Fauche 3 fois par an	Fauche régulière
Fertilisation nulle	L O	N O
Fertilisation au niveau des exportations	L F	N F

Les figures 38, 39 et 40 résument les dates de coupe et les fumures apportées, pour *Panicum maximum*, respectivement sur les 3 stations d'Adiopodoumé, Gagnoa et Bouaké.

Trois fois par an, après les fauches communes à tous les traitements, on a procédé au relevé des profils racinaires.

Les résultats montrant qu'il y a peu de différence entre les mesures effectuées sur les échantillons prélevés entre 2 touffes et ceux prélevés entre 4 touffes, ces 2 valeurs ont été confondues dans la présentation des données.

1.2.2. Résultats.

1.2.2.1. Station d'Adiopodoumé (Basse Côte d'Ivoire).

La mise en place des parcelles, début novembre 1968, s'est faite après une petite saison sèche particulièrement marquée, le mois d'octobre ayant été exceptionnellement sec. Les besoins en eau des plantes à ce stade étant réduits (sauf lors du repiquage des boutures), les conséquences de cette sécheresse ont été peu importantes. En 1968, à l'opposé, il n'y a pas eu de saison sèche en août et seuls les mois de janvier, mars et avril ont été nettement déficitaires en eau. Les années suivantes, par contre, ont été plus sèches que la normale : 6 mois déficitaires en 1969, 7 en 1970 et 9 en 1971. La grande saison sèche qui précède la fin de l'essai, en 1971-72 est particulièrement marquée, la 2ème saison des pluies en 1971 se réduisant au mois de novembre (Fig. 7).

Les résultats concernant les productions en matière sèche des parties aériennes seront l'objet d'interprétations ultérieures (Introduction, § 1). Ils ont été résumés (Fig. 41) afin de pouvoir comprendre ceux sur les profils racinaires.

Lorsque la prairie n'est pas fertilisée, sa production décroît très vite, ceci d'autant plus que le rythme d'exploitation est rapide. Au contraire, si la prairie est fertilisée, sa production se maintient durant les 4 années de l'essai et ceci d'autant mieux que le rythme d'exploitation est plus rapide.

L'étude de l'évolution des masses racinaires sur l'ensemble du profil pendant les 4 années de l'essai est, à Adiopodoumé, difficilement dissociable de celle des effets des traitements.

On peut distinguer 3 périodes dans cette évolution.

Pendant les 6 premiers mois, il y a accroissement de PRT très rapide sur tous les traitements et l'on atteint, début avril 1968, entre 11,1 et 11,6 mg de racines pour 100 g de terre sur LO, LF et NF, soit environ 2,1 t.ha⁻¹ et 16,1 mg pour 100 g de terre pour NO, soit 3 t.ha⁻¹(*) (Fig. 42).

Ensuite et jusqu'en décembre 1970, PRT évolue différemment selon le traitement rythme de fauche. Sous les parcelles LO et LF, en effet, PRT continue à augmenter jusqu'en avril (LF) ou août (LO) puis diminue faiblement pour LO; de façon plus marquée pour LF. Par contre, pour NO et NF, PRT baisse fortement entre avril et août 1968 (surtout pour NO), puis remonte, mais très lentement jusqu'en décembre 1970.

Durant cette période, l'effet de la fertilisation est peu marqué sur NO et NF, beaucoup plus net sur LO et LF, l'apport d'engrais ayant un effet dépressif sur le développement racinaire. Le relèvement des doses à partir d'avril 1969 (Fig. 38) s'est fait nettement sentir dans les 4 mois suivants.

Enfin, entre décembre 1970 et la fin de l'essai, c'est l'action de la fumure minérale qui devient dominante : alors que, pour LO et NO, les quantités de racines diminuent légèrement durant cette période, pour LF et NF, elles réaugmentent ou continuent d'augmenter.

En conséquence, les valeurs les plus élevées de PRT sont obtenues dès avril 1968 pour NO, en mars ou août 1969 pour LO et LF (respectivement 19,0 et 17,7 mg pour 100 g de terre, soit 3,3 et 3,5 t.ha⁻¹) et en fin d'essai pour NF. A cette dernière date, pour les différents traitements, PRT est de :

(*) Valeur sans doute un peu forte, le poids de racines mesuré dans 0-10 cm sous les touffes paraissant surévalué sur l'une des répétitions.

RYTHME DE COUPE ECHELLE DE TEMPS FERTILISATION (Kg. Ha⁻¹)

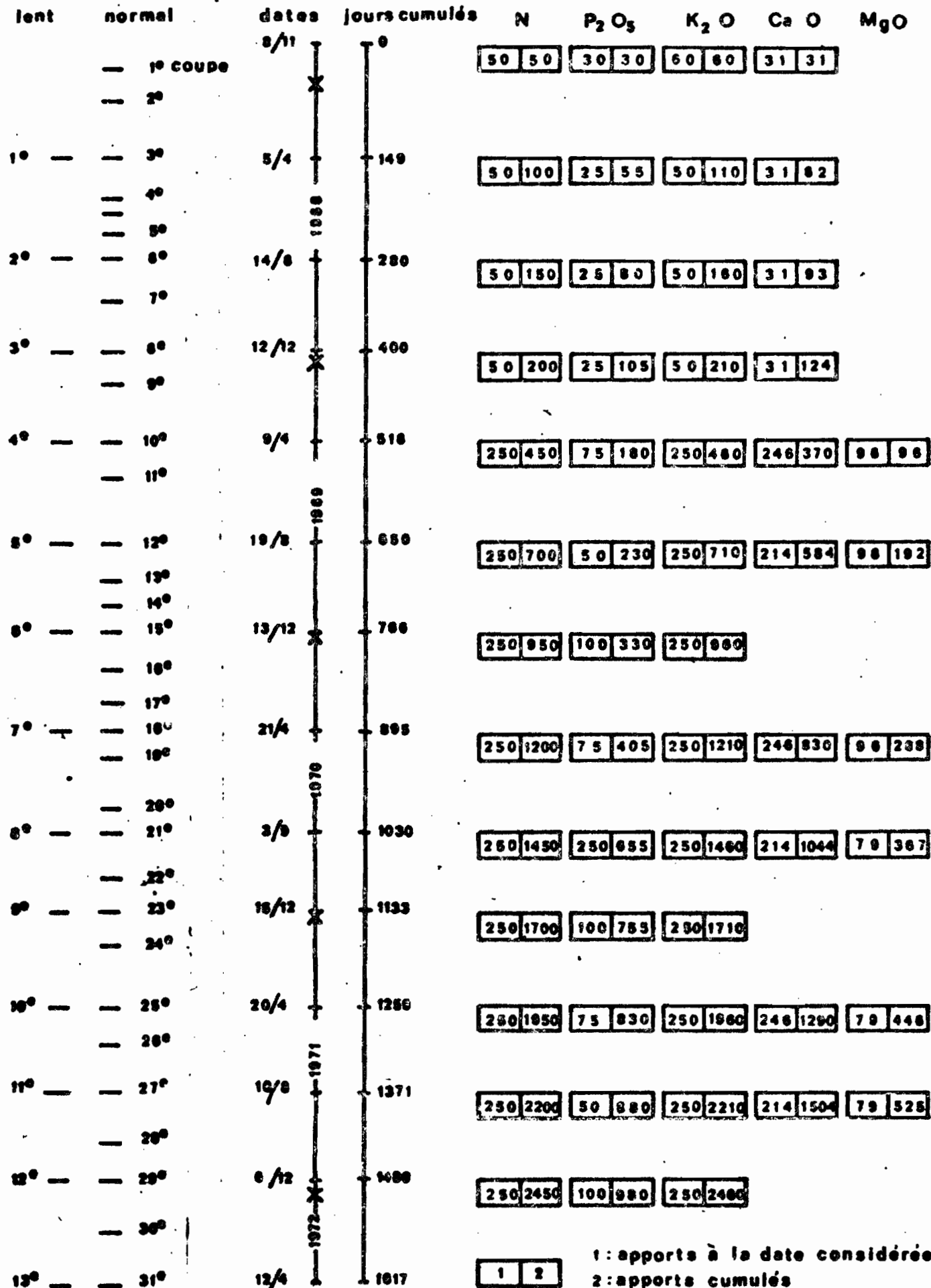


Figure 38 : Dates de coupe et fertilisation en fonction du temps
ADIOPODOUME

RYTHME DE COUPE

ECHELLE DE TEMPS

FERTILISATION (kg. ha⁻¹)

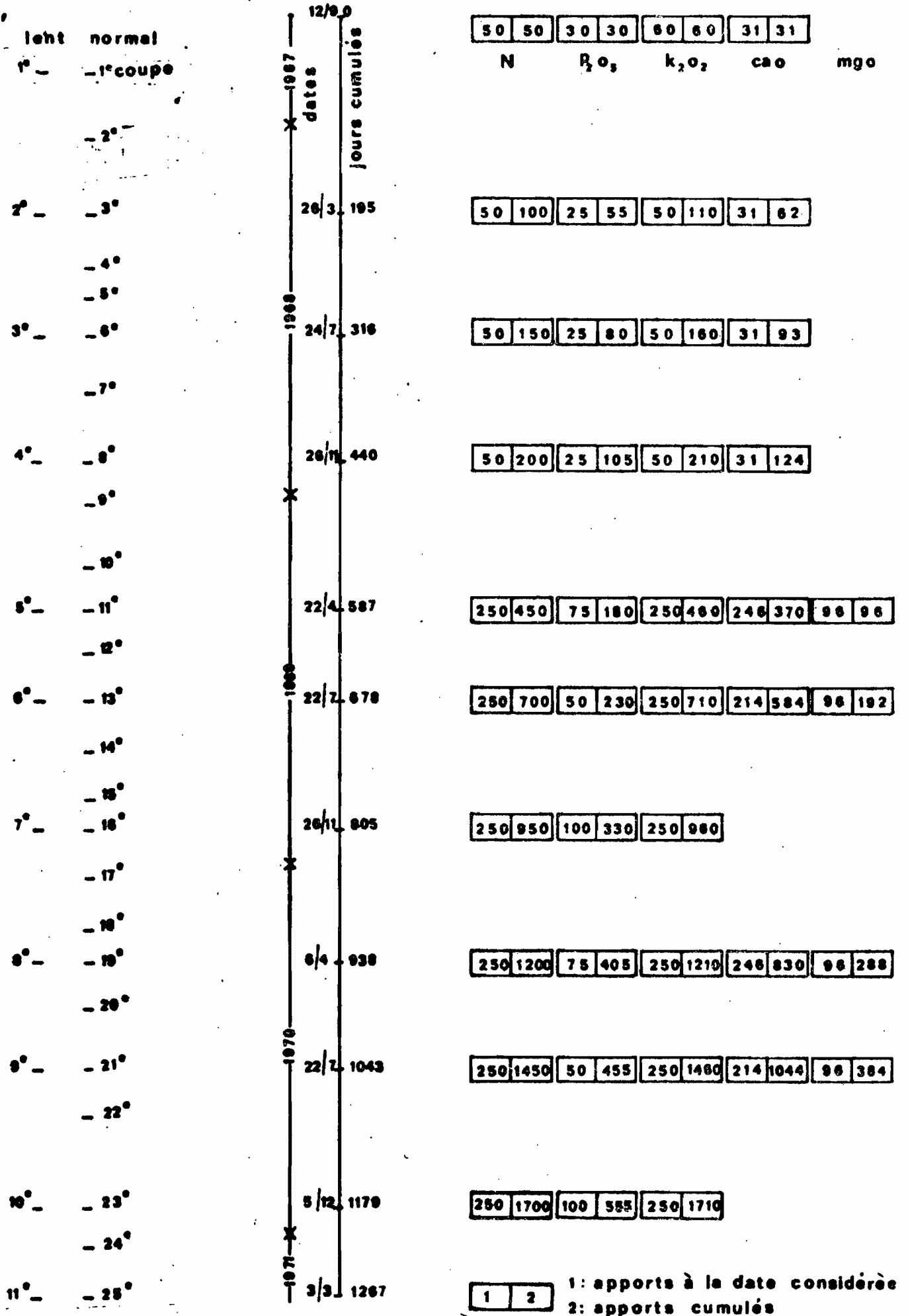


Figure 39: Dates de coupe et fertilisation en fonction du temps
GAGNOA

RYTHME DE COUPE

ECHELLE DE TEMPS

FERTILISATION

Lent Normal

Dates Nombre de jours cumulé

N P₂O₅ K₂O CaO MgO
50 50 25 25 50 50 30 30

plantation

29.5

0

1^{er} coupe

1.9

95

50 100 25 50 50 100 31 62

2^e

6.77

162

50 150 25 75 50 150 31 93

3^e

3^e

2.5

338

250 400 75 150 250 400 248 339 96 96

4^e

10.8

438

250 650 50 200 250 650 214 563 96 192

5^e

6^e

22.10

611

250 900 100 300 250 900

7^e

6^e

5.5

706

250 1150 75 375 250 1150 248 799 96 288

8^e

7^e

11.8

804

250 1400 50 425 250 1400 214 1013 96 384

9^e

8^e

16.10

870

250 1650 100 525 250 1650

9^e

10^e

1971

1029

24.3

1 2

Figure 40: Bonaké . Date des coupes et fertilisation en fonction du temps.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial statements and for providing a clear audit trail. The records should be kept up-to-date and should be easily accessible to all relevant parties.

2. The second part of the document outlines the procedures for handling any discrepancies or errors that may arise. It is important to identify the cause of the error and to take appropriate steps to correct it. This may involve adjusting the accounts or providing additional information to the relevant parties.

3. The third part of the document discusses the importance of maintaining a good working relationship with the external auditors. This involves providing them with all the information they need to perform their duties and being open to their recommendations. It is also important to ensure that the auditors are kept up-to-date on any changes to the company's financial position.

4. The fourth part of the document outlines the procedures for handling any queries or requests from the external auditors. It is important to respond to these queries in a timely and accurate manner. This may involve providing additional information or clarifying any points of confusion.

5. The fifth part of the document discusses the importance of maintaining a good working relationship with the internal auditors. This involves providing them with all the information they need to perform their duties and being open to their recommendations. It is also important to ensure that the internal auditors are kept up-to-date on any changes to the company's financial position.

6. The sixth part of the document outlines the procedures for handling any queries or requests from the internal auditors. It is important to respond to these queries in a timely and accurate manner. This may involve providing additional information or clarifying any points of confusion.

7. The seventh part of the document discusses the importance of maintaining a good working relationship with the external auditors. This involves providing them with all the information they need to perform their duties and being open to their recommendations. It is also important to ensure that the external auditors are kept up-to-date on any changes to the company's financial position.

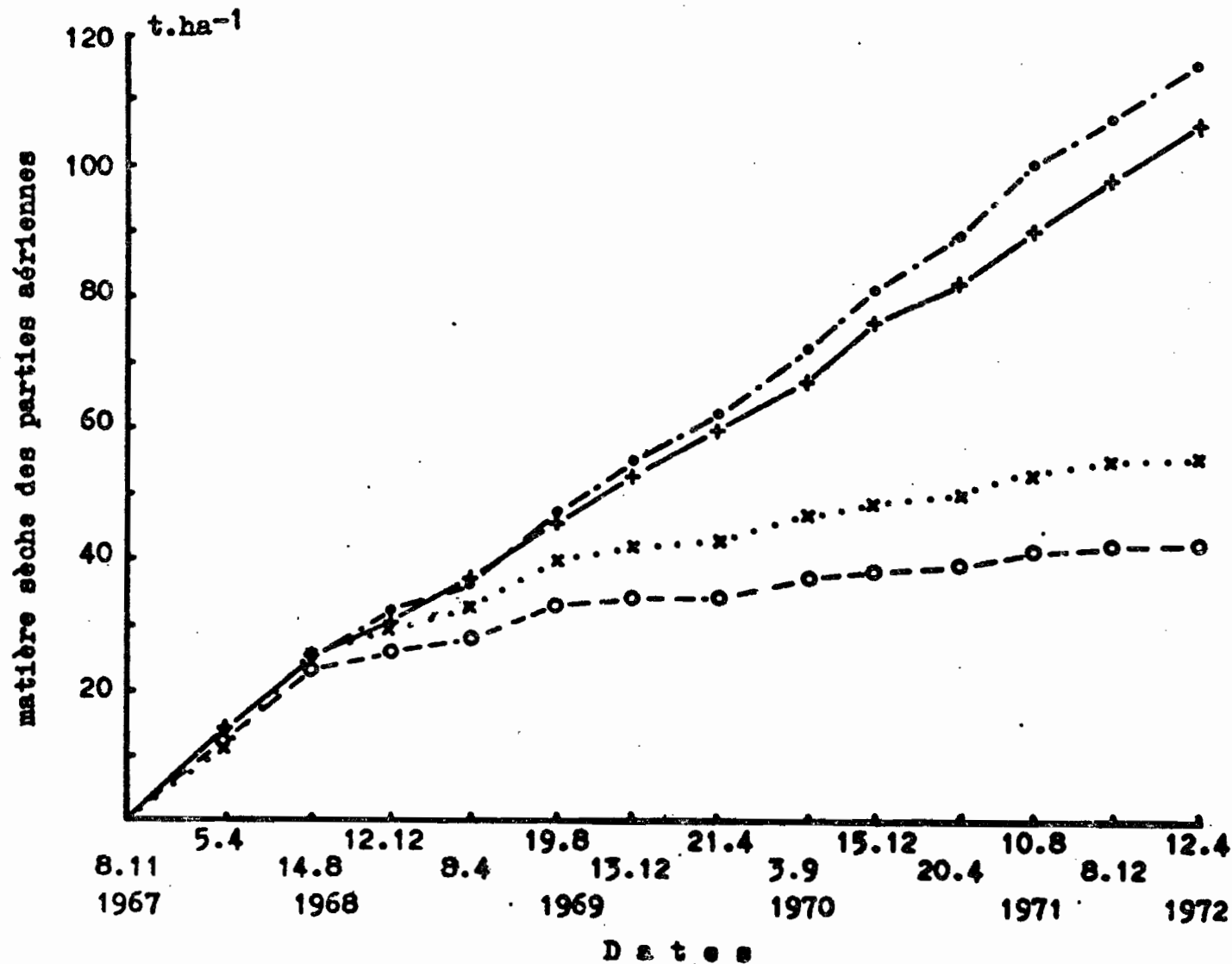
Figure 41: Evolution du poids de matière sèche cumulé des parties aériennes en fonction du temps et des traitements. Adipodoumé.

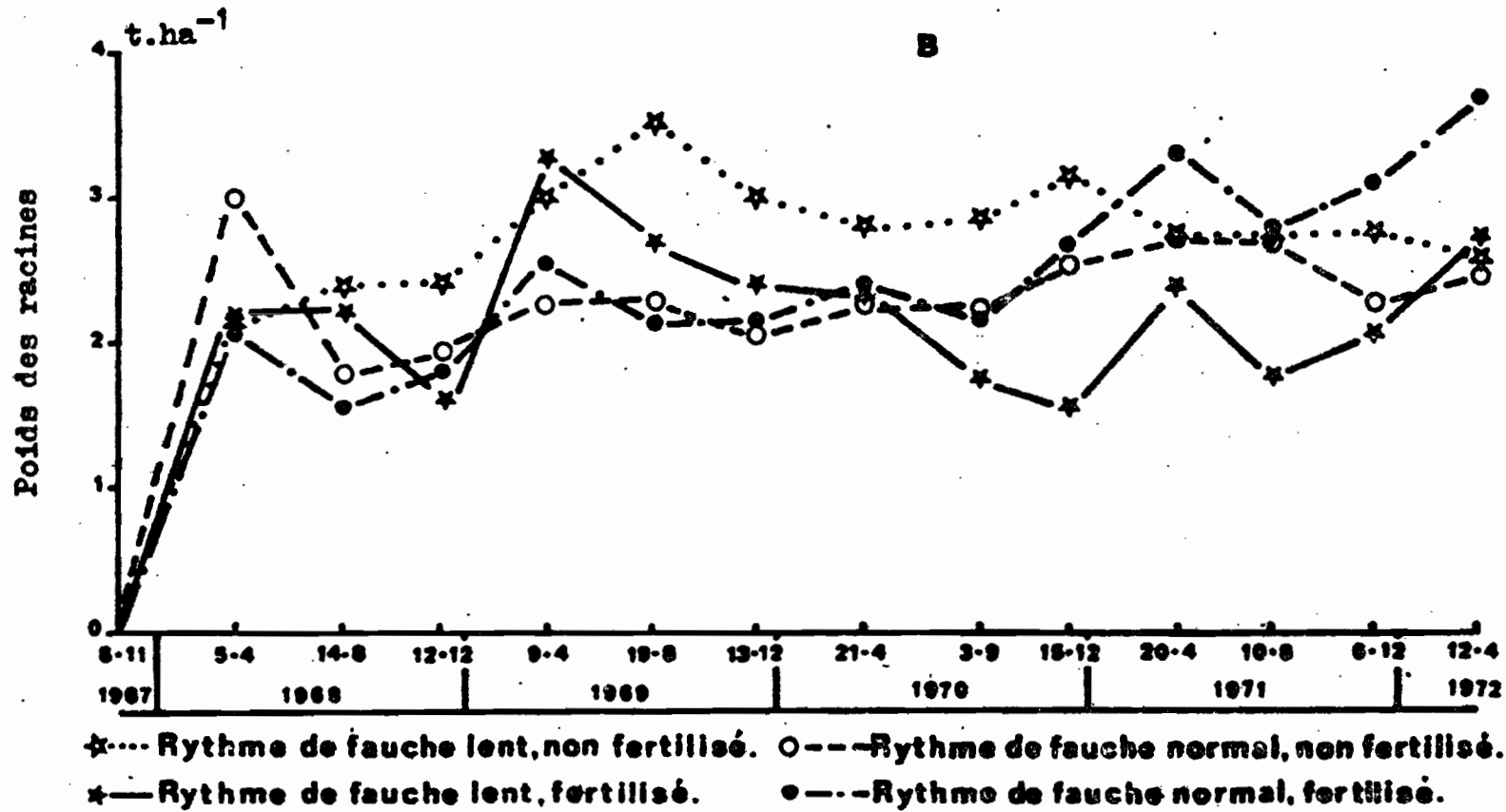
... fauche lente, non fertilisé.

o--o fauche normale, non fertilisé.

+---+ fauche lente, fertilisé.

•-•-• fauche normale, fertilisé.





POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES A L'HECTARE, SUR L'ENSEMBLE DU PROFIL 0 - 125 cm.

ADIPOUDOUME

Figure 62

NF : 20,2 mg pour 100 g de terre, soit $3,7 \text{ t.ha}^{-1}$;
LF : 14,9 mg pour 100 g de terre, soit $2,7 \text{ t.ha}^{-1}$;
LO : 14,1 mg pour 100 g de terre, soit $2,6 \text{ t.ha}^{-1}$;
NO : 13,5 mg pour 100 g de terre, soit $2,5 \text{ t.ha}^{-1}$.

La courbe d'évolution de PRT sur l'ensemble du profil est cependant la résultante de courbes différentes selon les horizons et les sites de prélèvement d'échantillons (Fig. 43 à 45).

Deux tendances se dégagent.

Pour les traitements non fertilisés, le pourcentage de racines dans l'horizon 0-10 cm par rapport à celles dans l'ensemble du profil 0-125 cm diminue en début d'essai et réaugmente à la fin. Cependant, pour LO, ce pourcentage suit une courbe en V tronqué, passant de 55 % en avril 1968 à 43 % en avril 1969 puis 40 % en décembre 1970 et enfin 58 % en avril 1972 ; alors que, pour NO, il suit une courbe en V très ouvert, baissant de 66 % en avril 1968 à 41 % en décembre 1969 et remontant régulièrement pour atteindre 59 % en avril 1972 (Fig. 46).

Pour les traitements fertilisés, par contre, ce même pourcentage diminue aussi au début puis varie ensuite en dents de scie très prononcées autour d'une valeur moyenne. Entre avril 1968 et avril 1969, il passe de 54 % à 40 % pour LF, de 59 % à 40 % pour NF. Il oscille ensuite entre 40 et 51 % pour LF, les oscillations étant de plus en plus amorties avec le temps, entre 40 % et 54 % pour NF, les oscillations restant très nettes d'une date de prélèvement à l'autre jusqu'en avril 1972.

Les gradients de poids sont marqués : lorsque la distance du point de prélèvement au plateau de tallage augmente, le poids de racines diminue fortement (tableau 41). Ils sont cependant plus accentués en début qu'en fin d'essai, principalement celui dans l'horizon 0-10 cm orienté horizontalement.

Dates	Août 1968				Avril 1972			
Traitements	LO	LF	NO	NF	LO	LF	NO	NF
Horizon 0-10 cm								
. sous les touffes:	100	100	100	100	100	100	100	100
. entre " "	29	23	26	28	46	36	62	39
Horizon 10-25 cm								
. sous les touffes:	22	18	13	17	18	31	18	23
. entre " "	14	10	9	15	15	19	15	18
Horizons 25 à 65 cm:	3	3	4	3	4	6	4	7
Horizons 65 à 125 "	3	1	2	2	1	2	2	2

Tableau 41 : *Panicum maximum* - Adiopodoumé -

Pourcentage de racines dans chaque site des différents horizons, en poids de matière sèche. Base : 100 dans 0-10 cm, sous les touffes .

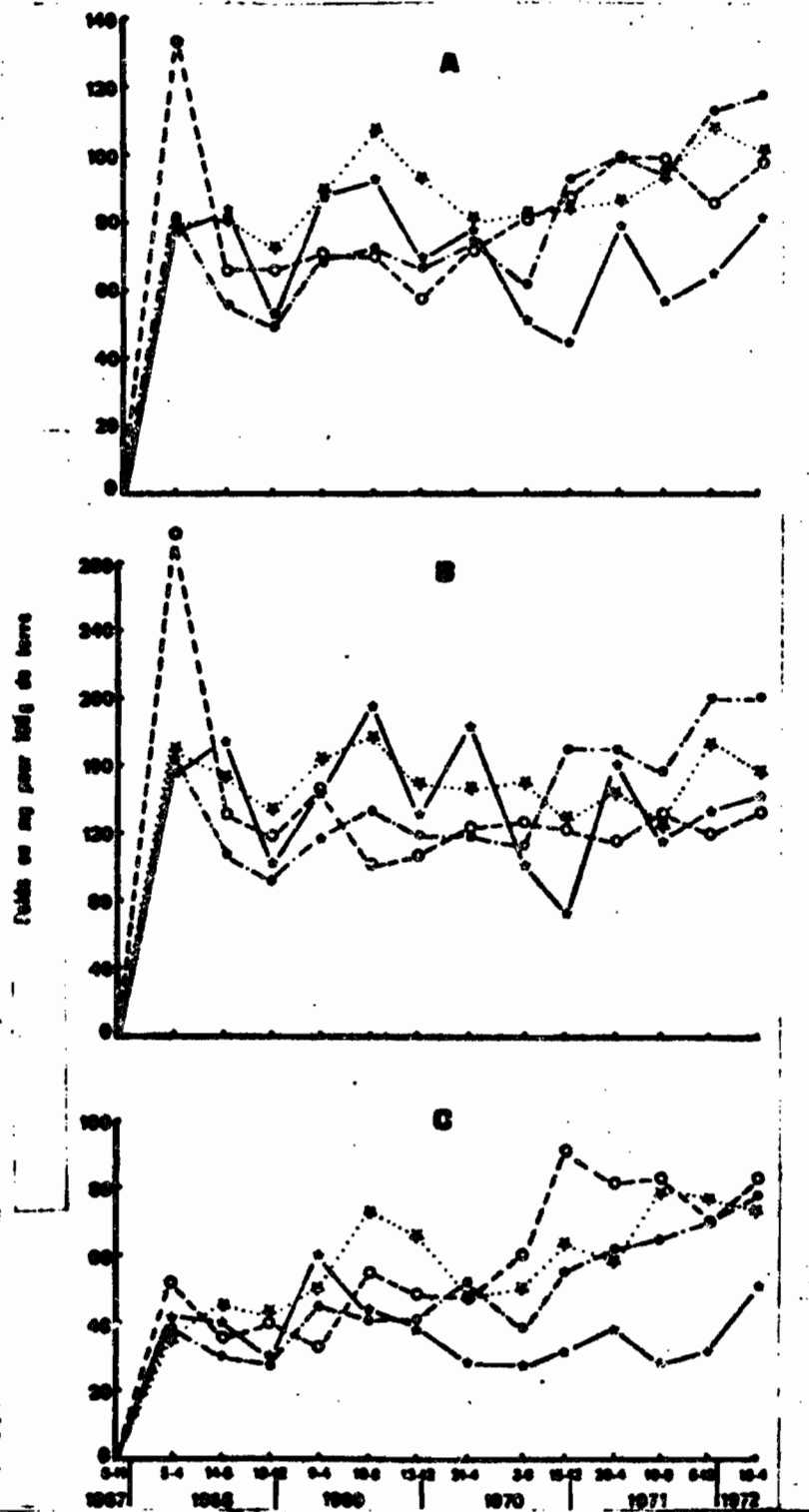
L'effet des saisons n'apparaît pas nettement. Tout au plus peut-on noter que les fortes augmentations de quantités de racines se produisent le plus souvent entre décembre et avril, la période suivante, d'avril à août, correspondant au contraire à une phase de diminution de PRT, principalement en début d'essai et, en fin d'essai, pour les traitements fertilisés.

L'action des traitements sur PRT a été analysée précédemment.

L'analyse statistique des PRT sur l'ensemble du profil, effectuée date d'observation par date d'observation pour l'ensemble des résultats (Annexe 2), confirme le peu de différences observées entre traitements à propos de *Panicum maximum*.

L'effet rythme de coupe est significatif en avril 1968, avril et août 1969, mais avec un seuil de signification bas. Dans le 1er cas, PRT est plus élevé pour le rythme de coupe normal ; dans les 2 autres, c'est l'inverse.

L'effet fertilisation n'est significatif pour *Panicum maximum* que tout à la fin de l'essai, en avril 1972. Dans les autres cas, si, globalement, les quantités de racines sont plus élevées sous les traitements fertilisés à partir de 1970, c'est en raison des résultats obtenus pour *Cynodon aethiopicus* (Picard et Bonzon, 1974 a) ce que montrent bien les interactions et plus particulièrement l'interaction du 3ème ordre : Famille x Port x Fertilisation.



*... Rythme de fauche lent, non fertilisé. ○--- Rythme de fauche normal, non fertilisé.
 *— Rythme de fauche lent, fertilisé. ●--- Rythme de fauche normal, fertilisé.

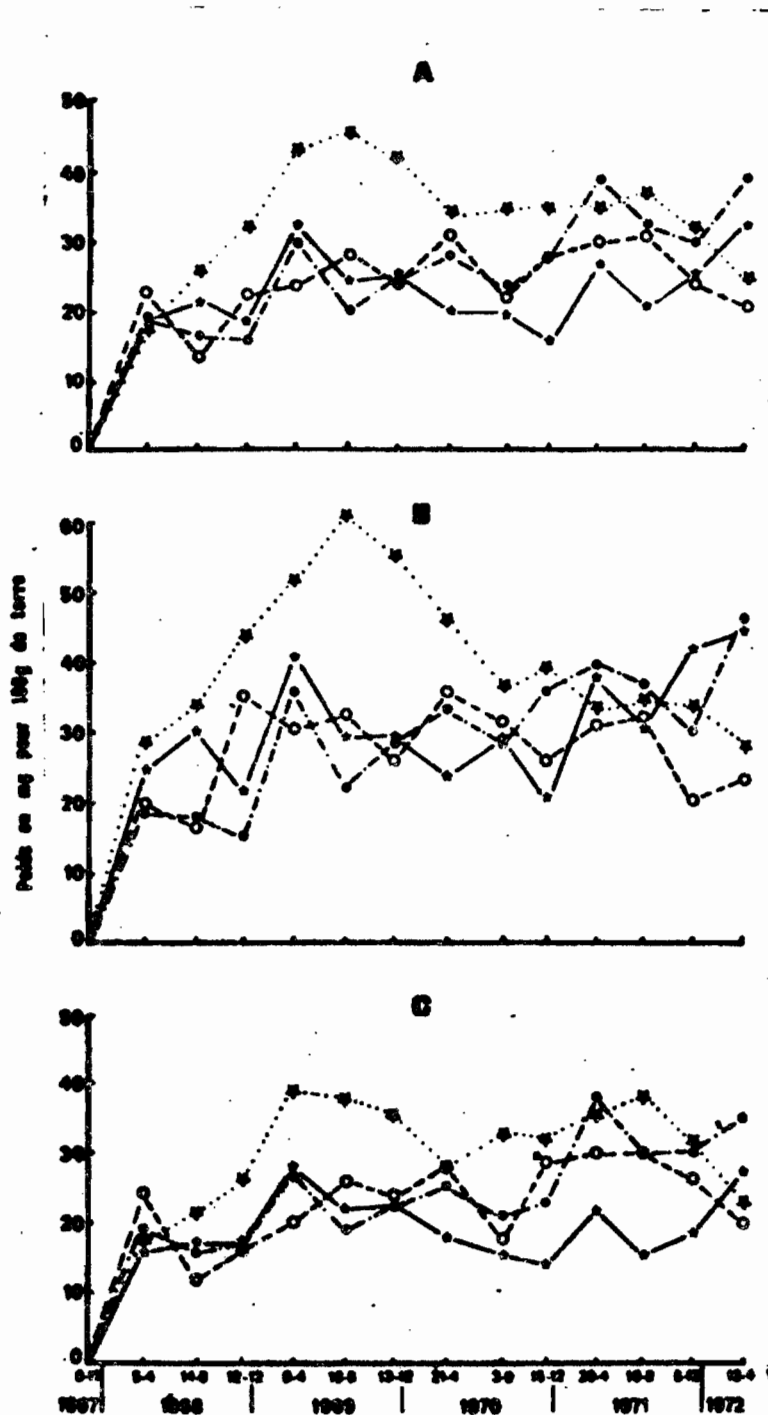
POIDS DE MATIÈRE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON LE SITE DE PRÉLEVEMENT ET LE TRAITEMENT.

A : Valeur moyenne

B : Sous la touffe.

C : Entre les touffes.

Figure 43 : Horizon 0-10 cm. Adiopodoumé.



★--- Rythme de fauche lent, non fertilisé. ○--- Rythme de fauche normal, non fertilisé.
 ★— Rythme de fauche lent, fertilisé. ●--- Rythme de fauche normal, fertilisé.

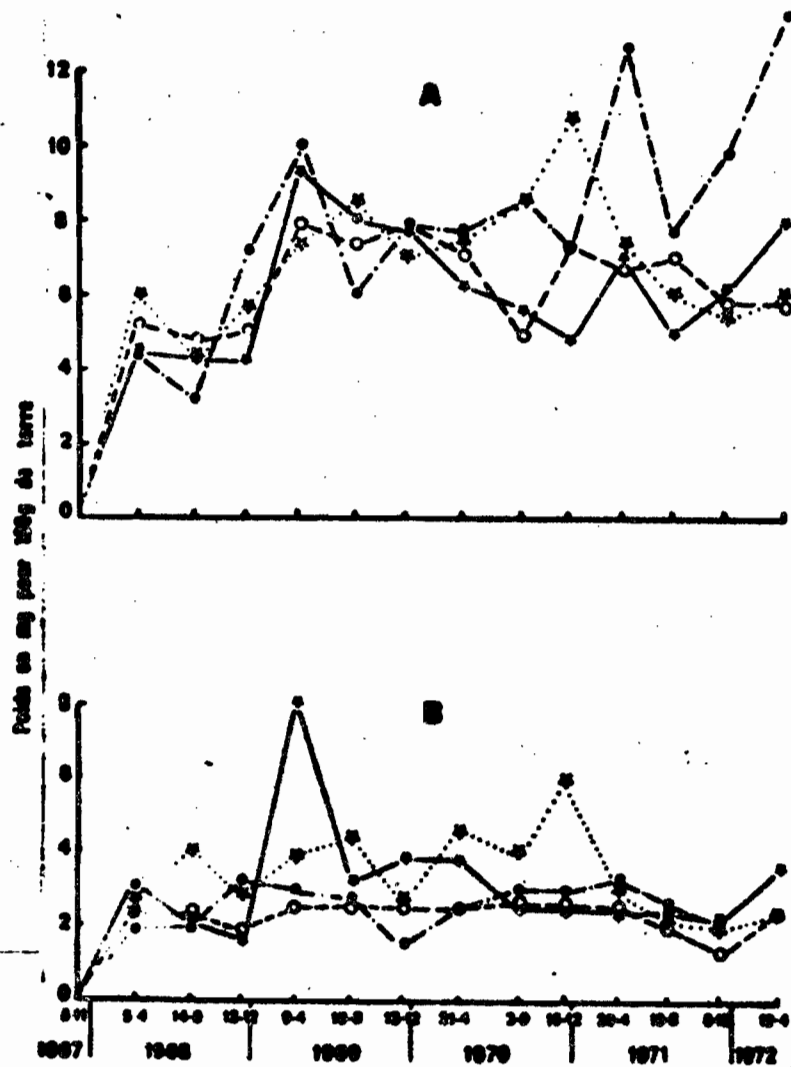
POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON
 LE SITE DE PRELEVEMENT ET LE TRAITEMENT.

A : Valeur moyenne.

B : Sous la touffe.

C : Entre les touffes.

Figure 44 : Horizon 10-25 cm. Adiopodoumé.



*.... Rythme de fauche lent, non fertilisé. O--- Rythme de fauche normal, non fertilisé.
 *— Rythme de fauche lent, fertilisé. ●--- Rythme de fauche normal, fertilisé.

POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON LE TRAITEMENT.

A : Horizon 25 - 65 cm.

B : Horizon 65 - 125 cm.

Figure 45 : Adiopodoumé.

1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890

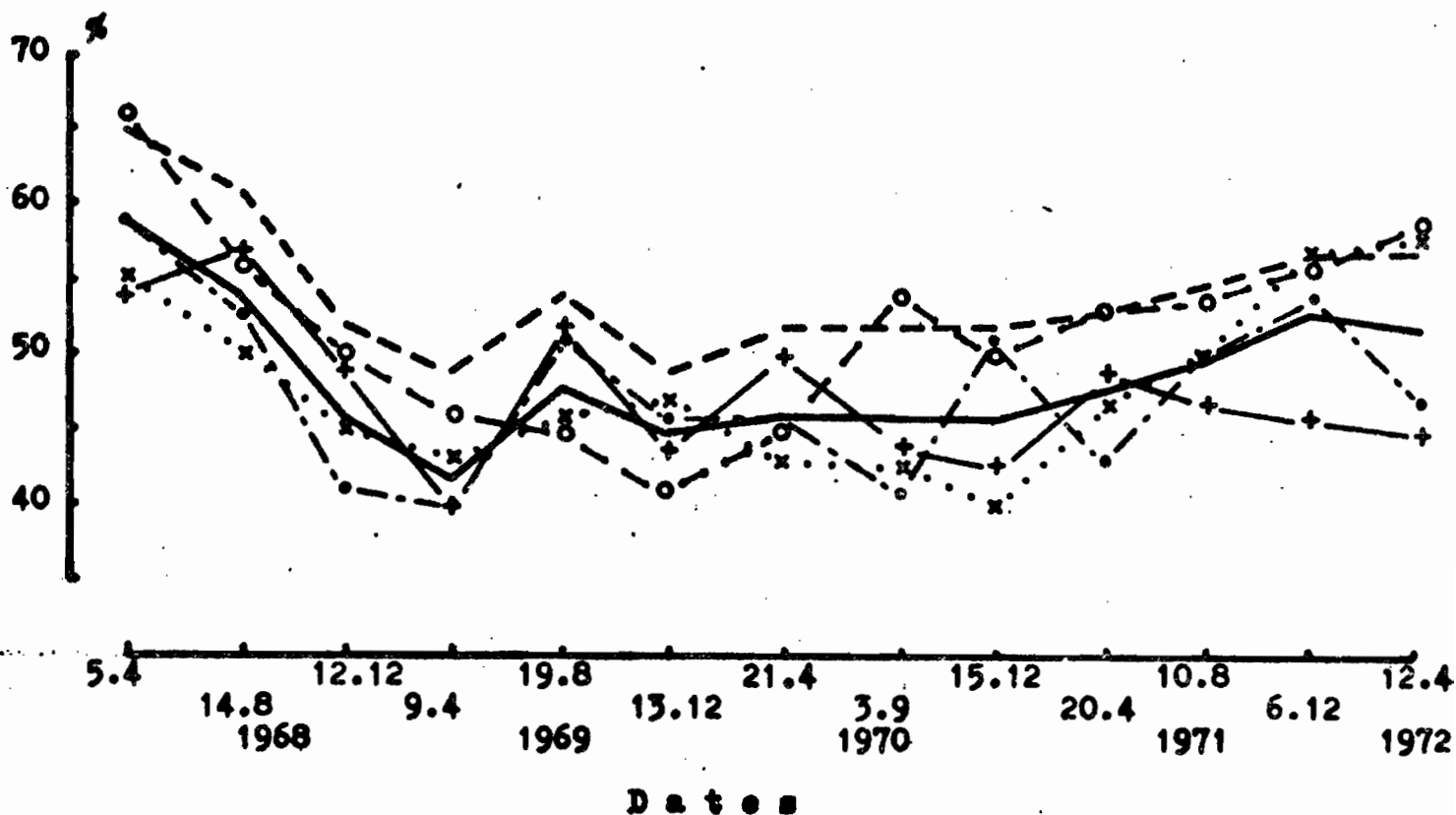
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050

Figure 46

Pourcentage moyen de racines dans 0 - 10 cm par rapport à 0 - 125 cm (—) et à 0 - 65 cm (---). Pourcentage de racines par rapport à 0 - 125 cm en fonction des traitements. Station d'Adiopodoumé.

x...x Rythme de fauche lent, non fertilisé.
 +—+ Rythme de fauche lent, fertilisé.

o--o Rythme de fauche normal, non fertilisé.
 .-.-. Rythme de fauche normal, fertilisé.



Le rapport entre la biomasse des parties aériennes et la masse totale des racines à chaque coupe, $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ (Fig. 47) varie à la fois en fonction du temps et des traitements. En début d'essai, il est très élevé sur tous les traitements. Il le reste pour LF jusqu'à la fin. Par contre, il diminue pour les 3 autres mais la valeur pour NF devient progressivement ^{supérieure} à celle pour LO, alors que celle pour NO est toujours la plus faible.

1.2.2.2. Station de Gagnoa (Côte d'Ivoire forestière).

En 1967, les besoins en eau de *Panicum maximum* durant la phase d'implantation des prairies étant faibles, la sécheresse, particulièrement accentuée lors de la 3^{ème} décennie d'octobre et la 1^{ère} de novembre, aura eu un effet limité. L'année 1968 a été très humide, avec une pluviosité très étalée et bien répartie, l'année 1969 a été caractérisée par de longues périodes sèches, l'année 1970 par une grande irrégularité des pluies, au moins les 7 premiers mois (Fig. 8).

Le poids de matière sèche cumulé des parties aériennes croît de moins en moins vite en l'absence d'engrais, l'influence du rythme de coupe sur LO et NO se manifestant dans le même sens qu'à Adiopodoumé (Fig. 48).

Celui pour les prairies fertilisées augmente linéairement avec le temps durant toute la durée de l'essai pour le traitement LF. Par contre l'insuffisance de la fertilisation se fait sentir sur l'évolution de ce poids de matière sèche cumulé pour le traitement NF entre mars 1968 et avril 1969.

Après avoir augmenté très rapidement les 6 premiers mois, plus lentement par la suite, les poids de racines, sur l'ensemble du profil 0-65 cm, atteignent leurs maxima en avril 1969, soit après 19 mois, pour les traitements fertilisés, en juillet 1969, soit après 22 mois, pour les traitements non fertilisés (Fig. 49).

A ces dates, les valeurs de PRT sont de 45,4 mg pour 100 g de terre pour LO ; 39,5 pour NO ; 33,4 pour LF et 35,1 pour NF, soit, respectivement, 4,4 ; 3,9 ; 3,2 et 3,6 t.ha⁻¹.

Ensuite PRT reste sensiblement constant jusqu'à la fin de l'essai sous les traitements non fertilisés mais diminue fortement sous LF : en mars 1971, PRT n'est plus que de 18,8 mg pour 100 g de

terre soit $1,8 \text{ t.ha}^{-1}$. Pour le traitement NF, PRT diminue aussi pendant 15 mois mais réaugmente ensuite, un deuxième maximum de valeur comparable à celui d'avril 1969 étant atteint en décembre 1970. En fin d'essai, sous NF, il y a $26,9 \text{ mg}$ de racines pour 100 g de terre soit $2,6 \text{ t.ha}^{-1}$.

L'augmentation de poids extrêmement rapide entre la plantation, le 15 septembre 1967, et mars 1968 est essentiellement due au développement de l'enracinement sous les touffes dans l'horizon 0-10 cm (Fig. 50). Dans cet horizon et pour ce site, PRT passe par un maximum dès cette date et varie ensuite de façon cyclique, sans réatteindre de valeur aussi forte et sans que ces variations soient apparemment liées aux fluctuations saisonnières.

Toujours dans l'horizon 0-10 cm mais entre les touffes, ainsi que dans les autres horizons, PRT augmente plus lentement en début d'essai et les évolutions observées sont très comparables entre elles et à celle de PRT sur l'ensemble du profil (Fig. 50, 51 et 52).

Les gradients de poids à partir du plateau de tallage sont très accentués, (tableau 42), surtout en début d'essai.

Date	Juillet 1968				Mars 1971			
	LO	LF	NO	NF	LO	LF	NO	NF
Horizon 0-10 cm								
. sous les touffes	100	100	100	100	100	100	100	100
. entre " "	17	22	16	16	53	13	47	63
Horizon 10-25 cm								
. sous les touffes	16	26	14	11	35	27	32	23
. entre " "	9	14	12	11	31	8	25	39
Horizons 25 à 65 cm	2	2	2	2	7	4	5	7

Tableau 42 : *Panicum maximum*.

Pourcentage de racines dans chaque site des différents horizons en poids de matière sèche. Base : 100 dans 0-10 cm, sous les touffes.

Le pourcentage de racines dans l'horizon 0-10 cm par rapport à l'ensemble du profil est d'environ 53 %. Peu différent d'un traitement à l'autre, il est plus élevé en début d'essai (64 % en moyenne en mars 1968 ; 62 % en juillet 1968), oscille entre 47 et 52 % en moyenne entre

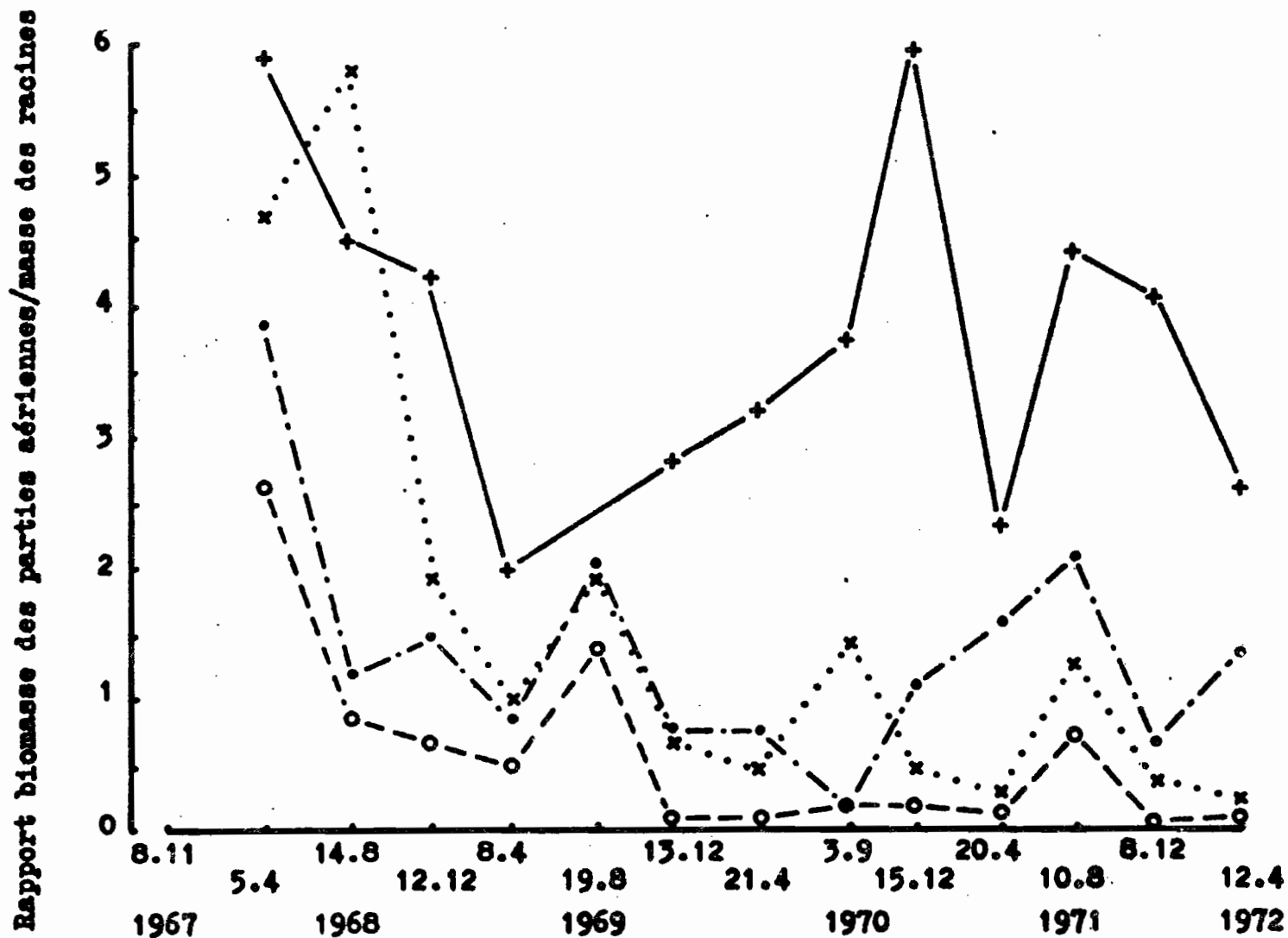
Figure 47 : Evolution du rapport entre la biomasse des parties aériennes et la masse des racines. Station d'Adiopodoumé.

x...x fauche lente, non fertilisé.

o--o fauche normale, non fertilisé.

+—+ fauche lente, fertilisé.

.—.. fauche normale, fertilisé.



Le point correspondant au traitement fauche lente fertilisé du 19.8.1969, manifestement aberrant, a été omis.

Figure 48.

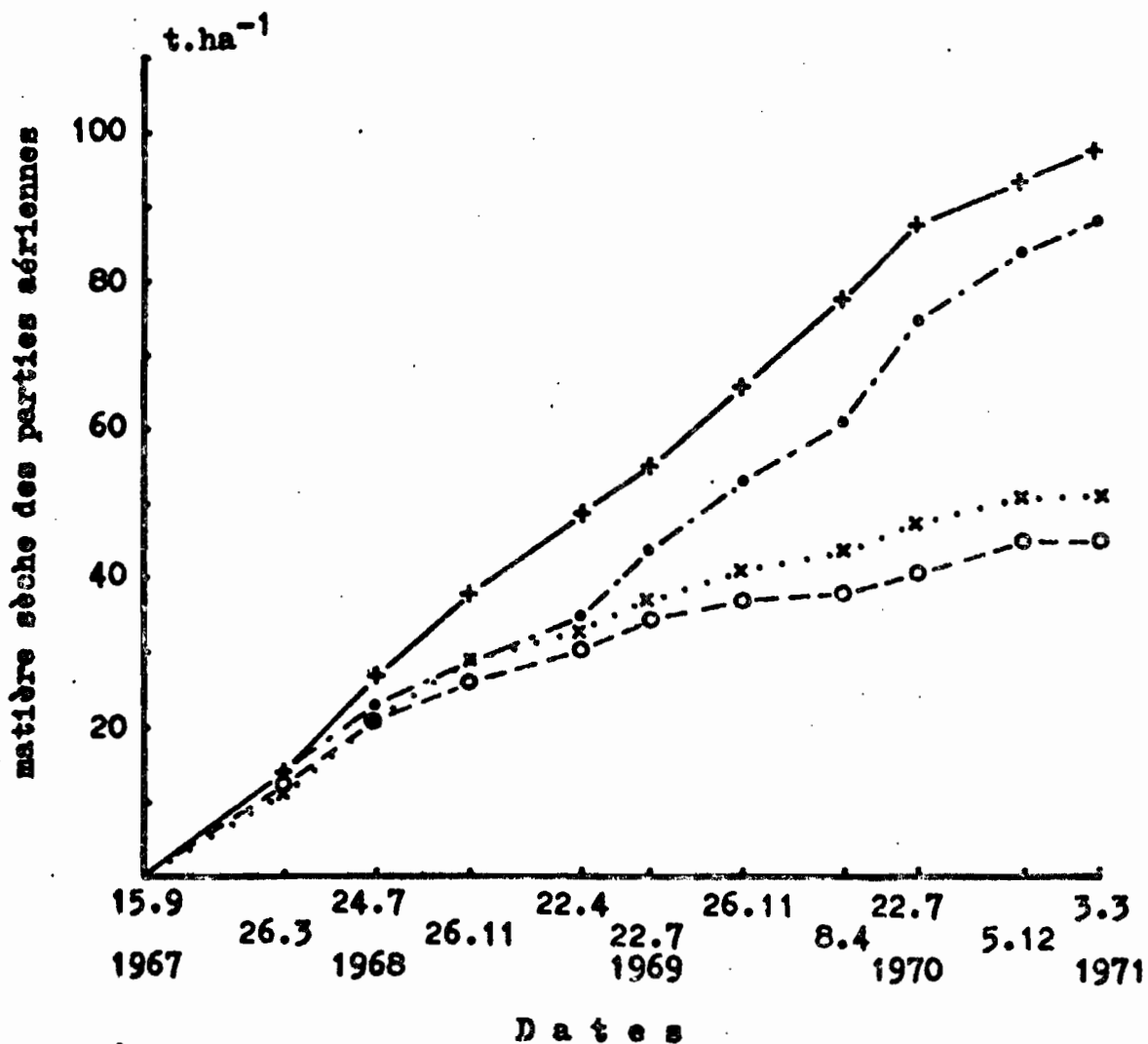
Evolution du poids de matière sèche cumulé des parties aériennes en fonction du temps et des traitements. Gagnoa.

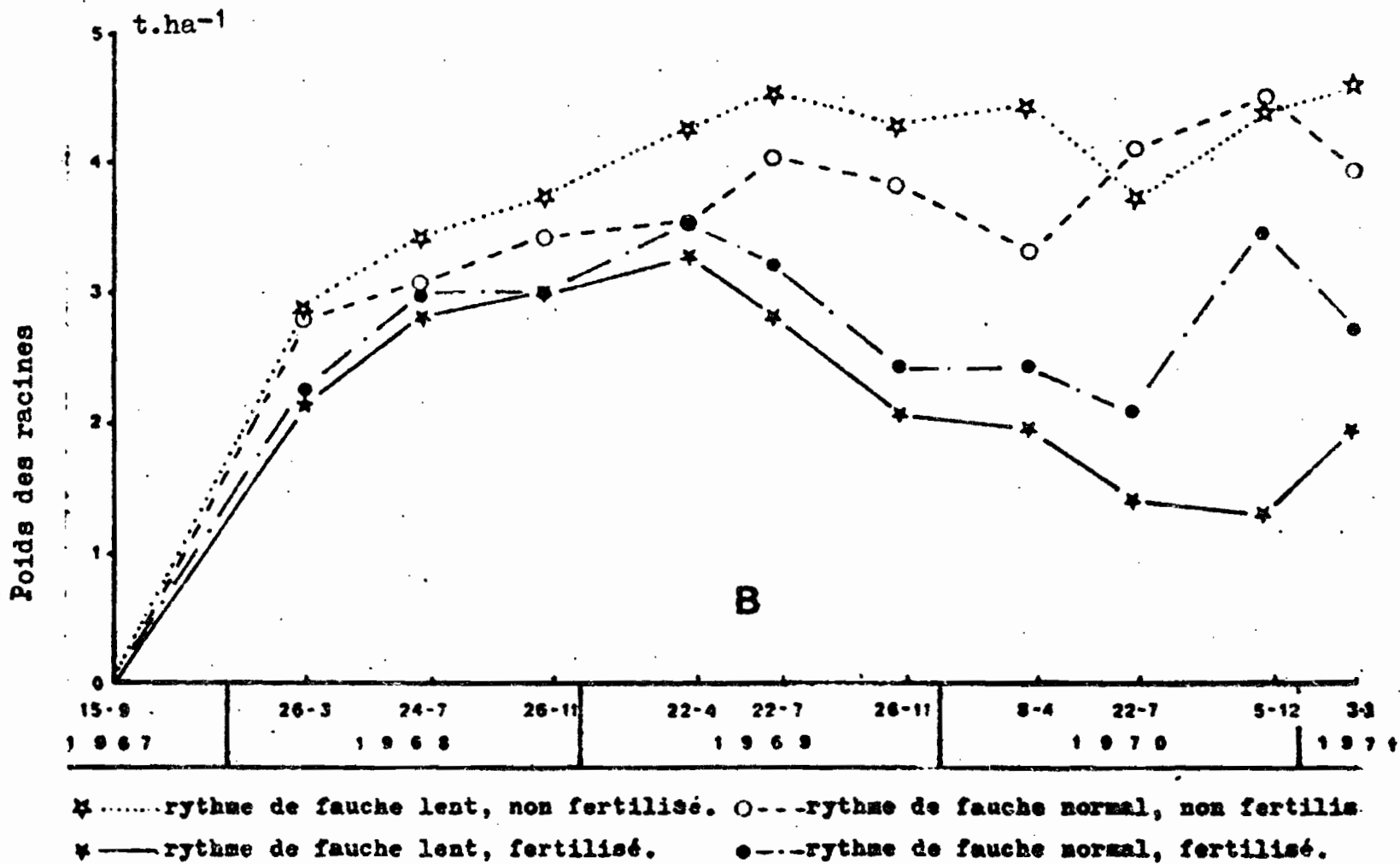
x . . . x fauche lente, non fertilisé.

o - - o fauche normale, non fertilisé.

+ - - + fauche lente, fertilisé.

• - - • fauche normale, fertilisé.

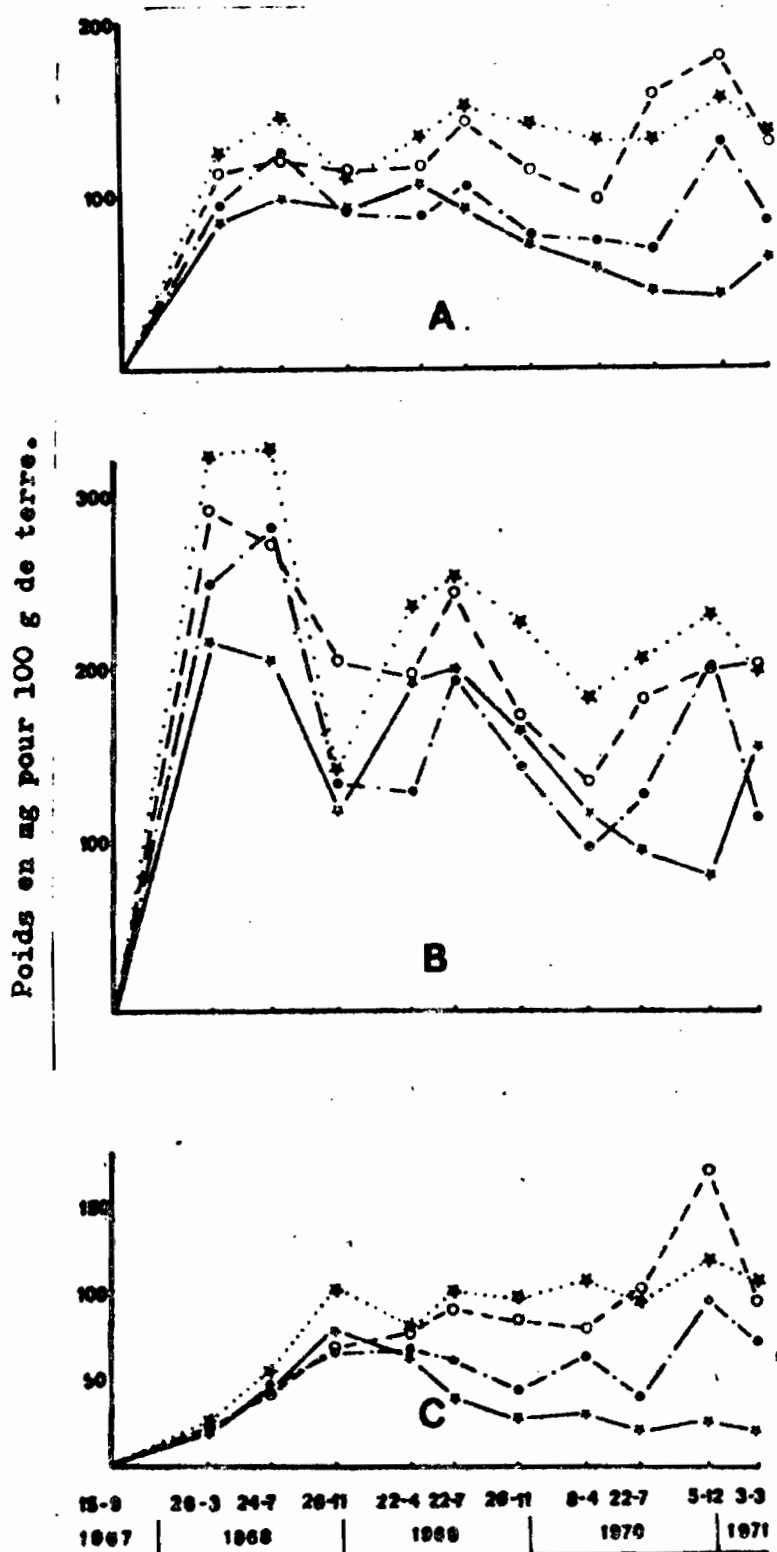




POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES A L'HECTARE, SUR L'ENSEMBLE DU PROFIL 0 - 65 cm.

GAGNOA

Figure 49

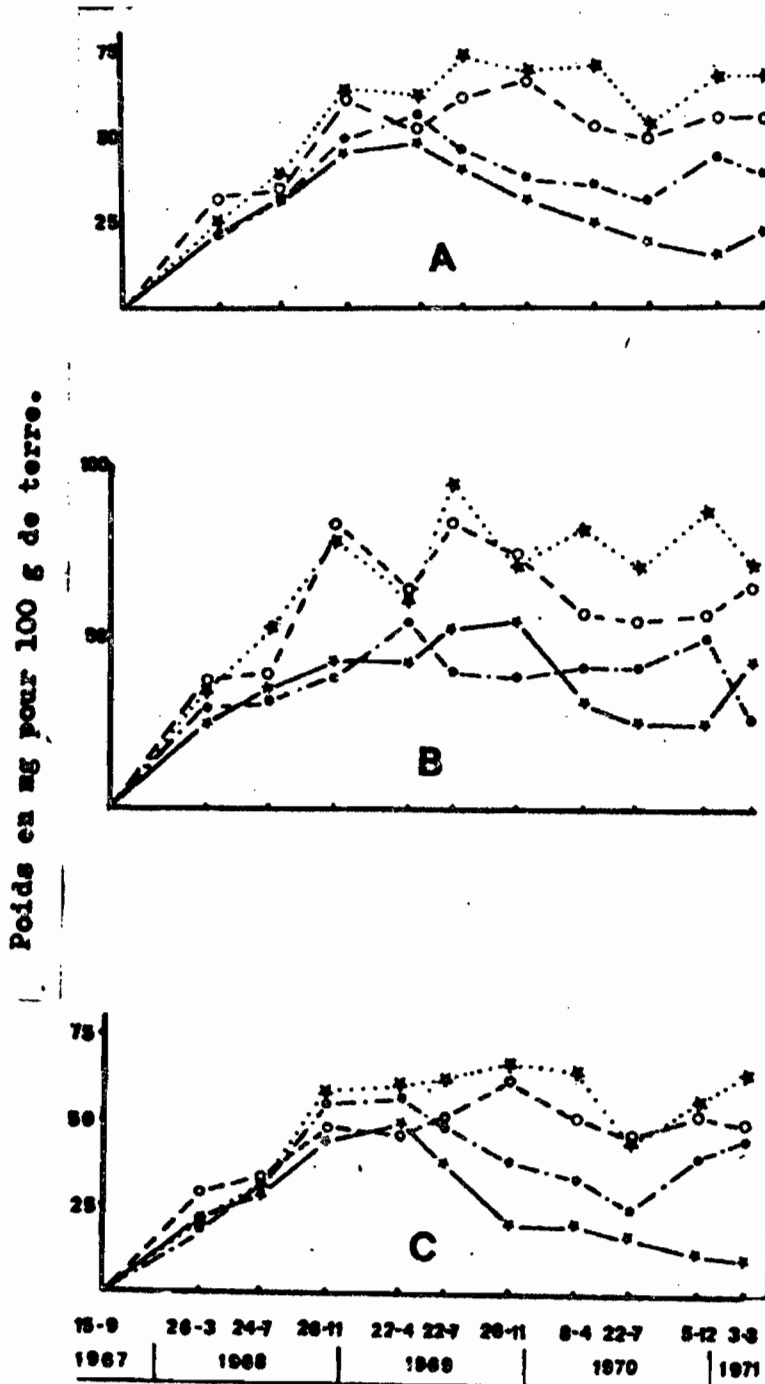


*.....rythme de fauche lent, non fertilisé. o---rythme de fauche normal, non fertilisé.
 *---rythme de fauche lent, fertilisé. e---rythme de fauche normal, fertilisé.

POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON LE SITE DE PRELEVEMENT ET LE TRAITEMENT.

A : Valeur moyenne. B : Sous la touffe. C : Entre les touffes.

Figure 50 : Gagnoa. Horizon 0 - 10 cm.



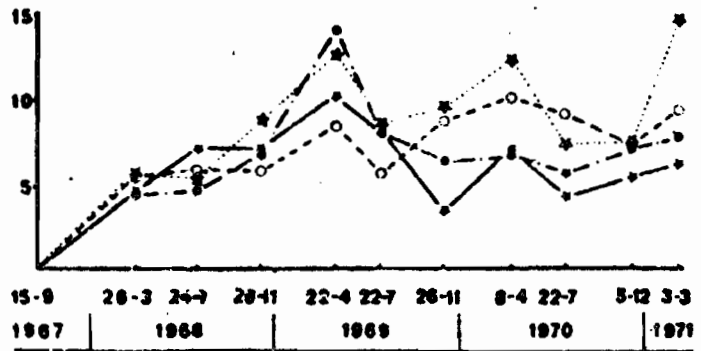
*.....rythme de fauche lent, non fertilisé. ○---rythme de fauche normal, non fertilisé.
 *---rythme de fauche lent, fertilisé. ●---rythme de fauche normal, fertilisé.

POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON SITE DE PRELEVEMENT ET LE TRAITEMENT.

A : Valeur moyenne. B : Sous la touffe. C : Entre les touffes.

Figure 51 : Gagnoa. Horizon 10 - 25 cm.

Poids en mg
pour 100g de terre.



x...x rythme de fauche lent, non fertilisé. o---o rythme de fauche normal, non fertilisé.
--- rythme de fauche lent, fertilisé. e---e rythme de fauche normal, fertilisé.

POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON LE TRAITEMENT.

Figure 52 : Gagnoa. Horizon 25 - 65 cm.

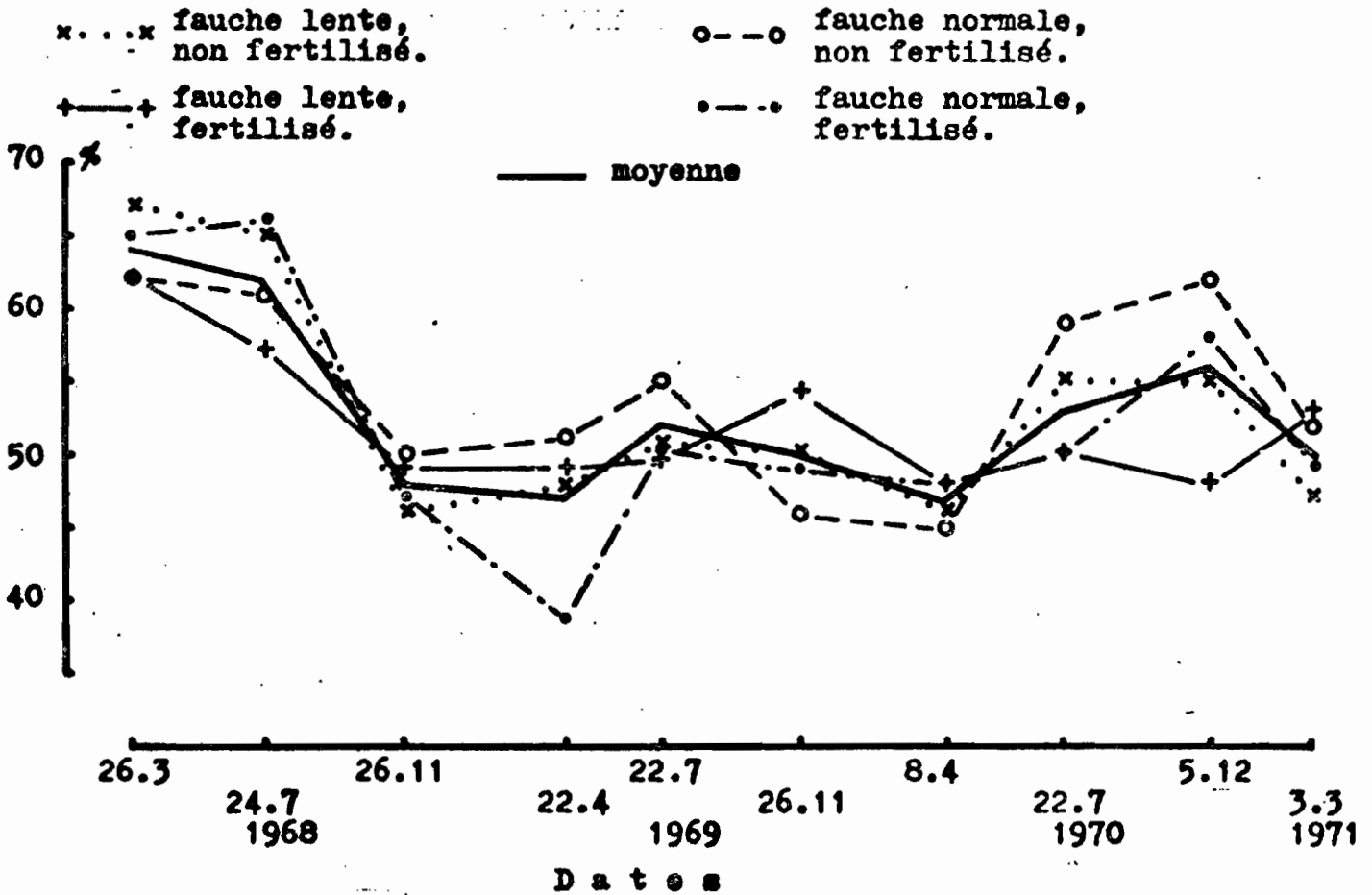


Figure 53 : pourcentage de racines dans 0 - 10 cm par rapport à 0 - 65 cm. Gagnoa.

novembre 1968 et avril 1970 puis remonte légèrement (56 % en moyenne en décembre 1970, mais de nouveau 50 % en mars 1971) (Fig. 53).

Les fluctuations saisonnières, si elles existent, sont peu sensibles sur l'ensemble du profil. Par contre, dans 0-10 cm, sous les touffes, les 2 premières années, les valeurs de juillet correspondent à un maximum, celles de novembre à un minimum. Mais, la troisième année, le maximum apparaît seulement en décembre.

Une différence entre traitements fertilisés et non fertilisés se voit dès le début de l'essai mais plus particulièrement à partir d'avril 1969, les racines étant moins abondantes sous les traitements fertilisés et notamment sous le traitement LF.

Il ne semble pas y avoir d'effet du traitement rythme de coupe sur PRT, sauf peut-être entre novembre 1968 et juillet 1969 dans l'horizon 0-10 cm sous les touffes : entre novembre 1968 et avril 1969, PRT augmente beaucoup sous LO et LF, moins sous NO, et NF ; entre avril et juillet 1969, le phénomène est inversé.

L'analyse statistique, effectuée pour Gagnoa comme pour Adiopodoumé, confirme l'effet dépressif des apports d'engrais à partir d'avril 1969 mais surtout de novembre 1969, jusqu'à la fin de l'essai.

L'effet rythme est peu perceptible, et seulement au niveau des interactions de 2ème ordre, en avril 1969 et avril 1970.

L'évolution relative du rapport entre la biomasse des parties aériennes et la masse des racines $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ selon les traitements est la même qu'à Adiopodoumé, mais les valeurs qu'il prend pour NO et NF en début d'essai sont beaucoup plus faibles (Fig. 54).

1.2.2.3. Station de Bouaké (Côte d'Ivoire pré-forestière).

Si les pluies ont été relativement bien réparties et suffisamment abondantes pendant la première année (Fig. 9), il n'en a été de même pendant les dernières années, 1969 ayant été la plus mauvaise année car le volume des pluies a été très insuffisant, leur répartition mauvaise.

De manière générale, à Bouaké, avec une saison des pluies longue à s'installer et à maximum en septembre, avec une végétation pérenne, maintenue en croissance active par des coupes successives, les

réerves en eau du sol sont très longues à se reconstituer après la saison sèche et le sol ne peut souvent jouer pleinement son rôle de tampon que pendant une période très courte dans l'année, entre septembre et le retour de la sécheresse. Le reste du temps, les pluies sont insuffisantes pour mouiller profondément le sol et sont très rapidement consommées.

Les courbes de production cumulées de matière sèche des parties aériennes sont très comparables à celles obtenues à Adiopodoumé (Fig. 55), avec toutefois un fléchissement marqué de la production à l'issue de la première saison des pluies (1968). Les biomasses cumulées par traitement en fin d'essai se classent dans le même ordre.

Pour 3 des traitements, LF, NO et NF, les poids de racines PRT atteignent leur valeur maximum en fin de première année (on a considéré l'année comme commençant à la plantation ou à la première date de prélèvement qui suit la saison sèche), diminuent entre mai et octobre 1969 et restent sensiblement constants en 3ème année (Fig. 56).

Les valeurs atteintes sont de 21,3 à 27,0 mg pour 100 g de terre dans 0-65 cm, soit 2,1 à 2,6 t.ha⁻¹ en mai 1969 et de 16,3 à 19,3 mg pour 100 g de terre, soit 1,6 à 1,9 t.ha⁻¹ en mars 1971.

L'évolution sous le traitement LO est différente de la précédente : le poids maximum de racines n'est atteint qu'en août 1969 (28,6 mg pour 100 g de terre, soit 2,8 t.ha⁻¹) et la diminution s'étale sur toute la fin de l'essai (21,2 mg pour 100 g de terre soit 2,1 t.ha⁻¹ en mars 1971).

La courbe moyenne d'évolution sur 0-65 cm reflète essentiellement les variations sous la touffe dans 0-10 cm. PRT est en effet bien plus élevé là qu'entre les touffes ou dans les autres horizons (tableau 41) (Fig. 57).

En fait, il n'y a qu'en ce point que PRT passe par un maximum en août 1969 (octobre 1969 pour le traitement LO) pour rediminuer fortement pendant la pleine saison des pluies de 2ème année.

Dans les autres sites et horizons de sondage (Fig. 58 et 59), PRT augmente rapidement la 1ère année puis reste sensiblement constant jusqu'à la fin de l'essai sauf pour les traitements fertilisés, pour lesquels PRT, dans l'horizon 0-10 cm entre les touffes, réaugmente en 3ème année, après avoir légèrement baissé en 2ème année.

Figure 54

Evolution du rapport entre la biomasse des parties aériennes et la masse des racines.

Station de Gagnoa.

x.....x Rythme de fauche lent, non fertilisé.
 +-----+ Rythme de fauche lent, fertilisé.

o-----o Rythme de fauche normal, non fertilisé.
 .-.-.-. Rythme de fauche normal, fertilisé.

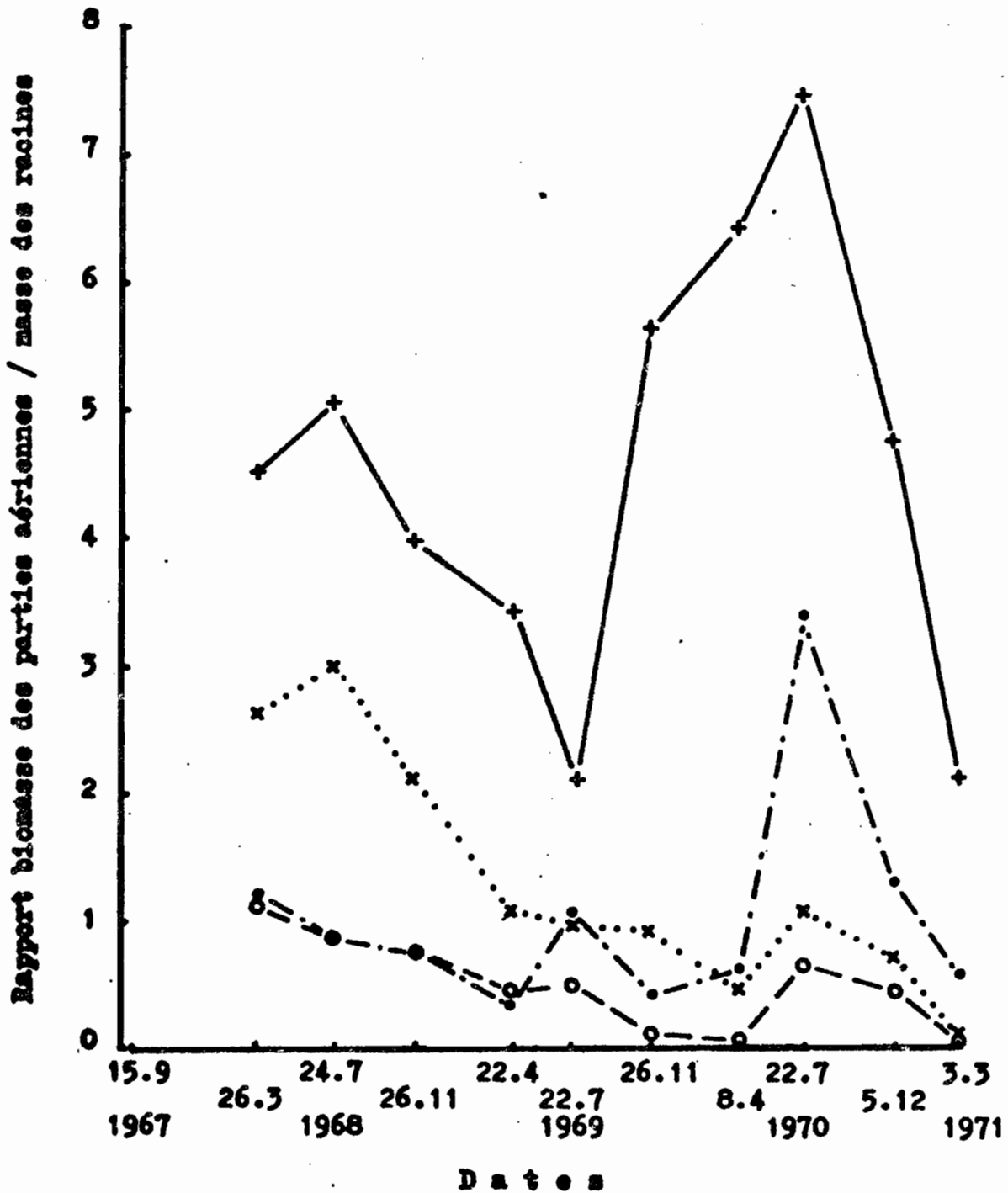
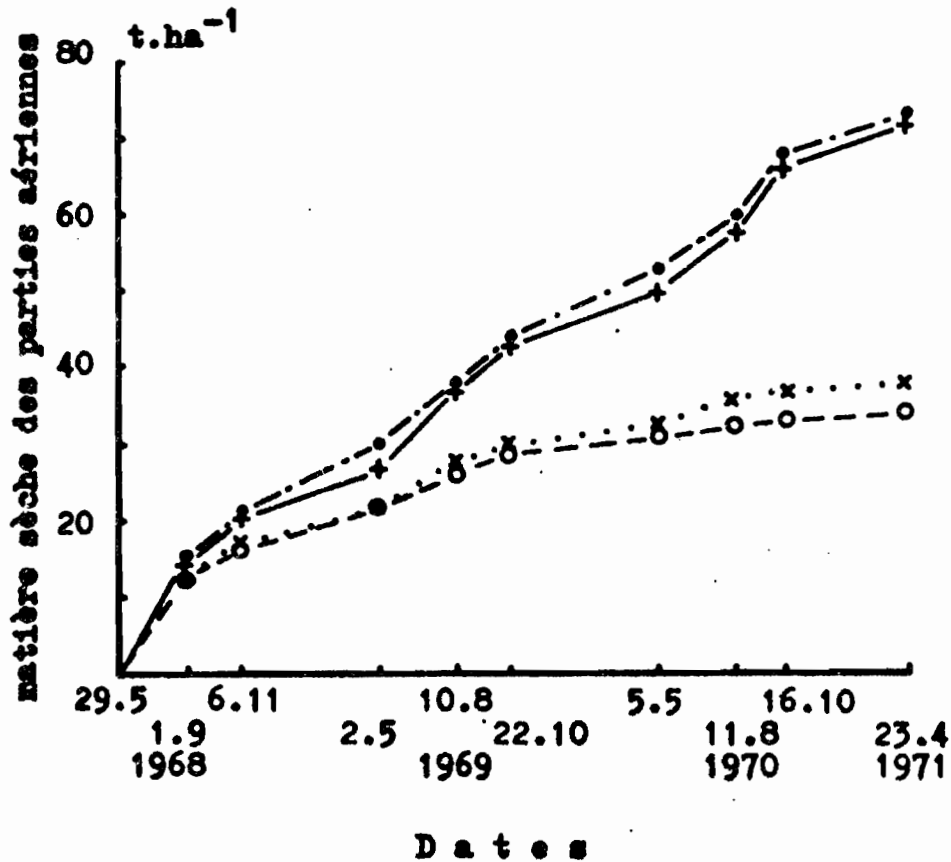
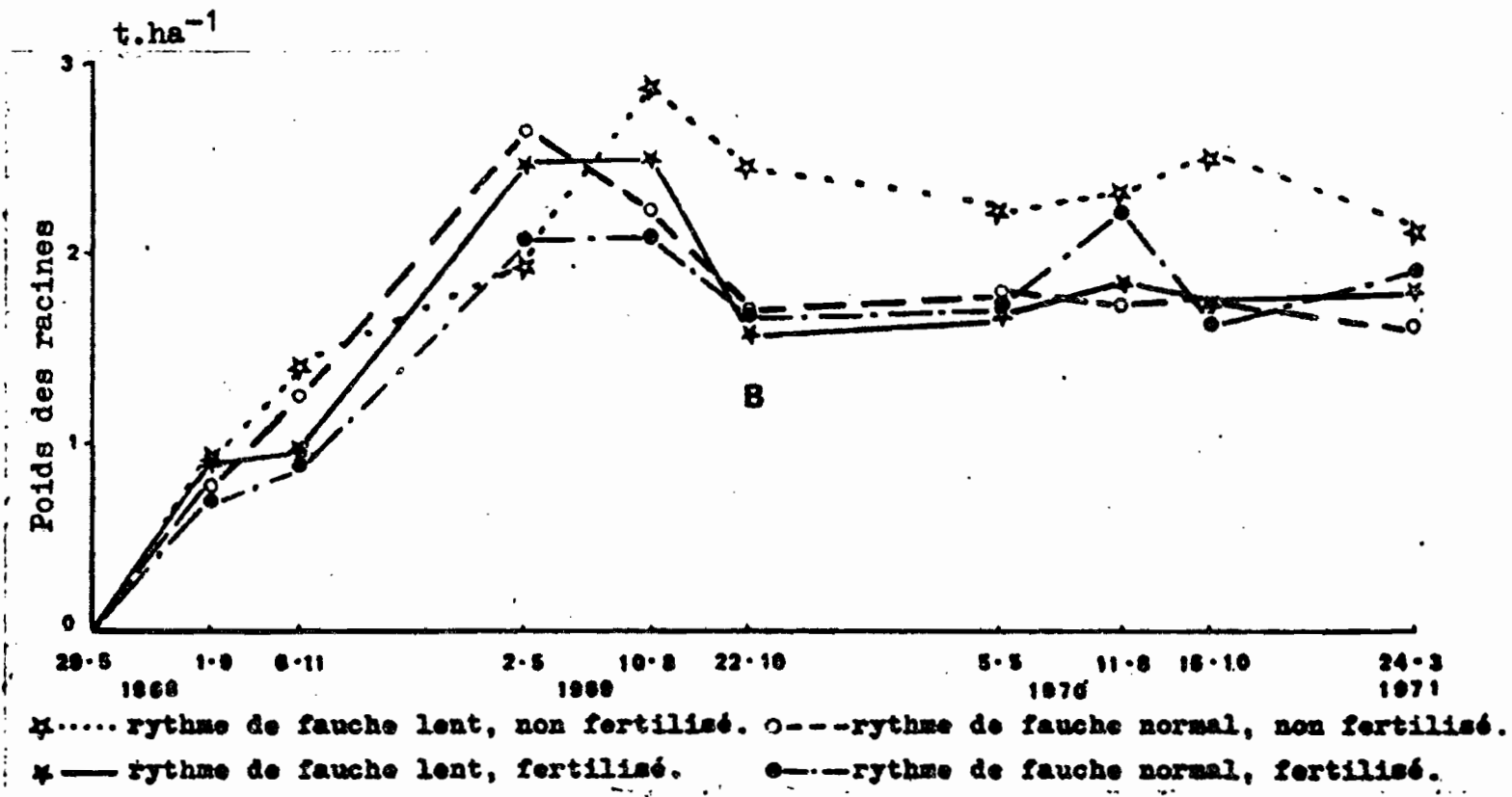


Figure 85.

Evolution du poids de matière sèche cumulé des parties aériennes en fonction du temps et des traitements. Bouaké.

x...x fauche lente, non fertilisé. o--o fauche normale, non fertilisé.
+---+ fauche lente, fertilisé. .-.-. fauche normale, fertilisé.

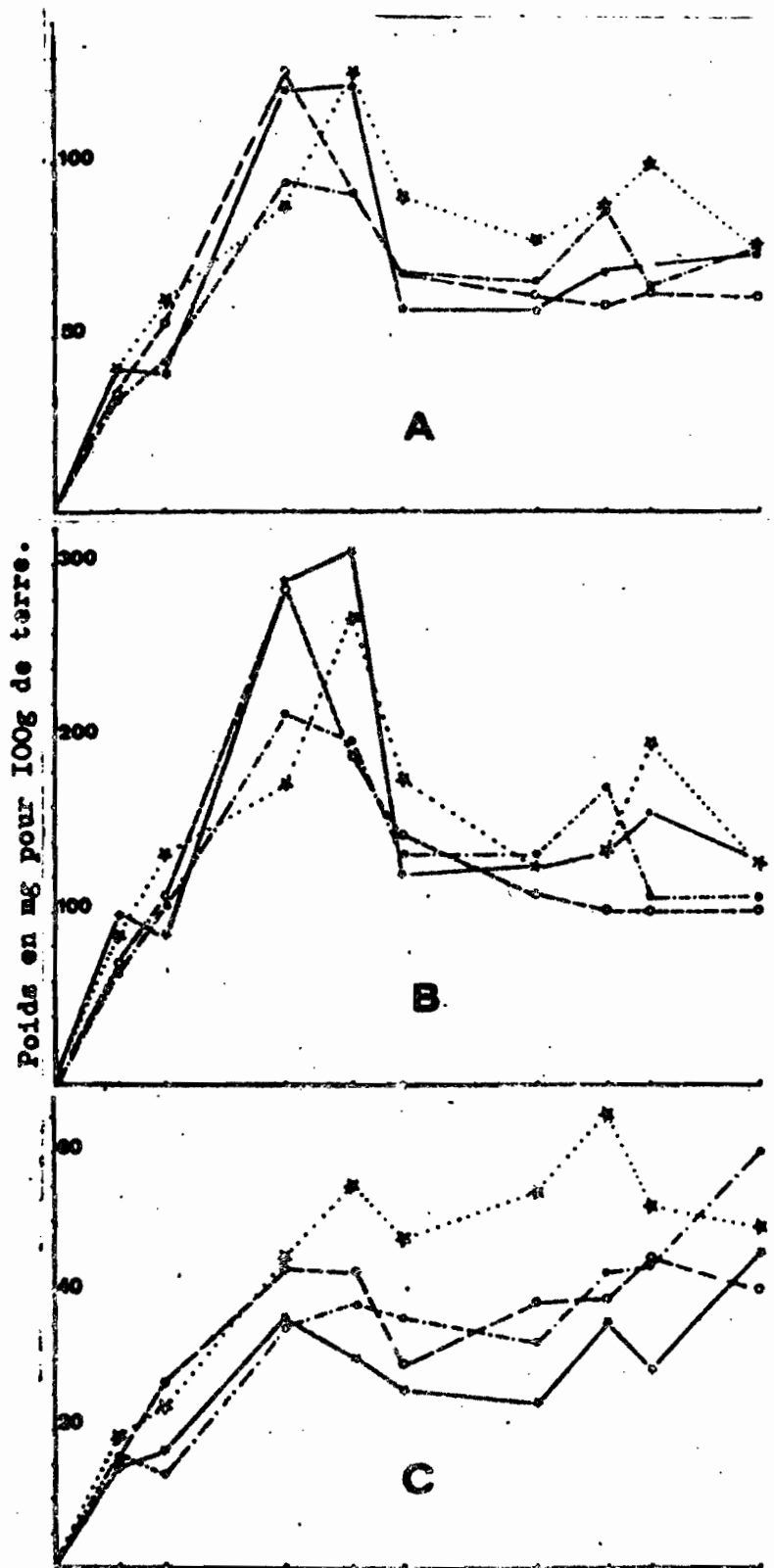




POIDS DE MATIERE SECHE ET SURFACE DIAMETRALE DES RACINES A L'HECTARE, SUR L'ENSEMBLE DU PROFIL 0 - 65 cm.

BOUAKE

Figure 56



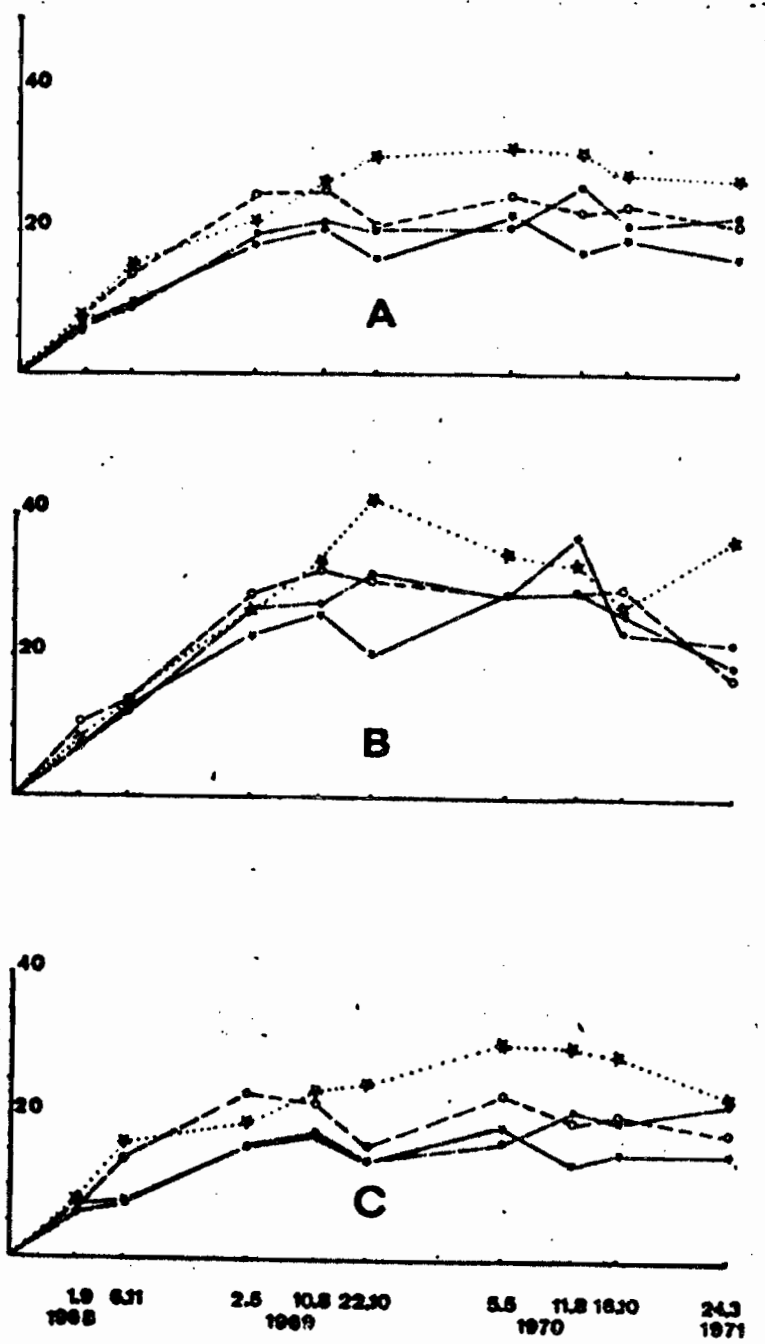
*.....rythme de fauche lent, non fertilisé. o---rythme de fauche normal, non fertilisé.
 *——rythme de fauche lent, fertilisé. o---rythme de fauche normal, fertilisé.

POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE,
 SELON LE SITE DE PRELEVEMENT ET LE TRAITEMENT.

A : Valeur moyenne. B : Sous la touffe. C : Entre les touffes.

Figure 57 : BOUAKE - Horizon 0 - 10 cm.

Poids en ag pour 100g de terre.



*.....rythme de fauche lent, non fertilisé. o---rythme de fauche normal, non fertilisé.
 *—rythme de fauche lent, fertilisé. e---rythme de fauche normal, fertilisé.

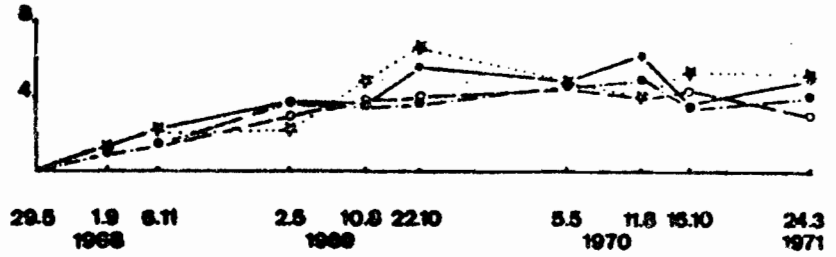
POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON LE SITE DE PRELEVEMENT ET LE TRAITEMENT.

A : Valeur moyenne. B : Sous la touffe. C : Entre les touffes.

Figure 58 : Bouaké. Horizon 10 - 25 cm.

4-48

Poids en mg
pour 100g de terre.



x... rythme de fauche lent, non fertilisé. o---rythme de fauche normal, non fertilisé.
*—rythme de fauche lent, fertilisé. ●---rythme de fauche normal, fertilisé.

POIDS DE MATIERE SECHE DES RACINES EN FONCTION DU POIDS DE TERRE, SELON
LE TRAITEMENT.

Figure 59 : Bouaké. Horizon 25 - 65 cm.

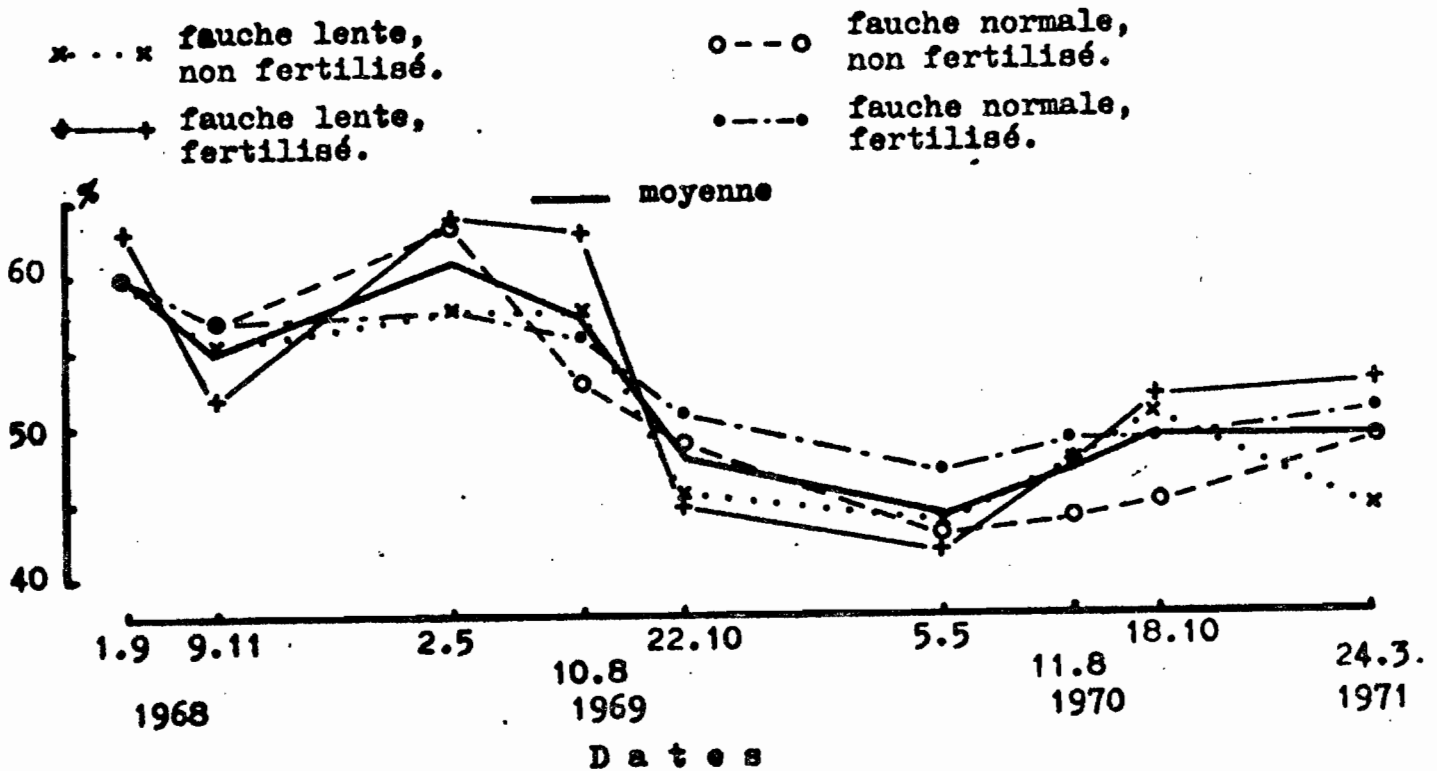


Figure 60 : pourcentage de racines dans 0 - 10 cm
par rapport à 0 - 65 cm. Bouaké.

Le pourcentage de racines dans 0-10 cm, élevé jusqu'en août 1969 (68 % en moyenne), chute brusquement entre août et octobre (passant de 67 % à 58 %) puis reste ensuite sensiblement constant jusqu'à la fin de l'essai. Ce pourcentage varie peu d'un traitement à l'autre, aucun effet durable d'un traitement sur la répartition des racines n'apparaît (Fig. 60).

Le gradient horizontal qui existe pour PRT dans 0-10 cm est beaucoup moins marqué dans 10-25 cm (tableau 43).

Les fluctuations saisonnières sont peu nettes. Elles ont été résumées schématiquement au tableau 44.

Les effets des traitements apparaissent complexes. PRT sous le traitement LO se différencie de PRT sous les autres traitements à partir de mai 1969 (et même d'octobre 1968 sous le touffe dans 0-10 cm). La différence enregistrée correspond à une interaction entre un effet positif du rythme de coupe lent et un effet positif de l'absence de fertilisation pendant cette période.

Dates	Mai 1969				Mars 1971			
Traitements	LO	LF	NO	NF	LO	LF	NO	NF
Horizon 0-10 cm								
. sous les touffes	100	100	100	100	100	100	100	100
. entre " "	15,8	12,4	15,8	16,1	38,3	34,3	39,1	55,2
Horizon 10-25 cm								
. sous les touffes	15,2	7,9	19,9	12,4	28,5	14,3	15,3	20,2
. entre " "	11,1	5,4	8,1	7,4	17,9	11,3	17,2	20,1
Horizons 25 à 65 cm	1,2	1,3	1,0	1,6	4,0	3,7	2,8	3,7

Tableau 43 : *Panicum maximum* - Bouaké -

Pourcentage de racines dans chaque site des différents horizons, en poids de matière sèche et en surface diamétrale. Base : 100 dans 0-10 cm, sous les touffes.

D'une façon générale, si l'on étudie plus particulièrement les variations journalières (calculées pour chacun des intervalles entre 2 prélèvements en soustrayant algébriquement PRT au début de la période

de PRT à la fin et en divisant par le nombre de jours correspondant), on constate un effet négatif de l'apport d'engrais entre août et octobre. Ceci est particulièrement net la 1ère et la 3ème année. Par contre la fertilisation a un effet positif entre octobre 1968 et mai 1969, et, en 3ème année, entre mai et août et entre octobre 1970 et avril 1971.

L'analyse statistique, toujours réalisée dans les mêmes conditions qu'à Adiopodoumé et Gagnoa (Annexe 2), indique cependant clairement le peu d'incidence des traitements. L'effet fertilisation n'apparaît qu'à un seuil de signification très faible, et uniquement en novembre 1969 (particulièrement nettement), octobre 1969 et octobre 1970, c'est-à-dire en fin de saison des pluies. L'effet rythme de coupe n'est jamais significatif.

Année	de mai à août	d'août à octobre	d'octobre à mai
1	↗	→	↗
2	→	↘	→
3	↗	→	↗

Tableau 44 : Schéma d'évolution saisonnière de PRT dans le cas de *Panicum maximum*

↗ = augmentation de PRT ; ↘ = diminution ; → = pas de changement.

Les premières observations suivant de très près la mise en place des essais, qui s'est faite en début de saison des pluies les valeurs du rapport entre la biomasse des parties aériennes et la masse des racines, $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$, est beaucoup plus élevée en début d'essai que sur les autres stations (Fig. 61). Ensuite, à partir de novembre 1968, elles évoluent de la même manière qu'à Adiopodoumé et Gagnoa.

1.2.3. Conclusions préliminaires.

A Adiopodoumé, les masses de racines dans le sol au moment des coupes, PRT_i , varient entre 1,5 et 3,6 t.ha⁻¹, à Gagnoa, entre 1,3 et 4,6 t.ha⁻¹, à Bouaké, entre 1,6 et 2,9 t.ha⁻¹.

PRT_i est fonction du milieu, du mode de conduite des prairies et de leur âge, ainsi que des interactions entre ces facteurs et l'inter-

Figure 61

Evolution du rapport entre la biomasse des parties aériennes
et la masse des racines.

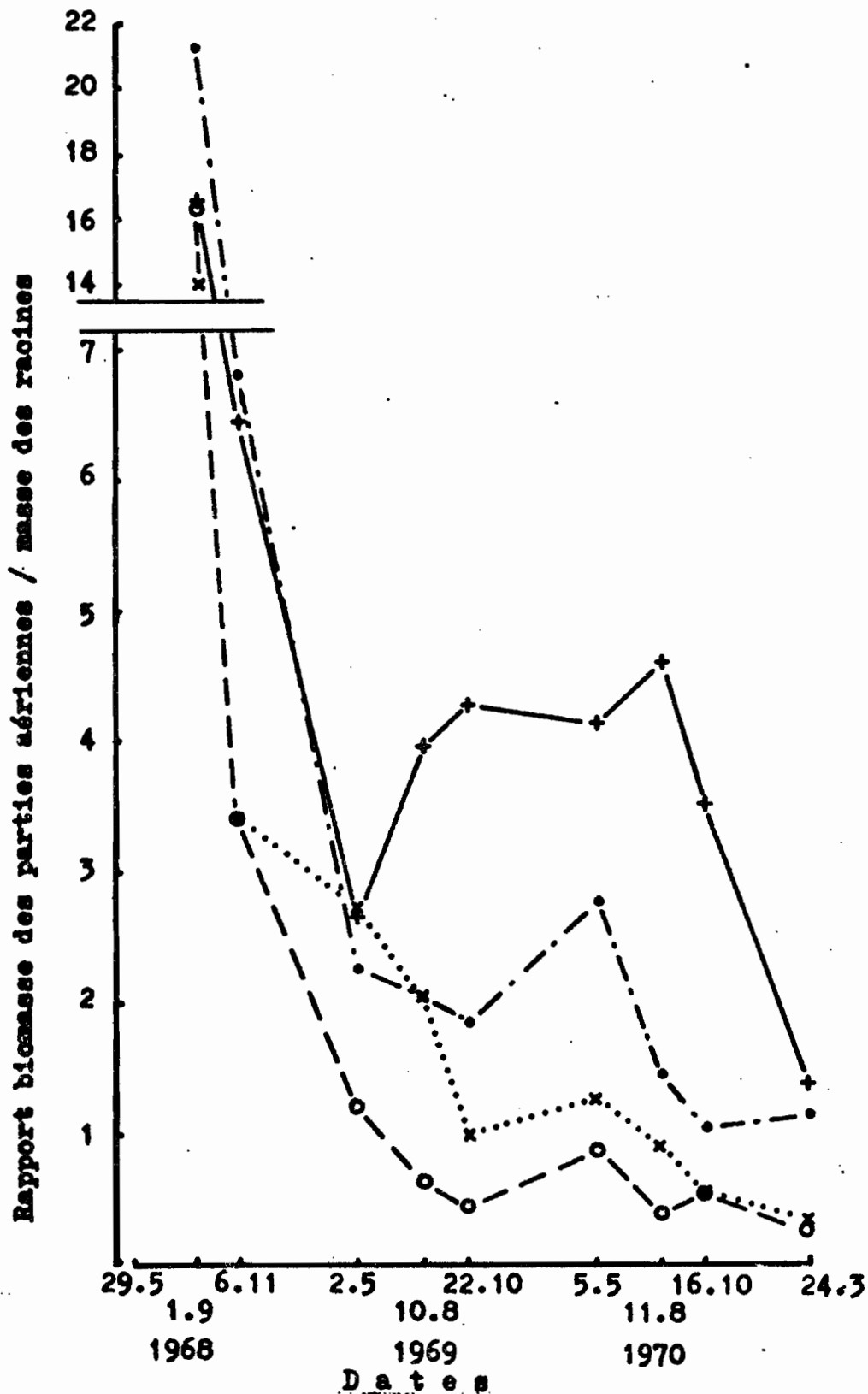
Station de Bouaké.

x.....x Rythme de fauche lent,
non fertilisé.

+——+ Rythme de fauche lent,
fertilisé.

o——o Rythme de fauche normal,
non fertilisé.

•-.-• Rythme de fauche normal,
fertilisé.



prétation de leurs rôles respectifs n'est pas simple.

Apparemment, les masses les plus fortes observables sont atteintes dans les 2 années qui suivent la date d'implantation des prairies.

Sur les 3 stations d'essai, les concentrations en racines des échantillons de sol décroissent rapidement lorsque la profondeur augmente et, dans les horizons de surface, diminuent lorsque la distance du point de prélèvement à la base des touffes croît.

1.3. Profils racinaires de pieds à grand écartement (essai PI 68).

Les 2 essais précédents ont montré ou confirmé l'existence de gradients de masses racinaires importants dans le sol.

Leur mise en évidence dans toutes les situations étudiées tend à prouver que le développement des racines de *Panicum maximum* est essentiellement commandé par le rythme d'émission des racines primaires, le plateau de tallage étant la source essentielle des racines et qu'il est possible de trouver une relation entre PRE_{i+1} et $\sum_i^{i+1} NR3P$.

La comparaison des gradients de masses racinaires selon 2 demi-axes d'origine le plateau de tallage, orientés l'un horizontalement, l'autre verticalement, sur des pieds isolés de *Panicum maximum*, est une façon de vérifier expérimentalement cette hypothèse.

1.3.1. Protocole expérimental.

La parcelle d'essai est située sur la station expérimentale d'Adiopodoumé.

La préparation du sol a été effectuée ainsi :

- labour à 30 cm ; pulvérisation à 10 cm ;
- épandage, en surface, d'une fumure légère équivalent à 10 U d'N, 10 U de P_2O_5 et 14 U de K_2O par ha ;
- paillage du terrain pour éviter l'érosion.

L'implantation de l'essai s'est faite en cours de 2ème saison des pluies : 200 éclats de souche ont été repiqués en pots de terre pressés le 2 octobre 1967 ; 77 éclats bien repris et d'aspects homogène ont été

mis en place en carré à 5 m les uns des autres le 24 octobre 1967 de façon à fournir 2 lots de 20 pieds utiles entourés d'un rang de bordure. La parcelle a été desherbée chaque semaine.

Après une fauche de régularisation le 15 décembre 1967, le premier échantillonnage sur 19 pieds (l'un des pieds étant mort entre temps malgré les précautions à l'implantation) a eu lieu le 24 janvier 1968.

Le deuxième échantillonnage a été effectué le 25 juin 1968.

A chaque fois, le nombre de talles par pieds a été compté puis chaque pied fauché, le poids de matière sèche produite mesuré.

Trois séries de carottes ont alors été prélevées, le long de 3 demi-axes d'origine le plateau de tallage de chaque touffe (Fig. 62).

Demi-axe H_1 : direction, celle d'une ligne de plantation ;

12 carottes de diamètre 5,5 cm, hauteur 10 cm, prélevées à 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 180 cm du plateau de tallage.

Demi-axe H_2 : direction, celle d'une diagonale du carré formé par 4 touffes ;

12 carottes prélevées dans les mêmes conditions.

Demi-axe V : direction verticale sous la touffe ;

9 carottes de diamètre 5,5 cm prélevées dans les horizons suivants : 0-10 ; 10-20 ; 20-30 ; 30-40 ; 40-50 ; 50-60 ; 60-80 ; 80-100 ; 100-120 cm.

Les carottes ont été traitées comme décrit en 2ème partie,

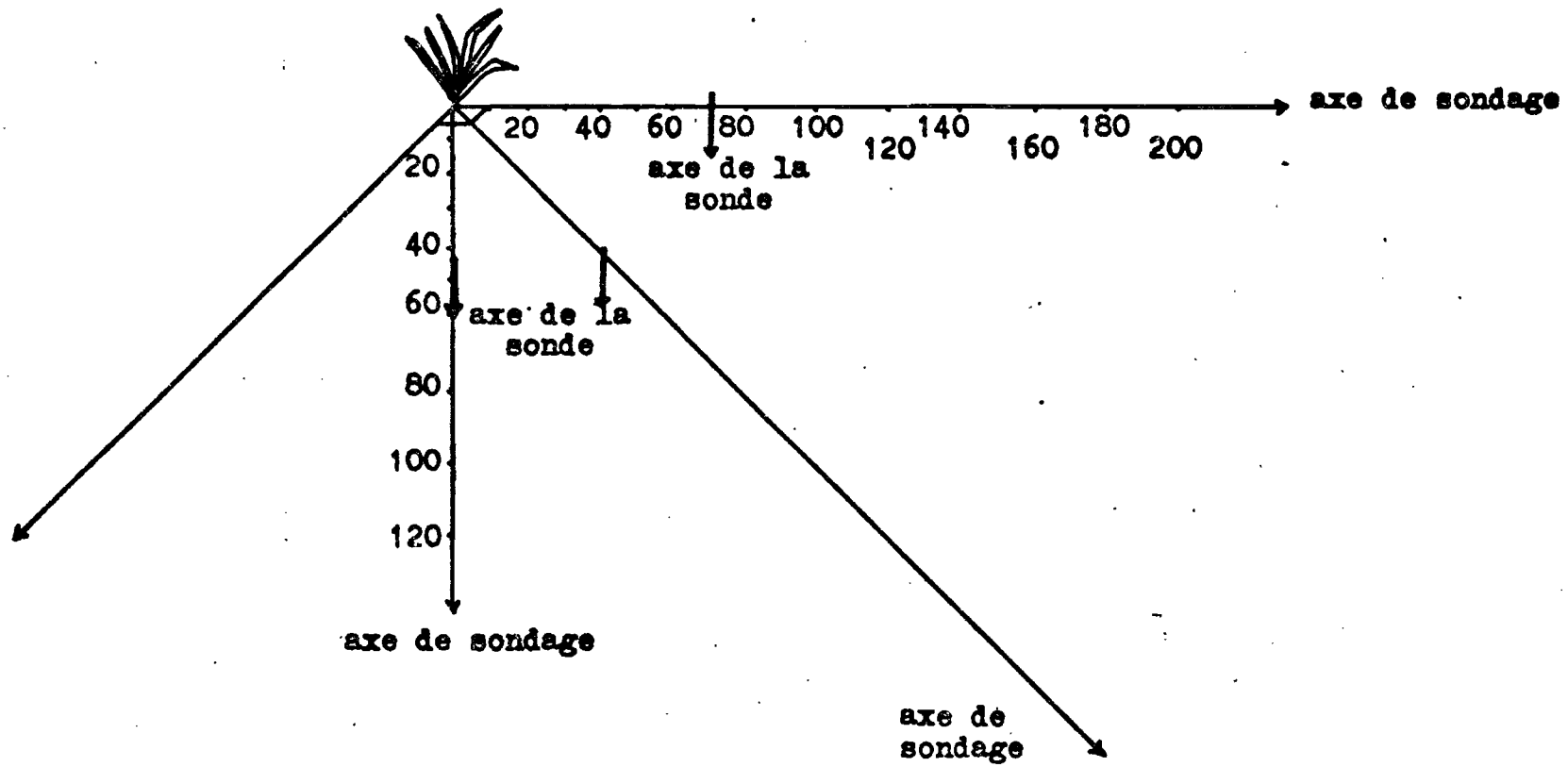
§ 4.4.1..

1.3.2. Résultats.

Le nombre de talles par touffe a progressé linéairement en fonction du temps à partir du 36ème jour (tableau 45).

Au 190ème jour les touffes ont déjà un nombre de talles important. Au 245ème jour, elles sont exceptionnellement volumineuses, comptant 675 talles en moyenne alors qu'à la densité normale de 6,25 touffes au m^2 , ce nombre varie, pour cette variété, de 40 à 120 environ.

ainsi que
Le poids de matière sèche par touffe est aussi très élevé, le poids de matière sèche par talle, qui est en général voisin de 1 g à 2 g pour une



4-52

Figure 82 : Dispositif de sondage.

prairie exploitée rationnellement.

Age des plantes	Nbre de talles moyen par touffe	Poids de matière sèche par touffe (g)	Poids de matière sèche par talle (g)
50 jours	59	79	1,40
90 "	208	690	3,32
245 "	675	8461	12,50

Tableau 45 : Les caractéristiques du développement aérien des touffes de *Panicum maximum*

Les poids de matière sèche des racines, exprimés en mg pour 100 g de terre, diminuent très rapidement avec la distance au plateau de tallage prise à partir du centre de gravité de la carotte (tableau 46).

Les gradients de concentration des racines apparaissent très semblables quel que soit le demi-axe le long duquel ils sont mesurés, ce qui laisse supposer que les racines colonisent une demi-sphère.

2 - DISCUSSION.

L'importance de l'étude des gradients de masses racinaires observés a été soulignée à diverses reprises. C'est en effet de l'interprétation que l'on peut donner de leur existence que découle la possibilité d'établir un lien entre les rythmes d'émission des racines primaires et les évolutions des masses racinaires.

A côté des corrélations de croissance positives au sein du système racinaire, que traduisent ces gradients, existent des corrélations entre le développement du système racinaire et celui du système aérien, qui permettent de comprendre la dynamique racinaire de *Panicum maximum* et, finalement, d'évaluer les quantités de matière organique retournant au sol par suite de la mort et de la décomposition des racines.

Valeurs au 90ème jour						Valeurs au 245ème jour					
Axe H ₁		Axe H ₂		Axe V		Axe H ₁		Axe H ₂		Axe V	
D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
5	1430,3	5	1430,3	5	1430,3	5	2003,7	5	2003,7	5	2003,7
11,2	18,8	11,2	13,4	15	7,0	11,2	166,4	11,2	199,9	15	100,7
20,8	7,1	20,8	7,2	25	5,8	20,8	49,0	20,8	50,8	25	28,7
30,2	3,6	30,2	4,1	35	2,5	30,2	26,4	30,2	29,8	35	15,7
40	3,2	40	3,8	45	2,0	40	14,3	40	17,1	45	10,9
50	2,1	50	2,3	55	1,5	50	10,8	50	11,6	55	13,5
60	1,2	60	1,5	70	1,4	60	6,4	60	6,5	70	9,6
80	1,3	80	1,2	90	1,2	80	5,4	80	5,8	90	8,2
100	1,2	100	1,4	110	1,1	100	3,4	100	5,4	110	6,9
120	0,8	120	1,0			120	4,3	120	3,4		
140	1,4	140	0,7			140	4,7	140	3,3		
160	0,7	160	0,8			160	4,3	160	2,9		
180	0,8	180	0,8			180	4,4	180	2,4		

Tableau 46 : Valeurs des poids de matière sèche des racines (en mg pour 100 g de terre) en fonction de la distance du point de prélèvement (origine : le centre de gravité de la carotte) au plateau de tallage (en cm).

2.1. Interprétation des gradients de masses racinaires observés :
mise en évidence d'une corrélation positive entre le nombre
de racines primaires émises et la biomasse des racines néo-
formées.

2.1.1. Position du problème.

Comme dans les 3 essais réalisés sur *Panicum maximum*, la plupart des études de profils racinaires sur plantes fourragères montrent que les quantités de racines diminuent très fortement avec la profondeur.

Pour s'en tenir aux données disponibles sur *Panicum maximum*, aussi bien Villares, Tundisi et Becker (1953) que Laudelout et Germain (1954) et Taerum (1970 a et b) ont obtenu ce résultat ; Nye (1958), comparant des données dans les horizons 0-15 cm et 15-30 cm, également.

Les gradient trouvés lors de l'essai PI 68 (§ 1.3.) sur plantes à grands écartements montrent qu'il ne s'agit pas seulement de variation avec la profondeur mais, de façon générale, de variation en fonction de la distance au plateau de tallage (Taerum, bien que travaillant aussi sur plantes à grands écartements n'indique malheureusement pas les gradients horizontaux).

Il en est de même pour beaucoup d'autres études sur les enracinement des plantes fourragères, aussi bien en zone tempérée qu'en zone tropicale.

Dans un milieu isotrope, l'enracinement d'une graminée peut se déduire de la connaissance du rythme d'émission et de la vitesse d'élongation de chaque ordre de racines (Lungley, 1972).

En solution nutritive, de concentration constante, ces caractéristiques sont déterminées à un stade très jeune chez l'orga et ne varient plus ensuite (May et al., 1965 ; 1966 ; Hackett, 1968 ; 1969 ; Hackett et Bartlett, 1971). Si l'on perturbe le développement des racines, par exemple en coupant certains apex, la longueur totale, la surface totale et le volume total des racines sont cependant conservés (Hackett, 1971) ce qui permet de modéliser ce développement (Hackett et Rose, 1972).

Dans le sol, l'anisotropie du milieu est susceptible de perturber la distribution des racines/^{soit} en provoquant des accumulations localisées, soit au contraire en s'opposant à la pénétration des racines dans certaines zones.

Il existe de très nombreux travaux expérimentaux montrant la sensibilité de la croissance et du développement des racines aux conditions de milieu : densité, humidité, température, richesse chimique..., études portant sur de multiples espèces à des stades de croissance très variables. Il est bien certain que, parmi les plantes étudiées, toutes ne présentent pas le même degré de sensibilité et que, pour une même espèce, la réaction varie en fonction du stade de croissance.

Sans doute les graminées fourragères, avec leur type d'enracinement, sont-elles parmi les plantes peu sensibles.

Il n'en reste pas moins qu'il y a une contradiction apparente entre ces différents résultats, contradiction propre à décourager toute tentative de décrire à l'aide d'un modèle l'enracinement d'une plante dans le sol en place (Jacques, 1941).

Cette modélisation a cependant été tentée par plusieurs auteurs, notamment pour des plantes fourragères.

Deux modèles ont été utilisés.

- Décrire les variations de masses racinaires avec la profondeur à l'aide d'une courbe exponentielle négative (Dahlman et Kucera, 1965 ; Ozane et al., 1965 ; Picard, 1969 ; Cézard, 1971 ; Bartos, 1972 ; Gerwitz et Page, 1974).
- Les décrire par analogie avec les phénomènes de diffusion (Page et Gerwitz, 1974).

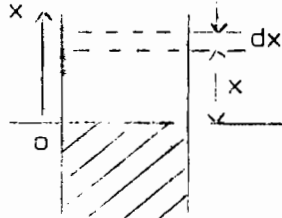
Le développement des racines de graminées dans un sol suffisamment homogène pour être considéré comme un milieu isotrope fait en effet penser au phénomène de diffusion : la concentration des racines dans le sol décroît rapidement mais régulièrement avec la distance au plateau de tallage, aussi bien dans un plan horizontal que dans un plan vertical. Il est donc tentant d'essayer d'utiliser ces lois comme modèles.

2.1.2. Rappel sur les lois de la diffusion - Leur utilisation pour les études d'enracinement.

Les lois de la diffusion ont été formulées pour la première fois par Fick, en 1855, qui transposa pour ce phénomène les lois sur la conductibilité thermique de Fourier (Crank, 1967 ; Tonnelat, 1973).

Si l'on superpose dans un tube deux liquides dont l'un contient une substance dissoute, le flux de substance dissoute qui traverse pendant un court intervalle de temps dt une section plane du tube située à la distance x de la surface de contact initiale (les x étant comptés positivement vers le haut) est proportionnelle au gradient de concentration à ce niveau :

$$dq = - D \frac{\partial C}{\partial x} dt \quad (28).$$



D , coefficient de diffusion, a pour dimensions : (longueur)². (temps)⁻¹.

Cette relation (28) peut encore s'obtenir (Tonnelat, 1973) à partir de la théorie du mouvement Brownien.

De la relation (28) se déduit la deuxième loi de Fick :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (29).$$

équation qui admet pour solution :

$$C = \frac{A}{\sqrt{t}} e^{-\frac{x^2}{4Dt}} \quad (30).$$

Cette équation (30) est l'équation de diffusion dans une direction lorsque le coefficient D est constant.

Crank (1967) a donné une série de solutions de cette équation, d'autres se trouvent dans Carslaw et Jaeger (1947).

Page et Gerwitz (1974) ont utilisé ce modèle dans 3 cas.

- A propos de l'enracinement de laitues semées en carré à 30 cm : ils ont alors pris comme équation celle pour la diffusion dans un milieu semi-infini à partir d'une source ponctuelle, la concentration en substance diffusant étant maintenue constante au niveau de la source.
- A propos de l'enracinement d'oignons semés en ligne : la source est alors linéaire.
- Enfin, à propos de résultats sur prairie, la source étant considérés comme plane.

On se propose de le tester pour les résultats obtenus à partir de plantes de *Panicum maximum* (essai PI 68, §1.3.).

2.1.3. Ajustement du modèle.

Pour la diffusion dans une demi-sphère dans une direction radiale et pour un coefficient de diffusion constant, Crank (1967), p. 84) donne comme équation générale :

$$C = A + \frac{B}{x} \quad (31) ;$$

où C est la concentration de la substance qui diffuse ;

x est la distance à la source ;

A et B sont 2 constantes d'intégration.

C'est l'équation générale d'une hyperbole équilatère.

On a utilisé pour effectuer l'ajustement des résultats la méthode adoptée par Ley (1974) (*) qui permet de déterminer les paramètres a, b et c d'une hyperbole équilatère d'équation (tableau 47) :

$$y = a + \frac{b}{x + c} \quad (32).$$

		Paramètres de l'hyperbole			Indice de corrélation curvilinéaire i^2
		a	b	c	
90e jour	Axe H ₁	- 0,2	118	- 4,9	0,9999
	Axe H ₂	0,5	85	- 4,9	0,9999
	Axe V	0,4	72	- 4,9	0,9999
245e jour	Axe H ₁	- 9,8	1134	- 4,4	0,9998
	Axe H ₂	- 13,8	1382	- 4,3	0,9997
	Axe V	- 10,2	1072	- 4,5	0,9998

Tableau 47 : Paramètres d'ajustement à l'équation d'une hyperbole et indices de corrélation curvilinéaires.

(*) Nous remercions vivement Monsieur P. Franquin qui a été à l'origine du travail de Ley (Formulation des phénomènes apparents de photothermopériodisme en conditions naturelles. Principes de base. Cah. ORSTOM, sér. Biol. 23, 31-44) d'avoir bien voulu traiter nos données.

Les indices de corrélation sont très élevés, indiquant un bon ajustement des données.

L'interprétation des paramètres a , b et c peut se faire à partir de la résolution de (31) dans le cas particulier suivant : dans une sphère, lorsque la diffusion a lieu entre une sphère de rayon α dont la surface est maintenue à la concentration C_1 et une sphère de rayon β dont la surface est maintenue à la concentration C_2 , l'équation (31) devient (Crank, 1967, p. 84) :

$$C = \frac{\alpha C_1 (\beta - r) + C_2 (r - \alpha)}{r (\beta - \alpha)} \quad (33).$$

Dans le cas de racines, la sphère de rayon α représente la zone du plateau de tallage, qui n'est pas ponctuelle, à partir de laquelle partent les racines. D'autre part, au-delà d'une certaine distance, il n'y a plus de racines. Donc pour β , $C_2 = 0$.

Pour passer de (33) à (32), il faut opérer un changement d'axe :

$$x' = x + c,$$

(32) devient alors :

$$y' = a \frac{b}{x'} \quad (34),$$

et, en comparant (33) et (34) :

$$\beta = - \frac{b}{a},$$

$$C_1 = - \frac{a (\beta - \alpha)}{\alpha},$$

Pour les résultats obtenus à 245 jours, a est négatif et conduit à des valeurs de β positives, quoique faibles par rapport aux observations (tableau 48).

:	:	β	:
:	:	cm	:
:	:	-----	:
:	245e jour	Axe H_1	: 116 :
:	"	"	Axe H_2 : 100 :
:	"	"	Axe V_1 : 105 :
:	:	:	:

Tableau 48 : Valeurs de β à 245 jours.

Il ne devrait plus y avoir de racines au-delà de 1 m environ, ce qui ne correspond pas à la réalité. Toutefois, les quantités de racines deviennent alors très faibles et ne représentent plus qu'un très petit pourcentage du total. Pour l'étude de l'alimentation en eau de la plante, l'hypothèse $\beta \approx 1$ m ne serait pas acceptable, mais pour l'étude de l'apport au sol de matière organique elle l'est parfaitement.

Par contre, pour les résultats à 90 jours, a est très voisin de 0, ce qui conduit à :

$$\beta \rightarrow \rightarrow \rightarrow \infty .$$

C_1 est elle-même une fonction hyperbolique de α , qui est très faible :

pour $x = 5$ cm,

$$\alpha = 5 + c \approx 0,1 \text{ à } 0,7 \text{ cm.}$$

c constitue donc une estimation d'un α' , rayon de la sphère dont la surface est maintenue à la concentration C_1 dans le système d'axes dont l'origine représente le centre de la touffe.

Par rapport au volume de la touffe, aussi bien à 90 jours qu'à 245 jours, c paraît petit, mais très constant : entre 4,3 et 4,9 cm, quelle que soit la date d'échantillonnage.

Par rapport à la méthode de Page et Gerwitz (1974), on a formulé l'hypothèse, vérifiée par la suite, que la "diffusion" des racines se faisait radialement. Dans l'un ou moins des cas exposés par eux, celui de l'enracinement d'oignons plantés en lignes, elle ne l'aurait pas été.

L'intérêt est cependant de pouvoir tester l'ajustement des données à une hyperbole à l'aide d'un coefficient de corrélation curvilinéaire.

Enfin, cette méthode n'est utilisable que dans le cas où le milieu peut être considéré comme isotrope ce qui réduit beaucoup son champ d'application.

Par ailleurs, la théorie de la diffusion n'est utilisée que par simple analogie. Il n'y a, en effet, pas lieu de penser que les racines "diffusent" préférentiellement vers les zones de moindre concentration en racines, d'une part, qu'une équivalence puisse être trouvée à la loi de conservation de la masse diffusante d'autre part.

Par contre, la possibilité de pouvoir ajuster la répartition observée des racines dans les différents horizons à un modèle théorique

permet d'affirmer, au moins pour la station d'Adiopodoumé, qu'il existe une corrélation positive entre le nombre de racines primaires

$$\sum_1^{i+1} NR3T$$

et la masse des racines PRE_{i+1} émises dans un intervalle de temps $(i, i+1)$ et qu'il est théoriquement possible de déduire les évolutions de masses racinaires des observations sur les rythmes d'émission des racines. Cette étude ne réunit cependant pas suffisamment de données pour pouvoir le faire : il faudrait savoir comme se modifie la loi de répartition des racines lorsque les plantes sont cultivées à écartements de plus en plus réduits, d'une part, et connaître les variations de masse d'un réseau racinaire en fonction de l'âge de la racinaire primaire qui est à son origine, d'autre part.

2.1.4. Effet des facteurs et conditions de milieu et du mode de conduite des prairies sur la répartition des racines dans le profil.

Les résultats obtenus au cours des 2 autres essais permettent de voir si les facteurs et conditions de milieu d'une part, le mode de conduite des prairies d'autre part, modifient la corrélation qui existe entre

$$\sum_1^{i+1} NR3P \quad \text{et} \quad PRE_{i+1}.$$

En fonction du temps, la diminution du pourcentage de racines dans 0-10 cm par rapport à 0-65 cm la 1ère année à Adiopodoumé (sur les essais RER 70 et B multilocaux) et Gagnoa, les 18 premiers mois à Bouaké, traduit un approfondissement progressif de l'enracinement pendant la phase d'installation de la prairie. Taerum (1970 a) obtient un résultat analogue en Afrique de l'Est.

En chaque point d'essai, les effets des traitements sur la distribution des racines (les effets sur les masses de racines PRT seront examinés ultérieurement, § 2.2.1.1.2.) sont peu marqués et les fluctuations observées surtout liées aux erreurs d'échantillonnage, qui sont importantes du fait de l'augmentation très rapide des coefficients de variations des masses de racines avec la profondeur (Bonzon, 1966). De façon générale, les travaux sur les effets du rythme de coupe et de la

fertilisation sur la distribution des racines des plantes fourragères sont peu nombreux et donnent des résultats contradictoires (Troughton, 1957). L'absence d'effet de la fumure sur cette distribution pour des graminées a été mise en évidence notamment par Jacques, 1943 ; Kmock et al., 1957 ; Schuurman, 1958 ; Boehle et al., 1961 ; Welbank et Williams, 1968. Schuurman, en particulier, pour des cultures d'avoine sur des profils reconstitués dans des tubes, observe un meilleur développement de l'enracinement dans l'ensemble du profil même si les apports d'engrais sont localisés dans le sous-sol.

Entre les stations, la répartition des racines dans les profils paraissent très comparables à Adiopodoumé et Gagnoa pendant toute la durée des essais et à Adiopodoumé, Gagnoa et Bouaké à partir de la fin de 1969. Le pourcentage de racines dans 0-10 cm par rapport à 0-65 cm plus élevé à Bouaké jusqu'en août 1969 est très certainement dû au fait que l'essai a été implanté en ce point 6 à 8 mois après les 2 autres.

2.2. La dynamique racinaire de *Panicum maximum*.

L'existence d'une corrélation de croissance positive entre le nombre de racines primaires émises et l'évolution des masses racinaires justifie la poursuite de l'étude sur les masses racinaires ramenées au m² puisque cette évolution se fait de façon parallèle dans les différents horizons du sol.

Un certain nombre de facteurs et conditions de l'environnement susceptibles d'agir sur l'évolution des masses racinaires dans l'ensemble du profil, PRT, ont été étudiés.

L'action de quelques uns d'entre eux a déjà été analysée quant à leurs effets sur les rythmes d'émission des racines primaires (3ème partie, § 2.1.).

Cependant, le rôle d'un facteur (d'une condition) sur PRT ne se résume pas à celui sur le nombre de racines primaires émises par unité de temps, NR3P : il peut s'exercer sur l'élongation et la ramification de chaque ordre des racines déjà existantes (§ 2.1.1.). Ainsi, l'examen des effets produits sur PRT est un moyen supplémentaire de vérifier l'existence de la corrélation positive entre NR3P et PRT.

Les effets des facteurs et conditions dont l'étude a été abordée sont les suivants :

- effet des traitements coupe et fertilisation ;
- effet des facteurs et conditions de milieu ;
- effet de la nature de l'espèce et des variétés utilisées.

Leur importance peut se mesurer par la variabilité qui leur est liée. Pour une première approche du problème, étant donné que les résultats analysés ont été obtenus à partir de dispositifs expérimentaux différents, ce qui ne permet pas toujours d'effectuer des analyses de variance, on prendra comme indice de variabilité la valeur la plus faible observable exprimée en pourcentage de la valeur la plus forte observable.

Leurs effets peuvent s'exercer à plus ou moins long terme : ils seront examinés d'abord à l'échelle d'un intercoupe, puis à l'échelle de l'année.

2.2.1. Dynamique racinaire dans un intercoupe : effet des coupes.

A l'échelle de l'intercoupe, les masses racinaires sur l'ensemble du profil PRT varient de façon importante (essai RER 70, § 1.1.2.2.1.1.). Ces variations paraissent essentiellement liées à l'effet de la coupe marquant le début de l'intercoupe.

. Dans les 2 premières semaines.

L'influence de la coupe sur le développement des racines dans les semaines suivantes apparaît comme la conséquence de l'ablation du système aérien, qui a 3 effets immédiats :

- provoquer la mort des talles ayant dépassé le stade montaison ;
- supprimer la quasi-totalité des tissus chlorophylliens ;
- perturber brusquement les équilibres hormonaux dans la plante.

Dans une prairie à *Panicum maximum* "Adiopodoumé" exploitée toutes les 6 semaines et fertilisée, il y a à chaque coupe un certain nombre de talles montées, du fait du peu de sensibilité de la plante au photopériodisme dans les conditions d'Adiopodoumé (§ 1.1.2.1.1.).

La corrélation trouvée (équation 25, § 1.1.2.3.), à partir de

l'intercoupe 3, entre la variation du nombre de talles et celle de PRT, conduit à penser que, après l'année d'installation de la prairie, la baisse marquée de PRT durant cette période est liée à la mort et à l'entrée en décomposition d'une fraction importante des réseaux racinaires.

Cette baisse ne peut en effet s'expliquer, en théorie, que de 2 manières : par une perte de poids spécifique des racines, liée à la mobilisation des réserves pour couvrir les besoins de la respiration et de la repousse, ou bien par la mort et la décomposition d'une partie des racines.

La première explication ne peut pas rendre compte des variations de PRT observées, comme le montre le calcul suivant effectué à titre d'exemple.

Talineau et Heilmann (1968) estiment la teneur en glucides solubles des racines de *Panicum maximum* à 3 à 4 %. Davidson et Milthorpe (1966 b) ont montré que, si l'on coupait une plante de *Dactylis glomerata* à 2,5 cm du sol, en ne laissant subsister aucun limbe foliaire, la teneur en glucides solubles des racines diminuait de moitié environ. La variation de poids que cela représenterait, dans le cas de l'essai RER 70 (où l'intensité de la défoliation est bien moindre) est de l'ordre de $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour $\text{PRT}_1 \approx 3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ lors des coupes (en 2ème année d'essai). Seule la 2ème explication peut donc être retenue.

Les études d'absorption d'éléments marqués par les graminées ont mis en évidence l'unité de structure constituée par une talle et les racines qui s'y rattachent (Dodd et Van Amburg, 1970 ; Gillet, 1970) bien que la circulation d'un élément marqué dans l'ensemble d'une plante soit possible (Troughton, 1960).

Il est donc tentant de penser que la chute de masse observée après les coupes est due à l'entrée en décomposition des racines issues de la base des talles dont la fauche a provoqué la mort, et qui meurent à leur tour.

Ce n'est cependant pas une certitude pour 3 raisons.

D'abord, il se peut qu'il y ait un temps de latence de quelques jours entre la mort des racines et leur entrée en décomposition, que la diminution observée au début d'un intercoupe corresponde partiellement à l'évolution de matériaux morts depuis longtemps déjà, ceci malgré la corrélation entre P_r et P_t (équation 25, § 1.1.2.3.). Par exemple, la mort de racines pourrait se produire lors de la montaison dans chaque intercoupe. Cependant, Oswalt et al. (1959) ont observé l'entrée en décomposition des racines de graminées de zone tempérée fauchées, 48 h après la coupe.

De plus, on a constaté que de nouvelles racines pouvaient apparaître à la base de toutes les talles, quel que soit leur âge (3ème partie, § 1.2.4. et 1.2.5.). De même, les racines qui meurent sont peut être réparties, elles aussi, sur les talles de tous âges.

Enfin, dans quelques cas exceptionnels, certaines racines peuvent être émises à la base de chaumes, (3ème partie, § 1.2.4.) ce qui prouve que le système racinaire qui leur est attaché peut rester actif pendant un certain temps. Troughton (1974) signale que, dans certaines conditions en culture artificielle, la durée de vie des racines peut être indépendante de celle des talles qui les portent, mais ceci ne serait qu'un cas particulier.

Malgré ces réserves, il est très vraisemblable que le fait de faucher les plantes provoque la mort d'une part non négligeable des racines, attachées sans doute en grande partie aux talles ayant dépassé le stade montaison.

Ceci confirme la présence, dans tout échantillon de racines prélevé par carottage, d'une fraction de racines vivantes, qui constitue la biomasse, et d'une fraction de racines mortes que l'on peut appeler, selon Duvigneaud (1974) nécro-masse. Le concept de nécro-masse apparaît intéressant à introduire pour désigner cette fraction qui conserve la structure organisée des racines, ce qui la fait exclure des dosages de matière organique du sol, mais est susceptible d'évolution très rapidement.

Cet effet d'une coupe sur la mort d'une fraction des racines n'est certainement pas spécifique des prairies à *Panicum maximum*: il a déjà été signalé (Troughton, 1957) mais son importance rarement perçue, sans doute parce qu'en zone tempérée, les graminées fourragères ne fleurissent qu'une fois dans l'année, ce qui rend le phénomène plus difficile à

observer et qu'en zone tropicale humide les études sont encore trop peu nombreuses.

Cependant, en zone tempérée, Bartos (1972) a montré qu'on pouvait ajuster les données qu'il a obtenu sur une prairie à *Bouteloua gracilis* à la résultante de 2 courbes sigmoïdes décrivant l'une un phénomène de croissance, l'autre un phénomène de décomposition (Pielou, 1969). Mais il n'a émis aucune hypothèse sur la cause déterminant la mort des racines.

Pourtant, dès 1942, Cepihova (citée par Troughton, 1957) a noté que, sur *Festuca pratensis* et *Phleum pratense*, la décomposition des racines intervient à l'épiaison. De plus, il existe de nombreux travaux montrant que la masse racinaire commence à baisser en été précisément après la floraison, à l'arrêt des émissions et lorsque la fauche provoque la mort des talles montées, ou à l'automne si, en été, l'état de dessèchement du sol ne permet pas à la décomposition de se faire (Sprague, 1933 ; Stuckey, 1941 ; Goedewaagen et Schuurman, 1950 ; Troughton, 1951, 1957 ; Jacques et Schwass, 1956 ; Dahlman et Kucera, 1965 ; Garwood, 1967 a ; Bartos, 1972 ; Behaegue, 1974).

Ce premier effet d'une coupe est important à partir de la 2ème année de la prairie. En 1ère année, d'autres phénomènes paraissent mieux expliquer les évolutions observées.

En effet, la plante se trouvant privée d'une partie de son appareil photosynthétique, la reprise de la croissance se fait, au moins dans les premiers jours, partiellement aux dépens des réserves (*) en glucides solubles, comme l'ont montré de nombreux auteurs : Weinmann (1948), Troughton (1957), Barnes (1960 ; 1961) Barnes et Hava (1963), Ward et Blaser (1961), Davidson et Milthorpe (1965 ; 1966 a et b), Eahara et al. (1966), Bokhari et Singh (1974), Beaty et al. (1974), mais aussi aux dépens des autres composés labiles de la plante (Davidson et Milthorpe, 1965 ; 1966 b). L'utilisation des réserves des racines et des bases des tiges est fonction de l'intensité de la défoliation : s'il reste beaucoup de tissus chlorophylliens, la remobilisation des réserves est faible (Bokhari et Singh, 1974 ; Beaty et al., 1974). Si, par contre, tous les tissus chlorophylliens sont supprimés et si les réserves accumulées dans les racines et les bases des tiges sont réduites (en période de montaison par exemple : Gillet, 1970 ; Colby et al., 1974)

(*) May (1960) rappelle que certains auteurs, estimant que ce terme de "réserves" a un contenu téléologique, lui préfèrent celui "d'accumulat", mais que "réserves" étant d'un usage courant, il est difficile de ne pas l'utiliser.

la repousse après coupe sera beaucoup plus lente et il peut même y avoir mort de certaines plantes. Ainsi, dans le premier cas, il y aura arrêt, s'il n'a pas déjà eu lieu, de l'émission des racines primaires (3ème partie, § 2.1.1.2.) et réduction de la vitesse d'élongation des racines restées vivantes (Davidson et Milthorpe, 1966 b ; Evans, 1971, 1973 a et b) et ceci, selon Bronwer (1963) et Ennik (1966) d'une part, Davidson et Milthorpe (1966 b) d'autre part, jusqu'à ce que le rapport d'allométrie :

Log (poids de matière sèche du système racinaire)

Log (poids de matière sèche du système aérien)

ait retrouvé sa valeur d'avant la coupe. Dans le second cas, les 2 phénomènes précédents seront beaucoup plus accentués et, de plus, le poids de matière sèche des racines restées vivantes diminuera.

Dans le cas d'une prairie à *Panicum maximum* exploitée toutes les 6 semaines et fertilisée, en 2ème année, ce type d'effet existe certainement mais se trouve masqué par le précédent. Par contre, en 1ère année, il explique que la masse des racines PRT reste pratiquement inchangée dans les 2 premières semaines d'un intercoupe.

Dans les essais B multilocaux, les observations sont en nombre insuffisant pour déterminer l'effet de l'allongement de la durée d'un intercoupe sur l'évolution de PRT dans cette période de l'intercoupe suivant. Cependant, les observations effectuées sur le développement du système aérien (Picard et al., 1973) permettent de savoir que cet allongement augmente le nombre de talles montées au moment de la coupe de fin d'intercoupe, ce qui devrait accroître le nombre de réseaux racinaires qui meurent donc l'importance de la baisse de PRT dans les jours suivants, et prolonger l'arrêt de l'élongation des racines restées vivantes.

Par conséquent, dans les 2 semaines qui la suivent, une coupe a 2 types d'effets observables sur l'évolution des masses de racines, PRT :

- mort et décomposition d'un certain nombre de réseaux racinaires, ce qui entraîne une baisse marquée de PRT ;
- arrêt de l'élongation des racines vivantes et, s'il n'a pas déjà été réalisé précédemment, arrêt de l'émission des racines primaires (3ème partie, § 2.1.1.1.2.).

Autrement dit, en revenant aux termes de l'équation (1), dans cette période, $PRE_{i,14}$ peut être considéré comme négligeable. En 1ère année,

$PRD_{i,14}$ est aussi réduit, mais, en 2ème année, la différence entre $PRT_{i,14}$ et $PRT_{i,0}$ reflète essentiellement le phénomène de décomposition des racines et dans cette période :

$$PRD_{i,14} \approx PRT_{i,14} - PRT_{i,0} \quad (35),$$

ou encore :

$$PRE_{i,14} \approx 0 \quad (36).$$

Dans les intercoupes 6 et 10, toutefois, l'équation (36) ne paraît pas vérifiée (Fig. 30).

Dans l'intercoupe 10, la valeur de $PRT_{10,14}$ est sans doute principalement liée à l'hétérogénéité des conditions de milieu. La corrélation entre $(PRT_{i,0} - PRT_{i,14})/PRT_{i,0}$ et $(NTT_{i,0} - NTT_{i,14})/NTT_{i,0}$ indique clairement (Fig. 35) que $PRT_{10,14}$ est anormalement élevé.

L'évolution du poids total de racines dans l'intercoupe 6 est vraisemblablement liée à l'interaction : stade physiologique des plantes lors de la coupe du 16 mars 1971 x reprise des pluies dans l'intercoupe 6. En effet, le 16 mars, le nombre de talles par plante, $NTT_{5,113}$, est faible. Comme la proportion de talles montées est certainement élevée en raison de la longueur de l'intercoupe, le nombre de bourgeons prêts à démarrer doit être important.

La coupe permet donc un renouvellement important des parties aériennes, qui s'effectue rapidement grâce au retour des pluies. D'autre part, on sait (3ème partie, § 2.1.1.1.1.) qu'après une période sèche, l'émission racinaire est stimulée.

. Dans les semaines suivantes.

A la suite de la coupe, dès les premiers jours, le développement des talles non montées a repris, de nouvelles talles sont apparues et ceci se répercute sur le développement racinaire dans les semaines suivantes.

La corrélation obtenue entre l'accroissement de la biomasse épigée et celui de la masse racinaire (équation 26, § 1.1.2.3.) n'est pas exactement la relation d'allométrie existant entre le développement des parties aériennes et celui des racines chez les graminées (Troughton, 1955). En effet, l'accroissement de masse racinaire observé est la résultante de 2 phénomènes : accroissement de biomasse des racines restées vivantes

ou néoformées ; décomposition de la nécro-masse.

Cette corrélation montre cependant que biomasses épigée et hypogée croissent de façon simultanée.

Pour une prairie exploitée normalement (essai RER 70) l'émission des racines primaires s'arrête le plus souvent avant la fin de l'intercoupe (3ème partie, § 2.1.1.1.2.). Apparemment, l'élongation et la ramification des racines émises se poursuit au-delà de ce stade. Mais une nouvelle coupe intervient avant la période où le ralentissement de la croissance de l'ensemble du système racinaire devrait se manifester.

Lorsque la durée des intercoupes croît (essais B multilocaux) la quantité de racines à la coupe finale a tendance à se stabiliser à un niveau plus élevé lorsque les parcelles ne sont pas fertilisées (LO > NO) et à un niveau moins élevé, particulièrement à Gagnoa, lorsqu'elles sont fertilisées (LF < NF) : il y a interaction entre les traitements rythme de coupe et fertilisation, ce qui amène à étudier les effets de ce dernier.

Il faut cependant étudier au préalable l'effet cumulatif de coupes successives.

2.2.2. Dynamique racinaire dans une succession d'intercoupes.

2.2.2.1. Influence du rythme de coupe.

L'effet cumulatif des coupes sur une prairie fertilisée peut s'étudier à partir des résultats de l'essai RER 70.

Selon Troughton (1957), si l'intervalle entre coupes est trop rapproché, les effets de chacune d'elle sur le niveau des réserves s'ajoutent, ce qui peut aller jusqu'à provoquer la mort de la plante.

Dans le cas présent, les quantités de racines observées à un stade donné d'un intercoupe augmentent en 1ère année puis restent constantes en 2ème année. Il ne semble donc pas y avoir d'effet cumulatif des coupes, ce qui n'est pas surprenant, *Panicum maximum* étant une plante en C4 (Monteny, 1973 ; Smith et Benedict, 1974) à capacité photosynthétique élevée (de 40 à 65 mg de CO₂.dm⁻².h⁻¹ selon l'âge des feuilles, d'après Monteny, 1973) et les coupes étant effectuées à une hauteur

importante du sol (15 cm). Ceci confirme que les effets prépondérants des coupes dans les évolutions observées sont bien ceux observés à l'échelle d'un intercoupe.

2.2.2.2. Influence de la fertilisation.

Cette influence a été étudiée uniquement au cours des essais B multilocaux (§ 1.2.).

L'effet de l'apport d'engrais varie selon les stations, les époques de prélèvement et le traitement rythmé de coupe.

A la première campagne d'échantillonnage, alors que les doses apportées sont encore faibles, la fertilisation a un effet apparemment dépressif sur l'enracinement.

A Gagnoa, et Bouaké, à Adiopodoumé en début d'essai, il y a moins de racines pour les traitements fertilisés que pour les non fertilisés.

En fin d'essai, si, à Gagnoa, il y a toujours plus de racines pour LO et NO, à Adiopodoumé par contre c'est l'inverse.

On peut enfin constater que la réaction à l'augmentation des doses d'engrais à partir d'avril 1969 a été particulièrement nette à Gagnoa et Adiopodoumé, se traduisant par une baisse des masses entre avril et juillet-août 1969.

D'une façon générale, le rôle des apports d'engrais sur le développement des racines de graminées fourragères est encore mal connu (Troughton, 1957).

En ce qui concerne l'azote, les effets sont de 2 ordres, sur la croissance des racines vivantes, sur la décomposition des racines mortes. Ainsi, lorsqu'on augmente les apports d'azote, la masse de racines augmente jusqu'à une dose limite au-delà de laquelle, si la masse des parties aériennes augmente toujours, celle des racines diminue (Whitehead, 1970) : Wright (1962), Gorb et Yarmolyuk (1973), Semenov (1973), Baranov (1974), obtiennent, le premier sur *Panicum antidotale*, les autres sur des prairies naturelles, une augmentation progressive des quantités de racines avec des doses croissantes de N jusqu'à un pallier, une diminution au-delà. Lemaire (1975) a mis en évidence des courbes ayant ce même aspect sur *Lolium perenne* en milieu contrôlé. Selon ses travaux,

la dose optimale d'azote pour la croissance du système racinaire varie avec les conditions de milieu.

D'autre part, l'activité de la micro-faune et de la micro-flore qui participent à la décomposition de la matière organique fournie par les racines, augmente avec les apports d'azote (Oswalt et al., 1959 ; Garwood, 1967 a et b ; 1968 ; Whitehead, 1970).

Ce double rôle de l'azote peut expliquer pourquoi certains auteurs signalent des effets positifs de la fertilisation azotée sur le développement des racines (Weinmann, 1948 ; Troughton, 1957 ; Kmoch et al., 1957 ; Haas, 1958 ; Schuurman, 1958 ; Wiersum, 1958 ; Wiersma, 1959 ; Holt et Fisher, 1960 ; Barnes, 1961 ; Adams et al., 1966 ; Fried et Broeshart, 1967 ; Black, 1968), d'autres des effets négatifs (Weinmann, 1948) ; Troughton, 1957 ; Oswalt, Bertrand et Teel, 1959 ; Wiersma, 1959 ; Wright, 1962 ; BroUwer, 1966 ; Garwood 1967 a ; Behaeghe, 1972), ou nuls (Barnes, 1960 ; Boehle et al., 1961).

Bosemark (1954), travaillant sur blé en solution nutritive, a montré qu'en cas de carence en azote, les racines étaient plus longues, plus minces, en raison d'une augmentation de la longueur des cellules.

Oswalt, Bertrand et Tell (1959) observent que les apports d'azote ralentissent la vitesse d'élongation des racines de *Bromus inermis* et *Dactylis glomerata*.

Par contre, Drew, Saker et Hashley (1973), soumettant différentes parties d'une même racine séminale d'orge à des solutions de concentration variable en azote ont montré que, dans les zones de forte concentration, le nombre de ramifications et leur vitesse de croissance sont fortement accrues, tandis que la vitesse de croissance de la racine primaire elle-même est peu affectée, ce qui rend compte de l'action positive de l'azote sur la masse racinaire.

Pour le potassium, Ozane et Asher (1965) obtiennent un développement bien plus rapide des enracinements de plantules de 21 espèces fourragères sur des sables pauvres en K en effectuant des apports de K.

Hackett (1968, 1969) a montré, toujours sur orge, en solution nutritive, qu'une déficience en P et K de la solution nutritive se traduit par un nombre moins grand de racines primaires, une réduction de la longueur des secondaires, mais peu de modification de la longueur des primaires et du nombre de secondaires par unité de longueur

de primaire. De plus, la carence en K bloque complètement la formation des racines tertiaires.

Lemaire (1974) sur *Lolium perenne* en conditions partiellement contrôlées, obtient des masses toujours croissantes de racines pour des doses croissantes de P, mais les accroissements plafonnent très rapidement. Dans les expériences de Wright (1962) en pleine terre avec *Panicum antidotale*, lorsque les doses de P augmentent, le pallier au-delà duquel un apport complémentaire provoque une diminution de la quantité de racines apparaît à des doses de N de plus en plus réduites.

Sahaeghe (1972) note qu'une carence en P ou Mg dans le sol entraîne une augmentation du poids de racines, de même qu'une carence en K en présence d'N.

Toutes ces études montrent qu'il est possible d'obtenir des réponses extrêmement variables selon la nature des éléments apportés, leurs doses respectives, les conditions de milieu.

Pour mieux comprendre dans le cas présent le rôle de la fumure minérale, il faut poursuivre l'analyse en tenant compte de l'interaction rythme de coupe x fertilisation et en comparant développement des parties aériennes et développement des racines car, sur l'ensemble des stations, l'apport d'engrais apparaît indispensable au bon développement des tiges et feuilles des graminées dès la 2ème année (Picard et al., 1973) : le rapport biomasse aérienne/masse racinaire évolue donc très différemment selon les traitements.

2.2.2.3. Etude de l'interaction rythme de coupe x fertilisation.

Le nombre de caractéristiques mesurées lors des essais B multi-locaux étant très inférieur à celui des caractéristiques mesurées dans l'essai RER 70, il n'est pas possible d'avoir une idée aussi précise que dans le précédent (§ 2.2.1.) de ce qui s'est passé dans les inter-coups de ces essais.

La variabilité entre traitements, à une date donnée et pour une station donnée, est souvent réduite (tableau 49).

Année	N° de l'observation	Stations		
		Adiopodoumé	Gagnoa	Bouaké
1968	1	69 %	73 %	
	2	74 %	78 %	79 %
	3	76 %	77 %	66 %
1969	1	69 %	79 %	74 %
	2	61 %	62 %	74 %
	3	70 %	47 %	64 %
1970	1	83 %	43 %	76 %
	2	62 %	35 %	64 %
	3	48 %	31 %	68 %
1971	1	72 %	41 %	77 %
	2	65 %		
	3	68 %		
1972		67 %		

Tableau 49 : Essais B multilocaux. Variabilité entre traitements selon les dates d'observation et les stations.

Les différences les plus fortes enregistrées et les plus durables sont celles obtenues à Gagnoa. Sur les autres stations, à une exception près, les indices de variabilité sont supérieurs à 60 %.

Il arrive souvent que les effets fertilisation et rythme de fauche, apparemment du moins, se compensent d'une époque d'observation à l'autre, ou, ce qui se traduit dans les chiffres de la même manière, que l'hétérogénéité expérimentale soit supérieure aux écarts entre traitements, ce qui rend très difficile l'interprétation des résultats.

Compte tenu de l'équation fondamentale (1) et des résultats, l'effet de l'interaction rythme de coupe x fertilisation peut s'exercer à la fois sur les masses des racines en fin d'intercoupe, PRT, et sur leur taux de renouvellement : si à l'issue d'un intercoupe i , PRE_{i+1} et PRD_{i+1} s'équilibrent, ils peuvent être plus ou moins élevés, indiquant un taux de renouvellement plus ou moins rapide.

En ce qui concerne l'effet sur la valeur de PRT en fin d'intercoupe, les hypothèses explicatives font intervenir en plus l'action

des conditions de milieu : il sera donc examiné ultérieurement (§ 2.2.2.4.).

Pour ce qui concerne l'effet sur le taux de renouvellement des racines, on peut formuler quelques hypothèses en utilisant :

- les résultats obtenus sur prairie exploitée toutes les 6 semaines et fertilisée (essai RER 70) et plus particulièrement les corrélations d'une part entre P_r et P_t (équation 25, § 1.1.2.3.) d'autre part entre ΔPAP_i et ΔPRT_i (équation 26, § 1.1.2.3.) ;
- ceux concernant les rapports : biomasse du système aérien/masse des racines, $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$, obtenus pour les 4 modes de conduite des prairies étudiés (essais B multilocaux).

Le développement des parties aériennes (figures 41, 48 et 55) subit très rapidement l'influence de l'appauvrissement du milieu en l'absence d'apports d'engrais : 1 an après plantation à Adiopodoumé et Gagnoa, 6 mois après plantation à Bouaké.

Mais cet effet sur les biomasses des parties aériennes ne se retrouve pas au niveau masses racinaires. Ceci est visible dans l'évolution du rapport entre biomasses aériennes et masses racinaires rapportées au m^2 , $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ (Figures 47, 54 et 61).

De façon générale, sauf pour le traitement LF, $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ diminue la première année des essais, ce qui confirme qu'il faut environ 1 an pour que l'enracinement des plantes atteigne son plein développement.

A Adiopodoumé et Gagnoa, $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ est plus élevé pour les traitements LO et LF que pour NO et NF en début d'essai, ce qui est tout à fait normal, une partie de la biomasse aérienne ayant été éliminée par une coupe intermédiaire pour les traitements NO et NF. Oswald et al. (1959), par exemple, obtiennent le même résultat : $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ croît lorsque l'intervalle entre coupes croît.

Très rapidement aussi $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ est plus élevé pour NF que pour NO et pour LF que pour LO.

Cette différence s'explique aisément par ce que l'on sait sur l'équilibre existant entre la croissance du système aérien et celle du système racinaire d'une graminée (2ème partie, § 2.), d'une part, et sur le rôle des engrais sur la croissance du système racinaire (§ 2.2.2.2.). Lemaire (1975) a clairement montré pour *Lolium perenne* cultivé en milieu

contrôlé, que le rapport poids de matière sèche des parties aériennes/ poids de matière sèche des racines, augmente avec la quantité d'azote apportée, la dose optimale d'azote pour la croissance des racines étant inférieure à celle pour les parties aériennes. Wright (1962) avait déjà observé que cette dose optimale d'azote décroissait lorsque la quantité de phosphore augmentait. Froughton (1974) considère l'apport d'azote comme un des moyens les plus efficaces pour orienter la croissance d'une plante préférentiellement vers celle des parties aériennes.

En fin d'essai, les valeurs de $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ pour le traitement NF deviennent plus élevées que celles pour le traitement LO.

En revenant à l'équation (1) :

$$PRD_{i+1} = PRT_i - PRT_{i+1} + PRE_{i+1} \quad (1),$$

les variations de $PAP_{i,0}/PRT_{i,0}$ peuvent s'expliquer de 2 façons :

- pour les 2 traitements non fertilisés NO et LO, PRD_{i+1} et PRE_{i+1} tendent progressivement vers 0, alors que PRT_i et PRT_{i+1} restent voisins des valeurs obtenues pour NF et LF ;
- PRD_{i+1} et PRE_{i+1} restent élevés pour les 4 traitements.

Au vu des résultats de l'essai RER 70, les 2 hypothèses sont également plausibles.

En effet, dans le 1er cas, que PRD_{i+1} et PRE_{i+1} tendent vers 0 est vraisemblable : l'appauvrissement du milieu entraîne un ralentissement général du développement des plantes, aussi bien au niveau des racines qu'à celui des parties aériennes. De plus, les talles ne dépassant pas le stade de croissance végétative, il est alors possible que le taux de mortalité des talles lors des coupes soit faible et celui des racines aussi, puisque les 2 paraissent directement liés. De plus, Vose (1960), sur *Lolium perenne* cultivé en solution nutritive, a trouvé qu'une carence en azote maintient les racines en activité plus longtemps. Speidel et Weiss (1974), ont obtenu par des observations à partir de tranchées à parois vitrées, sur *Trisetum flavescens* et *Festuca rubra* un résultat similaire : la durée de vie des racines augmente lorsqu'il y a déficience minérale.

Dans le 2ème cas, l'appauvrissement du milieu, comme d'ailleurs un déficit hydrique (3ème partie, § 2.1.1.1.1.) se traduirait par une modification de la croissance entre les parties aériennes et les

racines, dont l'émission et la croissance seraient moins perturbées. Comme les talles ne dépassent pas le stade de croissance végétative, il n'y aurait donc pas blocage de l'émission des racines primaires. Si donc le nombre de racines émises par unités de temps diminue, ce qui est vraisemblable selon les travaux de Hess (1969) (les molécules glucidiques et protéiques nécessaires à l'initiation des racines étant synthétisées à vitesse plus lente, par exemple) il est possible que la période d'émission soit beaucoup plus longue, couvrant toute la fin des intercoupes, et qu'ainsi

$$\sum_j NR3P \text{ et } PRE_{i+1}$$

ne diminuent pas par rapport à ce qu'ils sont pour les traitements fertilisés.

L'étude comparée du rythme d'émission des racines de 2 prairies, l'une convenablement fertilisée, l'autre ne recevant pas d'engrais, devrait permettre de choisir entre les 2 hypothèses, équiprobables à ce stade des études.

2.2.2.4. Effets des facteurs et conditions du milieu.

Les facteurs et conditions du milieu sont ceux liés aux caractéristiques des micro-climats et des sols aux points d'essai. Ils peuvent avoir une influence directe ou en interaction avec les facteurs expérimentaux contrôlés.

Il est possible de les subdiviser en un grand nombre de caractéristiques susceptibles d'avoir chacune un effet particulier plus ou moins important. Toutefois, l'objet de cette étude n'est pas d'analyser ces effets mais (Introduction, § 2.3.) de mettre en évidence leurs résultantes.

Ainsi, l'étude de la répartition des racines dans le profil a déjà permis de montrer que la corrélation positive entre le nombre de racines primaires émises dans un intervalle de temps donné et le profil racinaire à la fin de cet intervalle, plus particulièrement mise en évidence à Adiopodoumé, existait aussi à Gagnoa et Bouaké (§2.1.).

Il reste à voir s'il existe des variations saisonnières ou annuelles dans l'évolution des masses racinaires PRT en fin d'inter-

coupe, qui reflèteraient une action des facteurs climatiques dans leur ensemble et celle de facteurs liés au sol, en interaction avec les traitements rythme de coupe et fertilisation.

2.2.2.4.1. Caractéristiques climatiques.

A l'échelle d'une succession d'intercoupes, avec des observations espacées et au même stade en fin d'intercoupe, les masses racinaires au m² varient relativement beaucoup moins qu'au cours d'un intercoupe (§ 2.2.1.), surtout si l'on tient compte de l'intervalle de temps séparant les valeurs les plus fortes des valeurs les plus faibles observées.

A Adiopodoumé (essai RER 70, § 1.1:2.2.1.2.) la phase d'installation de l'enracinement de la prairie occupe apparemment la 1ère année. En 2ème année, la variabilité enregistrée entre les PRT_{1,0} (ou PRT_{1,42}) est de :

$$100 \frac{\text{PRT}_{8,0}}{\text{PRT}_{10,0}} = 76 \%$$

Lors des essais multilocaux, on a enregistré, pour le traitement fauche à rythme normal et fertilisation, les variabilités suivantes (tableau 50), après avoir éliminé l'année d'installation.

Stations	1969-70:	1970-71:	1971-72:
Adiopodoumé	84	66	75
Gagnoa	65	62	
Bouaké	82	76	

Tableau 50 : Essais B multilocaux. Variabilité annuelle pour le traitement fauche à rythme normal et fertilisation, selon les stations.

Ces variabilités, faibles si on les compare à celles observées dans un intercoupe, en tenant compte des échelles de temps respectives, impliquent 2 choses.

D'une part, les fluctuations saisonnières sont peu importantes par rapport à celles au sein d'un intercoupe. D'autre part, il n'y a

pas d'accumulation de racines mortes dans le sol au fur et à mesure du vieillissement des prairies, comme en zone tempérée.

A Adiopodoumé, l'absence de fluctuation saisonnière des masses racinaires PRT n'est pas surprenante, les émissions de racines primaires ne présentant elles-mêmes aucun caractère saisonnier net (3ème partie, § 2.1.2.). Ce résultat confirme que l'évolution des masses racinaires est liée à celle du nombre de racines primaires émises.

A Gagnoa, les pluies sont mieux réparties dans l'année qu'à Adiopodoumé. Il est donc vraisemblable que les variations saisonnières de masses racinaires sous prairie soient peu marquées.

A Bouaké, par contre, la saison sèche est plus accentuée. Mais, dans les essais B multilocaux, les dates d'observation sont très espacées. De plus, elles ne coïncident pas exactement avec les limites saisonnières (§ 1.2.1.). Ceci est particulièrement vrai pour la première observation annuelle, effectuée déjà nettement en début de saison des pluies. Il n'est donc pas possible, compte tenu de la vitesse avec laquelle les masses racinaires évoluent au sein d'un intercoupe, d'interpréter aisément les fluctuations observées au cours de ces essais en termes de réaction aux facteurs climatiques.

Dans une zone au climat proche de celui de Gagnoa, les évolutions de masse racinaire des graminées de savane non exploitées (César, 1971) présentent un caractère saisonnier beaucoup plus net, particulièrement si la savane brûle en saison sèche, ce qui montre, une fois encore, l'effet prédominant du rythme de coupe sur les variations des masses racinaires sous prairie.

En zone tempérée, les nombreux travaux effectués sur prairie exploitée régulièrement et, plus particulièrement, ceux de Jacques et Edmond (1952), de Garwood (1967 a et b) et de Bartos (1972) montrent qu'il est possible de distinguer plusieurs périodes dans l'année, essentiellement en fonction des variations de température et de longueur du jour : l'émission des racines primaires a lieu lorsque la température du sol est basse, au début du printemps ou à l'automne. Le moment où l'élongation et la ramification de ces racines primaires sont le plus intense est décalé vers des époques où la température est plus élevée, ce que confirme les observations de Speidel et Weiss (1974) mais s'observe avant celui où la croissance des parties aériennes est elle-même la plus intense. Enfin, la décomposition des racines mortes paraît

être le phénomène dominant durant l'été, après que les plantes aient fleuri.

En zone tropicale humide et pour *Panicum maximum*, cette évolution se produit non plus à l'échelle de l'année mais à celle de l'intercoupe, les fluctuations de température étant réduites et la sensibilité au photopériodisme des variétés de *Panicum maximum* utilisées peu marquée.

C'est donc à l'échelle d'un intercoupe et non à celle de l'année qu'il faut chercher à résoudre l'équation (1), ce qui est confirmé par le fait que la variabilité inter-annuelle elle-même est faible, là encore à la différence de ce que l'on observe en zone tempérée.

En effet, lors des essais B multilocaux, aussi bien à Adiopodoumé en 4 ans, qu'à Gagnoa et Bouaké en 3 ans, les masses racinaires totales n'augmentent plus au-delà de la 2ème année. Par contre on observe, à Adiopodoumé (essai RER 70), sur de courts intervalles de temps, des variations très rapides. Il apparaît donc extrêmement improbable que la poursuite des observations sur un nombre d'années plus grand ait permis de mesurer des accumulations notables, ceci d'autant plus que des relevés isolés de profils racinaires sur des prairies plus âgées (Picard, 1969) donnent des valeurs tout à fait comparables à celles obtenues.

Les résultats, très concordants d'une station à l'autre et d'une année à l'autre, diffèrent de ceux obtenus par Nye (1958) qui, lui, note sur une jachère à *Panicum maximum* une progression constante des masses racinaires en 3 ans, mais à partir d'une seule mesure par an.

En zone tempérée, les masses de racines sous prairie augmentent fortement avec l'âge de ces prairies. Troughton (1957) cite des valeurs très variables mais généralement beaucoup plus élevées, pour des prairies à partir de 3 à 4 années d'âge que celles obtenues pour *Panicum maximum*. Garwood (1965) donne, pour des prairies graminéennes, 3 t à 6 mois, 7 à 11 t entre 3 et 4 ans, en comptant tous les débris organiques divers mêlés aux racines ; Hédin (1972) donne $9,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (min. : $3,1$; max. : $15,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) pour une prairie âgée plurispécifique et, pour 4 espèces différentes en culture pure, de $2,6$ à $4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ à 6 mois, de $7,7$ à $14,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ à 2 ans.

Du point de vue qui nous intéresse, saisons et années étant des successions d'intercoupes, si, à l'échelle de l'intercoupe (en prenant par exemple des intercoupes de 42 jours) :

$$PRE_{i,42} - PRD_{i,42} \approx 0 ,$$

cela implique que :

$$\sum_i (PRE_{i,42} - PRD_{i,42}) \approx 0 \quad (37).$$

L'inverse n'étant pas vrai, il était bien obligatoire de procéder à des observations de plus en plus rapprochées pour mesurer PRD, dès lors que, à l'échelle de plusieurs intercoupes, la relation (37) était observée.

2.2.2.4.2. Interactions climat x sol x mode de conduite des prairies.

Certains effets des facteurs et conditions de milieu sont imputables aux interactions climat x sol x rythme de coupe x fertilisation (essai B multilocaux).

De façon générale, l'enracinement de *Panicum maximum* est le mieux développé à la station de Gagnoa et le moins développé à celle de Bouaké.

En effet, six mois après plantation, les masses de racines PRT sont plus élevées à Gagnoa qu'à Adiopodoumé et Bouaké, indiquant une vitesse d'installation du système racinaire moins grande dans cette dernière station, bien que ces 6 premiers mois englobent la grande saison sèche à Gagnoa et Adiopodoumé, alors qu'ils se situent en saison des pluies à Bouaké.

De même, les valeurs les plus fortes trouvées sont plus hautes à Gagnoa qu'à Adiopodoumé et Bouaké. Pour les traitements LO et LF, elles sont atteintes en général en 1969, soit un an et demi à 2 ans après plantation. Pour les traitements NO et NF par contre, c'est beaucoup plus variable, mais il n'y a que pour NF à Adiopodoumé que le maximum est obtenu à la dernière campagne d'observations.

À cette date, pour LO et NO, PRT est plus grand à Gagnoa qu'à Adiopodoumé et Bouaké ; pour LF et NF, PRT est plus grand à Adiopodoumé que sur les 2 autres stations. Ceci reste vrai que l'on compare les résultats de Gagnoa et Bouaké à ceux d'Adiopodoumé en avril 1971 ou en avril 1972.

Enfin, en moyenne sur l'ensemble des traitements et des observations, PRT est plus élevé à Gagnoa qu'à Adiopodoumé et Bouaké (tableau 51).

Stations	Traitements			
	LO	LF	NO	NF
Adiopodoumé	279	223	238	251
Gagnoa	391	218	355	274
Bouaké	207	169	169	165
Variabilité	53%	76%	48%	60%

Tableau 51 : Essais B multilocaux. Valeurs moyennes des masses racinaires (en $g.m^{-2}$) par traitement et par station sur l'ensemble des observations. Indice de variabilité entre stations par traitement.

Les indices de variabilité entre stations par traitement sont plus élevés sur les traitements non fertilisés que sur les fertilisés et sur les traitements fauche lente que sur les traitements fauche normale (tableau 51).

Les comparaisons sur la répartition des racines dans le profil ont été faites précédemment (§ 2.1.4.).

Les différences observées entre stations sur les effets des traitements peuvent s'expliquer d'une part par leur rôle sur la densité des plantes au m^2 , d'autre part, par la richesse chimique différente des milieux.

A Adiopodoumé, entre septembre 1969 et décembre 1971, et à Gagnoa, à partir de 1969, la quantité de racines au m^2 est moins élevée pour le traitement LF que pour les autres.

Or, on constate (Picard et al., 1973) que pour ce traitement, à Adiopodoumé et Gagnoa, le nombre de touffes au m^2 diminue fortement entre le début et la fin de l'essai. La raison en est vraisemblablement que, du fait des longs intervalles entre coupes, qui permettent aux plantes de se développer beaucoup en hauteur, les touffes les plus grosses au départ éliminent progressivement les autres en les privant de lumière. Or les quantités de racines par unité de volume de sol sont beaucoup plus élevées sous les touffes qu'entre les touffes (§ 2.1.). Par conséquent, les densités de touffes ayant baissé, il est logique de penser que cela a entraîné une diminution des quantités de racines moyennes au m^2 pour ces traitements.

A Bouaké, par contre, le nombre de plantes au m² pour le traitement LF est resté voisin de ce qu'il était au départ, sans qu'il soit possible d'en connaître la raison.

D'après les analyses, la richesse chimique du sol est plus élevée à Bouaké et Gagnoa qu'à Adiopodoumé (2ème partie, § 5.2.) ce qui pourrait expliquer que, dans les 2 premières stations les quantités de racines en fin d'intercoupe, pour les traitements sans engrais, sont toujours égales ou supérieures (selon le traitement rythme de coupe) à celles pour les traitements fertilisés.

Selon les courbes de réponse à l'azote obtenues par Lemaire (1975) (courbes "en cloche"), si les teneurs en azote du milieu pour les traitements fertilisés sont très supérieures à celle du seuil au-delà duquel des doses croissantes entraînent une réduction du développement des racines, les teneurs en azote pour les traitements non fertilisés peuvent être elles-mêmes très inférieures à ce seuil et cependant les quantités de racines correspondantes PRT supérieures à celles dans le cas précédent. Selon les résultats de Wright (1962) l'effet des apports de phosphore accentuent encore le phénomène.

Il n'y aurait donc qu'à Adiopodoumé, où le milieu est particulièrement pauvre et où l'essai a duré un an de plus, que les teneurs en azote deviendraient très inférieures à celles au-delà desquelles s'observe un effet nul ou dépressif du traitement fertilisation sur PRT.

2.2.2.5. Influence des caractères morphologiques de l'espèce et des clones étudiés.

La nécessité de procéder à des observations répétées dans le temps pour étudier la dynamique racinaire des plantes fourragères dans les conditions de la zone tropicale humide nous a contraint à limiter notre étude au cas de *Panicum maximum* et plus particulièrement à celui d'un très petit nombre de clones, malgré le polymorphisme de l'espèce.

A Adiopodoumé, les masses racinaires au m² trouvées pour le clone local, "Adiopodoumé", (essai RER 70), § 1.1.2.) sont plus élevées que celles obtenues pour G 23 (essais B multilocaux, § 1.2.2.).

L'allure des courbes de variation des poids de matière sèche des racines à partir de l'implantation des prairies est en effet semblable,

ce qui autorise les comparaisons, les valeurs moyennes ayant un sens au-delà de la période d'installation .

Pour "Adiopodoumé", si l'on ne retient que les données de la 2ème année et uniquement celles au moment des coupes, on trouve environ 3,2 tonnes de racines à l'ha. Pour G 23, en ne prenant que les résultats du traitement fauché régulièrement et fertilisé de façon non limitante, on obtient, entre la 2ème et la 4ème année, 2,7 tonnes de racines à l'ha, ce qui représente un indice de variabilité de 82 %.

Cette comparaison, effectuée sur 2 clones seulement, de morphologie assez voisine, encore que le nombre de talles de "Adiopodoumé" soit beaucoup plus élevé que celui de G 23, n'est certainement pas représentative de celle susceptible d'exister dans l'ensemble de l'espèce, étant donné le polymorphisme des systèmes aériens (Combes, 1972 ; Pernès, 1972). Une première comparaison d'un assez grand nombre de variétés (Bonzon, comm. pers.) n'a cependant pas révélé une variabilité correspondant à celle à laquelle on aurait pu s'attendre.

Etant donné l'importance du stade des talles d'une touffe lors d'une coupe sur l'évolution ultérieure des masses de racines, il serait extrêmement intéressant de pouvoir comparer l'évolution de PRT durant quelques intercoupes sur 2 clones sensibles au photopériodisme dans une période où elles ne fleurissent pas, l'une caulescente, l'autre non, à celle déjà observée sur le clone "Adiopodoumé" de façon à pouvoir mieux préciser l'effet d'une coupe sur la mortalité des réseaux racinaires d'une part, celui du passage de la phase végétative à la phase reproductive sur l'évolution de la biomasse racinaire néoformée d'autre part.

Par ailleurs, la quantité de racines par unité de surface trouvée pour *Panicum maximum* paraît faible, par comparaison avec celle pour d'autres graminées de zone tropicale (la comparaison avec les espèces de zone tempérée ayant déjà été effectuée à propos des évolutions saisonnières et annuelles, § 2.2.2.4.1.).

Ainsi Laudelout et Germain (1954) donnent $10,3 \text{ t.ha}^{-1}$ pour *Brachiaria brizantha*, $11,2 \text{ t.ha}^{-1}$ pour *Cynodon dactylon* et $13,2 \text{ t.ha}^{-1}$ pour *Brachiaria brizantha*. Daudet et Lespinat (1968), utilisant nos méthodes, trouvent $8,57 \text{ t.ha}^{-1}$ pour *Paspalum notatum* à Adiopodoumé. Les espèces citées sont toutes de taille relativement plus courte que *Panicum maximum* et forment un couvert souvent totalement fermé.

Ces valeurs de PRT peu élevées trouvées sous *Panicum maximum* s'expliquent en partie par le fait que cette espèce n'a pas de rhizomes d'une part, par la faible densité de ses peuplements liée à sa grande taille d'autre part: étant donné les gradients racinaires mis en évidence (§ 2.1.) la quantité moyenne de racines au m² est plus réduite que pour les espèces à peuplement plus dense, pour lesquelles les gradients sont moins marqués.

Enfin pour *Cynodon aethiopicus*, espèce stonolifère, et dans les mêmes conditions expérimentales que pour *Panicum maximum*, on constate que la quantité de racines au m² peut continuer à augmenter pendant plusieurs années, que les effets des traitements rythme de coupe et fertilisation ne se traduisent pas de la même manière dans l'évolution de PRT (Picard et Bonzon, 1973, 1974 a et b).

Ces différences sont difficilement explicables actuellement, étant donné qu'on ne dispose pas d'autant de connaissances au sujet de *Cynodon aethiopicus* qu'à celui de *Panicum maximum*. Elles peuvent être liées soit simplement aux différences morphologiques entre ces espèces, soit à des réactions aux conditions de milieu différentes.

2.2.3. Conclusion : Schéma théorique d'évolution des masses racinaires dans un intercoupe.

L'ensemble des résultats obtenus montrent que la dynamique racinaire d'une prairie à *Panicum maximum* est liée à l'évolution des masses racinaires dans un intercoupe.

Les conclusions précédentes peuvent se résumer dans le schéma théorique suivant (Fig. 63) inspiré partiellement de celui de Bartos (1972).

a) Biomasse des parties aériennes.

- Lors d'une coupe, la biomasse chute brutalement, du fait de l'exportation d'une part importante de la végétation.
- L'évolution dans les jours suivants dépend du pourcentage de tiges montées lors de la coupe : si le pourcentage est faible, la biomasse réaugmente très rapidement, la repousse des tiges restées au stade

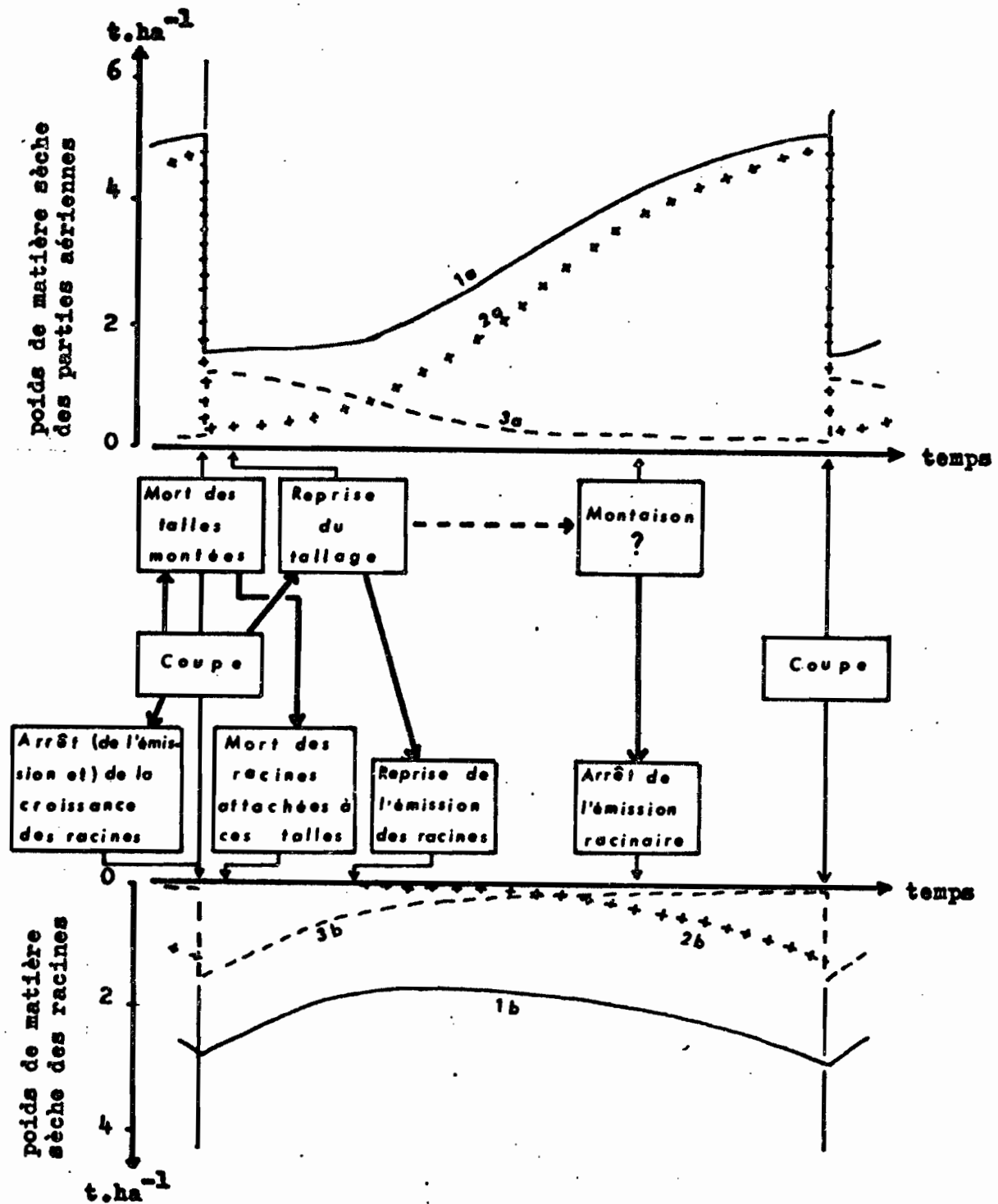


Figure 63

Schéma théorique de l'évolution des masses végétales dans un intercoupe.

- | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--|-----------|
| <u>1a</u> résultante | } parties
aériennes | <u>1b</u> résultante | } racines |
| + <u>2a</u> biomasse néoformée | | + <u>2b</u> biomasse néoformée | |
| - <u>3a</u> décomposition des chaumes | | - <u>3b</u> décomposition des racines mortes | |

→ liaison entre événements

→ liaison événement-temps

végétatif étant très rapide (Picard et al., 1973) ; si par contre il est important, la biomasse continue à diminuer en raison de l'entrée en décomposition des chaumes et du temps de latence dans la reprise de la croissance.

- Puis la croissance des talles non montées et celle des talles néo-formées dominant et la biomasse augmente jusqu'à la coupe suivante.

b) Masse des racines.

- Lors d'une coupe, une partie des racines meurt et entre en décomposition. Peut être s'agit-il de celles attachées aux talles elles-mêmes mortes.
- Dans les jours qui suivent, l'émission de nouvelles racines primaires et la croissance des réseaux racinaires encore vivants sont bloquées ; la décomposition de la nécromasse est intense : la masse racinaire totale diminue, d'autant plus fortement que le pourcentage de talles mortes à la coupe est élevé.
- L'émission des racines primaires reprend environ 10 jours après et dure 10 jours à 3 semaines. Elle s'arrête en général avant la fin de l'intercoupe. La masse racinaire, ayant atteint un minimum relatif, recommence à croître. L'augmentation jusqu'à la prochaine coupe est proportionnelle à celle des parties aériennes.

Ce schéma n'est cependant vérifié que dans le cas d'une prairie à *Panicum maximum* de variété "Adiopodoumé" fertilisée de façon à compenser les exportations.

Il y a donc un parallélisme frappant entre les évolutions au-dessus et au-dessous du sol.

- A la mort des talles montées semble correspondre celle des racines qui leur sont attachées.
- A la chute de biomasse aérienne, liée à l'exportation du produit de la coupe, et à la décomposition des chaumes correspond une chute de masse racinaire, liée à la décomposition des racines mortes.
- Au tallage, correspond l'émission de nouvelles racines primaires.
- A la croissance des parties aériennes correspond celle des racines.

Il existe cependant quelques différences : le tallage reprend plus tôt que l'émission des racines, les nouvelles racines apparaissent sur les talles de tous âges, l'arrêt du tallage et celui de l'initia-

tion des racines primaires ne sont pas directement liés dans tous les intercoupes.

Mais on ne retrouve rien, apparemment, de l'alternance des périodes de croissance entre système racinaire et système aérien généralement observée en zone tempérée, où existe cependant aussi un certain parallélisme entre le développement des systèmes aérien et racinaire (Troughton, 1960 ; Williams, 1969).

2.3. Evaluation de la quantité de matière organique fournie au sol par la décomposition de la nécro-masse racinaire.

A l'aide de l'équation (1) :

$$PRT_{ij} - PRT_{i,0} + PRT_{i,j} - PRE_{i,j} = 0 \quad (1),$$

qui rend compte de l'évolution des masses racinaires dans un intervalle de temps donné (Introduction, § 2.1.) et de quelques hypothèses complémentaires simples, il est désormais possible d'évaluer la masse de matière organique fournie au sol par la mort et la décomposition des racines dans cet intervalle de temps.

2.3.1. Exemple d'une prairie exploitée toutes les 6 semaines et fertilisée.

Pendant les premiers mois qui suivent l'implantation d'une prairie, qui correspondent à sa phase d'installation, il n'y a pas d'équilibre entre la masse des racines néoformées et celle des racines décomposées.

L'évaluation de la masse de matière organique retournant au sol à la suite de la décomposition des racines mortes ne portera que sur la 2ème année de la prairie, lorsque l'équilibre est atteint.

L'intervalle de temps sur lequel l'évaluation est faite est l'intercoupe.

Selon les notations précédemment définies (2ème partie, § 4.5.) et le protocole de l'essai RER 70 dont les résultats servent au calcul (§ 1.1.1.) :

- l'indice i varie de 7 à 13 ;

- l'indice j varie de 1 à 42, sauf pour i = 13 : dans ce dernier cas, j varie de 1 à 113.

Dans l'équation (1) :

$PRT_{i,42} = PRT_{i+1,1}$ est le poids total de racines le jour de la coupe marquant la fin de l'intercoupe i ;

$PRE_{i,42}$ est le poids des racines émises dans l'intercoupe i ;

$PRD_{i,42}$ est le poids des racines décomposées dans l'intercoupe i.

La variable temps est notée θ .

Le calcul de la masse de racines qui se décompose dans un intercoupe nécessite 2 hypothèses.

2.3.1.1. Hypothèses du calcul.

Première hypothèse :

Lorsque la prairie a atteint son régime d'équilibre (ici, à partir de la fin de la première grande saison sèche), la variation de poids total de racines dans les 14 premiers jours d'un intercoupe constitue une bonne approximation de la variation de poids de racines décomposées pendant cet intervalle de temps, la quantité de racines émises durant ce temps étant négligeable (§ 2.2.1.). Ceci s'exprime par :

$$PRT_{i,14} - PRT_{i,1} = PRD_{i,14} = PRM_{i,14} \quad (35),$$

ou par :

$$PRE_{i,14} \approx 0 \quad (36).$$

Deuxième hypothèse :

La décomposition des racines durant un intercoupe se fait suivant une loi exponentielle négative, la fraction de racines mortes qui se décompose dans un petit intervalle de temps étant proportionnelle au poids de racines mortes susceptibles de se décomposer à ce moment là :

$$\frac{d(PRM_{i,j})}{d\theta} = -K \cdot PRM_{i,j} \quad \begin{array}{l} i \text{ donné} \\ 1 \leq j \leq 42 \end{array} \quad (38) ;$$

$PRM_{i,j}$ étant le poids de racines mortes non décomposées à l'instant θ défini par i et j,

K étant la constante de décomposition.

On a évidemment :

$$PRD_{i,j} = PRM_{i,1} - PRM_{i,j} \quad (39).$$

Par intégration de (38), pour un intercoupe :

$$\text{Log} \frac{PRM_{i,1}}{PRM_{i,j}} = K \cdot \theta \quad , \quad 0 < \theta < 42 \quad (40).$$

Hénin et Dupuis (1945), Hénin et al. (1959) en zone tempérée, Birch (1958) en zone tropicale, utilisent une équation de ce type pour décrire la vitesse de minéralisation de la matière organique.

Greenland et Nye (1959), Laudelout (1962) ont utilisé cette équation pour décrire la dynamique respectivement du carbone et de l'azote sous jachère en Afrique tropicale humide, s'inspirant des travaux de Jenny et al. (1949).

Bartos (1972) propose comme modèle une loi sigmoïde à partir de laquelle il obtient un bon ajustement de ses données. Mais les conditions de milieu sont très différentes et il apparaît difficile, dans le cas présent, de rendre compte de l'évolution très rapide observée dans les 14 premiers jours d'un intercoupe avec un tel modèle.

Cette 2ème hypothèse implique que la décomposition des racines se fasse aux dépens des racines mortes à la coupe, ce qui est suggéré par la liaison entre l'évolution du nombre de talles et celle de la masse totale des racines dans les 2 premières semaines d'un intercoupe (équation 25 § 1.1.2.3.).

Elle contredit toutefois l'observation souvent mentionnée que le parenchyme cortical d'une racine disparaît avant que les faisceaux libéro-ligneux cessent leur activité (Jacques et Schwass, 1952 ; Troughton, 1957).

Mais la condition :

$$PRE_{i,14} \geq 0$$

et le fait que, dans les intercoupes 7 à 9 et 11 à 13 :

$$PRT_{i,14} < PRT_{i,1} \quad (7 < i < 13 \text{ et } i \neq 10) ;$$

impliquent que le poids de racines qui se décomposent décroît dans l'intercoupe entre le 1er et le 14ème jour, donc très certainement au-delà.

Si, au lieu de :

$$PRE_{i,14} \approx 0$$

pour première hypothèse, on prenait :

$$PRE_{i,14} > 0$$

celà signifierait que la décomposition des racines est plus rapide encore que celle observée.

A partir des 2 équations (36) et (40) issues des 3 hypothèses formulées, il est possible, pour les intercoupes 7, 8, 9, 11, 12 et 13, de calculer les termes de (1) en considérant les limites entre lesquelles le poids de racines mortes le jour de la coupe $PRM_{i,1}$ est susceptible de varier.

$PRM_{i,1}$ est borné supérieurement par $PRT_{i,1}$: toutes les racines meurent à chaque coupe. Le calcul, dans ce cas, donne la limite supérieure que peut atteindre PRD.

La borne inférieure de $PRM_{i,1}$ n'est pas aussi rigoureusement définie. Elle dépend en effet du temps nécessaire à la décomposition de l'ensemble des racines mortes à la coupe. Comme il est douteux que ce temps soit inférieur à l'intercoupe, on peut choisir comme borne inférieure une valeur telle que $PRM_{i,42}$ soit voisin de 0. En raison de la forme de l'équation (40) et pour la commodité du calcul on prendra pour définir la borne inférieure de $PRM_{i,1}$:

$$PRM_{i,42} = 1 \text{ g.m}^{-2},$$

sauf pour l'intercoupe 13.

Pour cet intercoupe, en effet l'équation :

$$PRE_{i,j} > 0 \quad \text{pour } i = 13,$$

permettra de calculer K et $PRM_{13,1}$ pour obtenir le meilleur ajustement possible aux fluctuations de $PRT_{13,j}$ observées.

On obtient ainsi la limite inférieure de PRD.

2.3.1.2. Calcul des poids de racines émises et décomposées dans le cas où l'ensemble des racines meurt à chaque coupe : limite supérieure de PRD.

La figure 64 résume les calculs des $PRD_{i,j}$ et $PRE_{i,j}$ à chaque date d'observation. Pour l'intercoupe 6 on a utilisé la valeur moyenne de K obtenue sur les 6 intercoupes 7 à 9 et 11 à 13 pour effectuer les calculs. Pour l'intercoupe 10, on a étudié 2 possibilités : soit, comme pour l'intercoupe 6, utiliser K moyen, soit réévaluer la valeur de $PRT_{10,14}$ à partir de la corrélation entre $(PRT_{i,14} - PRT_{i,0})/PRT_{i,0}$ et $(NT_{i,14} - NT_{i,0})/NT_{i,0}$. Les 2 modes de calcul conduisent à des valeurs très similaires de $PRD_{10,j}$; par contre les valeurs intermédiaires de PRE, $PRE_{10,14}$ et $PRE_{10,28}$, sont très différentes.

Les valeurs de K obtenues sont assez proches les unes des autres (tableau 52). On constate cependant une nette différence entre les 3 premières valeurs (intercoupes 7, 8 et 9) et les 3 dernières (intercoupes 11, 12 et 13), qui sont plus faibles. Cette différence est liée à celle qui existe entre les 6 valeurs de $(PRT_{i,0} - PRT_{i,14})$ pour $i = 7, 8, 9, 11, 12$ ou 13 . Il est difficile de dire si cela correspond réellement à des vitesses de décomposition différentes selon les intercoupes, en fonction de variations des conditions de milieu, ou bien s'il s'agit d'un effet de l'hétérogénéité expérimentale.

Le poids de racines mortes restant en fin d'intercoupe, $PRM_{1,42}$ pour $6 < i < 12$ et $PRM_{13,70}$ est compris entre 19 et 54 % de $PRM_{1,1}$, la moyenne étant de 39 %. Il y a donc en permanence entre 39 et 100 % de racines mortes dans le poids de racines prélevées.

Le nombre de jours théoriquement nécessaire pour qu'il n'y ait plus que 1 g.m^2 de racines non décomposées :

$$P_{i,\text{lim}} = 1 \text{ g} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \theta_{\text{lim}}$$

correspond à 150 à 390 jours en saison des pluies et 517 jours en saison sèche.

Il y a en tout $15,80 \text{ t.ha}^{-1}$ de racines formées durant la période, contre $14,80 \text{ t.ha}^{-1}$ de racines décomposées. Le poids moyen d'un réseau racinaire est donc de $4,36 \text{ g.m}^{-2}$ et le rapport entre le poids de parties aériennes et le poids de racines synthétisées par intercoupe est de 1,98. Ce rapport paraît extrêmement variable d'un intercoupe à l'autre, les

1 Inter- coupe	2 K	3 PRE _{1,0} g.m ⁻²	4 PRE _{1,42} g.m ⁻²	5 4/3 en %	6 PRO _{1,42} g.m ⁻²	7 t _{11a} J	8 PRE _{1,42} g.m ⁻²	9 PROP _{1,42}	10 8/9	11 A PAP ₁ g.m ⁻²	12 11/8
6	0,022	204	81	40	125	242	266	60	4,43	514	1,93
7	0,028	347	107	31	240	208	259	20	12,95	463	1,78
8	0,39	366	71	19	295	151	254	41	6,20	207	0,81
9	0,026	325	110	34	215	222	168	15	11,20	389	2,32
10 (1)	0,022	278	110	40	168	239	180		1,68		0,97
10 (2)	0,020	278	118	42	160	275	172	107	1,61	175	1,02
11	0,015	290	155	53	135	378	182	59	3,03	461	2,53
12	0,015	337	183	54	154	388	112	25	4,87	462	4,13
13	0,011	295	137	46	158	517	167	37	4,51	450	2,69
Σ					1480		1580	362		3121	
m	0,022			39			197,5		4,36		1,98

Tableau 52 : Etude de la quantité de racines décomposées et synthétisées par intercoupe dans le cas où toutes les racines meurent lors d'une coupe.

Les valeurs pour les intercoupes 6 et 10 (1) ont été calculées à partir de la valeur moyenne de K pour les intercoupes 7 à 9 et 11 à 13.

Les valeurs (2) pour l'intercoupe 10 ont été obtenues après réestimation de PRE_{10,14}.

valeurs obtenues pour les intercoupes 8 et 10 étant les plus faibles. On retrouve les observations déjà faites antérieurement.

Le turn-over dans ce cas, calculé à partir de la moyenne des $PRT_{i,42}$ pour $7 \leq i < 13$ (pour $i = 13$, il s'agit de $PRT_{13,115}$) est de :

$$\tau = \frac{14,80}{3,2} = 4,6.$$

2.3.1.3. Calcul des poids de racines émises et décomposées dans le cas où la nécro-masse devient négligeable en fin d'intercoupe : limite inférieure de PRD.

Dans le cas où :

$$PRM_{i,42} = 1 \text{ g.m}^{-2} \text{ pour } i = 7, 8, 9, 11 \text{ et } 12 \quad (41),$$

le système des 3 équations (36), (40) et (41) ne donne pas de solution calculable directement. On a donc évalué $PRM_{i,0}$ en % de $PRT_{i,0}$ à 1 % près, par approximations successives, pour :

$$1,5 \leq PRM_{i,42} \leq 1 \quad , \quad i = 7, 8, 9, 11 \text{ et } 12.$$

$PRM_{13,4}$ a été estimé par la même méthode mais à partir de la condition :

$$PRE_{13,j} \geq 0 \quad , \quad ttj \quad .$$

La figure 65 résume les calculs des $PRD_{i,j}$ et $PRE_{i,j}$ à chaque date d'observation. Les valeurs pour les intercoupes 6 et 10 ont été obtenues de la même manière qu'au § 2.4.1.1..

K est en moyenne 5 fois plus élevé que dans le cas précédent et l'on retrouve les mêmes différences entre les intercoupes 7, 8 et 9 d'une part, 11, 12 et 13 d'autre part, même si, pour l'intercoupe 13, on calcule K pour $PRM_{i,42}$.

Le poids de racines mortes à la coupe est donc celui des racines décomposées, puisque, dans ce cas :

$$PRM_{i,0} \approx PRD_{i,42} \quad ,$$

est d'environ 36 % du poids total de racines, ce qui représente, en fin d'année, $8,70 \text{ t.ha}^{-1}$ de racines décomposées (tableau 53).

1 Inter- coupe	2 K	3 PRT _{1,0} G.M ⁻²	4 FRM _{1,0} G.M ⁻²	5 4/3 %	6 FRB _{1,42} G.M ⁻²	7 FRY _{1,42} G.M ⁻²	8 6/7 %	9 NRDP 1,42	10 6/9	11 Δ P&P _{1,0} G.M ⁻²	12 11/6
6	0,107	204	90	44	232	346	67	60	3,87	514	2,22
7	0,114	347	139	40	157	365	43	20	7,85	463	2,94
8	0,119	366	190	52	148	324	46	41	3,61	207	1,40
9	0,114	325	124	38	76	277	27	15	5,07	389	5,12
10 ⁽¹⁾	0,107										
10 ⁽²⁾	0,107	278	89	32	101	269	35	107	0,94	175	1,73
11	0,98	290	73	26	121	336	36	59	2,05	461	3,81
12	0,104	337	81	24	38	294	13	23	1,55	462	12,16
13	0,049	295	83	28	89	301	30	37	2,41	450	5,06
t		2442	670		962	2532		362		3121	
n	0,107			36	120		38		2,66		3,24

Tableau 53 : Etude de la quantité de racines décomposées et synthétisées par intercoupe dans le cas où les racines mortes lors d'une coupe sont totalement décomposées à l'issue de l'intercoupe.

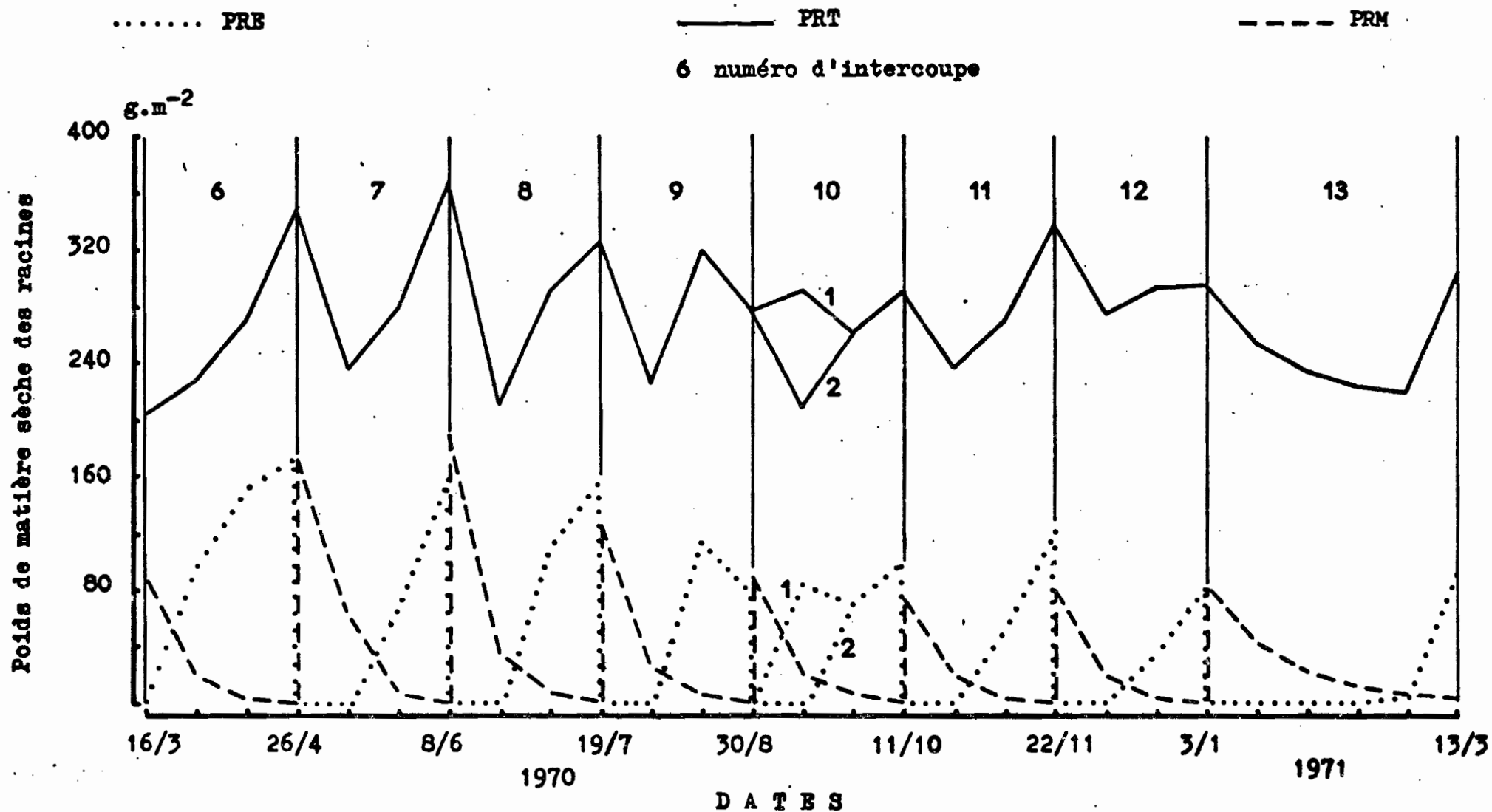
Les valeurs pour les intercoupes 6 et 10 (1) ont été calculées à partir de la valeur moyenne de K pour les intercoupes 7 à 9 et 11 à 13.

Les valeurs (2) pour l'intercoupe 10 ont été obtenues après réestimation de PRT_{10,14}.

* moyenne calculée avec, pour l'intercoupe 13, la valeur de K pour FRM_{13,42} = 1.

Figure 65

Etude des poids de racines émises (PRE) et mortes (PRM) par intercoupe dans l'hypothèse où toutes les racines mortes sont décomposées en fin d'intercoupe.



Intercoupe 10. 1 : résultats observés. 2 : PRT 10,14 réestimé.

Le poids de racines synthétisé est de $9,62 \text{ t.ha}^{-1}$ sur l'année et le pourcentage des racines émises aux racines vivantes dans l'intercoupe est d'environ 38 %. Le poids moyen d'un réseau racinaire est de $2,66 \text{ g.m}^2$. Le rapport entre le poids des parties aériennes et le poids des racines synthétisées dans un intercoupe, très variable comme dans le cas précédent, est de 3,24 en moyenne.

Le turn-over est de :

$$\tau = \frac{8,70}{3,2} = 2,7$$

2.3.1.4. Discussion du modèle.

Les valeurs de $\text{PRD}_{i,42}$ et $\text{PRE}_{i,42}$ sont très élevées et conduisent à des valeurs de turn-over très fortes, même si l'on considère la limite inférieure de $\text{PRD}_{i,42}$.

Lorsque $\text{PRM}_{i,1}$ exprimé en % de $\text{PRT}_{i,1}$, diminue, c'est-à-dire lorsqu'on passe de la limite supérieure à la limite inférieure de $\text{PRD}_{i,42}$, K augmente exponentiellement et $\text{PRD}_{i,42}$ décroît exponentiellement (Fig. 56 établie pour $i = 7$).

Cela signifie que plus le pourcentage de racines mortes non décomposées à l'issue de l'intercoupe est élevé, plus la quantité de racines qui se décompose durant l'intercoupe est elle-même élevée.

Malgré les résultats d'Oswalt et al. (1959) qui laissent supposer que l'ensemble des racines d'une graminée fourragère peuvent mourir lors d'une coupe, il est cependant vraisemblable qu'une fraction des racines reste vivante dans le cas présent, ce qui incite à retenir la limite inférieure de $\text{PRD}_{i,42}$ comme valeur la plus probable.

L'étude de l'évolution de $\text{PRT}_{13,j}$ conduit au même choix.

En effet, dans le cas où toutes racines meurent à la coupe, il faudrait admettre la reprise de l'émission et de l'élongation des racines dans cet intercoupe dès le 15ème jour pendant l'épisode sec, ce qui n'est guère concevable.

Toujours dans l'intercoupe 13, pour la limite inférieure l'ajustement du modèle aux résultats observés conduit à un temps limite

(c'est-à-dire le temps au bout duquel il reste environ 1 g de racines mortes non décomposées par m²) de 90 jours seulement, alors que la sécheresse ralentit certainement la vitesse de décomposition des racines. Il est cependant possible, dans ce cas, que la décomposition des racines s'arrête avant épuisement du stock de racines mortes, alors que ceci est difficilement concevable lorsque le sol est humide.

Ces résultats justifient les hypothèses formulées : si $PRD_{i,14}$ était très différent de 0, cela contribuerait à augmenter encore $PRS_{i,42}$.

Si par ailleurs toutes les racines qui alimentent la nécro-masse ne mouraient que progressivement, cela impliquerait que $PRD_{i,j}$ évolue plus ou moins linéairement en fonction de j pour $14 \leq j \leq 42$ et conduirait aussi à des valeurs de $PRD_{i,42}$ plus élevées.

Si le rapport entre biomasse aérienne et biomasse racinaire synthétisées dans un intercoupe, compris entre 1,98 et 3,24, est proche des valeurs couramment citées même pour les plantes fourragères tempérées, en général voisines de 3, par contre le taux de renouvellement des racines apparaît nettement plus élevé qu'en zone tempérée, où les valeurs ne dépassent pas 1 (Jacques et Schwass, 1956 ; Dahlman et Kucera, 1965 ; Bartos, 1972).

L'équation fondamentale (1) est de la même forme que celle utilisée pour étudier la dynamique des litières en zone tropicale humide (Laudelout, 1962 ; Boissezon, 1973 ; Bernhard-Réversat, 1975) établie par Jenny et al. (1949).

Pour l'année :

$$A = K' (L-A) \quad (42),$$

où A est l'apport annuel de litière ;

L la litière ;

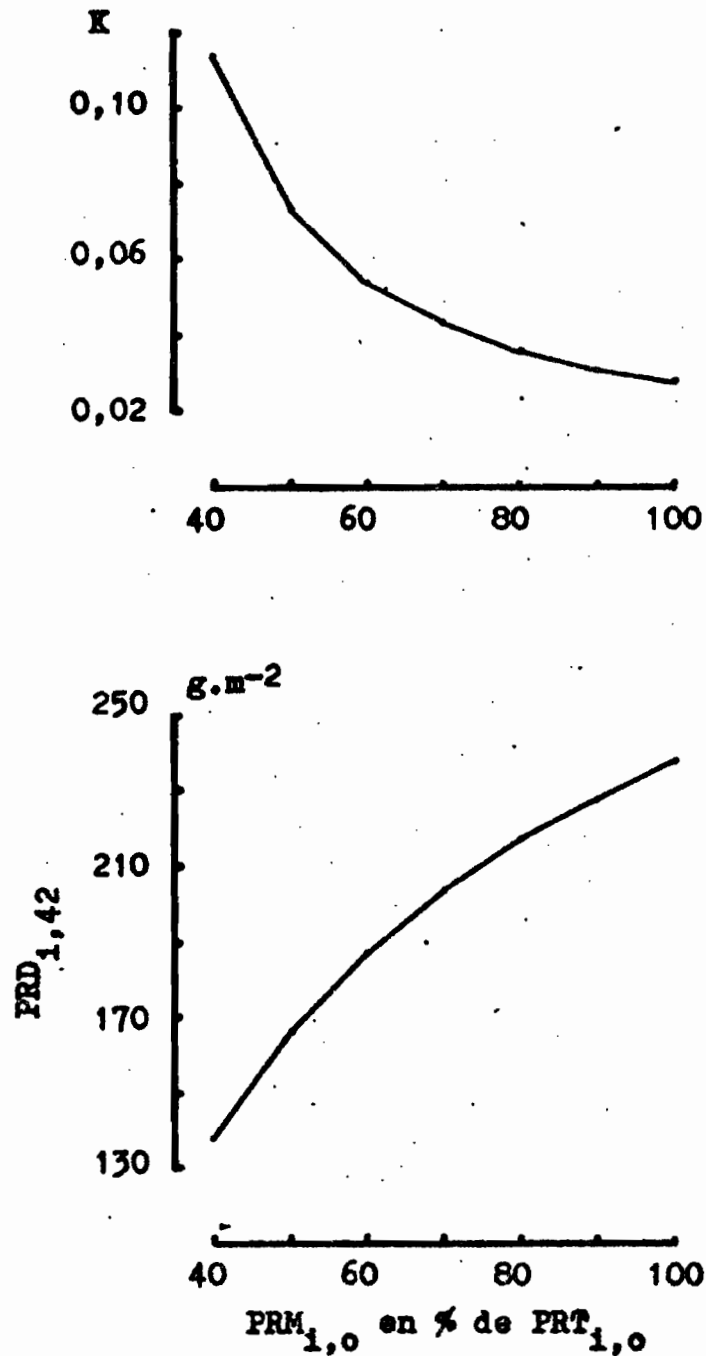
K' la constante de décomposition.

Selon Laudelout (1962) K' varie de 40 à 75 %.

Si l'on applique le même calcul aux données obtenues pour les racines de *Panicum maximum*, on trouve des valeurs de K' comprises entre 75 et 90 %, ce qui indique qu'elles se décomposent plus rapidement que la litière forestière.

Ceci est confirmé par les résultats de Bernhard-Réversat (1975) qui trouve, dans les mêmes conditions de climat et de sol qu'à

Figure 66



Variations de la constante de décomposition, K , et du poids de racines décomposées en fin d'intercoupe, $PRD_{1,42}$ en fonction du poids de racines mortes en début d'intercoupe $PRM_{1,0}$, exprimé en % du poids total de racines $PRT_{1,0}$.

Adiopodoumé, des vitesses de décomposition de la litière de 14 à 24 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, alors que, pour les racines de *Panicum maximum*, la vitesse moyenne pour l'année est de 24 à 41 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ selon l'hypothèse, celle dans les 2 premières semaines d'un intercoupe pouvant aller jusqu'à 80 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$.

Avant de poursuivre plus avant la modélisation du système, il apparaît important de vérifier quel est le pourcentage de racines vivantes et mortes dans $\text{PRT}_{i,j}$ pour i donné et j variable, c'est-à-dire à différentes époques d'un même intercoupe.

Un premier essai de marquage des racines vivantes par injection de ^{32}P dans les tiges s'est révélé inefficace (2ème partie, § 3.2.2.). Il est possible que le marquage au ^{14}C soit plus facilement réalisable.

2.3.2. Estimation de l'apport de matière organique au sol par la décomposition de la nécro-masse racinaire pour différents modes de conduite d'une prairie.

Cette estimation peut se faire, à partir des calculs précédents et pour les résultats des essais B multilocaux, de 2 manières :

- méthode 1 : en utilisant les taux de renouvellement annuels des racines calculés et les masses moyennes de racines par traitement mesurées.

$$\text{PRD}_t = n \cdot \text{PRT}_m \cdot \tau \quad (43) ;$$

où n = nombre d'années d'essai ;

PRT_m = poids moyen de matière sèche des racines par unité de surface ;

τ = taux de renouvellement des racines obtenu pour l'essai RER 70

(§ 2.3.1.).

- méthode 2 : à partir du rapport entre biomasses néoformées épigées et hypogées calculé et des biomasses épigées cumulées en fin d'essai.

$$\text{PRD}_t = \left(\sum_i \Delta \text{PAP}_i \right) \cdot \left(\frac{\Delta \text{PAP}_i}{\text{PRE}_{i,42}} \right)_{\text{ref.}} \quad (44).$$

où $\sum_i \Delta \text{PAP}_i$ est la biomasse néoformée cumulée durant tout l'essai pour un traitement ;

$\left(\frac{\Delta \text{PAP}_i}{\text{PRE}_{i,42}} \right)_{\text{ref}}$ est la valeur du rapport entre biomasse épigée et

biomasse hypogée néoformées dans un intercoupe obtenue pour l'essai RER 70 (§ 2.3.1.).

Les résultats ont été calculés pour l'horizon 0-25 cm du sol uniquement, de façon à être comparés avec la teneur en matière organique de cet horizon (2ème partie, § 5.2.) (tableau 54).

Les 2 méthodes supposent que les 2 paramètres calculés à Adiopodoumé pour la variété du même nom durant l'essai RER 70 puissent être utilisés pour la variété G 23 dans les 3 stations des essais B multi-locaux.

Prendre la 1ère méthode de calcul revient à considérer que les traitements rythme de coupe et fertilisation ont peu d'effets sur le taux de renouvellement des racines, qui reste constant même dans le cas où le milieu s'appauvrit. Comme les quantités de racines dans le sol sont en général plus élevées sur les traitements non fertilisés, les estimations de PRD_t sont plus élevées sur ces traitements là (tableau 54).

Station Teneur en matière organique du sol dans 0-25 cm (t.ha ⁻¹)	Traite- ment	PRD _t (T. ha ⁻¹)			
		Limite supérieure		Limite inférieure	
		Méthode 1	Méthode 2	Méthode 1	Méthode 2
Adiopodoumé 44 t.ha ⁻¹	LO	38	21	<u>23</u>	13
	LF	31	40	<u>18</u>	25
	NO	33	16	<u>20</u>	10
	NF	35	44	<u>20</u>	27
Gagnoa 46 t.ha ⁻¹	LO	41	19	<u>24</u>	12
	LF	21	21	<u>13</u>	23
	NO	37	37	<u>22</u>	10
	NF	29	29	<u>17</u>	20
Bouaké 47 t.ha ⁻¹	LO	14	14	<u>15</u>	9
	LF	11	27	<u>13</u>	17
	NO	11	13	<u>12</u>	8
	NF	10	27	<u>13</u>	17

Tableau 54 : Limites de variation des apports de matière organique au sol par les racines de *Panicum maximum* G 23 en fin d'essai dans l'horizon 0-25 cm, selon les stations et les traitements, en fonction des méthodes de calcul.

(Les valeurs correspondant à l'estimation la plus probable ont été soulignées).

A l'inverse, par la 2ème méthode, on considère que l'ensemble de la plante réagit à la baisse de fertilité chimique du milieu.

Les différences d'estimation de PRD_t entre les 2 méthodes sont donc beaucoup plus élevées pour les traitements LO et NO que pour les traitements LF et NF.

L'effet des apports d'engrais sur la dynamique racinaire a déjà été examiné (§ 2.2.2.2. et 2.2.2.4.2.) : la méthode de calcul utilisant le taux de renouvellement des racines r donne des résultats plus probables même s'ils sont surestimés.

L'apport de matière organique par la mort et la décomposition des racines représente à Adiopodoumé en 4 ans ou à Gagnoa en 3 ans, pour les traitements non fertilisés, près de 50 % du stock du sol si l'on retient la limite inférieure de PRO et presque la totalité du stock si l'on retient la limite supérieure.

La nécro-masse d'origine racinaire apparaît donc comme une source de matière organique important pour le sol, sans doute plus qu'en zone tempérée (Clément et Williams, 1964 ; 1967 ; Garwood, Clément et Williams, 1972). Il reste à préciser si la matière organique évoluée qui en résulte présente un intérêt plus particulier, comme cela a été montré en France par Monnier (1965).

L'étude du bilan organique complet sous prairie fera l'objet de travaux ultérieurs (Introduction, § 1.).

3. CONCLUSION SUR LA DYNAMIQUE RACINAIRE DE *PANICUM MAXIMUM*.

L'étude de l'évolution des masses de racines PRT sous prairie à *Panicum maximum* a permis de mettre en évidence l'importance du rôle des coupes sur la dynamique racinaire.

En effet, après l'année d'installation de la prairie, durant laquelle PRT augmente progressivement, l'évolution de PRT est liée avant tout au rythme d'exploitation : à chaque intercoupe, une fraction importante des racines meurt et se décompose, de nouvelles

racines sont émises, croissent et se ramifient, une corrélation positive existant entre le nombre de racines primaires émises et la biomasse racinaire néoformée.

Le phénomène de décomposition de la nécro-masse étant celui qui commande l'évolution de PRT dans les 2 premières semaines d'un intercoupe, il est possible, en ajustant cette évolution à une courbe exponentielle négative de calculer les limites supérieure et inférieure entre lesquelles varie l'apport de matière organique au sol par les racines, puis d'étendre ces résultats aux cas de prairies conduites selon des méthodes d'exploitation plus ou moins intensives.

Ces résultats montrent que la mesure ponctuelle de la masse racinaire sous prairie ne permet pas de connaître sa vitesse de renouvellement que celle-ci ne peut être déterminée avec précision qu'à l'aide d'observations suffisamment rapprochées au sein d'un intercoupe.

Cinquième Partie :

CONCLUSION.

Les faits rapportés en introduction (§ 2.1.) montrent qu'il est très difficile d'établir le bilan organique d'une prairie en zone tropicale humide, parce que l'un des termes de ce bilan, l'apport au sol par la mort et la décomposition des racines, est très mal connu.

Le but de cette étude est de mesurer ce terme dans un cas précis : celui de prairies artificielles monospécifiques à *Panicum maximum*.

Pour analyser le problème, il suffit de repartir de la notion de système; la dynamique racinaire est en effet décrite par l'équation suivante :

$$PRT_{i+1} - PRT_i + PRD_{i+1} - PRE_{i+1} = 0 \quad (1).$$

Cette équation est à la base du programme des expériences qui viennent d'être exposées.

Le premier résultat obtenu est la mise au point d'une méthode d'étude qui, utilisée systématiquement, devrait comprendre les 5 étapes suivantes :

- recherche de la (des) périodicité (s) du système ;
- étude du rythme d'émission des racines primaires à l'intérieur d'un (des) cycle (s);
- en fonction de ce rythme, découpage du (des) cycle (s) en intervalles de temps tels que dans le plus grand nombre possible d'entre eux l'un des phénomènes de décomposition des racines mortes ou de croissance des racines vivantes puisse être considéré comme nul ;
- détermination des masses racinaires dans le sol au début et à la fin de chacun de ces intervalles ;
- extrapolation des résultats obtenus au calcul de PRD_{i+1} et PRE_{i+1} sur l'ensemble des cycles.

On peut se demander, en passant en revue les 5 étapes successives, si cette méthode est généralisable.

Première étape. Dans le cas des clones de *Panicum maximum* étudiés et des protocoles expérimentales auxquels ils furent soumis, la masse des racines PRT évolue de façon cyclique, la périodicité des

cycles correspondant à la durée des intercoupes. Dans la phase d'installation de la prairie, PRT croît de cycle en cycle. A l'issue de cette période qui dure environ 1 an, selon les résultats obtenus, PRT reste sensiblement constant d'un intercoupe à l'autre, à des stades comparables.

Par contre, chez les plantes ne fleurissant qu'à une période de l'année il faudrait certainement tenir compte des variations introduites par l'existence du cycle de développement saisonnier du végétal. C'est le cas notamment des graminées de zone tempérée. Cette superposition de plusieurs cycles complique l'étude mais ne remet pas en cause la méthode.

Deuxième étape. L'étude a porté sur une espèce ayant un système racinaire de type fasciculé. Sous cette réserve, le fait mis en évidence pour *Panicum maximum* que dans les sols suffisamment homogènes comme ceux d'Adiopodoumé la répartition statistique des racines suit un modèle précis que l'on peut décrire, par exemple par comparaison avec les phénomènes de diffusion, paraît très général. Cela permet de déduire l'évolution probable de la masse racinaire dans l'ensemble du profil de l'observation directe du nombre de racines émises au niveau du plateau de tallage.

Troisième étape. L'arrêt de l'émission et de la croissance des racines soit à la suite d'une coupe soit à la suite du passage des plantes au stade reproductif est un phénomène suffisamment souvent mis en évidence pour qu'il soit possible de délimiter au cours de chaque cycle un intervalle de temps au moins durant lequel PRE_{i+1} est nul, ceci dans le cas de prairies monospécifiques. Dans le cas de prairies plurispécifiques, il peut être nécessaire de déterminer ces intervalles sur des cultures pures des différentes espèces du peuplement faites parallèlement. Le cas des prairies pâturées est à étudier mais ne semble pas à priori sortir des limites dans lesquelles la méthode s'applique.

Quatrième étape. Diverses techniques permettent de mesurer les masses de racines dans le sol à un instant donné. Il faut cependant qu'elles soient suffisamment précises pour que les erreurs d'échantillonnage n'excèdent pas les variations liées à l'évolution du système. Mais l'importance du choix de la périodicité des observations, souligné en introduction, apparaît clairement en comparant, fig.13 et fig.30, les courbes présentées et celles qu'on aurait obtenues en ne faisant des observations que toutes les 6 semaines, à la fin de chaque intercoupe (méthode d'échantillonnage couramment pratiquée). Dans ce dernier cas on aurait conclu à un taux de renouvellement des racines presque nul à partir de la 2ème année et à une évolution très lente des masses racinaires, ce qu'auraient confirmé les résultats des essais B Multilocaux. Cette constatation amène à remettre en cause, dans le cas des études/terrain où le temps et les moyens matériels sont facteur limitant, la recherche d'une trop grande précision dans l'obtention d'un résultat ponctuel, si cette contrainte se traduit par un allongement de l'intervalle entre observations.

Cinquième étape. Il ne semble pas qu'actuellement les techniques d'extrapolation des résultats puissent constituer un obstacle.

Par conséquent, cette méthode de recherche doit être utilisable pour toutes les prairies et de façon plus générale, pour tous les écosystèmes graminéens.

Il devrait être possible d'augmenter la précision des données en marquant les plantes avec un élément radioactif ($^{14}\text{CO}_2$) de façon à trier aisément les racines vivantes des racines mortes. On pourrait alors s'affranchir de l'étape 2 et étudier le cas des prairies comportant plusieurs espèces à enracinement fasciculés et ceux des prairies et écosystèmes herbacés comprenant des espèces à enracinement pivotant.

La méthode pour l'étude de l'apport au sol de matière organique par les racines vient d'être exposée de façon théorique. En réalité, elle s'est dégagée progressivement au cours du développement des recherches (introduction, § 2.2.) dont le deuxième résultat est une représentation de la dynamique racinaire de *Panicum maximum* et une détermination des limites entre lesquelles varie la masse des racines émises et celle des racines décomposées d'abord dans un

intercoupe puis, par sommation, dans l'année.

La distinction entre phase d'installation et phase d'équilibre de la prairie une fois faite, les expériences ont donc montré, comme cela vient d'être exposé, que l'évolution cyclique dans un intercoupe est commandée par le rythme d'exploitation. La dynamique racinaire est directement liée aux interventions sur les parties aériennes.

Trois phases peuvent être distinguées dans un intercoupe.

La première commence à la coupe et se termine au début de l'apparition de nouvelles racines nodales. Elle dure 10 à 15 jours et est marquée par la diminution rapide de la masse racinaire. Ceci est très certainement lié d'une part à l'arrêt de la croissance des racines provoquée par la suppression des parties aériennes, d'autre part à la mort et à la décomposition rapide des racines issues des talles qui sont montées dans l'intercoupe précédent. L'arrêt de l'émission des racines nodales est en général antérieur à la coupe.

La deuxième phase correspond à l'émission intense de racines nodales. La reprise de l'émission paraît liée à la reconstitution d'un appareil aérien suffisamment développé. De nouvelles racines apparaissent sur les talles de tous âges. Exceptionnellement, on en voit même sur les chaumes, lorsque la presque totalité des talles était montée durant l'intercoupe précédent. Le nombre de racines émises par talle est cependant fonction de son âge : il est plus élevé pour celles d'âge intermédiaires. Par contre la vitesse d'élongation de ces racines, telle qu'on peut la déduire de la comparaison entre nombre de racines émises et nombre de racines développées, est constante et indépendante de l'âge des talles. En moyenne durant cette période, le nombre de racines émises par pied est de 3 par jour. La masse totale des racines augmente fortement, la décomposition des racines mortes étant vraisemblablement déjà très ralentie.

La troisième phase va de l'arrêt ou du ralentissement considérable de l'émission racinaire au niveau du plateau de tallage à la coupe suivante. L'arrêt se produit pour toutes les talles quel que soit leur âge. La cause en reste hypothétique. Le fait de couper a donc pour conséquence supplémentaire de permettre la reprise de l'émission racinaire à l'intercoupe suivant, après la période

de latence déjà mentionnée. La masse racinaire augmente toujours durant cette phase, la décomposition des racines mortes apparaissant de plus en plus réduite. Ceci implique que les racines émises lors de l'épisode précédent continuent à croître et sans doute à se ramifier.

Ce schéma est susceptible d'un certain nombre de modifications en fonction de l'action de facteurs externes à la plante.

Ainsi l'émission n'est pas perturbée par une période sèche de courte durée au début d'un intercoupe, en particulier grâce à la rosée collectée par les feuilles et drainée vers la base des touffes. Mais leur élongation est bloquée dès qu'elles arrivent à la limite de la zone humectée. A la reprise des pluies, l'émission se trouve stimulée, la vitesse d'élongation également.

Si l'on coupe précocement, alors que l'émission des racines est encore importante, celle-ci se trouve stoppée. Si au contraire on coupe tardivement, le nombre de talles montées est alors très grand, ce qui se répercute sur le tallage et le rythme d'émission des racines dans les intercoupes suivants, particulièrement si on revient à des intercoupes plus courts.

L'influence du rythme de coupe sur les masses de racines à la fin des intercoupes est par contre plus difficile à distinguer, ce facteur jouant aussi sur le nombre de plantes au m², en interaction avec la fertilisation, et la masse des racines étant directement liée à la densité des touffes.

Si on ne fertilise pas, la quantité de racines en fin d'intercoupe est peu modifiée. A Gagnoa, elle est même plus élevée que si on fertilise. Mais dans tous les cas, le rapport parties aériennes/racines est beaucoup plus faible dans les parcelles ne recevant pas d'engrais. Il est donc possible que le développement racinaire soit moins affecté que celui des parties aériennes par l'appauvrissement chimique du milieu, ou alors que le rythme de renouvellement des racines soit ralenti, leur durée de vie accrue.

Dans la phase d'installation de la prairie (1ère année), l'émission des racines paraît plus importante, plus continue, tout au long des intercoupes, et le nombre de celles qui meurent à chaque coupe réduit.

Après la phase d'installation, la quantité de racines n'augmente plus et se situe autour de 2 à 5 t.ha⁻¹ en fin d'intercoupe, selon le milieu, la variété, les conditions d'exploitation. Ceci paraît faible, comparé aux quantités que l'on trouve sous prairie âgée en zone tempérée, sous savane ou sous forêt en Côte d'Ivoire dans des zones climatiques analogues.

Mais le taux de renouvellement des racines, sous prairie exploitée et fertilisée, est extrêmement élevé, apparemment beaucoup plus que dans les cas précédents. L'utilisation d'un modèle simple fondé sur la proportionalité entre la vitesse de décomposition des racines mortes et la masse de ces racines mortes à un instant donné, permet de calculer que le taux de renouvellement des racines est compris entre 2,7 et 4,6. Ces limites correspondent respectivement au cas où toutes les racines mortes au début d'un intercoupe sont décomposées à la fin de cet intercoupe et au cas où toutes les racines meurent lors d'une coupe et sont alors susceptibles de se décomposer. Cela donne comme apport au sol entre 8,7 et 14,8 t.ha⁻¹ de matière organique, dont environ 6,6 et 11,1 t.ha⁻¹ dans les 25 premiers cm du sol, ce qui est très important comparé au stock présent.

L'exploitation du modèle montre que la quantité de racines se décomposent dans un intercoupe croît avec le pourcentage de racines qui meurent à la coupe et que la constante de décomposition décroît avec ce pourcentage.

Ainsi se trouvent structurées en un schéma cohérent les hypothèses données, parfois depuis longtemps, pour expliquer la dynamique racinaire des graminées fourragères.

L'application pratique de ces résultats est immédiate : l'intérêt qu'il peut y avoir à introduire une sole à *Panicum maximum* (ou à toute autre graminée comparable) dans une rotation mise en place après défrichement de la forêt est davantage prévisible. La façon dont cette sole est conduite apparaît déterminante.

En effet, conduite en prairie exploitée de façon intensive mais rationnelle, elle apparaît comme un moyen particulièrement efficace et rapide de retourner au sol une masse importante de matière organique à partir des racines. Si, par contre, elle est exploitée mais non fertilisée ou si elle est conduite en jachère, le taux de renouvellement des racines peut baisser fortement.

Si donc on recherche, comme cela semble être le cas le plus fréquent, à substituer à la jachère forestière des systèmes de production traditionnels une "jachère artificielle" jouant le même rôle, mais dans un laps de temps plus réduit, et plus facile à détruire, il est douteux qu'une sole à *Panicum maximum* puisse être suffisamment efficace pour rétablir un taux élevé de matière organique dans le sol.

Mais les enseignements tirés de ce travail peuvent aussi aider à comprendre au moins partiellement les phénomènes observés sur les prairies de zone tempérée. En effet, l'émission des racines s'y produit en fin d'hiver et au début du printemps d'une part, à l'automne d'autre part, c'est à dire pendant la phase de croissance végétative des plantes. Par contre les baisses de masses racinaires s'y observent en été après la coupe qui suit leur montaison. Il y a donc là une certaine concordance entre les phénomènes observés, qui conduit à penser que, au moins pour une part, l'évolution dans un intercoupe en zone tropicale peut représenter de façon accélérée celle qui s'étend sur l'année en zone tempérée.

Enfin, les résultats obtenus sont exploitables pour toutes les études nécessitant la connaissance de la dynamique racinaire, et pas seulement celles ayant trait aux bilans organiques : études sur l'alimentation en eau et bilan hydrique, étude sur la nutrition minérale, par exemple.

R E S U M E

En zone tropicale humide, certains des termes du bilan organique sous prairie sont très mal connus, en particulier l'apport au sol par la mort et la décomposition des racines.

Une détermination ponctuelle de masse racinaire ne peut pas suffire à la mesurer, il faut effectuer pour cela une étude détaillée de la dynamique racinaire des espèces constituant la prairie.

En effet, dans un intervalle de temps donné ($i, i+1$), le poids de racines décomposées PRD_{i+1} est égal à la différence entre le poids de racines en début d'intervalle PRT_i et celui en fin d'intervalle, PRT_{i+1} , augmenté du poids de la biomasse néoformée PRE_{i+1} ;

$$PRT_{i+1} - PRT_i + PRD_{i+1} - PRE_{i+1} = 0 \quad (1).$$

Déterminer une fois PRT ne renseigne en rien sur les autres termes de l'équation.

PRT peut se mesurer périodiquement par carottage.

PRD et PRE sont plus difficiles à évaluer.

Chez les graminées, on peut cependant compter le nombre de nouvelles racines adventives émises au niveau du plateau de tallage, ou racines primaires et en déduire, sinon PRE, du moins les périodes d'émission des racines.

Les recherches ont donc été réalisées sur des prairies mono-spécifiques à *Panicum maximum* ; elles ont comporté deux séries d'études :

- l'une sur le rythme d'émission des racines primaires;
- l'autre sur l'évolution des masses racinaires en fonction du temps.

En raison du grand nombre d'observations à effectuer (1 à 2 par semaine pour connaître le nombre de racines émises dans un intervalle de temps donné, la première n'a été faite que sur des prairies exploitées selon un mode intensif (coupe toutes les 4 à 6 semaines, apport d'engrais après chaque coupe).

Les résultats suivants ont été obtenus.

L'émission de nouvelles racines a lieu toute l'année. Dans chaque intervalle entre coupes, ou intercoupe, le nombre de racines primaires émises par plante, d'abord très faible, augmente rapidement et fortement au bout de 10 à 15 jours, passe par un maximum puis rediminue presque aussi rapidement pour redevenir proche de 0.

Les facteurs et conditions de l'environnement susceptibles d'agir sur le rythme d'émission des racines primaires sont essentiellement l'humidité du sol et les coupes. Lors d'un épisode sec en début d'intercoupe, l'initiation n'en est apparemment pas perturbée et la rosée collectée à la base des touffes suffit à permettre un commencement d'élongation. Mais celle-ci s'arrête dès que l'extrémité de la racine atteint la limite de la zone humectée. Par contre, après la réhumectation du sol, l'initiation est stimulée.

L'effet d'une coupe est double : dans l'immédiat, elle provoque l'arrêt de l'émission des racines primaires dans tous les cas où cette émission était encore importante à ce moment là. A plus long terme, elle a pour conséquence l'apparition de nouvelles racines sur des talles qui n'en émettaient plus dans l'intercoupe précédent.

Dans un intercoupe suffisamment long, le début et l'arrêt de l'émission des racines sont provoqués par des facteurs internes à la plante. La reprise de l'émission ne s'effectue vraisemblablement que lorsque le système aérien de la plante est suffisamment reconstitué. La cause de son arrêt reste hypothétique.

Tallage et émission des racines primaires sont liés, mais pas de façon stricte : l'intervalle de temps qui sépare l'apparition d'une talle de celle de la première racine primaire qu'elle porte est variable; dans un intercoupe, de nouvelles racines primaires sont émises sur les talles de tous âges et c'est sur celles d'âge intermédiaire qu'elles sont le plus nombreuses; enfin, l'arrêt du tallage

et celui de l'émission des racines primaires ne sont pas toujours simultanés.

Le nombre de racines primaires émises dans un intercoupe est en moyenne de 3 par jour durant la phase d'émission intense. Sur l'ensemble de l'année, il est d'une racine par jour.

Les études d'évolution des masses racinaires en fonction du temps ont porté d'une part sur une prairie fauchée toutes les 6 semaines et fertilisée après chaque coupe, implantée à Adiopodoumé, avec des observations toutes les 2 semaines pendant 2 ans, d'autre part sur des prairies exploitées de façon plus ou moins intensive, fertilisées ou non, implantées en 3 points de la Côte d'Ivoire forestière et prè-forestière (Adiopodoumé, Gagua et Bouaké) avec des observations 3 fois par an pendant 3 à 4 ans.

Les quantités de racines diminuent très rapidement avec la profondeur. Dans les horizons de surface (0-10 et 10-25 cm) elles sont beaucoup plus élevées sous les touffes qu'entre les touffes.

Des observations sur pieds à grand écartement (5 m) montrent que les racines colonisent une demi-sphère et qu'un modèle utilisant les lois de la diffusion permet de rendre compte de leur répartition, ce qui montre que l'enracinement de *Panicum maximum* à un instant donné est étroitement lié au nombre de racines émises dans la période qui précède.

Les masses de racines au m^2 , mesurées en fin d'intercoupe, augmentent dans l'année d'implantation de la prairie puis se stabilisent autour de 1,7 à 4,5 $t \cdot ha^{-1}$ selon les points d'essai et le mode d'exploitation de la prairie.

En un point donné, les effets des traitements sont peu marqués, particulièrement à Adiopodoumé et Bouaké. A Gagua, la masse des racines est plus élevée pour les traitements non fertilisés.

Par contre, pour une prairie fauchée et fertilisée toutes les 6 semaines, la masse de racines au m^2 évolue très rapidement durant chaque intercoupe : elle diminue fortement dans les 2 premières semaines (de près de 0,9 $t \cdot ha^{-1}$ en moyenne) puis réaugmente dans les 4 semaines suivantes pour reprendre une valeur comparable à celle du commencement.

Il existe une corrélation positive d'une part entre la diminution de masse racinaire les 2 premières semaines et l'évolution du nombre de talles dans le même temps, d'autre part, entre l'augmentation de biomasse épigée et celle de biomasse hypogée dans les 4 dernières semaines.

Si l'on admet, conformément aux observations faites à propos des rythmes d'émission des racines primaires, que, dans les 2 premières semaines d'un intercoupe, la biomasse hypogée néoformée est négligeable et que la vitesse de décomposition des racines mortes constituant la nécro-masse est proportionnelle à la nécro-masse présente à un instant donné, on peut en déduire les limites entre lesquelles l'apport au sol de matière organique varie pour une prairie de 1 à 2 ans : elles sont de 8,7 à 14,8 t.ha⁻¹ an⁻¹, ce qui correspond à un taux de renouvellement des racines de 2,7 à 4,6.

En appliquant les paramètres obtenus précédemment au cas des prairies conduites selon des modes d'exploitation plus ou moins intensifs, on peut estimer l'apport au sol de matière organique à 5 à 12 t.ha⁻¹ an⁻¹ selon les stations et les traitements rythme de coupe et fertilisation, en tenant compte de l'année d'implantation de la prairie pendant laquelle les apports sont plus réduits.

B I B L I O G R A P H I E

- ADAMS (W.E.), ELKINS (C.B.) Jr, BEATY (E.R.) -1966- Rooting habits and moisture use of coastal and common bermuda grass. J. Range Mgmt, 21 (4) : 133-35.
- ANDREWS (L.A.), BROADFOOT (R.D.) -1958- The San Dimas soil core sampler. Soil Sci., 85 : 297-301.
- ANONYME -1964- Les plantes améliorantes et les prairies temporaires. Bur. Techn. Comité Liaison Orga. Rech. O.M., multigr., 517 p.
- ANDNYME -1967- Etude des interactions sol - plante dans le cas des plantes fourragères et de couverture. Protocoles expérimentaux des essais implantés sur les stations d'Adiopodoumé, Bouaké et Gagnoa. ORSTOM, multigr., 51 p.
- ANONYME -1968- Etude des interactions sol - plante dans le cas des plantes fourragères et de couverture. Addendum n°1 au protocole de 1967. ORSTOM, multigr., 14 p.
- ANONYME -1969- Etude des interactions sol - plante dans le cas des plantes fourragères et de couverture. Addendum n°2 aux protocoles de 1967. ORSTOM, multigr., 8 p.
- ARES (J.), SINGH (J.S.) -1974- A system analysis approach to the study of the root dynamics of a blue grama (*Bouteloua gracilis*) dominated shortgrass prairie. In : Proc. 12th Int. Grassld Cong., Moscou. Biol. Physiol. aspects of the intensification of grassld utilization : 14-17.
- BAKER (H.K.) -1957- Studies on the root development of herbage plants. II. The effect of cutting on the root and stubble development and herbage production of spaced perennial ryegrass plants. III. The influence of cutting treatments on the root, stubble and herbage production of a perennial ryegrass sward. J. Brit. Grassld Soc., 12 : 116-126 ; 197-208.
- BAKER (H.K.), GARWOOD (E.A.) -1959- Studies on the root development of herbage plants. IV. Seasonnal changes in the root and stubble weights of various leys. J. Brit. Grassld Soc., 14 : 94-104.
- BAKER (H.K.), GARWOOD (E.A.) -1961- Studies on the root development of herbage plants. V. Seasonnal changes in fructosan and soluble-sugar contents of cocksfoot herbage, stubble and roots under two cutting treatments. J. Brit. Grassld Soc., 16 : 263-67.

- BALDWIN (J.P.), TINKER (P.B.), MARRIOTT (F.H.C.) -1971- The measurement of length and distribution of onion roots in the field and the laboratory. *J. Appl. Ecol.*, 8 : 543-54.
- BALDWIN (J.P.), TINKER (P.B.) -1972- A method for estimating the lengths and spatial patterns of two interpenetrating root systems. *Pl. Soil*, 37 : 209-13.
- BALDY (Ch.) -1973- Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum* sp). *Ann. Agron.*, 24 (2) : 241-76.
- BARANOV (N.) -1974- (The rate of urea and the root system of herbage plants). In : *Herb. Abs.*, 1975 : 1899.
- BARLEY (K.P.) -1970- The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. *Adv. Agron.*, 22 : 159-201.
- BARNES (D.L.) -1960- Growth and management studies on Sabi Panicum and Star Grass. *Rhod. Agric. J.*, 57 : 399-411. et 451-7.
- BARNES (D.L.) -1961- Residual effects of cutting frequency and fertilizing with nitrogen on root and shoot growth, and the available carbohydrate and nitrogen content of the roots of Sabi Panicum (*Panicum maximum*, Jacq.). *Rhod. Agric. J.*, 58 (6): 365-69.
- BARNES (D.L.), HAVA (K.) -1963- Effects of cutting on seasonal changes in the roots of Sabi Panicum (*Panicum maximum* Jacq.) *Rhod. J. Agric. Res.*, 1 : 107-110.
- BARTHOLOMEW (W.V.), MEYER (J.), LAUDELOUT (H.) -1953- Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallows in the Yangambi (Belgian Congo) region. *Publ. INEAC, Ser. Sci.*, 57, 27 p.
- BARTOS (D.L.) -1972- Root dynamics of a short grass ecosystem. Ph. D. Th., Colorado State Univ., 129 p.
- BEATY (E.R.), SAMPAIO (E.V.S.B.), ASHLEY (D.A.), BROWN (R.H.) -1974- Partitioning and translocation of ¹⁴C photosynthate by bahiagrass (*Paspalum notatum*, Flugge). In : *Proc. 12th Int. Grassld Cong.*, Moscou. Biol. Physiol. aspects of the intensification of grassld utilization : 19-27.
- BEGG (J.E.) -1965- The growth and development of a crop of bulrush millet (*Fennisetum typhoides*, S. et H.). *J. Agric. Sci.*, 65: 341-49.
- BEHAEGUE (T.J.) -1972- (The rooting density of grasses and its consequences on water availability). In : *Herb. Abs.*, 1975 : 2370.
- BEHAEGUE (T.J.) -1974- Experiments on the seasonal variations of grass growth. In : *Proc. 12th Int. Grassld Cong.*, Moscou. Grassld utilization : 76-85.

- BENNETT (O.L.), DOSS (B.D.) - 1960 - Effect of soil moisture level on root distribution of cool-season forage species. Agron. J., 52 : 204-7.
- BERNHARD-REVERSAT (France) - 1975 - Recherches sur les cycles biogéochimiques des éléments minéraux majeurs en milieu forestier sub-équatorial (Côte d'Ivoire). Thèse , Paris, 108 p.
- BIRCH (H.F.) - 1958 - Pattern of humus decomposition in East African soils. Nature (London), 181 : 788.
- BLACK (C.A.) - 1968 - Soil-plant relationships, 2nd ed., New-York, J. Wiley.
- BLEVINS (R.L.), AUBERTIN (G.M.), HOLOWAYCHUCK (N.) - 1968 - A technique for obtaining undisturbed soil samples by freezing *in situ*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 32 (5) : 741-2.
- BOATWRIGHT (G.O.), FERGUSON (H.) - 1967 - Influence of primary and/or adventitious root systems on wheat production and nutrient uptake. Agron. J., 59 : 299-302.
- BOEHLE (J.) Jr, KARDOS (L.T.), WASHKO (J.B.) - 1961 - Effect of irrigation and deep fertilization on yields and root distribution of selected forage crops. Agron. J., 53 : 153-58.
- BOEHLE (J.) Jr, MITCHELL (W.H.), KRESGE (C.B.), KARDOS (L.T.) -1963- Apparatus for taking soil-root cores. Agron. J., 55 : 208-9.
- BOGGIE (R.), KNIGHT (A.H.) -1958- Studies of the root development of plants in the field using radioactive tracers. Part 1. Communities growing in a mineral soil. J. Ecol., 46 : 621-8.
- BOGGIE (R.), KNIGHT (A.H.) -1960- Studies of root development in a grass sward growing on deep peat using radioactive tracers. J. Brit. Grassld Soc., 15 : 133-6.
- BOISSEZON (P.de) -1973- Les matières organiques des sols ferrallitiques. In : Les sols ferrallitiques, ORSTOM, 4 : 9-66.
- BOKHARI (U.G.), SINGH (J.S.) - 1974 - Effects of temperature and clipping on growth, carbohydrates reserves, and root exudation of western wheatgrass in hydroponic culture. Crop Sci., 14 : 790-4.
- BONZON (B.) -1964- Description et mode d'utilisation d'un appareil de mesure photo-électrique des surfaces végétales. Fruits, 19 (10) : 577-81.

- BONZON (B.) -1966- Etude méthodologique du système radicellaire d'*Ananas comosus* (L.) Merr., Variété Cayenne Lisse. DES Univ. Paris, 137 p.
- BONZON (B.), PICARD (D.) -1969- Matériel et méthodes mis en oeuvre sur le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. Cah. ORSTOM, Sér. Biol., 9 : 3-18.
- BOSEMARK (N.O.) -1954- The influence of nitrogen on root development. *Physiol. Pl.*, 7 : 497-502.
- BRAY (R.A.), HACKER (J.B.), BITH (D.E.) -1969- Root mapping of three tropical pasture species using P 32. *Aust. J. Exp. Agric. An. Husb.*, 9 : 445-8.
- BROUWER (R.) -1963- Some physiological aspects of the influence of growth factors in the root medium on growth and dry matter production. *Jaarb. Inst. Biol. Schick. Onderz. Landbgewas* : 11-30.
- BROUWER (R.) -1966- Root growth of grasses and cereals. Proc. 12th Easter School, Univ. Nottingham, 1965. London, Butterworth and Co., 153-66.
- BROUWER (R.), WIT (C.T. de) -1969- A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In : *Root growth*, WHITTINGTON (E.J.) ed., (loc.cit.) :
- BURT (R.L.) -1968- Growth and development of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*). *Aust. J. Exp. Agric. An. Husb.*, 8 : 712-19.
- BURTON (G.W.), De VANE (E.H.), CARTER (R.L.) -1954- Root penetration, distribution and activity in southern grasses measured by yields, drought symptoms and P32 uptake. *Agron. J.*, 46 : 229-33.
- CAHOON (G.A.), MORTON (E.S.) -1961- An apparatus for the quantitative separation of plant roots from soil. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sc.*, 78 : 593-6.
- CARSLAW (H.S.), JAEGER (J.C.) -1947- *Conduction of heat in solids*. Clarendon Press. Oxford.
- CEPIHOVA (A.) -1942- Citée par TROUGHTON, 1951.
- CESAR (J.) -1971- Etude quantitative de la strate herbacée de la savane de Lamto (Moyenne Côte d'Ivoire). Thèse, Paris, 95 p.
- CLEMENT (C.R.), WILLIAMS (T.E.) -1964- Leys and soil organic matter. I. The accumulation of organic carbon in soils under different leys. *J. Agric. Sci.*, 63 : 377-83.
- CLEMENT (C.R.), WILLIAMS (T.E.) -1967- Leys and soil organic matter. II. The accumulation of nitrogen in soils under different leys. *J. Agric. Sci.*, 69 : 133-38.

- COLBY (W.G.), FENNER (H.), DRAKE (M.), OOHARA (H.), YOSHIDA (N.), FUKANGA (K.), OOHARA (Y.) -1974- Role of soluble carbohydrate reserves in the growth and performance of timothy (*Phleum pratense*). In : Proc. 12th Int. Grassld Cong., Moscou. Biol. physiol. aspects of the intensification of grassld utilization : 74-81.
- COMBES (D.) -1972- Polymorphisme et modes de reproduction dans la section des *Maximae* du genre *Panicum* (graminées) en Afrique. Thèse Univ. Paris-Sud, Sér. Biol., 1040.
- COOPER (A.J.) -1972- Root temperature and plant growth. AOAS Quat. Rev., 6 : 12-19.
- CRANK (J.) -1967- The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford, 4e éd., 347 p.
- CRIDER (F.J.) -1955- Root-growth stoppage resulting from defoliation of grass. U.S.D.A. Techn. Bull. n° 1102, 23 p.
- CULLEN (P.W.), TURNER (A.K.), WILSON (J.H.) -1972- The effect of irrigation on root growth of some pasture species. Pl. Soil, 37 : 345-52.
- DAHLMAN (R.C.), KUCERA (C.L.) -1965- Root productivity and turnover in native prairie. Ecol., 46 (1) : 84-89.
- DAHLMAN (R.C.), KUCERA (C.L.) -1968- Tagging native grassland vegetation with carbon-14. Ecol., 49 (6) : 1199-203.
- DAUDET (F.A.), LESPINAT (P.A.) -1969- Etude avec un humidimètre à neutrons du bilan hydrique naturel d'une culture. Agron. Trop., 24 (12) : 1157-68.
- DAVIDSON (J.L.), MILTHORPE (F.L.) -1965- Carbohydrate reserves in the regrowth of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) J. Brit.Grassld Soc., 20 : 15-18.
- DAVIDSON (J.L.), MILTHORPE (F.L.) -1966- Leaf growth in *Dactylis glomerata* following defoliation. Ann. Bot., 30 (118) : 173-84.
- DAVIDSON (J.L.), MILTHORPE (F.L.) -1966- The effect of defoliation on the carbon balance in *Dactylis glomerata*. Ann.Bot., 30 (118) : 185-98.
- DEFFONTAINES (J.P.) -1964- Une méthode d'appréciation du système racinaire sous prairie. Fourragés, 19 : 91-4.
- DODD (J.D.), VAN AMBURG (G.L.) -1970- Distribution of Cs 134 in *Andropogon scoparius* Michx. clones in two native habitats. Ecol. 51 (4) : 685-89.
- DREW (M.C.), SAKER (L.R.), ASHLEY (T.W.) -1973- Nutrient supply and the growth of the seminal root system of barley. I. the effect of nitrate concentration on the growth of axes and laterals. J. Exp. Bot., 24 (83) : 1189-1202.

- DUVIGNEAUD (J.) -1974- La synthèse écologique. Doin, Paris, 296 p.
- EAHARA (K.), MAENO (N.), YAMADA (J.) -1966- (Physiological and ecological studies on the regrowth of herbage plants). In : Herb. Abs., 1967 : 348.
- ELDIN (M.) -1970- Evapotranspiromètre à bascule mécanique enregistreuse. In : Techniques d'étude des facteurs physiques de la biosphère. INRA, Publ. 70-4 : 273-79.
- ELDIN (M.) -1971- Le climat. In : Le milieu naturel de Côte d'Ivoire. Mém. ORSTOM n°50, 391 p.
- ELLERN (S.J.), HARPER (J.L.), SAGAR (G.R.) -1970- A comparative study of the distribution of the roots of *Avena fatua* et *A. Strigosa* in mixed stands using a ¹⁴C- labelling technique. J. Ecol. 58 : 865-8.
- ELLIS (F.B.), BARNES (B.T.) -1971- A mechanical method for obtaining soil cores. Pl. Soil, 35 : 209-12.
- ELLIS (F.B.), BARNES (B.T.) -1973- Estimation of the distribution of living roots of plants under field conditions. Pl. soil, 39 : 81-91.
- ENNIK (G.C.) -1966- Influence of clipping and soil fumigation on shoot and root production of perennial ryegrass and white clover. Jaarb. Inst. Biol Schick Onderz. : LandbGewass : 11-18.
- EVANS (P.S.) -1971- Root growth of *Lolium perenne* L.II. Effects of defoliation and shading. N.Z.J. Agric. Res., 14 (3) : 552-62.
- EVANS (P.S.) -1973,a- The effect of repeated defoliation to three different levels on root growth of five pasture species. N.Z.J. Agric. Res. 16 (1) : 31-4.
- EVANS (P.S.) -1973,b- Effect of seed size and defoliation at three development stages on root and shoot growth of seedlings of some common pasture species. N.Z.J. Agric. Res., 16 (2) : 389-94.
- FEHRENBACHER (J.B.), JOHNSON (P.R.), ODELL (R.T.), JOHNSON (P.E.) -1960- Root penetration and development of some farm crops as related to soil physical and chemical properties. 7th Int. Cong. Soil Sci., Madison, Wisc., USA, V. 31 : 243-52.
- FOX (R.L.) LIPPS (R.C.) -1955- Subirrigation and plant nutrition. I. Alfalfa root distribution and soil properties. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 19 : 468-73.
- FRANQUIN (P.) -1974- Un modèle théorique du développement structural de la plante. Physiol. Végét., 12 (3) : 459-65.
- FRIBOURG (H.J.) -1953- A rapid method of washing roots. Agron. J. 45 : 334-5.

- FRIED (M.), BROESHART (H.) -1967- The soil-plant system. Academic Press, New-York.
- GARWOOD (G.A.) -1965- Some factors which influence the root growth of herbage species. Thesis, Univ. Reading, 156 p.
- GARWOOD (E.A.) -1967,a- Seasonnal variation in appearance and growth of grass roots. J. Brit. Grassld Soc., 22 (2) : 121-130.
- GARWOOD (E.A.) -1967,b- Some effects of soil water conditions and soil temperature on the roots of grasses.
I. The effect of irrigation on the weight of root material under various swards. J. Brit. Grassld Soc., 22 (3) : 176-181.
- GARWOOD (E.A.), WILLIAMS (T.E.) -1967,a- Soil water use and growth of a grass sward. J. Agric. Sci., 68 : 281-92.
- GARWOOD (E.A.), WILLIAMS (T.E.) -1967,b- Growth, water use and nutrient uptake from the subsoil by grass swards. J. Agric. Sci., 69 : 125-30.
- GARWOOD (E.A.) -1968- Some effects of soil water conditions and soil temperature on the roots of grasses and clover. II. Effects of variation in the soil-water content and in soil temperature on root growth. J. Brit. Grassld Soc., 23 (2) : 117-128.
- GARWOOD (E.A.), CLEMENT (C.R.), WILLIAMS (T.E.) - 1972 - Leys and soil organic matter. III. The accumulation of macro-organic matter in the soil under different swards. J. Agric. Sci., 78 : 333-41.
- GATES (C.T.) -1951- The quantitative recovery of root systems in pot experiments. J. Aust. Inst. Agric. Sci., 17 : 152-4.
- GERWITZ (A.), PAGE (E.R.) -1973- Estimation of root distribution in soil by labelling with Rubidium 86 and counting with commercially available equipment. Lab. Practice, 22 (1) : 35-6.
- GERWITZ (A.), PAGE (E.R.) -1974- An empirical mathematical model to describe plant root systems. J. Appl. Ecol., 11 (2) : 773-81.
- GILLET (M.) -1970- Sur quelques aspects de la croissance et du développement de la plante entière de graminée en conditions naturelles: *Festuca pratensis* Huds., Thèse, Poitiers, 190 p.
- GILLET (M.) -1973- Influence du mode d'exploitation au printemps sur la production, en quantité et en qualité, des graminées fourragères. Fourrages, 55 : 15-76.

- GOEDEWAAGEN (M.A.J.), SCHUURMANN (J.J.) -1950- Root production of agricultural crops on arable land and on grassland as a source of organic matter in the soil. IV Int. Cong. Soil Sci., Amsterdam, Trans., Vol.2 : 28-31.
- GORB (V.D.), YARMOLYUK (M.T.) -1973- (Influence of increased nitrogen fertilizer rates on the productivity of a cultivated pasture in the western part of the forest-Steppe zone of the Ukraine). In : Herb. Abs., 1975 : 1946.
- GREENLAND (D.J.), NYE (P.H.) -1959- Increases in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. J. Soil Sci., 10 (2) : 284-99.
- HAAS (H.J.) -1958- Effect of fertilizers, age of stand and decomposition on weight of grass roots and of grass and alfalfa on soil nitrogen and carbon. Agron. J., 50 (1) : 5-9.
- HACKETT (C.) -1968- A study of the root system of barley. I. Effects of nutrition on two varieties. New Phytol., 67 : 287-300.
- HACKETT (C.) -1969- A study of the root system of barley. II. Relationships between root dimensions and nutrient uptake. New Phytol., 68 : 1023-30.
- HACKETT (C.) -1971- Relationships between the dimensions of the barley root system : effects of mutilating the root axes. Aust. J. Biol. Sci., 24 : 1057-64.
- HACKETT (C.), BARTLETT (B.O.) -1971- A study of the root system of barley. III. Branching pattern. New Phytol., 70:409-13.
- HACKETT (C.) ROSE (D.A.) -1972- A model of the extension and branching of a seminal root of barley and its use in studying relations between root dimensions. I. The model. Aust. J. Biol. Sci., 25 : 669-79.
- HACKETT (C.) ROSE (D.A.) -1972- A model of the extension and branching of a seminal root and its use in studying relations between root dimensions. II. Results and inferences from manipulation of the model. Aust. J. Biol. Sci., 25 : 681-90.
- HALL (N.S.), CHANDLER (W.V.) Van BAVEL (C.H.M.) REID (P.H.) ANDERSON (H.J.) -1953- A tracer technique to measure the growth and activity of plant root systems. North Carolina Agr. Expt. Sta. Techn. Bull. 101.
- HARPER (J.L.) -1974- Agricultural ecosystems. Agro-Ecosystems, 1 : 1,6.
- HEDIN (L.) -1972- Influence des racines sur la teneur de la matière organique du sol. Fourrages, 50 : 83-96.

- HENIN (S.), DUPUIS (M.) -1945- Essai de bilan de matière organique du sol. Ann. Agron., 15 : 17-29.
- HENIN (S.), MONNIER (G.), TURC (L.) -1959- Un aspect de la dynamique des matières organiques du sol. C.R. Acad. Sci., 248 (1) : 138-41.
- HENIN (S.) et al -1960- Le profil cultural. SEIA, 320 p.
- HENIN (S.), DEFFONTAINES (J.P.) -1970- Principe et utilité de l'étude des potentialités agricoles régionales. C.R. Acad. Agric. Fr., 56 : 463-72.
- HESS (C.E.) -1969- Internal and external factors regulating root initiation. In : Root growth, WHITTINGTON (E.J.) ed., (loc. cit.) : 42-52.
- HOLT (E.C.), FISHER (F.L.) -1960- Root development of coastal Bermudagrass with high nitrogen fertilization. Agron. J., 52 (10) : 593-96.
- HUNTER (R.F.), KNIGHT (A.H.) -1960- Studies of root development in a grass sward growing on deep peat using radioactive tracers. J. Brit. Grassld Soc., 15 : 133-6.
- IRAT-CI -1973- Pluviosité de la région centre Côte d'Ivoire. Comm. Journées de l'Agric., Bouaké, 8-11 mai 1973.
- JACQUARD (P.), CROISIER (L.), MONNIER (G.) -1969- Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. I. Effets résiduels de la luzerne sur le blé et le maïs. Ann. Agron., 20 (4) : 371-433.
- JACQUES (W.A.) -1937- A new type of root sampler. N.Z.J. Sci. Techn., 19 (4) : 267-70.
- JACQUES (W.A.) -1941- Root development in some common New Zealand pasture plants. I. Perennial rye-grass (*Lolium perenne*). A Effect of time of sowing and taking a hay crop in the first harvest year. N.Z.J. Sci. Techn., 22, A (5) : 237-47.
- JACQUES (W.A.) -1943- Root development in some common New Zealand pasture plants. II. Perennial ryegrass (*Lolium perenne*), cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and white clover (*Trifolium repens*). Effect of fertilizer placement on the yield of roots and herbage. N.Z.J. Sci. Techn., 25, A(3) : 91-117.
- JACQUES (W.A.) -1945- Root development in some common New Zealand pasture plants. IV. A method of root separation. N.Z.J. Sci. Techn., 26, A (6) : 367-71.
- JACQUES (W.A.), EDMOND (D.B.) -1952- Root development in some common New Zealand pasture plants.V. The effect of defoliation and root pruning on cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and perennial rye-grass (*Lolium perenne*). N.Z.J. Sci. Techn., 34, A (3) : 231-48.

- JACQUES (W.A.), SCHWASS (R.H.) -1956- Root development in some common New Zealand pasture plants. VII. Seasonal root replacement in perennial rye-grass (*Lolium perenne*), Italian rye-grass (*Lolium multiflorum*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*). N.Z.J. Sci. Techn., 37, A : 569-83.
- JAMISON (V.C.), WEAVER (H.A.), REED (I.F.) -1950- A hammer-driven soil core sampler. Soil Sci., 69 : 487-96.
- JENNY (H.), GESSÉL (S.P.), GINGHAM (F.) -1949- Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Sci., 68 : 419-32.
- KELLEY (C.J.), HARDMAN (J.A.), JENNINGS (O.S.) -1947- A soil sampling machine for obtaining two, three or four inch diameter cores of undisrupted soil to a depth of six feet. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 12 : 85-7.
- KIRBY (E.J.M.), RACKHAM (O.) -1971- A note on the root growth of barley. J. Appl. Ecol., 8 : 919-24.
- KLEINENDORST (A.), BROUWER (R.) -1965- The effect of temperature on two different clones of perennial ryegrass. Jaarb. Inst. Biol. Scheik. Onderz. Landbgewass : 29-39.
- KMOCK (H.G.), RAMIG (R.E.), FOX (R.L.), KOEHLER (F.E.) -1957- Root development of winter wheat as influenced by soil moisture and nitrogen fertilization. Agron. J., 49 : 20-25.
- KNIEVEL (D.P.) -1973- Procedure for estimating ratio of live to dead root dry matter in root core samples. Crop Sci., 13 (1) : 124-6.
- LANG (A.R.G.), MELSHUISH (F.M.) -1970- Lengths and diameters of plant roots in non random populations by analysis of plane surfaces. Biometrics, 26 : 421-31.
- LAUDELOUT (H.), GERMAIN (R.) -1954- Premiers résultats sur la dynamique chimique des jachères herbacées et des pâtures à Yangambi. V Cong. Int. Sci. Sol, Léopoldville, II.10 : 312-21.
- LAUDELOUT (H.) -1962- Dynamique des sols tropicaux et les différents systèmes de jachère. F.A.O., Rome, 126 p.
- LAVIN (F.) -1961- A glass-faced box for field observations on roots. Agron. J., 53 (4) : 265-68.
- LEA (J.D.) -1961- Studies on the depth and rate of root penetration of some annual tropical crops. Trop. Agric., 38 (2) : 93-105.
- LEMAIRE (F.) -1974- Actions comparées de l'azote et du phosphore sur la croissance des racines et des parties aériennes des plantes. C.R. Acad. Agric. Fr., 60 : 226-33.

- LEMAIRE (F.) -1975- Action comparée de l'alimentation azotée sur la croissance du système racinaire et des parties aériennes des végétaux. *Ann. Agron.*, 26 (1) : 59-74.
- LEY (D.) -1974- Ajustement d'une hyperbole équilatère. *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, 23 : 45-55.
- LIPPS (R.C.), FOX (R.L.), KOEHLER (F.G.) -1957- Characterizing root activity of alfalfa by radioactive tracer techniques. *Soil Sci.*, 84 : 195-204.
- LUDLOW (M.M.) -1975- Effect of waterstress on the decline of leaf net photosynthesis with age. In : *Environmental and biological control of photosynthesis*. JUNK (W.) éd, the Hague Neth. : 123-34.
- LUNGLEY (D.R.) -1973- The growth of root systems. A numerical computer simulation model. *Pl. Soil*, 38 : 145-59.
- MACKELL (C.M.), WILSON (A.M.), JONES (M.B.) -1961- A flotation method for easy separation of roots from soil samples. *Agron. J.*, 53 (1) : 56-7.
- MACKIE (W.Z.), FRIED (M.) -1955- Relative distribution of potassium and rubidium 86 within corn plants grown in the field. *Soil Sci.*, 80 : 309-12.
- MAERTENS (C.) -1964,a- Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. *Sci. Sol.*, 31-41.
- MAERTENS (C.) -1964,b- La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. *Ann. Agron.*, 15 (5) : 539-54.
- MATHIS (G.W.), JAYNES (C.C.), THOMAS (G.W.) -1965- Root development of plains bristle grass as measured by soil placement of radiophosphorus. *J. Range Mgmt*, 18 : 30-33.
- MAY (L.H.) -1960- The utilization of carbohydrate reserves in pasture plants after defoliation. *Herb. Abs.* 30 (4) : 239-43.
- MAY (L.H.), CHAPMAN (F.H.), ASPINALL (D.) -1965- Quantitative studies on root development. I. The influence of nutrient concentration. *Aust. J. Biol. Sci.*, 18 : 25-35.
- MAY (L.H.), RANGLES (F.H.), ASPINALL (D.), PALEG (L.G.) -1966- Quantitative studies on root development. II. Growth in the early stage of development. *Aust. J. Biol. Sci.*, 20 : 273-83.
- MELHUISH (F.M.) -1968- A precise technique for measurement of roots and root distribution in soils. *Ann. Bot.*, 32 : 15-22.

- MELSHUISH (F.M.), LANG (A.R.G.) -1968- Quantitative studies of roots in soil. I. Length and diameter of cotton roots in a clay-loam soil by analysis of surface-ground blocks of resin-impregnated soil. *Soil Sci.*, 106 (1) : 16-22.
- MELHUISH (F.M.), LANG (A.R.G.) -1971- Quantitative studies of roots in soils. II. Analysis of non-random populations. *Soil Sci.*, 112 (3) : 161-6.
- MILNER (C.), HUGHES (R.E.) -1968- Methods for the measurement of the primary production of grassland. IBP Handbook n°6, Blackwell Sci. Publ., Oxford, 70 p.
- MIRREH (H.F.), KETCHESON (J.W.) -1973- Influence of soil water matric potential and resistance to penetration on corn root elongation. *Can. J. Soil Sci.* 53 : 383-88
- MONNIER (G.) -1965- Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse. Univ. Paris, 140 p.
- MONTENY (B.), COMBES (D.), PREVOST (F.) -1971- Etude morphologique du limbe foliaire de *Panicum maximum* (K 187) en relation avec la photosynthèse. ORSTOM, multigr., 19 p.
- MONTENY (B.) -1973- Anatomie et échange de CO₂ chez *Panicum maximum*. *Decol. plant.*, 8 (2) : 125-40.
- MUZIK (T.J.), WHITWORTH (J.W.) -1962- A technique for the periodic observation of root systems *in situ*. *Agron. J.*, 54 (1) : 56.
- NELSON (W.W.), ALLMARAS (R.R.) -1969- An improved monolith method for excavating and describing roots. *Agron. J.*, 61 : 751-4.
- NEWBOULD (P.) -1969- In : Ecological aspects of the mineral nutrition of plants, Blackwell, Oxford, p 177.
- NEWBOULD (P.), TAYLOR (R.), HOWSE (K.R.) -1971- The absorption of phosphate and calcium from different depths in soil by swards of perennial rye-grass. *J. Brit. Grassld Soc.*, 26 : 201-8.
- NIELSON (J.A.) -1964- Autoradiography for studying individual root systems in mixed herbaceous stands. *Ecol.*, 45 (3) : 644-6.
- NYE (P.H.) -1958- The relative importance of fallow and soil in storing plant nutrients in Ghana. *J.W. Af. Sci. Assoc.*, 4 : 31-49.
- NYE (P.H.), FOSTER (W.N.M.) -1960- The use of radio-isotopes to study plant feeding zones in natural soils. *Trans. 7th Int. Cong. Soil Sci.*, 2 : 215-22.

- NYE (P.H.), GREENLAND (D.J.) -1960- The soil under shifting cultivation. Techn. Common. Bur. Soil Sci. Bull. 51, 156 p.
- OLMSTED (C.E.) -1942- Growth and development in range grasses. II. Early development of *Bouteloua curtipendula* as affected by drought periods. Bot. Gaz., 103 : 531-42.
- OSWALT (D.L.), BERTRAND (A.R.), TEEL (M.R.) -1959- Influence of nitrogen fertilization and clipping on grass roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 23 : 228-30.
- OZANNE (P.G.), ASHER (C.J.) -1965- The effect of seed potassium on emergence and root development of seedlings in potassium deficient sand. Aust. J. Agric. Res., 16 (5) : 773-84.
- OZANNE (P.G.), ASHER (C.J.), KIRTON (D.J.) -1965- Root distribution in a deep sand and its relationship to the uptake of added potassium by pasture plants. Aust. J. Agric. Res., 16 (5) : 785-800.
- PAGE (E.R.), GERWITZ (A.) -1974- Mathematical models, based on diffusion equations, to describe root systems of isolated plants, row crops and swards. Pl. Soil, 41 : 243-54.
- PAVLYCHENKO (T.K.) -1937- The soil-block washing method in quantitative root study. Can. J. Res. 15 (2) : 33-57.
- PEREIRA (H.C.), CHENERY (E.M.), MILLS (W.R.) -1954- The transient effect of grasses on the structure of tropical soils. Emp. J. Exp. Agric. 22 : 148-60.
- PERNES (J.), RENE (J.) -1969- Idées directrices pour l'analyse agronomique d'essais d'exploitation fourragère de variétés de *Panicum maximum*. ORSTOM, multigr., 15 p.
- PERNES (J.) -1972- Organisation évolutive d'un groupe préférentiellement agamique : la section des *Maximae* du genre *Panicum* (graminées). Thèse Univ. Paris-Sud, sér. Biol., 1041, 171 p.
- PERNES (J.), RENE (J.), RENE-CHAUME (R.), LETENNEUR (L.), ROBERGE (G.), MESSAGER (J.L.) -1975- *Panicum maximum* (Jacq.) et l'intensification fourragère en Côte d'Ivoire. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop., 28 (2) : 239-64.
- PETTIT (R.D.), JAYNES (C.C.) -1971- Use of radiophosphorus and soil-block techniques to measure root development. J. Range Mgmt., 24 (1) : 63-5.
- PICARD (D.) -1968- Etude sommaire du type de loi de distribution de certains paramètres racinaires. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 5 : 3-14.

- PICARD (D.) -1969- Comparaison de deux techniques de prélèvement d'échantillons de racines. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 9 : 19-31.
- PICARD (D.), FILLONNEAU (C.) -1972- Mise en évidence d'une période critique pour la fauche chez les graminées. L'exemple de *Panicum maximum*. Fourrages, 52 : 71-80.
- PICARD (D.) -1973- Incidence d'une période sèche de courte durée sur l'émission des racines primaires de *Panicum maximum*. C.R. Acad. Agric. Fr., 59 (18) : 1475-85.
- PICARD (D.), FILLONNEAU (C.), BONZON (B.), HAINNAUX (G.), SICOT (M.), TALINEAU (J.C.) -1973- Comportement de quelques plantes fourragères en Côte d'Ivoire, en fonction de différents modes d'exploitation. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 19 : 3-14.
- PICARD (D.), BONZON (B.) -1973- Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. 2231.10. Profils racinaires de la station de Bouaké. Résultats. Premières interprétations. ORSTOM, multigr., 27 p.
- PICARD (D.), BONZON (B.) -1974,a- Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. 2231.20. Profils racinaires de l'essai B à la station de Gagnoa. Résultats. Premières interprétations. ORSTOM, multigr., 22 p.
- PICARD (D.), BONZON (B.) -1974,b- Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. 2231.40. Profils racinaires de l'essai B à la station d'Adiopodoumé. Résultats. Premières interprétations. ORSTOM, multigr., 28 p.
- PICARD (D.), JACQUOT (M.) -1976 - Rythmes d'émission comparés des racines nodales de trois variétés de riz. Agron. Trop. (à paraître).
- PIELOU (E.C.) -1969- An introduction to mathematical ecology. John Wiley and Sons, Inc., New-York.
- PINTHUS (M.J.), ESCHÉL (Y.) -1962- Observations on the development of the root system of some wheat varieties. Is. J. Agric. Res., 12 (1) : 13-20.
- PINTHUS (M.J.) -1969- Tillering and coronal formation in some common and durum wheat varieties. Crop. Sci., 9 :
- QUINLAM (J.D.), SAGAR (G.R.) -1962- An autoradiographic study of the movement of ¹⁴C labelled assimilates in the developing wheat plant. Weed Res., 2 : 264-73.

- RACZ (G.J.), RENNIE (D.A.), HUTCHEON (W.L.) -1964- The ^{32}P injection method for studying the root system of wheat. *Can. J. Soil Sci.*, 44 : 100-8.
- RENNIE (D.A.), HALSTEAD (E.N.) -1965- A ^{32}P injection method for quantitative estimation of the distribution and extend of cereal grain roots. *Proc. Symp. use of isotopes and radiation in soil plant nutrition studies*. FAO/IAEA, Ankara.
- ROGERS (W.S.), BOOTH (G.A.) -1959- The roots of fruit trees. *Scient. Hort.*, 14 : 27-34.
- ROGERS (W.S.) -1968- The East-Malling root observations laboratories. In : *Root growth*, Whittington ed., (loc. cit.), 361-76.
- ROO (H.C. de) -1957- Root growth in Connecticut Tobacco soils. *Connect. Exp. Stn. Bull.* 608, 36 p.
- ROOSE (E.), CHEROUX (M.) -1966- Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 4 (2) : 51-92.
- RUNGE (E.C.A.) -1965- The hydraulic soil-coring machine. A new method of sampling Illinois soils. *Illinois Res.* : 10-11.
- RUSSELL (R.S.), ELLIS (F.B.) -1968- Estimation of the distribution of plant roots in soil. *Nature*, 217 : 582-3.
- SATOR (C.) -1972- (Methodological studies to differentiate living from dead roots). In : *Herb. Abs.*, 1974 : 2605.
- SCHUURMAN (J.J.) -1958- Root development, water uptake and growth of spring wheat and perennial ryegrass on three profiles. *Rep. on Conf. on suppl. Irrig., Com.VI, 1555 Copenhagen* : 1-11.
- SCHUURMAN (J.J.), GOEDEWAAGEN (M.A.J.) -1965 - Methods for the examination of root systems and roots. *PUDOC-WAGENINGEN*, 86 p.
- SCHUURMAN (J.J.), BOER (J.J.H. de) -1970- The development pattern of roots and shoots of oats under favorable conditions. *Nath.J. Agric. Sci.*, 18 : 168-81.
- SEBILLOTTE (M.) -1968- Etude climatique de la région de Gagnoa en Côte d'Ivoire. *Agron. Trop.*, 23 : 322-57.
- SEMENOV (A.I.) -1973- (Effect of nitrogen fertilizers and irrigation on the root growth in grasses on a sown pasture). In : *Herb. Abs.*, 1974 : 1834.
- SINGH (J.S.), COLEMAN (D.C.) -1973- A technique for evaluating functional root biomass in grassland ecosystems. *Can. J. Bot.*, 51 (10) : 1867-70.
- SINGH (J.S.), COLEMAN (D.G.) -1974- Distribution of photo-assimilated ^{14}C in the root system of a shortgrass prairie. *J. Ecol.* 62 (2) : 359-65.

- SINHA (B.P.), CHATTERJEE (B.N.) -1968- Soils moisture status and root contents of grasses at different soil depths. J. Soil Water Conserv. India, 16 (1-2) : 28-32.
- SMITH (B.N.) BENEDICT (C.R.) -1974- Carbon isotopic ratios of chemical constituents of *Panicum maximum*. Pl.Cell. Physiol., 15 (5) : 949-51.
- SNEDECOR (G.W.), COCHRAN (W.G.) -1957- Méthodes statistiques. 6^é éd., trad. Fr., Acta, 649 p.
- SOILEAU (J.M.), MAYS (D.A.), KHASAW NEH (F.E.), KILMER (V.J.) -1974- The rhizotron-lysimeter research facility at TVA, Muscle shoals, Alabama. Agron.J., 66 : 828-32.
- SPEEDING (C.R.), DIEKMAHNS (E.C.) -1972- Grasses and legumes in British agriculture. C.A.B. Bull. 49, 511 p.
- SPEIDEL (B.), WEISS (A.) -1974- (Investigations on the root activity below a golden oat meadow). In : Herb. Abs., 1975 :819.
- SPRAGUE (H.B) -1933- Root development of perennial grasses and its relation to soil conditions. Soil Sci., 36 (3) : 189-209.
- STUCKEY (I.) -1941- Seasonal growth of grass roots. Amer. J. Bot., 28 : 486-91.
- SUBBIAH (B.V.), KATYAL (J.C.), NARASIMHAM (R.L.), DACKCHINAMURTI (C.) -1967- Preliminary investigations on root distribution of high yielding wheat varieties. Int. J. Appl. Rad.Isotopes, 19 : 385-90.
- TAERUM (R.), GWYNNE -1969- Methods for studying grass roots under East African conditions and some preliminary results. E.Afr. Agric. For. J., 35 : 55-65.
- TAERUM (R.) -1970,a- Comparative shoot and root growth studies on six grasses in Kenya. E. Af. Agr. For. J., 36 (1): 94-113.
- TAERUM (R.) -1970,b- A study of root and shoot growth on three grass species in Kenya. E. Af. Agr. For. J., 36 (2) : 155-70.
- TALINEAU (J.C.), HEILMANN (P.) -1968- Intérêt d'une méthode d'expérimentation en sacs plastiques et mesure de certains paramètres pouvant caractériser la réaction de *Panicum maximum* à l'exploitation. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 5 : 35-47.
- TALINEAU (J.C.) -1970- Action des facteurs climatiques sur la production fourragère en Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Biol., 14 : 51-76.
- TALINEAU (J.C.), HAINNAUX (G.) -1974- Programme d'étude des interactions sol-plantes fourragères en milieu tropical humide. Station de Bouaké. 23.1. Premiers résultats, interprétations et conclusions concernant le facteur sol. ORSTOM, multigr., 72 p.

- TAYLOR (H.M.) -1969- The rhizotron at Auburn, Alabama. A plant-root observations laboratory. Auburn Univ. Agric. Exp. Stn Circ. 171, 9 p.
- THAMES (J.L.), Mc REYNOLDS (R.D.) -1961- An hydraulic soil sampler. Agric. Eng., 431-2.
- TONNELAT (J.) -1973- Biophysique II. Propriétés hydrodynamiques et optiques de macromolécules biologiques en solution. Masson, 365 p.
- TRENBATH (B.R.) -1974- Application of a growth model to problems of the productivity and stability of mixed stands. In : Proc. 12th Int. Grassld Cong., Moscou, Biol. physiol. aspects of the intensification of grassld utilization : 367-79.
- TROUGHTON (A.) -1951- Studies on the roots and storage organs of herbage plants. J. Brit. Grassld Soc., 7 (6) : 197-206.
- TROUGHTON (A.) -1955- The application of the allometric formula to the study of the relationship between the roots and shoots of young grass plants. Agric. Prog., 30 (1) : 59-65.
- TROUGHTON (A.) -1957- The underground organs of herbage grasses. Comm. Bur. Past. Field Crops Bull. 44 : 163 p.
- TROUGHTON (A.) -1960,a- Growth correlations between the roots and shoots of grass plants. Proc. 8th Int. Grassld Cong. Physiol of herbage growth : 280-3.
- TROUGHTON (A.) -1960,b- In : Proc. 8th Grassld Cong. Discussion on physiology of herbage growth : 301.
- TROUGHTON (A.) -1960,c- Further studies on the relationship between shoot and root systems of grasses. J. Brit. Grassld Soc., 15 (1) : 41-7.
- TROUGHTON (A.) -1973- In : Welsh pl. Breed. Stn. Rep. p 33.
- TROUGHTON (A.) -1974- The role of roots in determining yields. In : Proc. 12th Int. Grassld Cong., Moscou. Biol. physiol. aspects of the intensification of grassland utilization : 380-7.
- TROUGHTON (A.) -1975- In : Welsh Pl. Breed. Stn Rep. 1974 : 41-56.
- TURC (L.) -1961- Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapo-transpiration potentielle. Ann. Agron., 12 (1) : 13-49.
- UENO (M.), YOSHIHARA (K.), OKADA (T.) -1967- Living root systems distinguished by the use of carbon-14. Nature, 213 : 530-2.

- VILLARES (J.B.), BECKER (M.), TUNDISI (A.) -1953- Contribução para o estudo dos pastagens de capim coloniao, *Panicum maximum* Jacq. na produção dos bovinos de corte em regiões tropicais do estado de São Paulo. I. Características do sistema subterrâneo do gramíneo em vários tipos de solos. Bol. Industr. Anim., 13 : 3-23.
- VOSE (P.B.) -1960- The physiology of the vegetative grass plant. Welsh Pl. Breed. Stn. Rep. 1959 : 17-18.
- WARD (C.Y.), BLASER (R.E.) -1961- Carbohydrate food reserves and leaf area in regrowth of orchard grass. Crop Sci., 1 : 366-70.
- WAREMBOURG (F.R.), PAUL (E.A.) -1973- The use of $^{14}\text{CO}_2$ canopy techniques for measuring carbon transfer through the plant-soil system. Pl. Soil, 38 (2) : 331-45.
- WAREMBOURG (F.R.), PAUL (E.A.), RANDELL (R.L.), MORE (R.B.) -1974- Carbon transfer through the plant soil sub-system using $^{14}\text{CO}_2$ plant labelling techniques : production, translocation, respiration and turnover, with an input-output mathematical description of carbon translocation. Techn. Rep., Matador Project, Univ. Saskatchewan, n° 42, 64 p.
- WEAVER (J.E.) -1919 - The ecological relations of roots. Carnegie Inst. Wash. Publ. 286, 128 p.
- WEAVER (J.E.) -1920- Root development in the grass land formation Carnegie Instit. Washington Publ. 292.
- WEAVER (J.E.) -1926- Root development of field crops. Mc Graw-Hill, 291 p.
- WEAVER (J.E.), DARLAND (R.W.) -1949- Quantitative study of root systems in different soil types. Science, 110 : 164-5.
- WEINMANN (H.) -1948- Underground development and reserves of grasses. J. Brit. Grassld Soc., 3 : 115-140.
- WELBANK (P.), WILLIAMS (E.D.) -1968- Root growth of a barley crop estimated by sampling with portable powered soil coring equipment. J. Appl. Ecol., 5 : 477-81.
- WHITEHEAD (D.C.) -1970- The role of nitrogen in grassland productivity. C.A.B., Bull. n°48, 202 p.
- WHITTINGTON (W.J.) -1969- Root growth. Proc. 15th Easter School Agric. Sci. Nottingham. Butterworth, London 450 p.
- WHYSONG (G.L.), FISSER (H.G.) -1974- Statistical models for description and prediction of perennial grass production. In : Proc. 12th Int. Grassld Cong., Moscou. Biol. physiol. aspects of the intensification of grassland utilization : 408-13.

- WIERSMA (D.) -1959- The soil environment and root development. In :
Water and its relation to soils and crops. Adv. Agron., 11:
43-51.
- WIERSUM (L.K.) -1958- Acta Bot. Néerl., 7 : 174-90.
- WIERSUM (L.K.) -1967- Root system development. In : Soil moisture and
irrigation studies. Proc. of a Panel, Vienne 14-18 march 1966.
FAO/IAEA : 83-96.
- WILLIAMS (T.E.), BAKER (H.K.) -1957- Studies on the root development
of herbage plants. I. Techniques of herbage investigations.
J. Brit. Grassld Soc., 12 (1) : 49-55.
- WILLIAMS (T.E.) -1969- Root activity of perennial grass swards. In :
Root growth, WHITTINGTON (W.J.) ed, loc. cit : 270-79.
- WRIGHT (N.) -1962- Root weight and distribution of blue panic-grass,
Panicum antidotale, Retz., as affected by fertilizers, cutting
height, and soil moisture stress. Agron.J., 54 : 200-2.
- YOASH VAADIA, CHANAN ITAI -1969- Interrelationships of growth with
reference to the distribution of growth substances. In : Root
growth, WHITTINGTON (W.J.) ed, loc. cit.
- WYK (J.J.P.Van) -1974- A mechanical root washer. Proc. Grassld
Soc. Southern Africa, 9 : 165-7.

Résultats des tests de Newman et Keuls.

Les moyennes, désignées par leur N° d'ordre (Annexe 1, 1ere colonne), ont été classées de la valeur la plus élevée à la valeur la plus faible, puis les N° des moyennes extrêmes des groupes non différentiables indiqués. Le classement a été opéré sur les valeurs transformées et l'ordre de classement des moyennes est parfois légèrement différent de celui qu'on obtient à partir des valeurs non transformées, celui des figures.

1.- Paramètre : nombre de tiges par plants.

Moyennes ordonnées.

41	45	49	7	47	↓ valeurs décroissantes
44	39	19	48	31	
43	40	30	24	11	
17	36	13	22	21	
35	38	28	6	4	
27	23	32	23	5	
42	29	14	18	3	
15	34	35	8	9	
16	26	12	10	2	
18	37	20	46	1	

→ valeurs décroissantes

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)
41	26	34	11
44	13	26	21
17	35	13	4
27	20	28	5
15	24	14	3
16	6	18	9
38	23	8	2
36	18	47	1
25	46		
29	31		

(1) valeur supérieure
(2) valeur inférieure

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in financial reporting and compliance with regulatory requirements. The text notes that without reliable records, organizations may face significant challenges in identifying discrepancies, resolving disputes, and demonstrating their adherence to applicable laws and standards.

2. Furthermore, the document highlights the role of technology in streamlining record-keeping processes. Modern software solutions can automate data collection, storage, and analysis, reducing the risk of human error and increasing the efficiency of operations. By leveraging digital tools, organizations can ensure that their records are up-to-date, secure, and easily accessible to authorized personnel. This not only enhances operational performance but also supports better decision-making based on real-time data insights.

3. In addition, the text addresses the need for regular audits and reviews to verify the accuracy and integrity of the recorded information. Internal control systems should be designed to detect and prevent errors or fraud before they become significant issues. Regular audits provide an independent assessment of the organization's record-keeping practices, helping to identify areas for improvement and ensuring that all activities are properly documented and reported. This proactive approach is crucial for maintaining the trust of stakeholders and the overall credibility of the organization.

4. Finally, the document concludes by stressing the long-term benefits of a robust record-keeping system. Well-maintained records serve as a valuable historical resource, providing a clear trail of events and decisions that can be referenced for legal, financial, and operational purposes. They also facilitate the identification of trends and patterns over time, enabling organizations to optimize their processes and strategies. In summary, a commitment to accurate and comprehensive record-keeping is a cornerstone of effective organizational management and a key factor in achieving sustained success and compliance.

annexe 1

2.- Paramètre : matière sèche des plantes.

Moyennes ordonnées.

17-1	36-1	7	11-1	10	37	45 9 ↓ valeurs décroissantes
27-1	14-1	35	17-2	42-1	28	
45-1	50-1	4	40	45-2	33-2	
23	26	13	28	36-2	11-2	
42-1	21	29	30-2	6	48	
30-1	41	39-1	43	34	5-2	
24-1	20	27-2	14-2	50-2	18	
22	44	33-1	38	39-2	31	
16	5-1	19	12	32	3	
8-1	49	15	24-2	8-2	47	

→ valeurs décroissantes

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
17-1	50-1	21	25	17-2	33-2
27-1	20	44	43	40	11-2
45-1	49	5-1	14-2	25	48
23	7	49	42-1	30-2	18
42-1	35	35	45-2	14-2	31
24-1	29	4	50-2	45-2	3
22	27-2	13	39-2	36-2	47
16	33-1	39-1	32	39-2	9
14-1	19	27-2	8-2		
26	17-2	19	28		

3.- Paramètre : nombre de R₃ par plante.

Moyennes ordonnées.

30	48	45	21	26	↓ valeurs décroissantes
15	18	37	33	50	
25	4	16	19	1	
17	10	49	36	22	
24	12	7	44	39	
6	3	2	35	23	
41	9	29	32	27	
13	8	28	45	30	
5	31	14	42	47	
11	40	20	34	46	

→ valeurs décroissantes.

1870

1871

1872

1873

Annexe 1

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)
38	40	31	1
15	37	43	39
25	49	16	23
17	29	7	27
6	21	33	23
13	33	19	47
5	33	35	46
48	42		
4	26		
12	50		

4.- Paramètre : Nombre de P.R. par plants.

moyennes ordonnées.

13	17	34	21	50
43	5	44	3	30
41	25	36	31	23
10	18	12	4	14
11	49	45	16	7
15	32	20	2	24
38	29	35	8	40
33	6	9	22	28
48	42	26	39	46
37	1	19	27	47

valeurs
décroissantes

valeurs décroissantes

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)
13	36	34	27
43	12	44	30
41	45	36	14
10	35	12	7
11	21	20	24
15	4	26	40
38	8	9	47
33	8		
17	22		
18	39		

Annexe 1

5.- Paramètre : poids de matière sèche des racines en mg pour 100 g de terre sur l'ensemble du profil.

Moyennes ordonnées.

30	44	20	24	8	↓ valeurs décroissantes
42	43	47	21	9	
27	29	28	22	10	
33	36	34	15	5	
35	41	25	16	6	
45	26	48	18	7	
50	38	19	14		
37	17	49	12		
32	46	23	11		
39	40	31	13		

→ valeurs décroissantes.

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)
30	19	28	9
42	21	25	10
27	15	31	5
35	16	21	6
37	18	16	7
29	14		
36	12		
17	11		
46	13		
40	8		

6.- Paramètre : poids de matière sèche des racines dans 0-10 cm, en mg pour 100 g de terre.

Moyennes ordonnées.

27	44	40	23	8	↓ valeurs décroissantes
35	43	15	31	9	
30	29	47	18	10	
39	20	24	25	7	
33	26	22	21	5	
42	50	16	14	6	
17	36	46	11		
32	19	48	28		
37	38	34	49		
45	41	12	13		

→ valeurs décroissantes.

Annexe 1

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)
27	14	44	10
35	28	15	7
30	49	47	5
39	13	22	6
17	8		
32	9		

7.- Paramètre : poids de matière sèche des racines dans 10-25 cm. en mg pour 100 g de terre.

Moyennes ordonnées.

42	29	47	15	6	↓ valeurs décroissantes
30	32	48	19	11	
41	28	34	24	13	
27	39	49	22	12	
44	26	40	16	10	
50	36	31	14	7	
45	38	17	18		
43	37	23	8		
46	25	21	5		
35	33	20	9		

→ valeurs décroissantes.

Numéros d'ordre des valeurs extrêmes des groupes de moyennes non significativement différents.

(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
42	40	35	16	31	12
30	17	28	14	17	10
41	21	26	18	23	7
27	24	25	8		
43	22	34	11		

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for transparency and accountability, particularly in financial reporting and compliance with regulatory requirements.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect, store, and analyze data. It highlights the role of modern technologies such as data mining, artificial intelligence, and machine learning in processing large volumes of information efficiently and accurately.

3. The third part of the document focuses on the challenges and risks associated with data management and security. It discusses the need for robust security protocols, regular updates, and employee training to protect sensitive information from unauthorized access and data breaches.

4. The fourth part of the document provides a detailed overview of the legal and ethical considerations surrounding data collection and usage. It covers topics such as data privacy laws, consent requirements, and the ethical implications of data analysis and profiling.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It stresses the importance of a proactive approach to data management, ensuring that organizations are prepared to handle the complexities and challenges of the digital age.

**ANNEXE 2 : ANALYSE STATISTIQUE
DES RESULTATS DES ESSAIS B MULTILOCAUX**

-o-o-

Le schéma d'analyse a été mis au point par B. Bonzon, Déjardin, C. Filloneau et M. Géri. Les résultats exposés ici ne constituent qu'une faible partie de l'ensemble. Ils ne concernent que les poids de matière sèche des racines sur l'ensemble du profil, date d'observation par date d'observation.

Les calculs ont été effectués à l'aide d'une calculatrice programmable, le programme ayant été écrit et mis au point par M. Géri.

Les résultats sont exposés en 3 tableaux successifs par station, le premier donnant les effets principaux, le second les interactions de 2^e ordre, le 2^e les interactions de 3^e ordre.

Les symboles suivants sont utilisés :

Famille	Fa	: Graminées	G
		Légumineuses	Lg
Port	P	: Dressé	D
		Rampant	R
Rythme	Ry	: Lent	L
		Normal	N
Fertilisation	Fe	: Zéro	O
		Fertilisé	F
Bloc	B	: 1	1
		2	2

Le test F a été effectué à 4 niveaux de sensibilité :

4	correspond à une signification au seuil 1 % Hartley
3	" " " 5 % "
2	" " " 1 % normal
1	" " " 5 % "

L'interprétation des effets principaux est immédiate.

Celle des interactions a été faite à l'aide du test de Newman et Keuls. Les tableaux n'indiquent les résultats de ce test que pour les interactions dans lesquels *Particum maximum* est impliqué.

	Famille G / Lg	Port D / R	Rythme de Coupe L / N	Fertilisation O / P
avril 1968	4 G - Lg	1 R - D	2 N - L	
août 1968	4 G - Lg	1 R - D		
décembre 1968	4 G - Lg	4 R - D		
avril 1969	4 G - Lg	4 R - D	2 L - N	
août 1969	4 G - Lg	3 R - D	2 L - N	
décembre 1969	4 G - Lg	1 R - D		
avril 1970	4 G - Lg	3 R - D		3 P - 0
septembre 1970	4 G - Lg	1 R - D	1 L - N	
décembre 1970	4 G - Lg			1 P - 0
avril 1971	4 G - Lg			2 P - 0
août 1971	4 G - Lg			4 P - 0
décembre 1971	4 G - Lg			3 P - 0
avril 1972	4 G - Lg	4 D - R		4 P - 0

Tableau 1 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil. Adiopodoumé. Effets principaux.

Dans chaque cas le chiffre en 1ère ligne indique le degré de signification du test F. En 2è ligne, les traitements sont rangés par ordre décroissant des moyennes de gauche à droite.

	Famille X Port	Famille X Rythme de coupe	Famille X Fertilisation	Port X Rythme de coupe	Port X Fertilisation	Rythme de coupe X Fertilisation
avril 1968	3 GD, GR, LgR, LgD					
août 1968	1 GR, GD, LgD, LgR					
décembre 1968	4 GR, GD, LgR, LgD	1 GL, GN, LgD, LgN				
avril 1969						
août 1969					1 RF, RO, DO, DF	
décembre 1969						
avril 1970				2 RL, RN, DL, DN		
septembre 1970			1 GF, GO, LgO, LgF			
décembre 1970	1 GR, GD, LgD, LgR		1 GF, GO, LgO, LgF		3 RF, DO, DF, RO	2 NF, LO, LF, NO
avril 1971					2 RF, DF, DO, RO	
août 1971	1 GR, GD, LgD, LgR		4 GF, GO, LgF, LgO	3 DN, RL, DL, RN	4 RF, DO, DF, RO	
décembre 1971			4 GF, GO, LgO, LgF		2 RF, DF, DO, RO	
avril 1972			4 GF, GO, LgO, LgF	1 DN, DL, RL, RN	4 RF, DF, DO, RO	

Tableau 2 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil.
Adiopodouné. Interactions du 2^e ordre.

Dans chaque case, le chiffre en tête ligne indique le degré de signification du test F. En deuxième ligne, les interactions sont rangées par ordre décroissant des moyennes de gauche à droite. Celles surmontées d'un même trait ont des moyennes non significativement différentes selon le test de Newman et Keuls.

	: : Fa x P x Ry	: : Fa x P x Fe	: : Fa x Ry x Fe	: : P x Ry x Fe
avril 1968	: :	: :	: :	: :
août 1968	: :	: :	: :	: :
décembre 1968	: :	: :	: :	: :
avril 1969	: :	: :	: :	: :
août 1969	: :	: :	: :	: :
décembre 1969	: :	: :	: :	: :
avril 1970	: :	: : $\frac{4}{GRF, GDO, GRO, GDF}$: :	: :
septembre 1970	: :	: : $\frac{4}{GRF, GDO, GDF, GRO}$: :	: :
décembre 1970	: :	: : $\frac{4}{GRF, GDO, GDF, GRO}$: :	: :
avril 1971	: :	: : $\frac{4}{GRF, GDF, GDO, GRO}$: :	: :
août 1971	: :	: : $\frac{4}{GRF, GDO, GDF, GRO}$: :	: :
décembre 1971	: :	: : $\frac{4}{GRF, GDF, GDO, GRO}$: :	: : $\frac{1}{DLO, DNF, DLF, DNO}$
avril 1972	: : $\frac{1}{GDN, GDL, GRL, GRN}$: : $\frac{4}{GRF, GDF, GDO, GRO}$: :	: :

Tableau 3 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil. Adiopodoumé. Interactions du 3e ordre.

Dans chaque case, le chiffre en 1ère ligne indique le degré de signification du test F. En 2^e ligne, les interactions dans lesquelles Panicum est impliqué sont rangées par ordre décroissant des moyennes de gauche à droite. Celles surmontées d'un même trait ont des moyennes non significativement différentes selon le test de Newman et Keuls.

	Famille	Port	Rythme de coupe	Fertilisation
	G / Ig	D / R	L / H	O / P
mars 1968	4 G - Ig			
juillet 1968	4 G - Ig			
novembre 1968	4 G - Ig			
avril 1969	4 G - Ig	1 R - D		1 O - P
juillet 1969	4 G - Ig			
novembre 1969	4 G - Ig			3 O - P
avril 1970	4 G - Ig			3 O - P
juillet 1970	4 G - Ig			3 O - P
décembre 1970	4 G - Ig			2 O - P
mars 1971	4 G - Ig	2 R - D		2 O - P

Tableau 4 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil.
Gagnoa. Effets principaux.

Dans chaque case, le chiffre en 1ère ligne indique le degré de signification du test. En 2è ligne, les traitements sont rangés par ordre décroissant des moyennes, de gauche à droite.

[Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page]

	Famille X Port	Famille X Rythme de coupe	Famille X Fertilisation	Port X Rythme de coupe	Port X Fertilisation	Rythme de coupe X Fertilisation
Mars 1968	1 GD, GH, LGR, LGD					
juillet 1968						
novembre 1968	1 GD, GH, LGR, LGD	1 GL, GH, LGR, LGL		1 DR, GR, RL, DL		
avril 1969	4 GD, GH, LGR, LGD	3 GL, GH, LGR, LGL		2 DL, DR, RL, DL		
juillet 1969	1 GD, GH, LGR, LGD					
novembre 1969	1 GD, GH, LGR, LGD					
avril 1970		1 GL, GH, LGR, LGL				
juillet 1970						
décembre 1970				1 DR, DL, RL, DL		
Mars 1971	1 GR, GD, LGR, LGD					

Tableau 5 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil.
3agnes. Interactions du 2^e ordre.

Dans chaque case, le chiffre en 1^{ère} ligne indique le degré de signification du test F. En 2^e ligne, les traitements sont rangés par ordre décroissant des moyennes, de gauche à droite.

	Pa x P x Ry	Pa x P x Fe	Pa x Ry x Fe	P x Ry x Fe
mars 1968				
juillet 1968				
novembre 1968				
avril 1969				
juillet 1969				
novembre 1969	2 GRL, GDN, GDL, GRN			
avril 1970				
juillet 1970	1 GRL, GDN, GDL, GRN	1 GDO, GRO, GRF, GDF		
décembre 1970				
mars 1971				

Tableau 6 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil.
Gagnoa. Interactions du 3^e ordre.

Dans chaque case, le chiffre en 1^{ère} ligne indique le degré de signification du test F. En 2^e ligne, les interactions dans lesquelles Panique est impliqué sont rangées par ordre décroissant des moyennes de gauche à droite. Celles surmontées d'un même trait ont des moyennes non significativement différentes selon le test de Newman et Keuls.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This not only helps in tracking expenses but also ensures compliance with tax regulations.

In the second section, the author outlines the various methods used for data collection and analysis. These include surveys, interviews, and focus groups. Each method has its own strengths and limitations, and the choice depends on the specific research objectives.

The third section provides a detailed overview of the results obtained from the study. It highlights the key findings and discusses their implications for the industry. The data shows a clear trend towards digitalization, which is reshaping the way businesses operate.

Finally, the document concludes with a series of recommendations for future research and practice. It suggests that further exploration is needed in the area of digital marketing strategies and their impact on customer behavior.

	Famille G / Lg	Port D / R	Rythme de coupe L / N	Fertilisation O / P
septembre 1968	4 G - Lg			
novembre 1968	4 G - Lg	1 R - D		2 O - P
mai 1969	4 G - Lg			
août 1969	4 G - Lg			
octobre 1969	4 G - Lg			1 O - P
mai 1970	4 G - Lg	4 R - D		
août 1970	4 G - Lg	4 R - D		
octobre 1970	4 G - Lg	2 R - D		1 O - P
mars 1971	4 G - Lg	3 R - D		

**Tableau 7 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil.
Bouaké. Effets principaux.**

Dans chaque case, le chiffre en 1ère ligne indique le degré de signification du test F. En 2è ligne, les traitements sont rangés par ordre décroissant des moyennes, de gauche à droite.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for ensuring transparency and accountability in financial operations. This section also outlines the various methods and tools used to collect and analyze data, highlighting the need for consistency and precision in data entry and reporting.

The second part of the document focuses on the implementation of internal controls and risk management strategies. It details the processes for identifying potential risks, assessing their impact, and developing effective mitigation plans. This section also discusses the role of internal audits in monitoring and evaluating the effectiveness of these controls, ensuring that the organization remains compliant with relevant regulations and standards.

The third part of the document addresses the importance of communication and collaboration in achieving organizational goals. It emphasizes the need for clear communication channels and regular updates to all stakeholders. This section also discusses the role of teamwork and collaboration in driving innovation and improving overall performance.

The fourth part of the document discusses the importance of continuous improvement and learning. It emphasizes the need for organizations to regularly evaluate their processes and procedures, identifying areas for improvement and implementing changes as needed. This section also discusses the role of training and development in ensuring that employees have the skills and knowledge necessary to perform their jobs effectively.

The fifth part of the document discusses the importance of ethical behavior and integrity in all business dealings. It emphasizes the need for organizations to adhere to a strong code of ethics and to promote a culture of honesty and transparency. This section also discusses the role of leadership in setting the tone for ethical behavior and ensuring that all employees understand and follow the organization's values.

The sixth part of the document discusses the importance of financial stability and sound financial management. It emphasizes the need for organizations to maintain a strong financial position and to carefully manage their resources. This section also discusses the role of budgeting and financial forecasting in ensuring that the organization has the funds necessary to support its operations and growth.

The seventh part of the document discusses the importance of customer satisfaction and loyalty. It emphasizes the need for organizations to understand their customers' needs and to provide high-quality products and services. This section also discusses the role of customer feedback in improving the organization's offerings and building long-term relationships with its customers.

The eighth part of the document discusses the importance of innovation and creativity in driving organizational success. It emphasizes the need for organizations to encourage and support new ideas and to embrace change. This section also discusses the role of research and development in developing new products and services that meet the needs of the market.

The ninth part of the document discusses the importance of environmental sustainability and social responsibility. It emphasizes the need for organizations to minimize their environmental impact and to contribute positively to the community. This section also discusses the role of social responsibility in building a strong reputation and attracting top talent.

The tenth part of the document discusses the importance of global expansion and international trade. It emphasizes the need for organizations to understand the cultural and legal differences of different countries and to develop effective strategies for entering new markets. This section also discusses the role of international trade in driving economic growth and creating jobs.

The eleventh part of the document discusses the importance of digital transformation and technology adoption. It emphasizes the need for organizations to embrace digital technologies and to use them to improve their operations and customer experiences. This section also discusses the role of digital marketing in reaching new audiences and driving sales.

The twelfth part of the document discusses the importance of talent management and employee engagement. It emphasizes the need for organizations to attract, develop, and retain top talent. This section also discusses the role of employee engagement in driving productivity and innovation.

The thirteenth part of the document discusses the importance of crisis management and business continuity planning. It emphasizes the need for organizations to have a plan in place to respond to unexpected events and to ensure that they can continue to operate in the event of a crisis. This section also discusses the role of crisis management in protecting the organization's reputation and assets.

The fourteenth part of the document discusses the importance of strategic planning and goal setting. It emphasizes the need for organizations to have a clear vision and strategy and to set specific, measurable goals. This section also discusses the role of strategic planning in ensuring that the organization is on track to achieve its long-term objectives.

The fifteenth part of the document discusses the importance of financial reporting and transparency. It emphasizes the need for organizations to provide accurate and timely financial information to their stakeholders. This section also discusses the role of financial reporting in building trust and confidence in the organization.

The sixteenth part of the document discusses the importance of legal and regulatory compliance. It emphasizes the need for organizations to understand and follow all applicable laws and regulations. This section also discusses the role of legal and regulatory compliance in protecting the organization from legal risks and ensuring that it operates in a fair and ethical manner.

The seventeenth part of the document discusses the importance of data security and privacy. It emphasizes the need for organizations to protect their data from unauthorized access and to ensure that they are compliant with data protection regulations. This section also discusses the role of data security and privacy in building trust and confidence in the organization.

The eighteenth part of the document discusses the importance of corporate governance and board oversight. It emphasizes the need for organizations to have a strong governance structure and for the board of directors to provide effective oversight. This section also discusses the role of corporate governance in ensuring that the organization is managed in the best interests of its shareholders and other stakeholders.

The nineteenth part of the document discusses the importance of stakeholder engagement and communication. It emphasizes the need for organizations to understand the needs and interests of their stakeholders and to engage with them in a meaningful way. This section also discusses the role of stakeholder engagement in building a strong reputation and driving organizational success.

The twentieth part of the document discusses the importance of innovation and research and development. It emphasizes the need for organizations to invest in research and development and to develop new products and services that meet the needs of the market. This section also discusses the role of innovation and research and development in driving organizational growth and competitiveness.

The twenty-first part of the document discusses the importance of financial performance and profitability. It emphasizes the need for organizations to focus on improving their financial performance and to ensure that they are profitable. This section also discusses the role of financial performance in building a strong reputation and attracting investment.

The twenty-second part of the document discusses the importance of customer retention and loyalty. It emphasizes the need for organizations to focus on retaining their existing customers and to build long-term relationships with them. This section also discusses the role of customer retention and loyalty in driving organizational success.

The twenty-third part of the document discusses the importance of employee retention and turnover. It emphasizes the need for organizations to focus on retaining their top talent and to reduce turnover. This section also discusses the role of employee retention and turnover in driving organizational success.

The twenty-fourth part of the document discusses the importance of brand management and reputation. It emphasizes the need for organizations to manage their brand effectively and to build a strong reputation. This section also discusses the role of brand management and reputation in driving organizational success.

The twenty-fifth part of the document discusses the importance of social media and digital marketing. It emphasizes the need for organizations to use social media and digital marketing to reach their target audience and to drive sales. This section also discusses the role of social media and digital marketing in driving organizational success.

The twenty-sixth part of the document discusses the importance of supply chain management and logistics. It emphasizes the need for organizations to manage their supply chain effectively and to ensure that their products and services are delivered on time and at the lowest cost. This section also discusses the role of supply chain management and logistics in driving organizational success.

The twenty-seventh part of the document discusses the importance of human resources management and talent development. It emphasizes the need for organizations to manage their human resources effectively and to develop their talent. This section also discusses the role of human resources management and talent development in driving organizational success.

The twenty-eighth part of the document discusses the importance of quality management and customer satisfaction. It emphasizes the need for organizations to focus on quality management and to ensure that their products and services meet the needs of their customers. This section also discusses the role of quality management and customer satisfaction in driving organizational success.

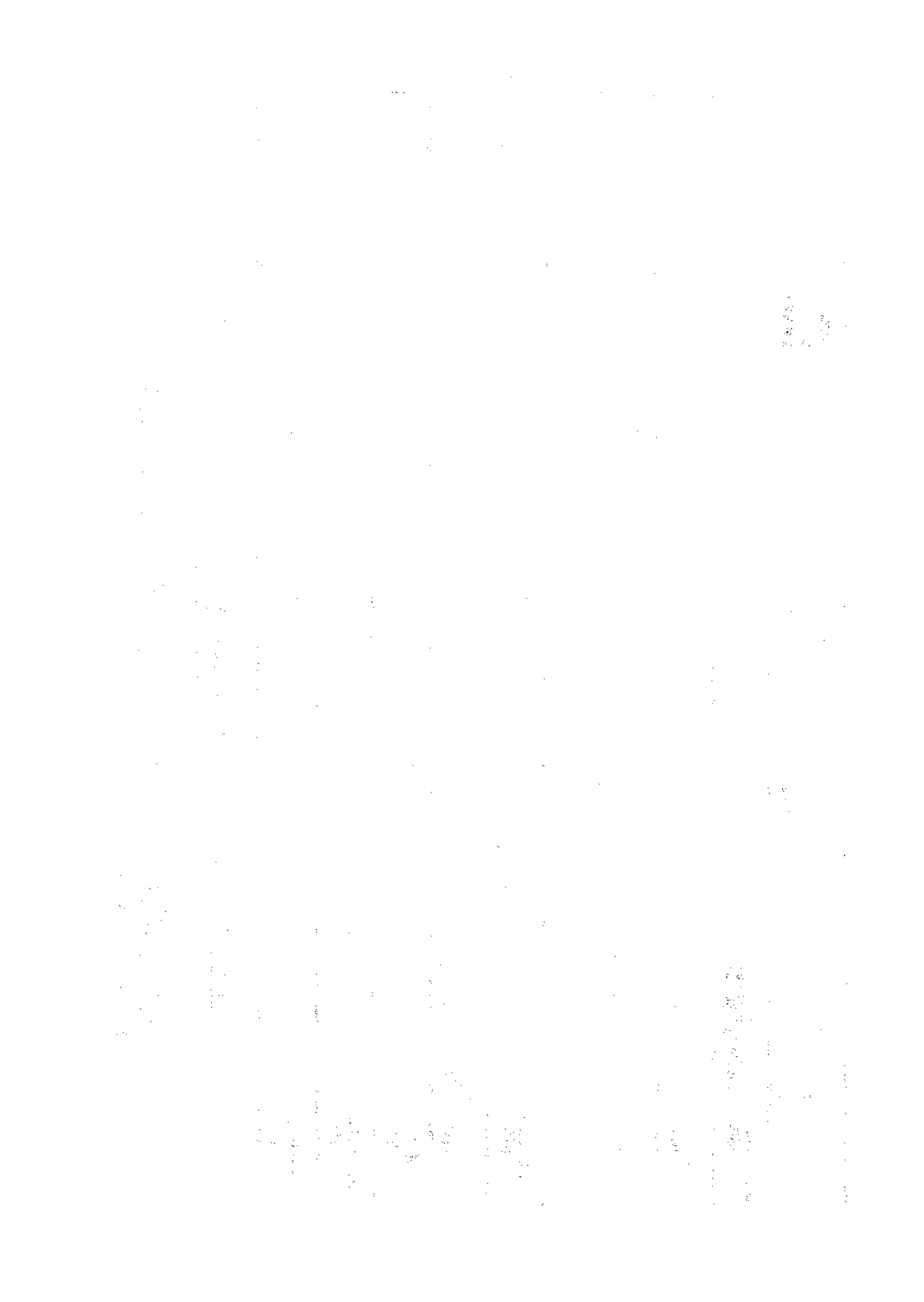
The twenty-ninth part of the document discusses the importance of environmental, social, and governance (ESG) factors. It emphasizes the need for organizations to consider ESG factors in their decision-making and to report on their performance in these areas. This section also discusses the role of ESG factors in driving organizational success.

The thirtieth part of the document discusses the importance of innovation and research and development. It emphasizes the need for organizations to invest in research and development and to develop new products and services that meet the needs of the market. This section also discusses the role of innovation and research and development in driving organizational success.

	Famille X Port	Famille X Rythme de coupe	Famille X Fertilisation	Port X Rythme de coupe	Port X Fertilisation	Rythme de coupe X Fertilisation
septembre 1968	1 GR, GD, LGD, LGR					
novembre 1968	4 GR, GD, LGD, LGR		2 GO, GP, LGF, LGO			
mai 1969	1 GD, GR, LGR, LGD					
août 1969	2 GD, GR, LGR, LGD					
octobre 1969		2 GL, GR, LGR, LGL				1 LO, NO, NP, LP
mai 1970	3 GR, GD, LGR, LGD					
août 1970						
octobre 1970						
mars 1971						

Tableau 6 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil.
Bouaké. Interactions du 2^e ordre.

Dans chaque case, le chiffre en 1^{ère} ligne indique le degré de signification du test F. En 2^e ligne, les traitements sont rangés par ordre décroissant des moyennes, de gauche à droite.



	Fa x P x Ry	Fa x P x Fe	Fa x Ry x Fe	P x Ry x Fe
septembre 1968				
novembre 1968		³ GR0, GRF, GDO, GDF		
mai 1969				
août 1969				
octobre 1969				
mai 1970				¹ DLO, DNF, DLF, DNO
août 1970				² DLO, DNF, DLF, DNO
octobre 1970				
mars 1971				

Tableau 9 : analyse de variance pour PRT sur l'ensemble du profil. Gagnoa. Interactions du 3^e ordre.

Dans chaque case, le chiffre en 1^{ère} ligne indique le degré de signification du test F. En 2^e ligne, les interactions dans lesquelles Panicum est impliqué sont rangées par ordre décroissant des moyennes de gauche à droite ; celles surmontées d'un même trait ont des moyennes non significativement différentes selon le test de Newman et Keuls.

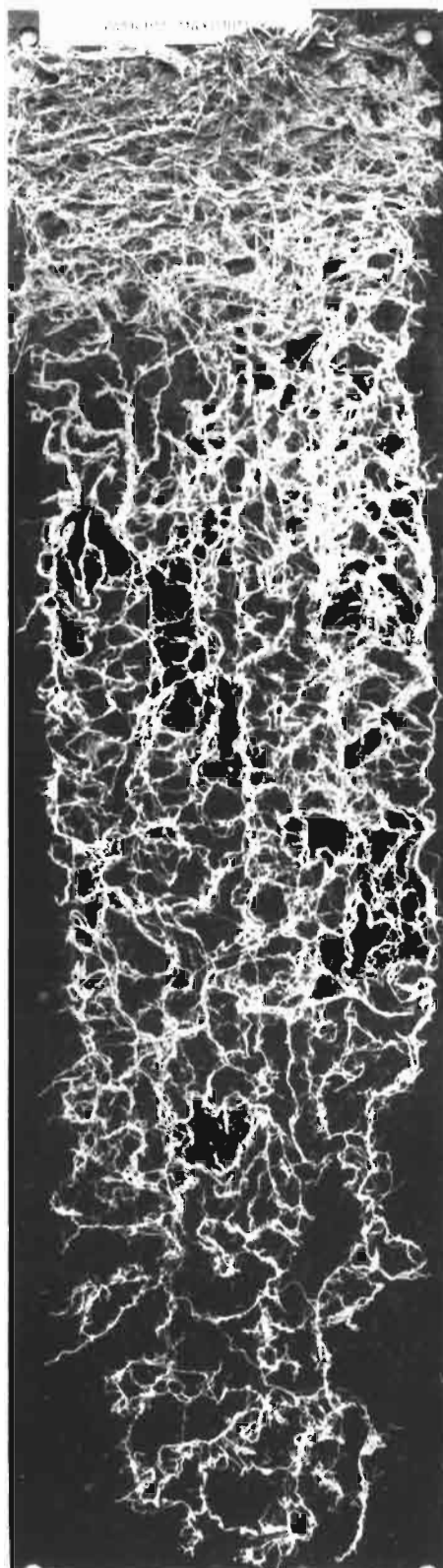


Fig. 1 - enracinement de *Panicum maximum* «Adiopodoumé» obtenu par la technique de la «planche de fakir».

PLANCHE II

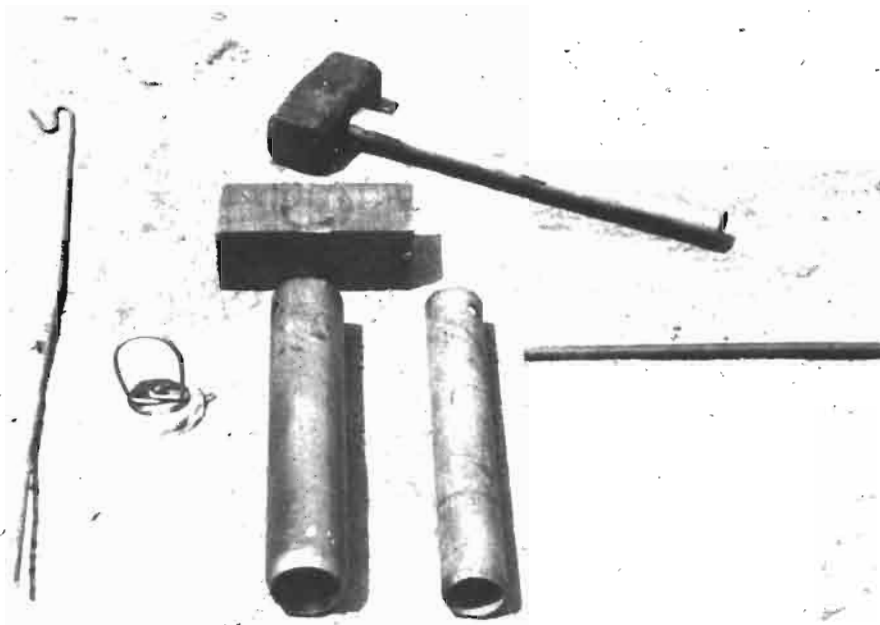


Fig. 2 - sondes utilisées pour le prélèvement des échantillons de racines en surface.

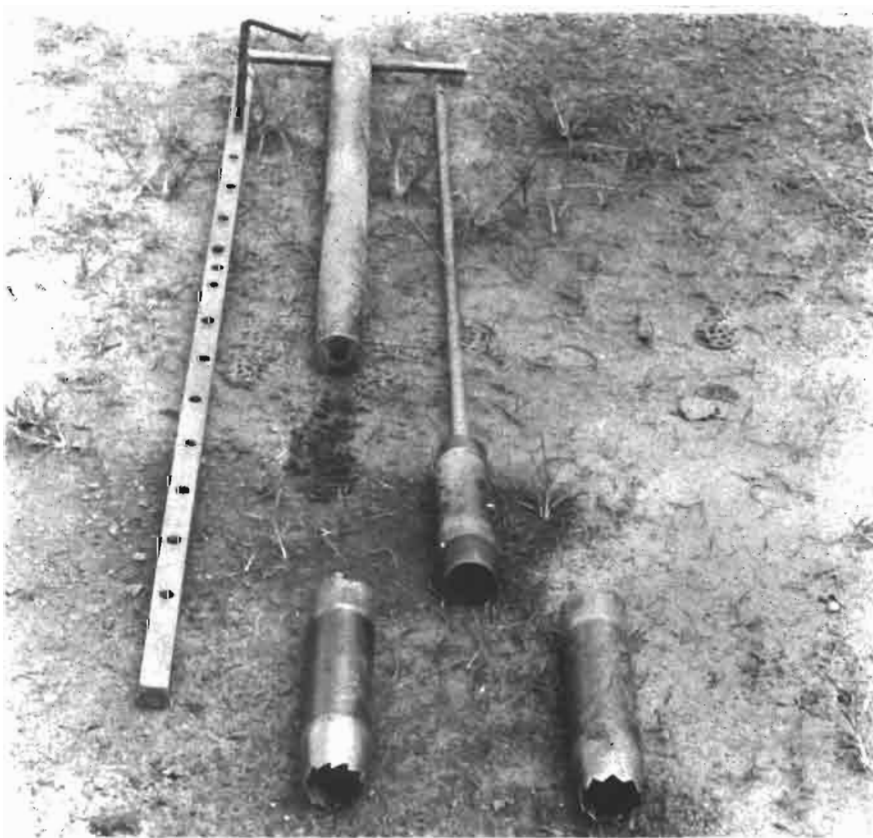


Fig. 3 - sondes utilisées pour le prélèvement des échantillons de racines en profondeur.

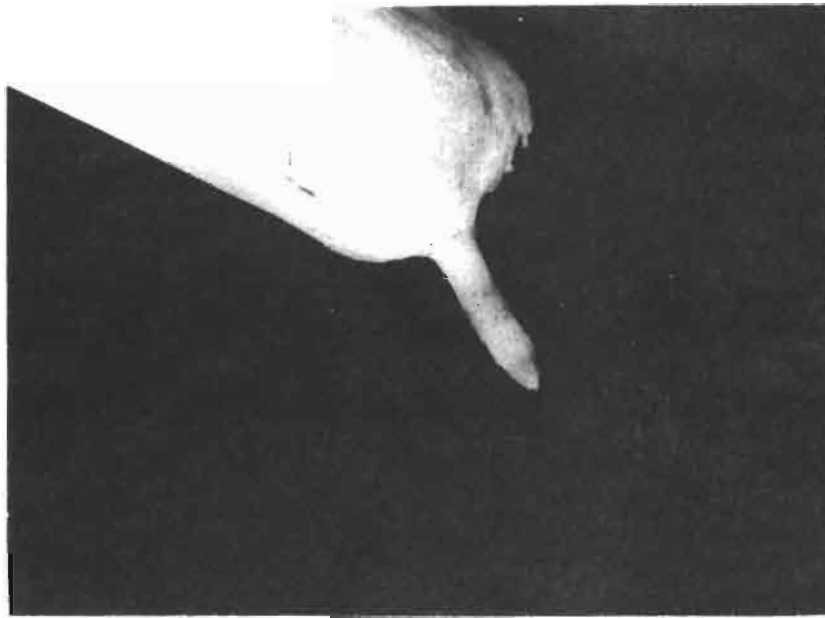


Fig. 6 - racine primaire de longueur inférieure à 3 cm.
Panicum maximum «Adiopodoumé».

— : 1 cm.

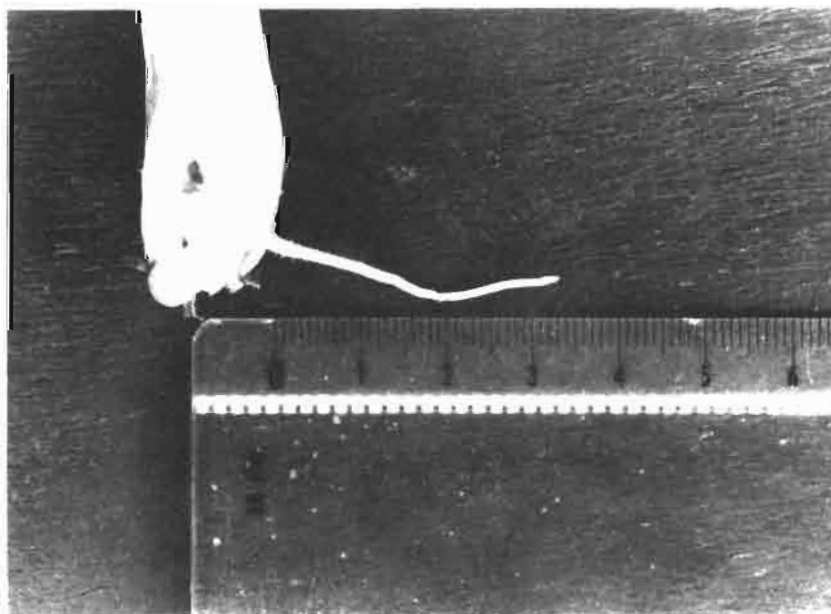


Fig. 7 - racine primaire non ramifiée.
Panicum maximum «Adiopodoumé».