

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**
 { **HENIN** } **Examineurs**
 { **LOISEAU**
 { **ROBELIN** }

UNIVERSITÉ DE CLERMONT

D. Picard

THÈSE

présentée

à l'UER de Sciences exactes et naturelles

de l'Université de Clermont

pour obtenir le grade de Docteur de Sciences

par

D. PICARD

DYNAMIQUE RACINAIRE DE PANICUM MAXIMUM JACQ.

ET APPORT AU SOL DE MATIÈRE ORGANIQUE

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

JURY	}	MIL. CHAMPAGNAT Président	}	Examinateurs
		GACIGNI		
		BENIN		
		LOISEAU		
		BOGELI		

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
Mlle 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 Didier	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.

Mlle 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. PRORIOL 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. KORNPROBST 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
<u>1. 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
<u>2. 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
<u>3. 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 multiflocaux).	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.	166
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 Kauls.	247
<u>Annexe 2.</u> Analyse statistique des résultats des essais B multi-locaux.	257

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

expérimental à celle de la réflexion et de la rédaction : nous les 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 Tropicales, 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'Adiopodoumé, 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

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 Deffontaines, 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 APPOREE 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, 2,36 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 tiges) 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 :

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

Mais si les 2 phénomènes sont concomittants 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 organique de matière 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 reproductive (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, prulineuses, blautées, 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 restant 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 :

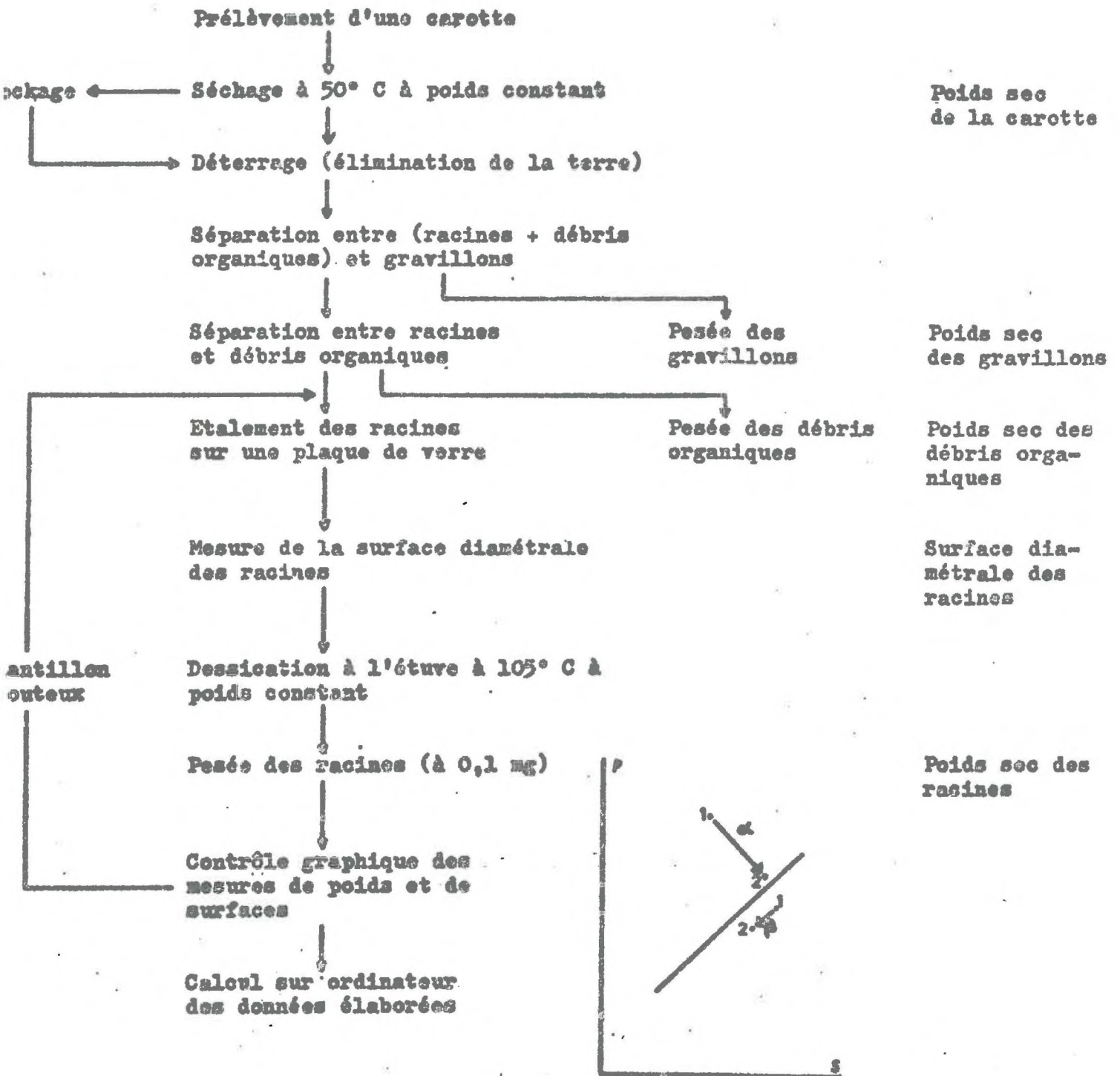
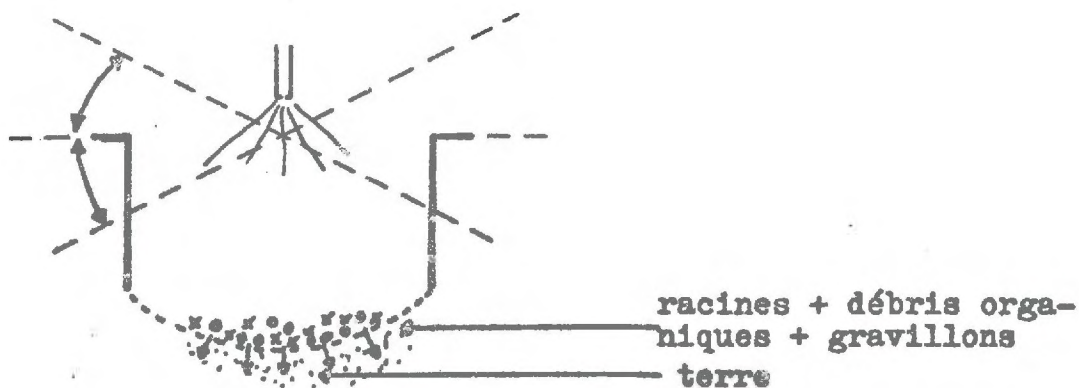
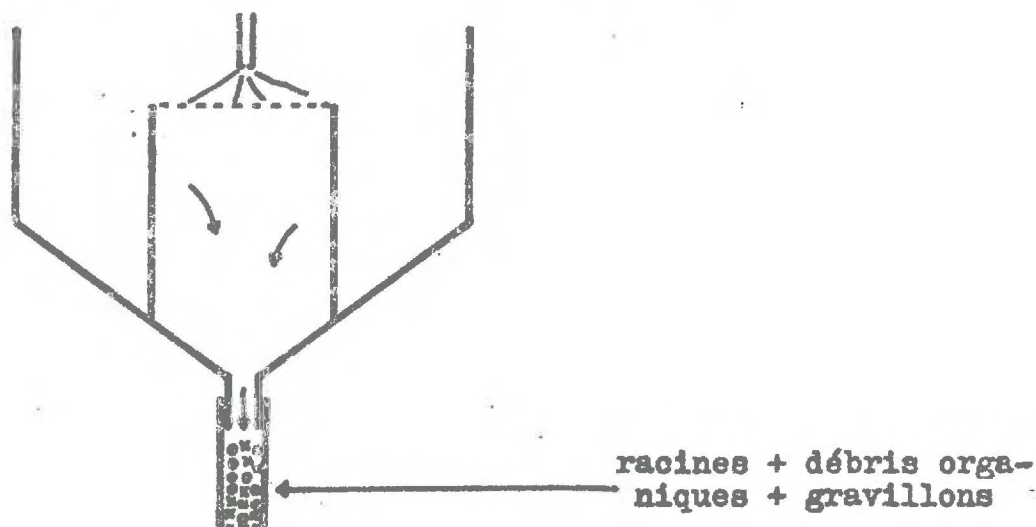


Figure 4 : organigramme des opérations de traitement d'un échantillon.

(a)



(b)



(c)

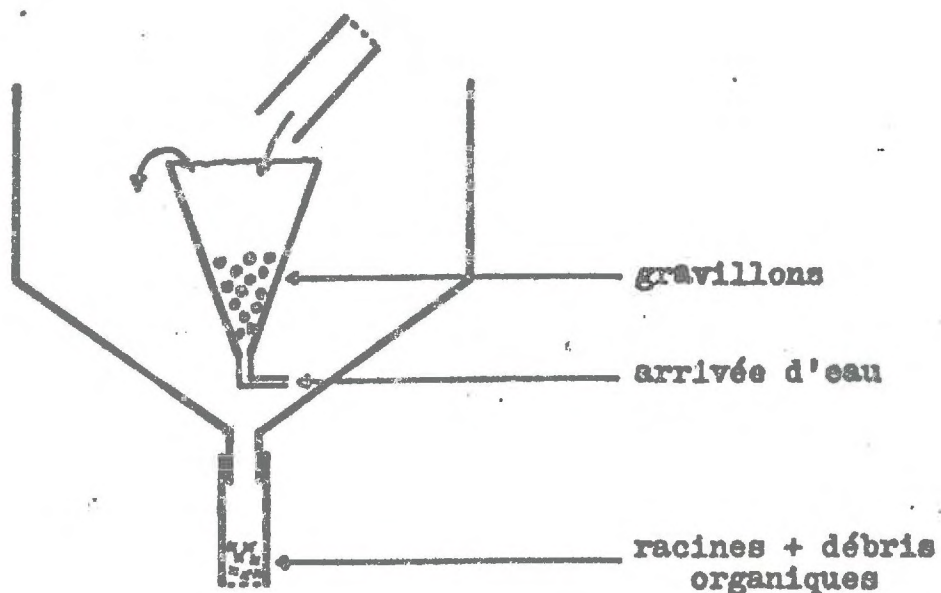


Figure 5 : schéma des dispositifs pour l'élimination de la terre, la séparation des gravillons et l'isolement de la fraction racines + débris organiques divers.

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	38
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.

TABLEAU 2 : Loi de distribution des formes réalisées pour le polymère :

nombre de chaînes par chaîne, NIT ,
 transformation : $NIT \rightarrow \sqrt{NIT}$.

Formes réalisées				Formes par transformées			
EFFECTIF		LIMITES de classes		EFFECTIF		LIMITES de classes	
OBSERVÉS		THEORIQUES		OBSERVÉS		THEORIQUES	
X		X ²		X		X ²	
12	7,9	12	4,455	1,02	2,08	1,02	2,08
6	9,2	6	2,485	0,81	1,45	0,81	1,45
19	19,08	19	2,405	2,97	2,405	2,97	2,405
22	22,89	22	1,495	1,43	2,495	1,43	2,495
25	28,88	25	0,485	0,85	2,485	0,85	2,485
39	39,00	39	0,505	0,88	0,485	0,88	0,485
94	29,72	94	0,505	3,72	0,505	3,72	0,505
21	29,04	21	2,505	0,85	2,505	0,85	2,505
20	15,78	20	2,505	0,87	2,505	0,87	2,505
8	9,88	8	4,505	8,505	4,505	8,505	4,505
5	7,88	5	3,505	22,89	3,505	22,89	3,505
1	1,10	1	12,27	12,27	1,10	12,27	1,10

Tableau 4 : Loi de distribution des formes réduites pour le paramètre :

poles de recensement par pied, P.P.

Transformation : $PP \rightarrow + + + + + PP \rightarrow \sqrt{PP}$

Formes réduites		Formes réduites	
Effectifs théoriques	Effectifs observés	Effectifs théoriques	Effectifs observés
0,58	4	2,24	4
1,32	10	2,58	10
0,10	32	0,18	32
4,28	34	1,58	34
1,74	68	0,48	68
0,07	48	0,03	48
0,09	30	0,58	30
1,72	0	2,58	0
0,61	7	0,98	7
10,47		28,01	

Tableau 5 : Loi de distribution de paramètres : poids de matiere sèche pour 300 folles, 400 PAT.
 Transformation : 500.PAT + < + + Log (300.PAT).

Statistiques descriptives				Statistiques descriptives			
Statistiques descriptives	Statistiques descriptives	Statistiques descriptives	Statistiques descriptives	Statistiques descriptives	Statistiques descriptives	Statistiques descriptives	Statistiques descriptives
\bar{X}	18,9	19,1	19,3	38,2	38,2	38,2	38,2
σ	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485	0,485
X^2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
X^2	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9
X^2	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
X^2	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3
X^2	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
X^2	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9
X^2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
X^2	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9
X^2	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
X^2	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3	39,3
X^2	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
X^2	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9
X^2	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1
X^2	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9

Nombre de R3 par plante, NR3P.

On vérifie qu'une transformation logarithmique :

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

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 :

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

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	Limites de classes	Effectifs observés
4 - 17,5	11	4 - 0,3495	14
- 17,5 - 12,5	7	- 0,3495 - 0,2485	10
- 12,5 - 7,5	12	- 0,2485 - 0,1495	23
- 7,5 - 2,5	32	- 0,1495 - 0,0495	24
- 2,5 - 2,5	78	- 0,0495 - 0,0505	45
- 2,5 - 7,5	30	0,0505 - 0,1505	42
- 7,5 - 12,5	17	0,1505 - 0,2505	20
- 12,5 - 17,5	6	0,2505 - 0,3505	13
17,5	0	≥ 0,3505	0
$\sum x^2$ 0,05	15,51	$\sum x^2$ 0,05	15,51
	74,80		10,00

Tableau 6 : Loi de distribution des termes résiduels pour le paramètre : nombre de RS par plante, NRSP.

Transformation : NRSP → → → log (NRSP+1).

Données non transformées				Données transformées			
Limites de classes	Fréquences observées	Fréquences théoriques	χ^2	Limites de classes	Fréquences observées	Fréquences théoriques	χ^2
$\leq - 7,45$	12	21,64	4,3	$\leq - 0,345$	3	2,68	0,04
- 7,45 : - 6,45	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	8	10,26	0,5	- 0,045 : 0,055	60	50,48	1,60
- 3,45 : - 2,45	9	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	$\chi^2_{0,05} = 14,07$			
1,55 : 2,55	10	12,38	0,5	2,84			
2,55 : 3,55	2	11,54	7,9				
3,55 : 4,55	4	10,66	11,0				
4,55 : 5,55	4	9,46	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 telle, NR3T.

Transformation : $(100.NR3T) + \dots + \log(100.NR3T+1)$.

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	1 476 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.	29,7 °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).

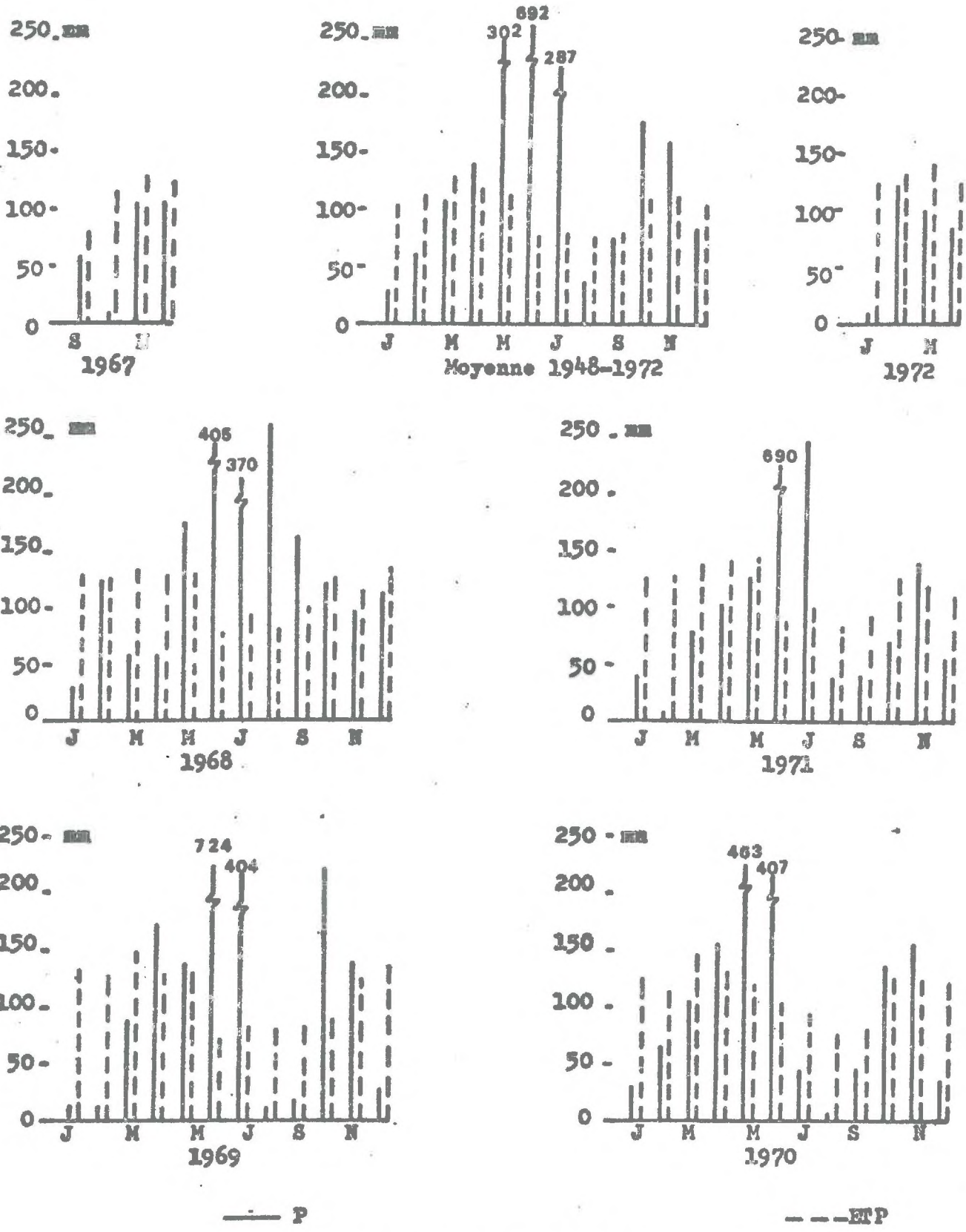


Figure 8 : Pluviométrie et ETP mensuelles à la station d'Adiopodoumé.

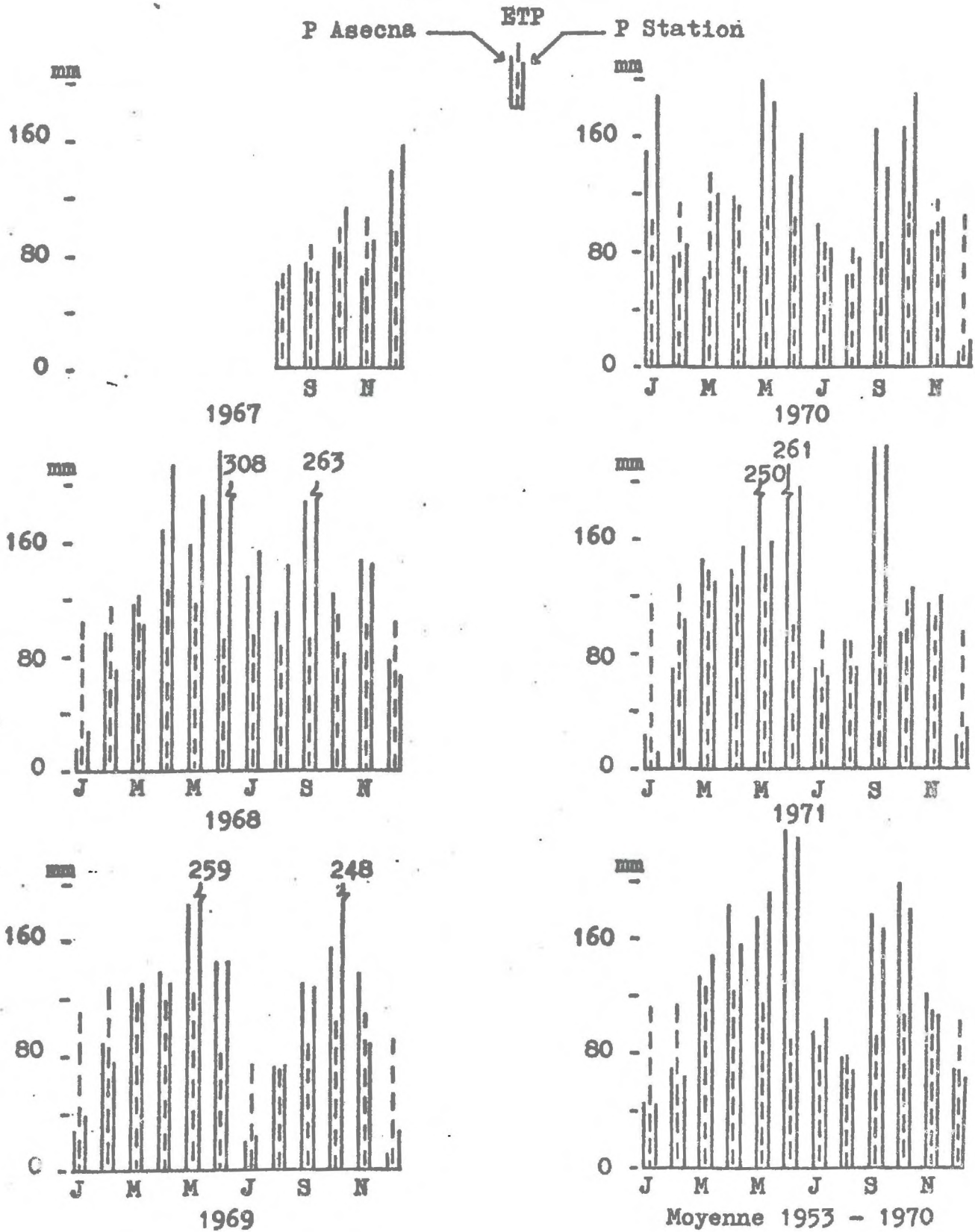


Figure 9 : Pluviométrie et ETP mensuelles à la Station de Gagnca.

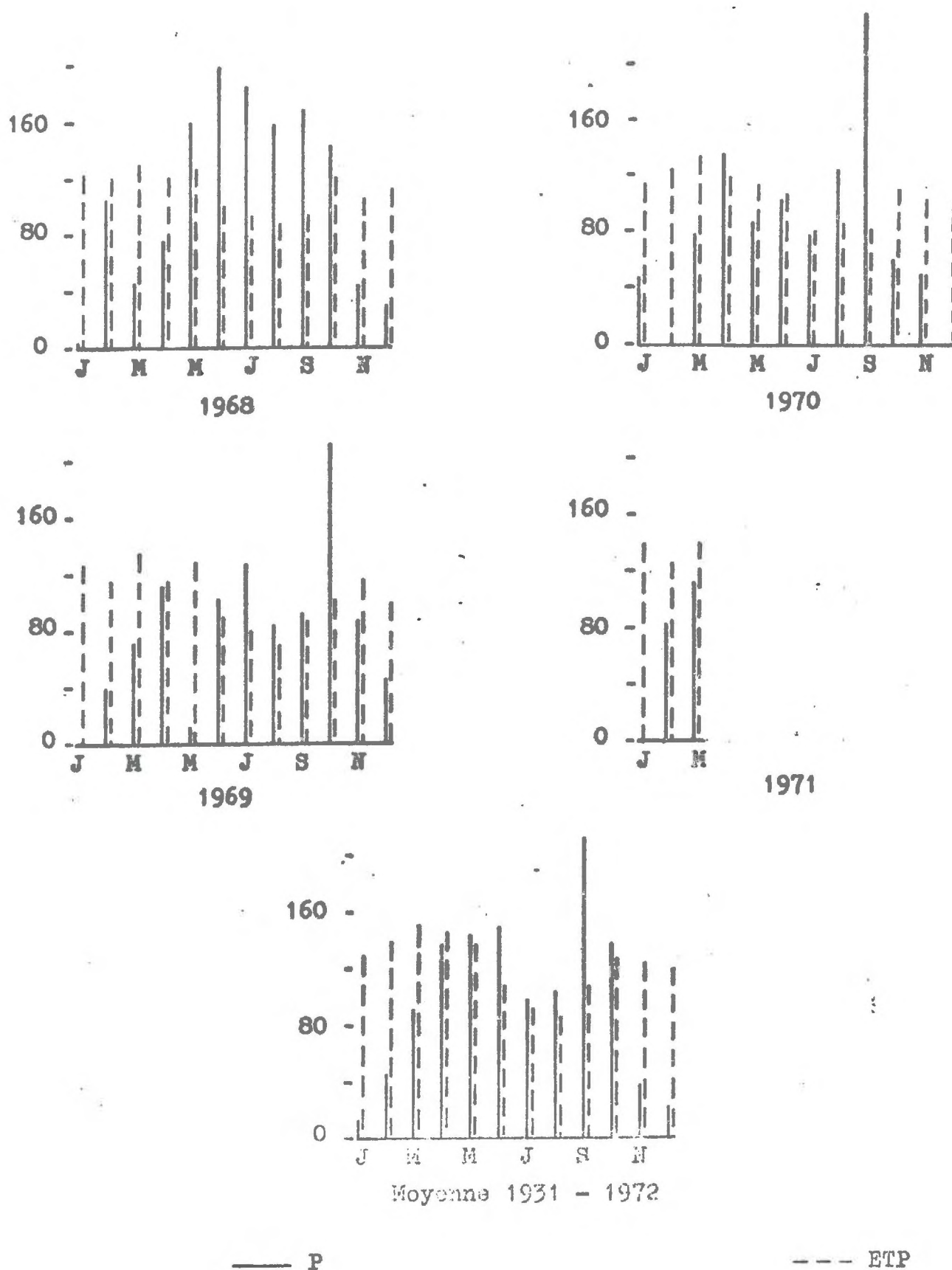


Figure 10 : Pluviométrie et ETP mensuelles à la Station de Bouaké.

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 még/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
Cagnoa	0-10	8,5	25,4	11,05	1,17	0,08	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).

Dès 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 $P_{2}O_{5}$ et 100 de $K_{2}O$ 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.

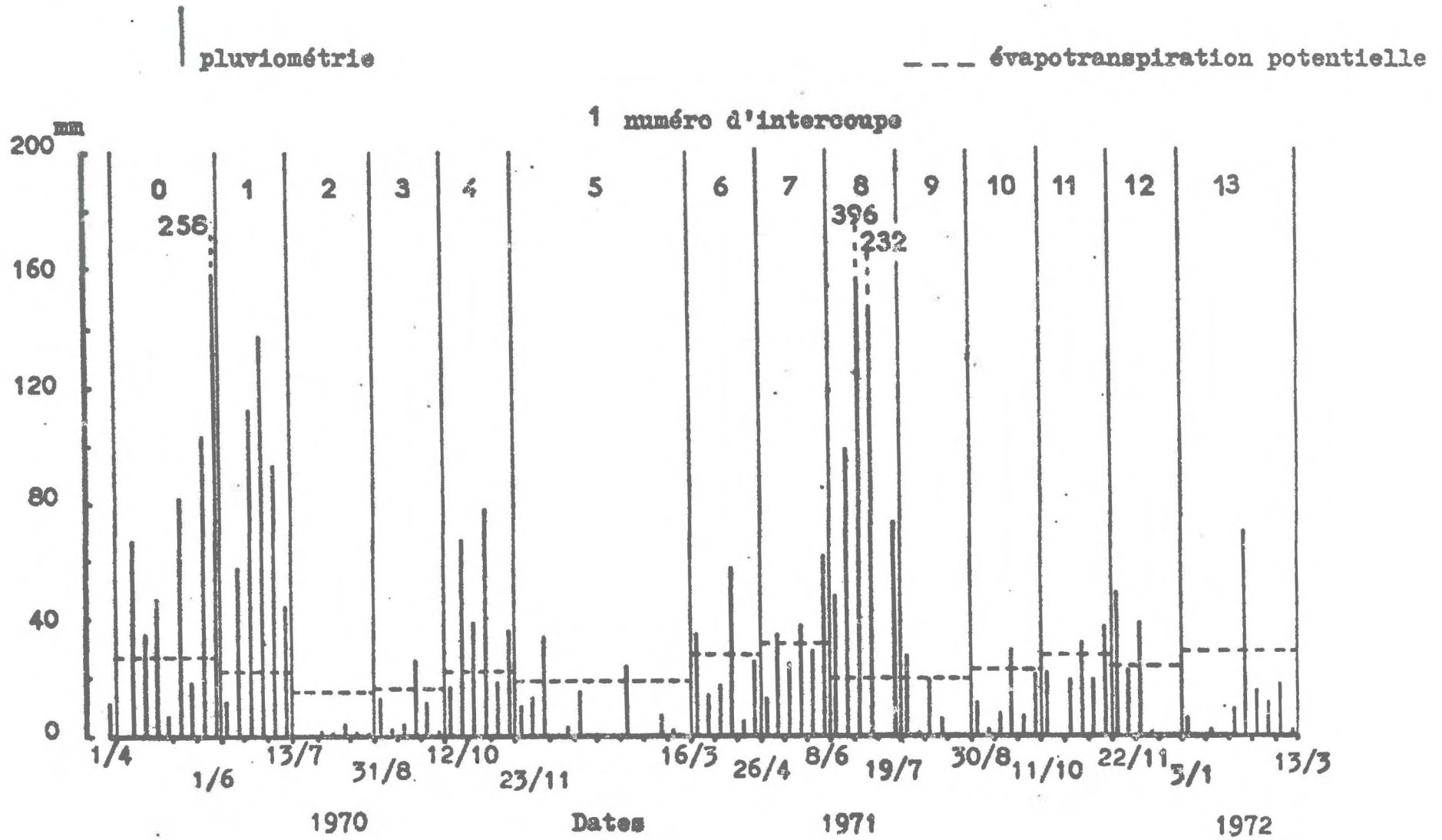
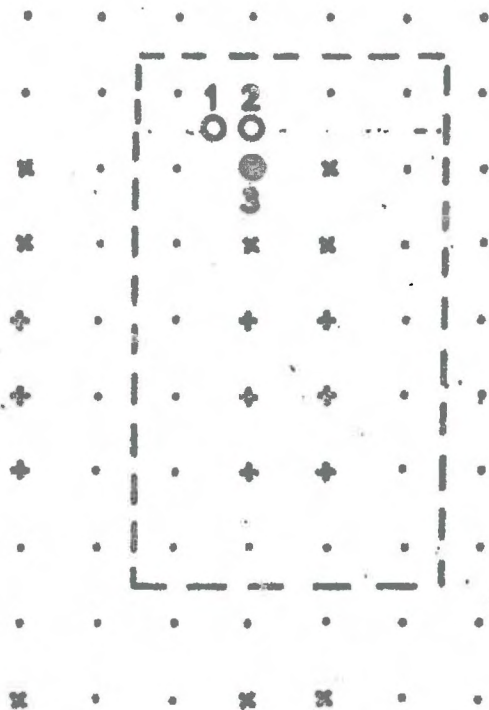


Figure 12.

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 :

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

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, § 4.16), 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 **

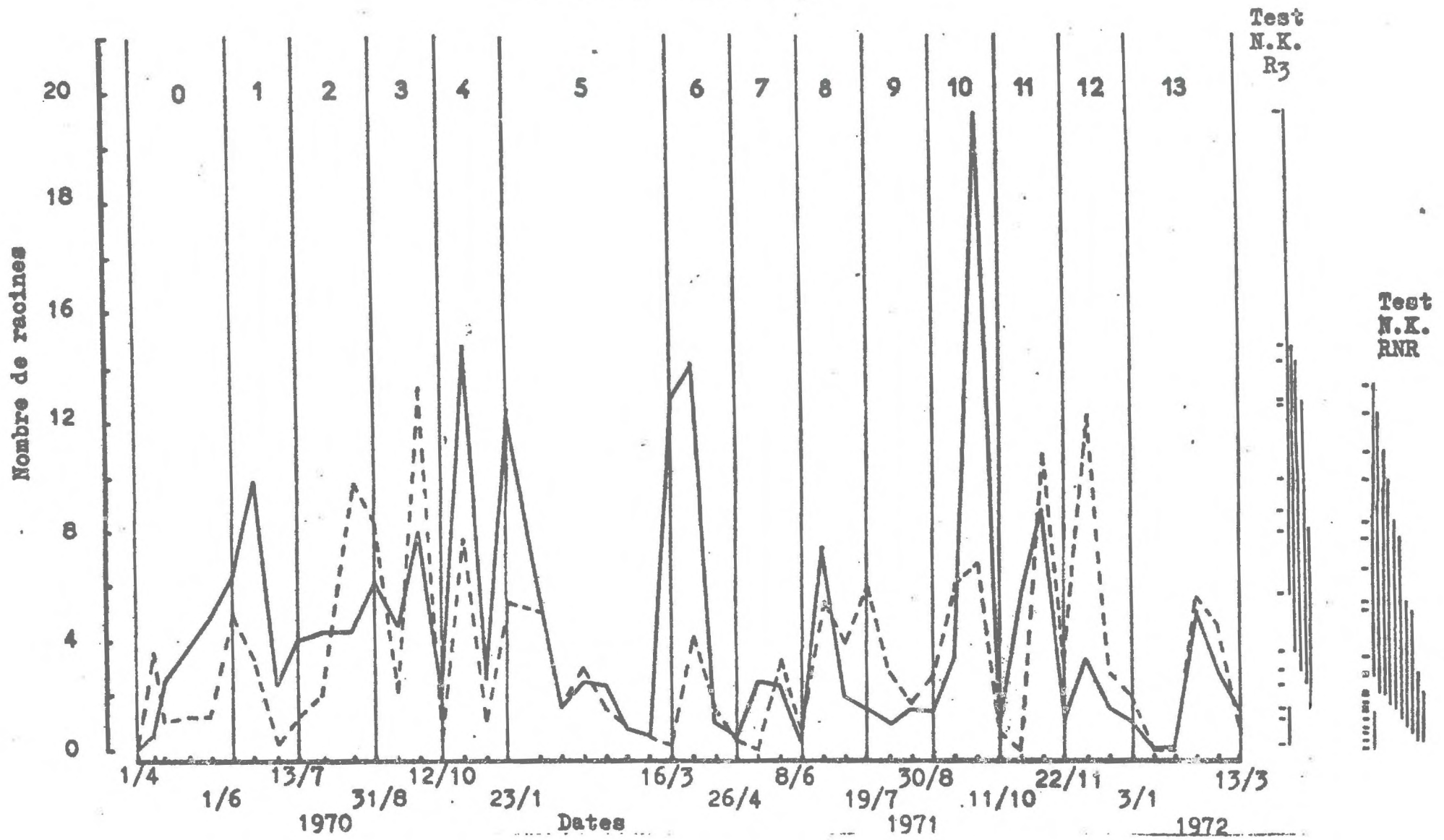
Dans les intercoupes 0,4,5,6,7,10,11 et 13, la différence entre la valeur la plus forte et la valeur la plus faible est significative selon le test de N.K. De plus, la 1ère valeur observée dans l'intercoupe 8, le 21 juin, est supérieure à celle trouvée en dernier dans

ÉVOLUTION du nombre de R₃ et de RNR.

— nombre de R₃.

--- 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 intercopes 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 intercopes 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).

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

$$\text{NRDP}_{ij} = 3,86 \sum_{ij} \text{NR3P}_{ij} - 1,87$$

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 :

$$\text{NRDP}_{ij} = 3,80 \sum_{ij} \text{NRDP}_{ij} \quad (4)$$

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 $\sum_j \text{NR3P}_j$.

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.

Nombre de R₃ et de RNR cumulés.

1 numéro d'intercoupe

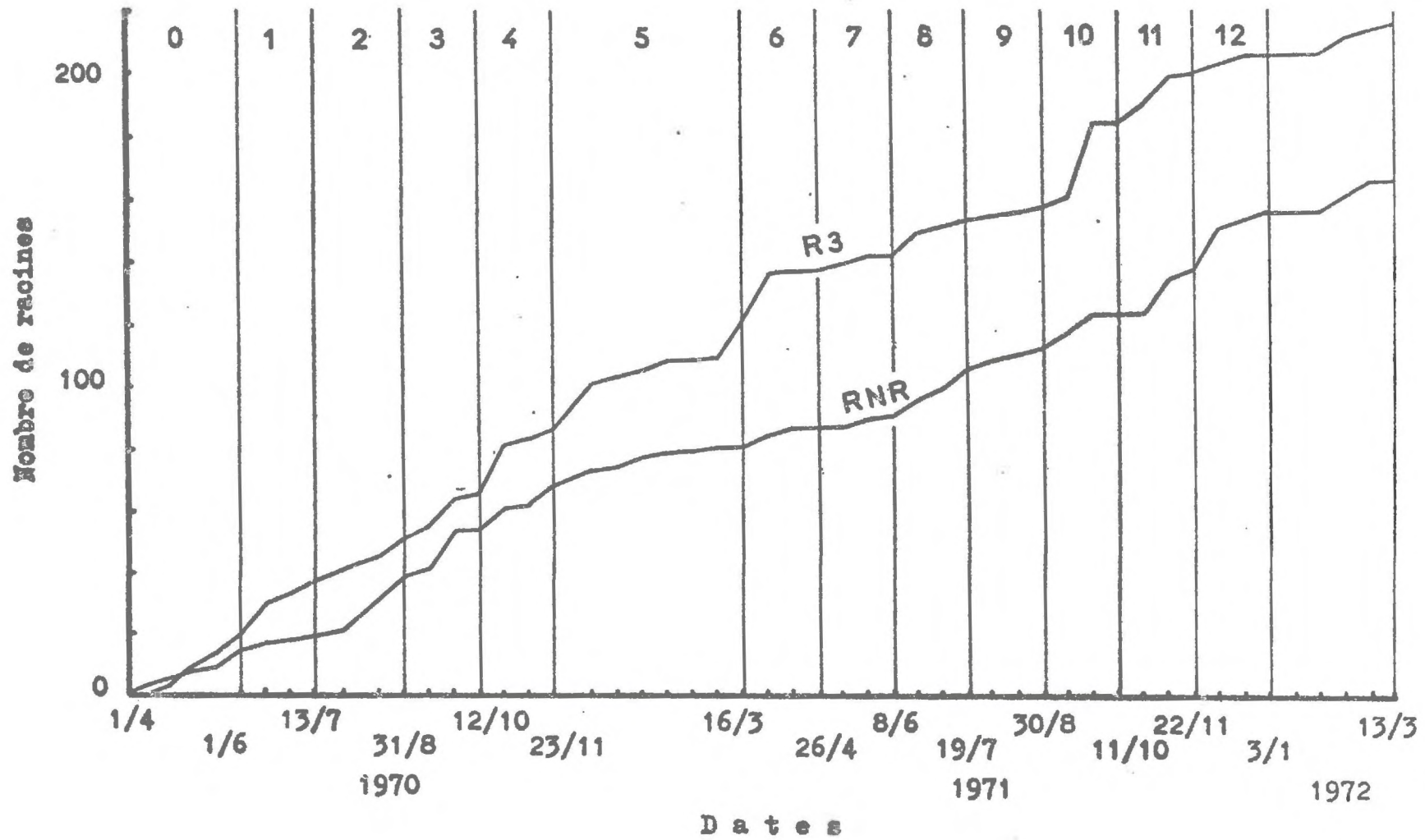
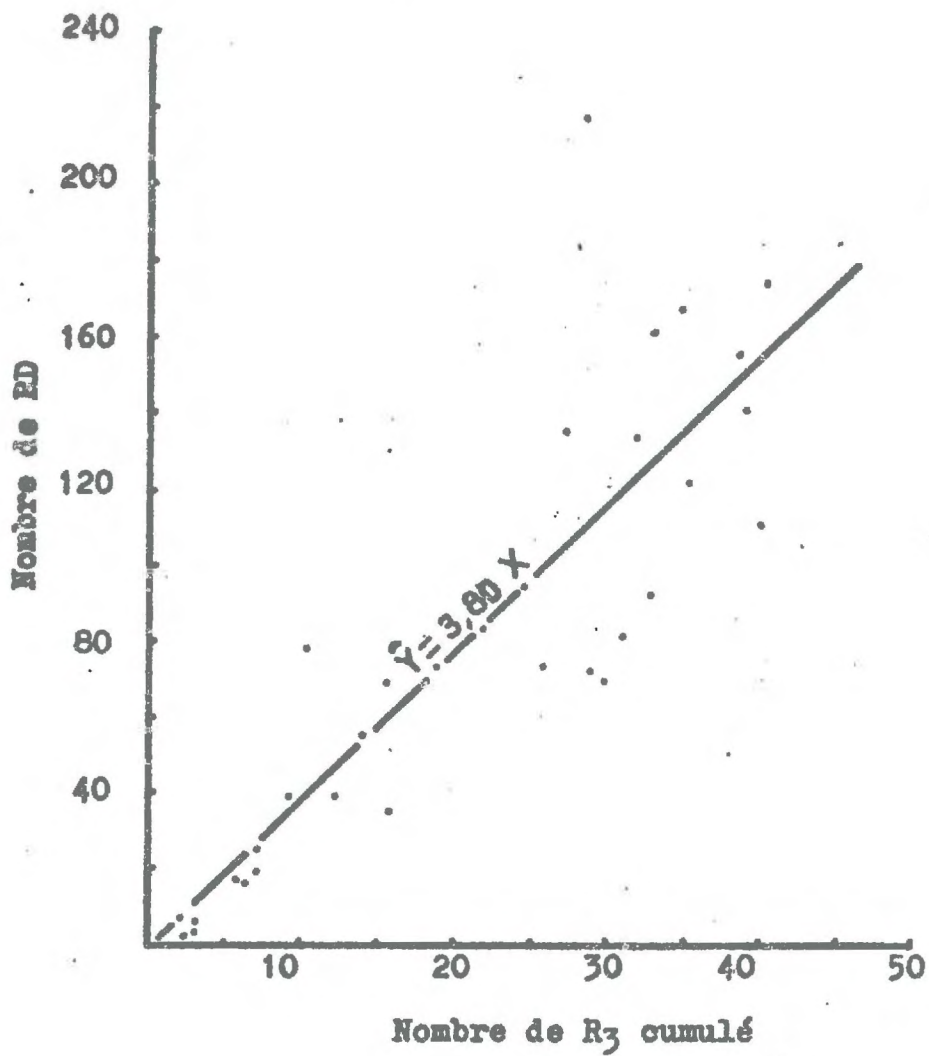


Figure 15.

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 tallesoit 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.

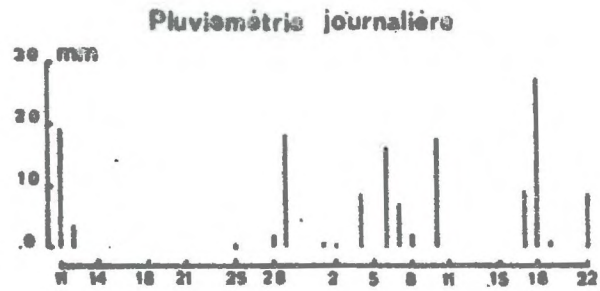
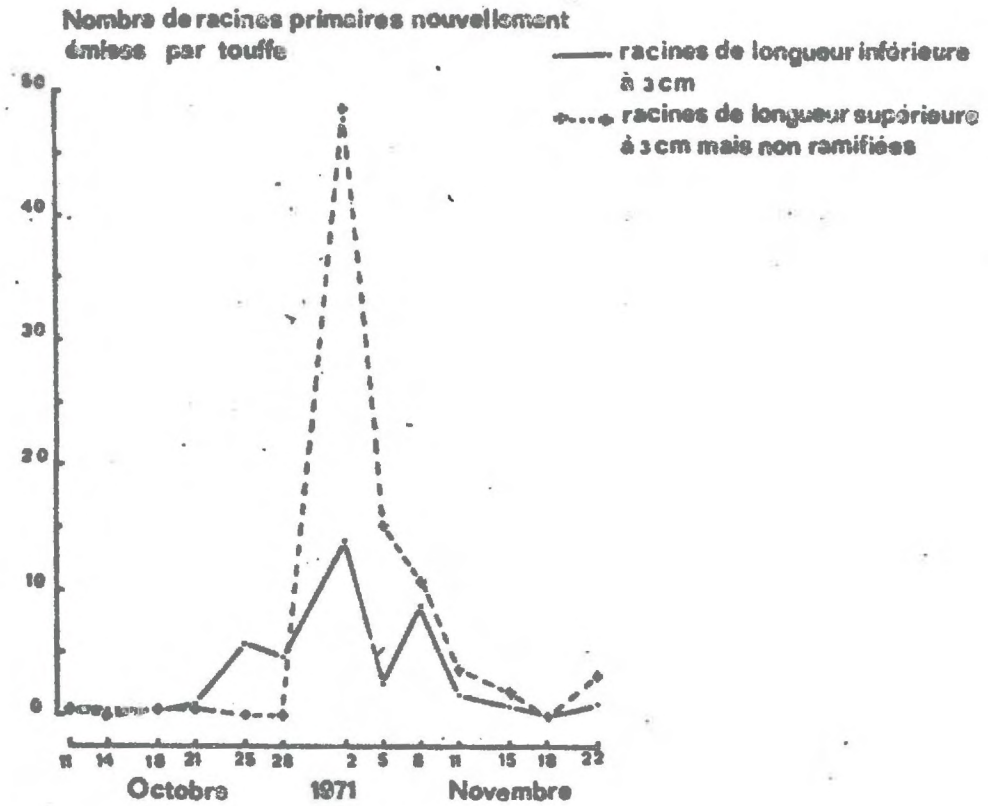
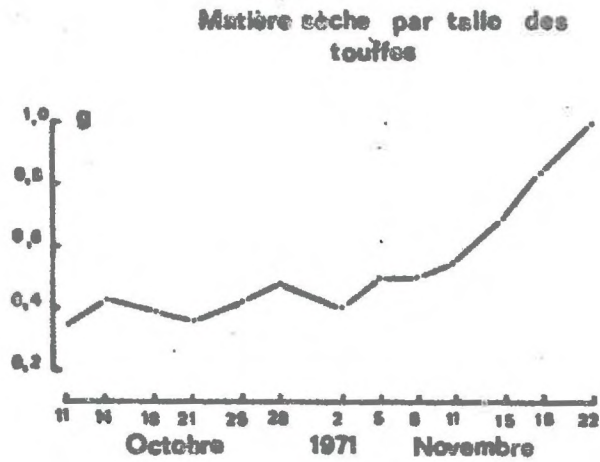
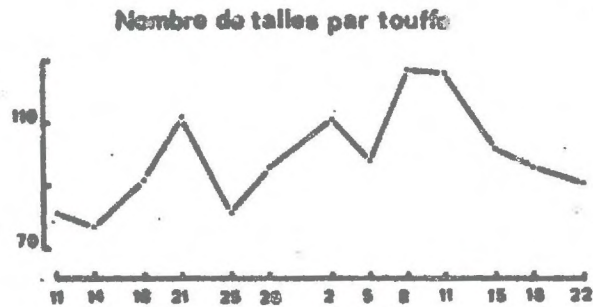


Fig 16: *Panicum maximum* variété "Adiopodoumé"
 Influence d'une période sèche sur l'émission et l'élongation des racines au niveau du plateau de tallage



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, § 1.2.1 le 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.

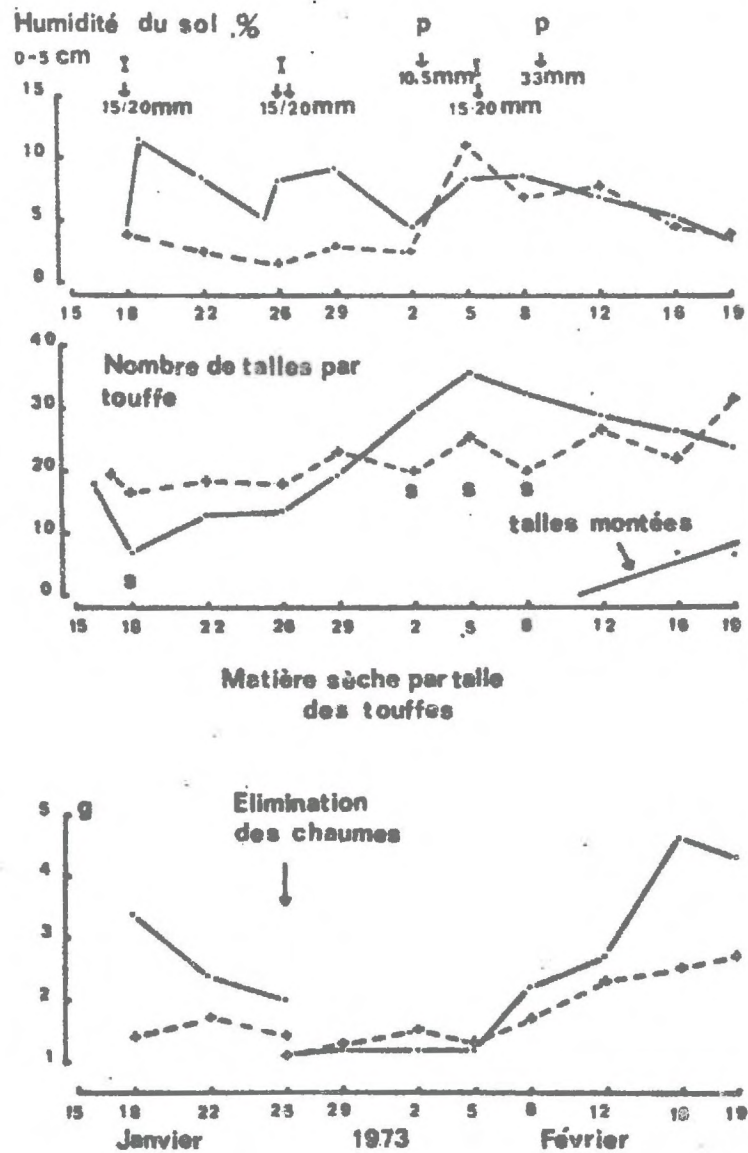
Evolution du nombre de racines primaires nouvellement émises.

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.

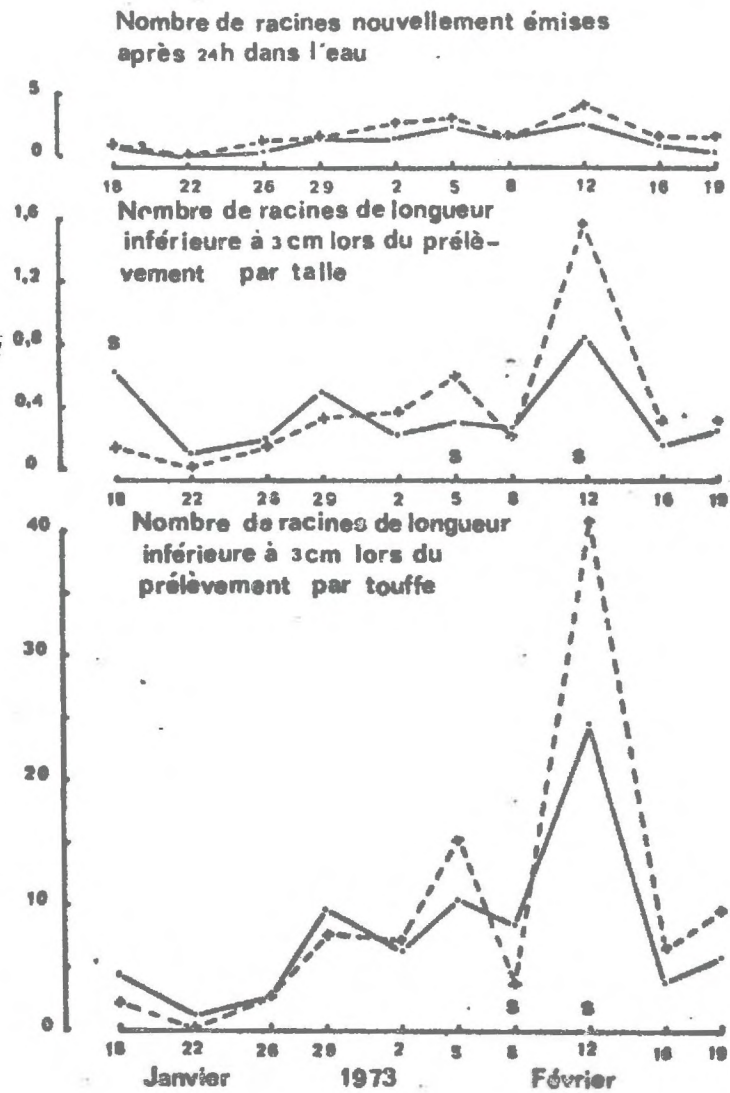
Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre traitements du 18/1 au 2/2, c'est-à-dire avant la reprise de la pluie.

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 K187 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 l'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).

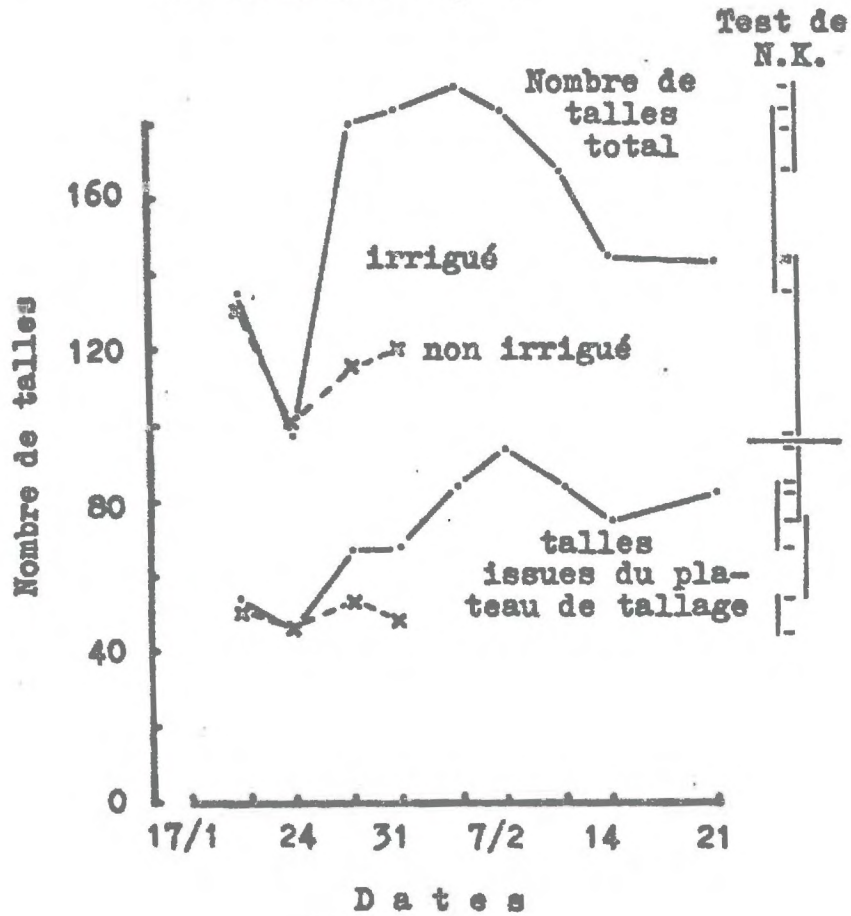
	SCE	dl	F
Dates	993,04	2	5,22 **
Irrigation	310,08	1	3,26
Dates x irrigation	310,80	2	1,63
Résiduelle	3992,56	42	

Tableau 14 : analyse de variance pour PAP.

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.

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

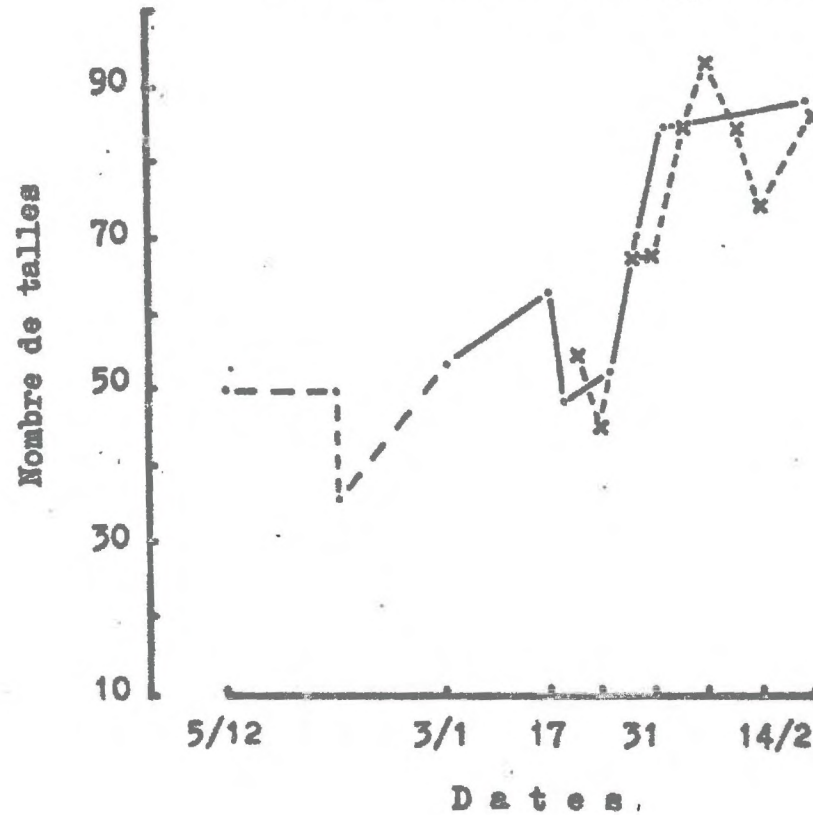


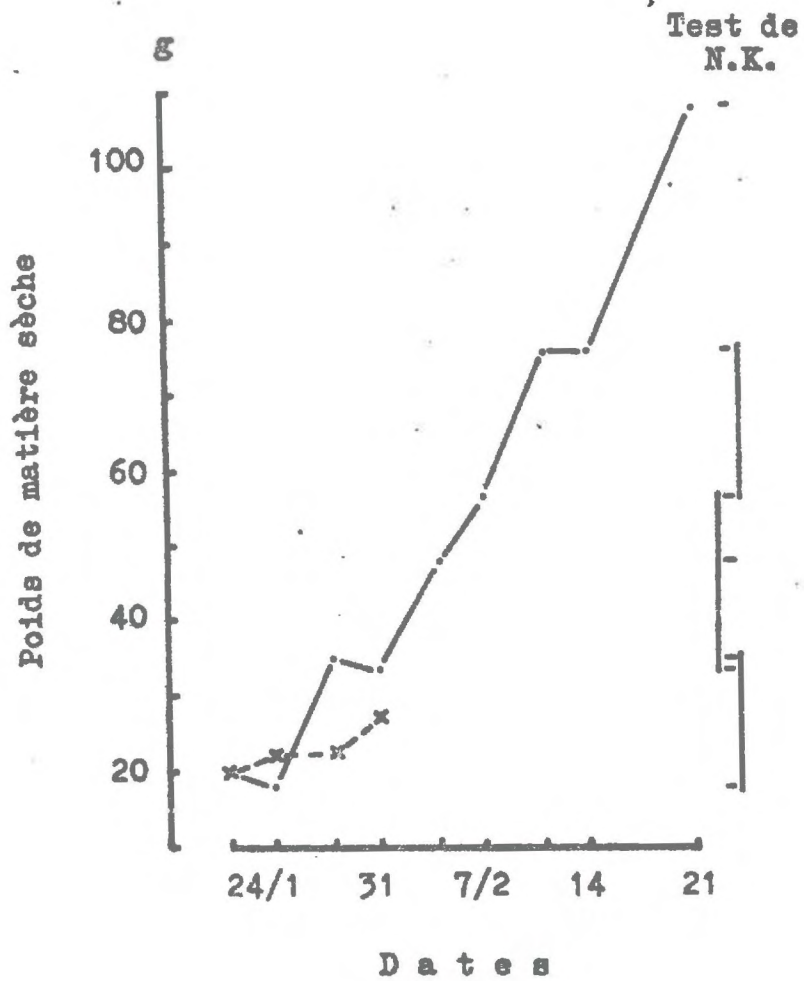
Figure 19 : Evolution du poids
de matière sèche des parties aériennes.

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

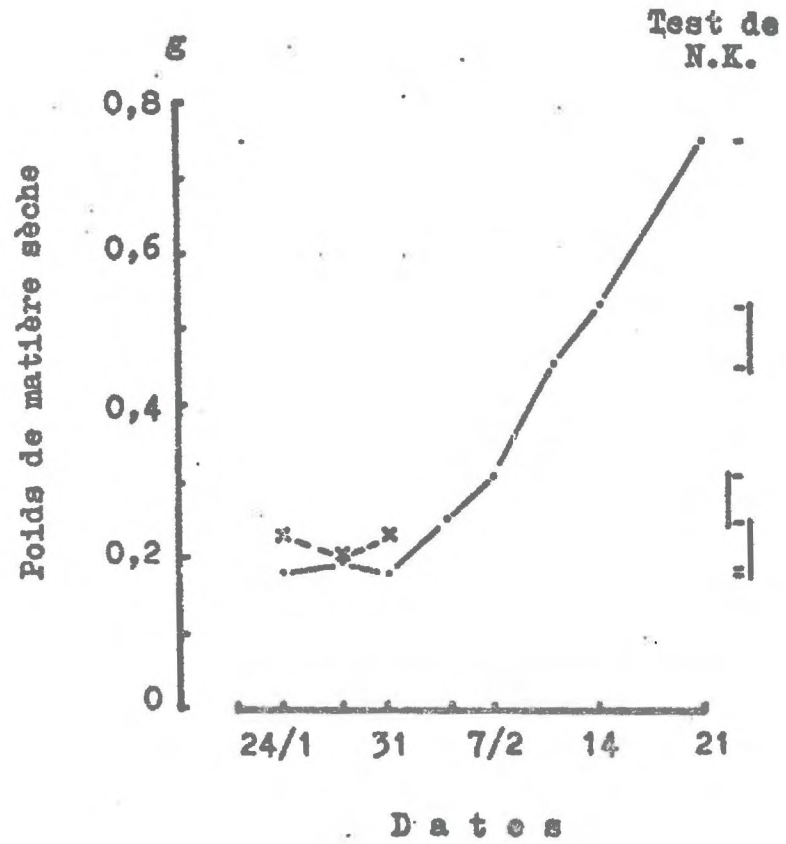


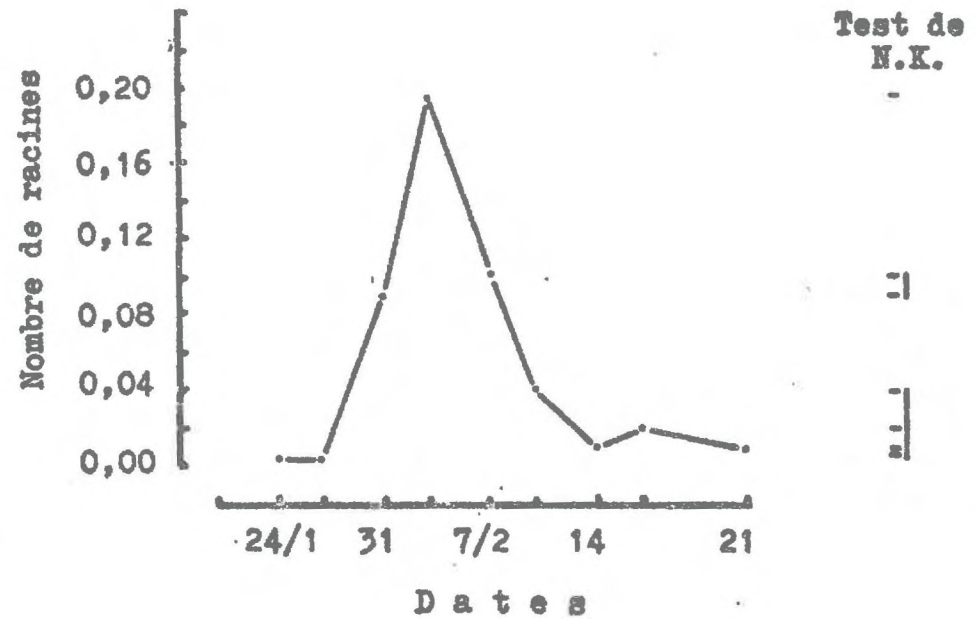
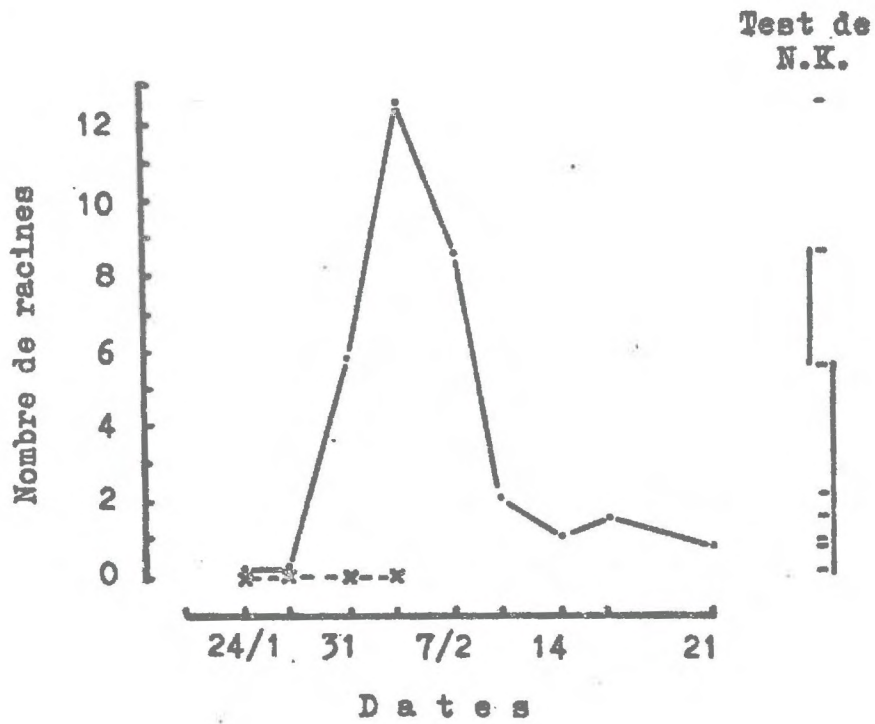
Figure 20 : Nombre de racines primaires
de longueur inférieure à 3 cm émises.

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 talle, 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 le 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 encrochant 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 référera 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.

OPÉRATION	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, a) 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 26 : nombre de tiges baguées observées par catégorie en fonction du temps.
 Lorsque 2 nombres figurent dans la même case, le 2e est celui des tiges
 mortes après baguage. Total sur 8 plantes.

Date d'appari- tion des tiges	Caté- gorie	Dates d'observation 0								Moyennes : Moyenne cumulée		
		16/7	23	30	6/8	13	20	27	3/9	par plante	avant F ₁	après F ₁ (1)
avant le 9/7	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
- chaumes	1	191	123	46	148	nc	nc	nc	nc	15,9	-	-
- tiges	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	52+3	6,4	11,1	
16 18	4		64	37	96+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	1	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.

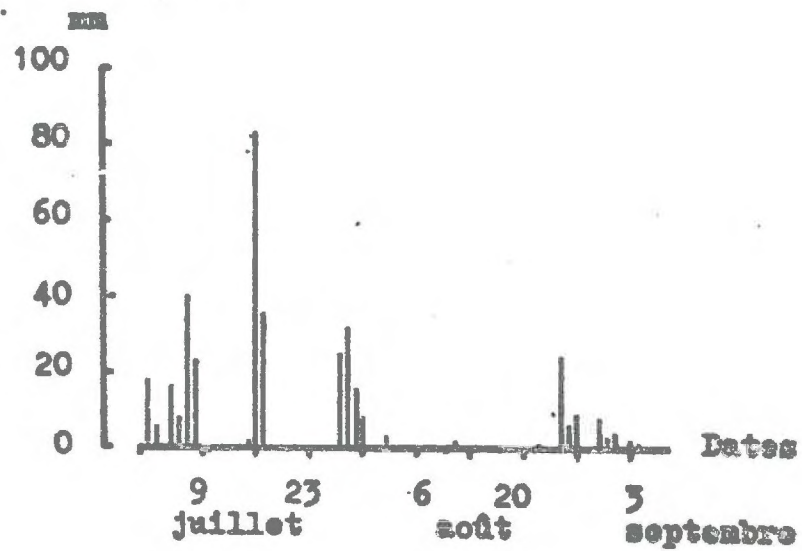
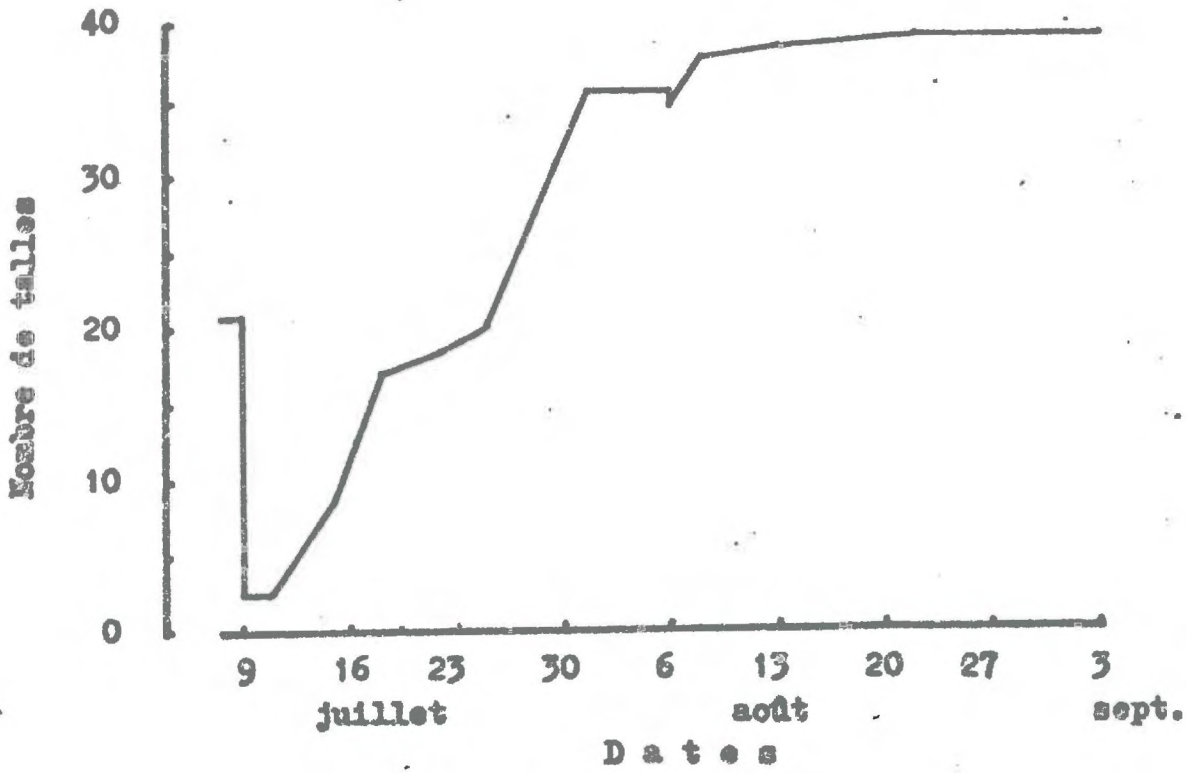


Figure 21. Pluviométrie journalière.

Figure 22.

a) Evolution du nombre de talles par plante.



b) Fréquence d'apparition des nouvelles talles.

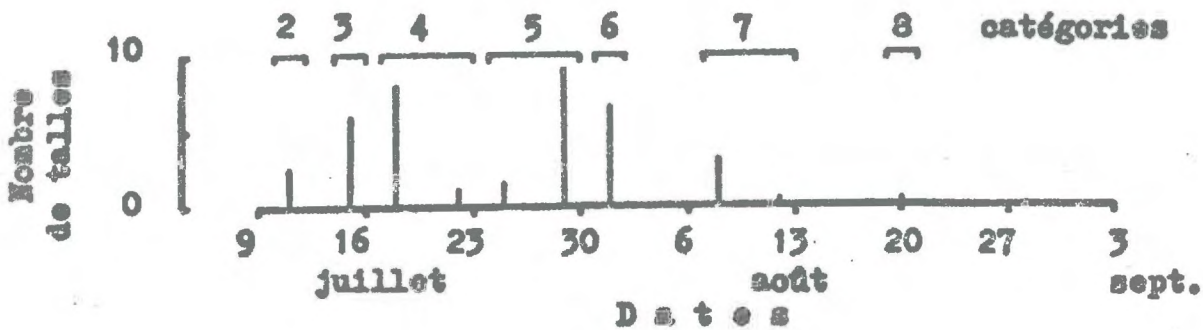
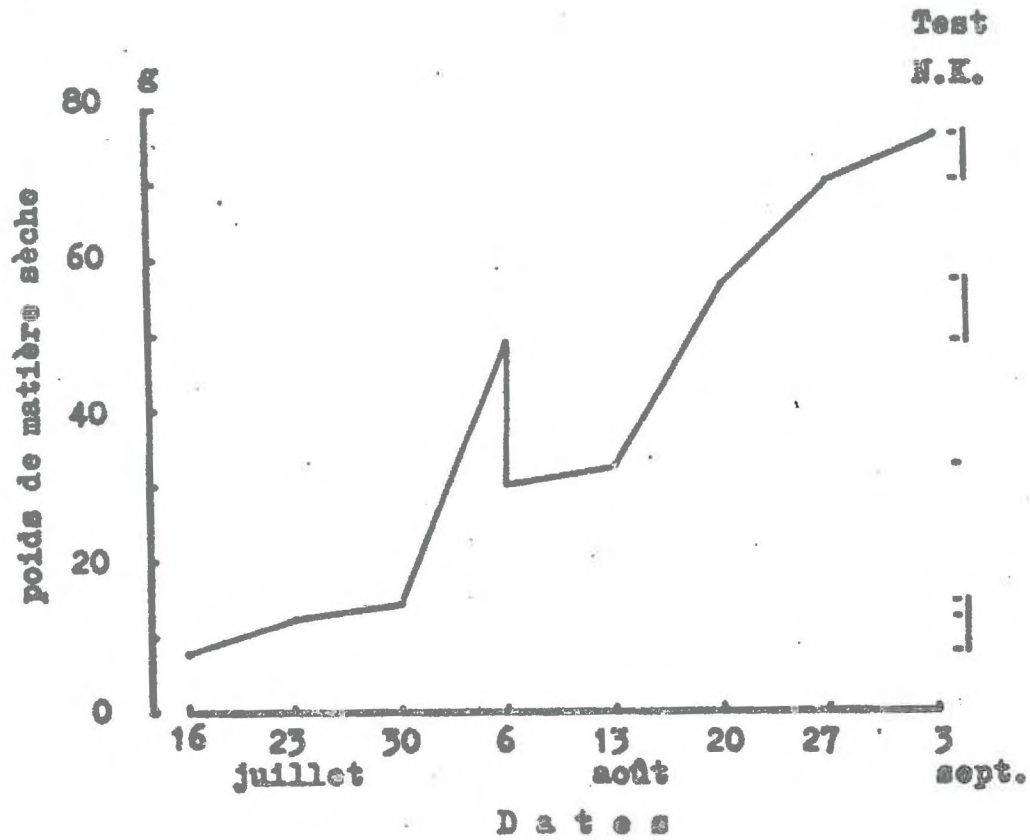


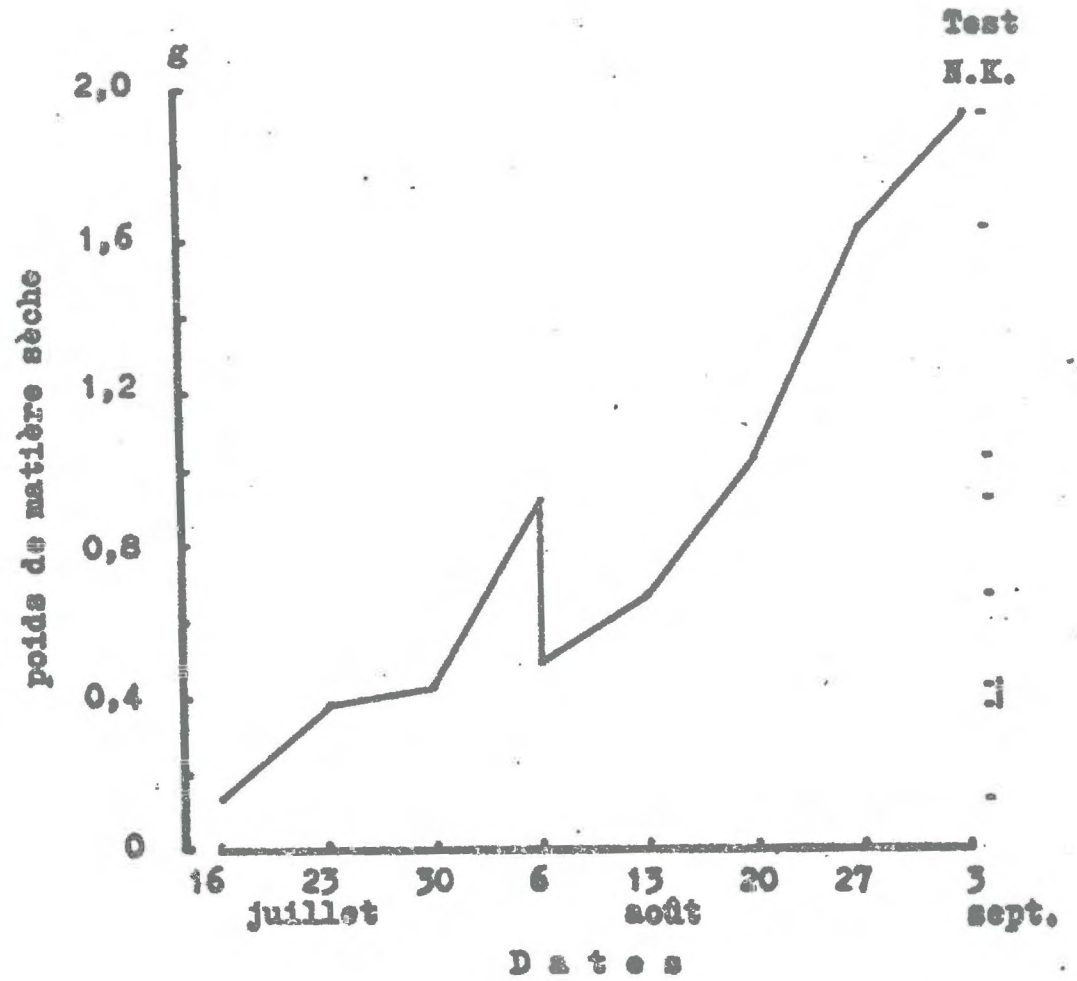
Figure 23.

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 :	8,3	12,6	14,5	32,5	48,9	56,6	70,1	76,4
Matière sèche par talle :	0,33	0,58	0,62	0,87	1,11	1,23	1,83	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.

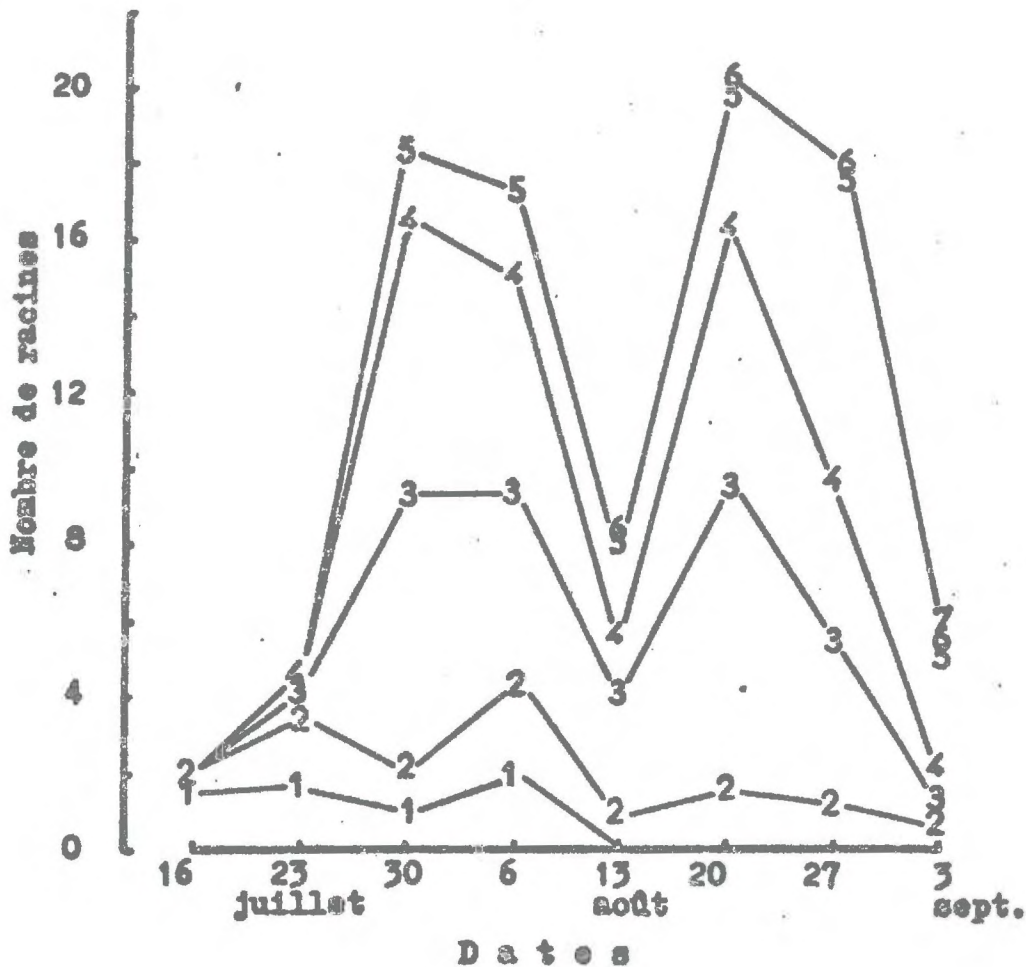
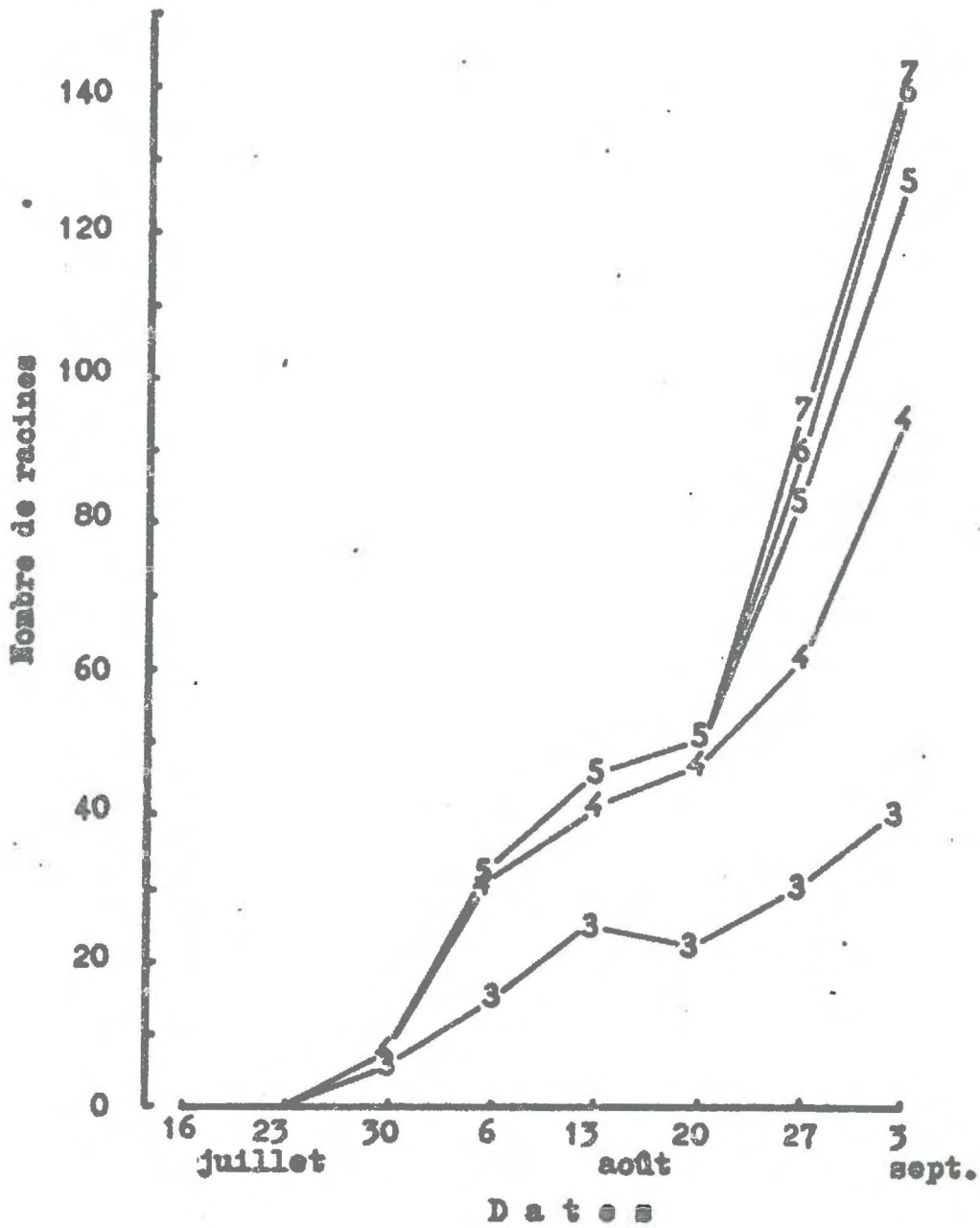


Figure 25.

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

3: catégorie de talles portant les racines.



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 F₀.

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 tailles	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 tailles. 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

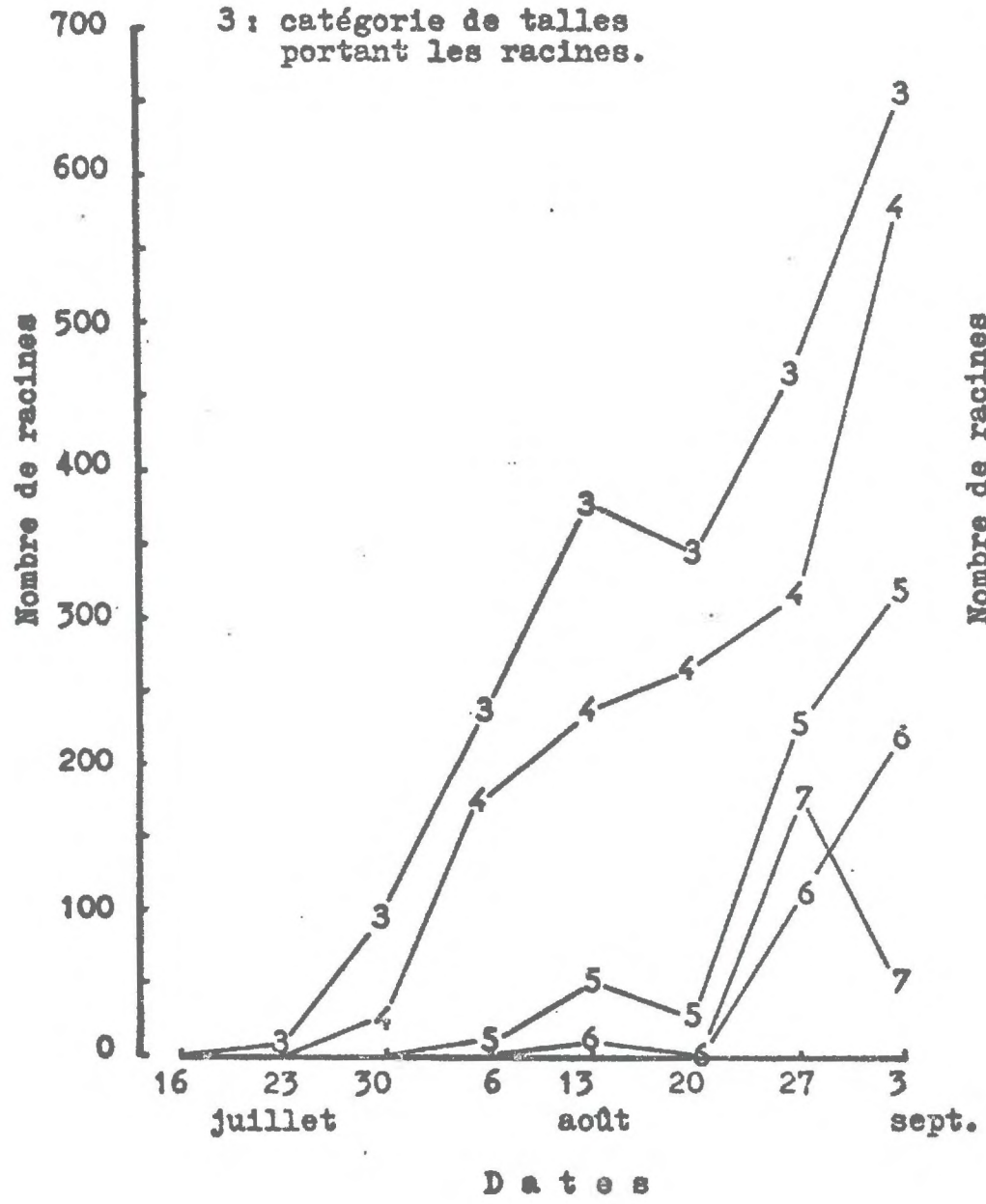
Les courbes de variation par catégorie de tailles, en fonction du temps, apparaissent très parallèles. Soit le vecteur \vec{i} défini comme suit :

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

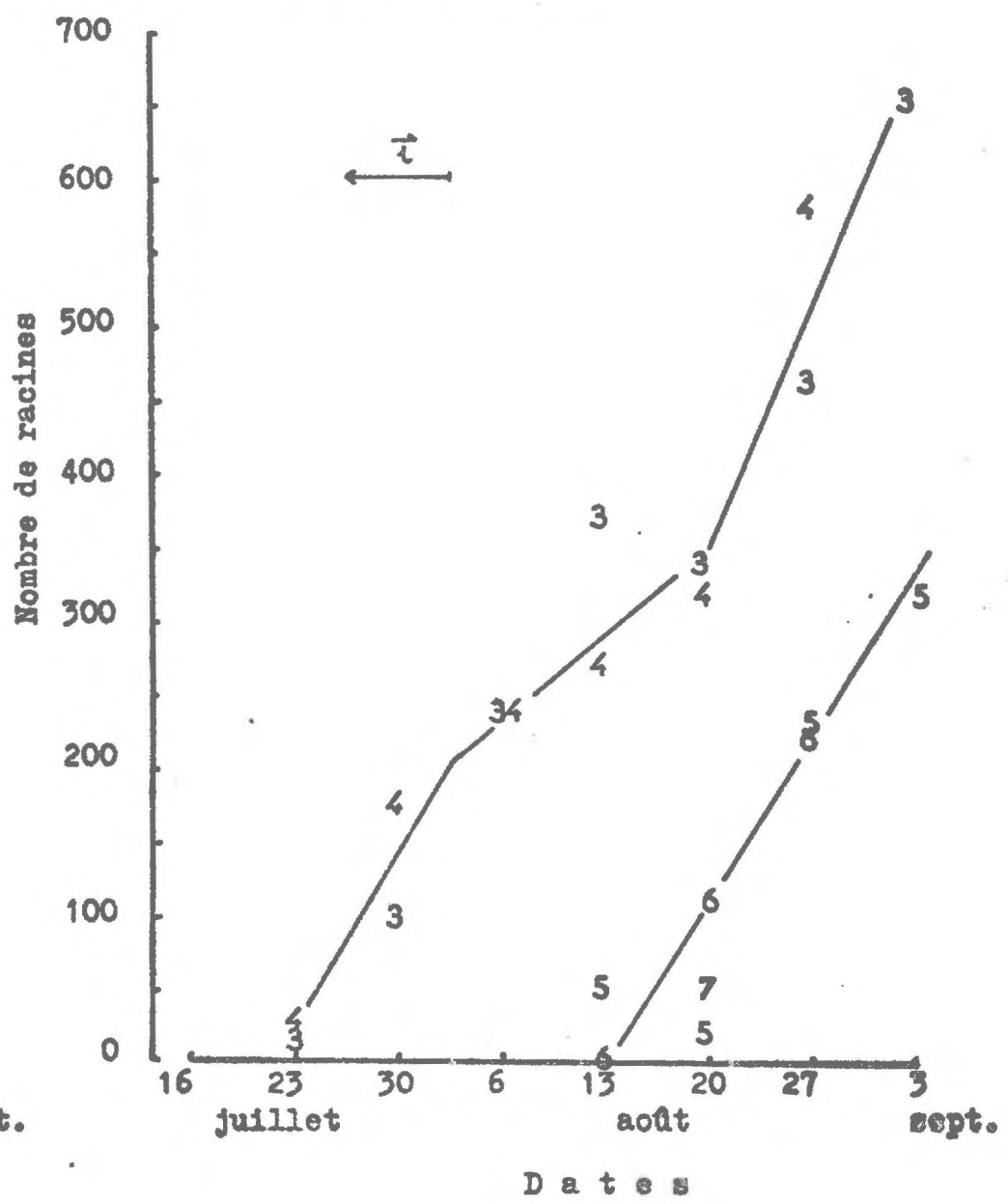
Si on applique une translation de vecteur \vec{i} aux données liées aux tailles de catégorie 4 d'une part, une translation de même vecteur aux données liées aux tailles de catégorie 6 et une translation de vecteur $2\vec{i}$ aux données liées aux tailles de catégorie 7, on obtient une bonne superposition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

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

a) Avant translation.



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.

$t = 0,030$ pour 20 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.