

## MEMOIRE

*présenté en vue de l'obtention du grade*  
**d'INGENIEUR AGRONOME**

*(option : Production Végétale)*

par

**Komi EGLE**

**ETUDE DE LA VARIABILITE DES  
COMPOSANTES DU RENDEMENT DU MANIOC**  
(*Manihot esculenta* CRANTZ, var. 312-524)  
**EN FONCTION DE LA FERTILITE DU SOL.**

*soutenu publiquement le 21 Mai 1992  
devant la commission d'examen ainsi composée :*

Président : M. **M. GUYOT**

Membres : MM. **K. TETEV**  
**J.-P. RAFFAILLAC**  
**E. A. ADJETEY-BAHUN**



8 JUIN 1994

F 39.060

## REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au Laboratoire d'Agronomie du centre ORSTOM de Lomé sous la direction de Monsieur Jean-Pierre RAFFAILLAC, chercheur agronome. Qu'il trouve ici l'expression de notre très profonde gratitude pour son assistance dévouée, sa disponibilité particulière et son soutien tant matériel, technique que moral qu'il n'a cessé d'apporter au cours de la réalisation de ce mémoire.

A la Direction de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université du Bénin ainsi qu'au corps enseignant, nous adressons nos remerciements pour avoir contribué à notre formation.

A Monsieur Adjégan ADJETEY-BAHUN, Docteur PH-D en agronomie, professeur à l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université du Bénin, nous exprimons notre profonde reconnaissance pour avoir accepté de nous diriger dans la réalisation de ce mémoire.

A Messieurs Michel GUYOT, professeur de botanique à la Faculté des Sciences de l'Université du Bénin, Kodjo TETEVU, Directeur de l'Institut des Plantes à Tubercules, nous adressons nos remerciements pour avoir accepté de juger ce travail.

Nous exprimons notre très profonde reconnaissance à Monsieur Bernard BOHER, responsable du Laboratoire de Phytopathologie de l'ORSTOM qui a fait le tirage de nos photos.

Nous tenons à remercier tout le personnel des Laboratoires d'Agronomie et de Phytopathologie de l'ORSTOM de Lomé pour leur soutien. Nous citerons en particulier MM. Claude FILLONNEAU, Comla AGBOBLI et Koffi E. AKAKPO respectivement directeur de recherches, chercheur associé et allocataire de recherches, pour leur permanente sollicitude.

A tous les membres de notre famille (parents, frères, soeurs, oncles, tantes et cousins), nous exprimons nos sentiments de profonde gratitude pour tous les efforts qu'ils ont fournis durant nos études scolaires et universitaires.

Que tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué à la réalisation de ce document trouvent ici l'expression de nos profonds sentiments.

# SOMMAIRE

Introduction .....	1
<b>CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE</b>	
1.1. GENERALITES SUR LE MANIOC .....	3
1.1.1. Systématique .....	3
1.1.2. Origine - Répartition géographique .....	3
1.1.3. Morphologie.....	3
1.1.3.1. Racines.....	3
1.1.3.2. Tiges .....	7
1.1.3.3. Feuilles .....	7
1.1.3.4. Fleurs et inflorescences; Fruits et graines.....	7
1.1.4. Importances domestique et économique.....	7
1.1.4.1. Production.....	7
1.1.4.2. Utilisations diverses .....	8
1.1.5. Physiologie du manioc.....	11
1.1.5.1. Croissance et développement du manioc.....	11
1.1.5.2. Exigences écologiques.....	12
1.1.5.3. Nutrition minérale .....	12
1.1.6. Techniques culturales .....	15
1.1.6.1. Culture traditionnelle .....	15
1.1.6.2. Systèmes de culture améliorés .....	16
1.1.7. Maintien de la fertilité - Fertilisation.....	17
1.1.7.1. Lutte anti-érosive.....	17
1.1.7.2. Restauration de la fertilité .....	18
1.1.8. Principales maladies et déprédateurs .....	19
1.2. LA CULTURE DU MANIOC ET LES TERRES DE BARRE AU TOGO.....	25
1.2.1. La culture du manioc au Togo .....	25
1.2.2. Les terres de barre du Togo .....	26
1.2.2.1. Localisation - Formation.....	26
1.2.2.2. Caractéristiques générales des terres de barre.....	26
1.2.2.3. Densité de population et utilisation du sol.....	27
1.2.2.4. Processus de la dégradation des terres de barre .....	27
1.2.2.5. Perspectives de régénération des terres de barre.....	27

## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

2.1. OBJECTIFS .....	30
2.2. CADRE EXPERIMENTAL.....	30
2.2.1. Site d'AGBOMEDJI .....	30
2.2.1.1. Localisation .....	30
2.2.1.2. Climat.....	30
2.2.1.3. Végétation .....	31
2.2.1.4. Sol.....	31
2.2.2. Site de DAVIE.....	32
2.2.2.1. Localisation .....	32
2.2.2.2 Climat.....	32
2.2.2.3. Végétation .....	33
2.2.2.4. Sol.....	33
2.3.. MATERIELS ET METHODES .....	33
2.3.1. Expérimentation 1 : Etude des composantes du rendement du manioc en fonction des différents niveaux de fertilité du sol.....	33
2.3.1.1. Matériels .....	33
2.3.1.1.1. Matériel végétal .....	33
2.3.1.1.2. Engrais utilisés .....	34
2.3.1.2. Méthodologie expérimentale.....	34
2.3.2. Expérimentation 2 : qualité des racines tubérisées en relation avec le rendement en produit fini (gari).....	43
2.3.3. Expérimentation 3 : qualité des boutures et reprise de croissance du manioc.....	44
2.3.4. Expérimentation 4 : répartition des assimilats au cours du cycle cultural ...	45

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS ET INTERPRETATIONS : ESSAI N - P - K. ....	47
3.1.1. Résultats des analyses de sol.....	47
3.1.2. Caractéristiques des boutures à l'implantation.....	48
3.1.3. Taux de reprise et nombre de tiges par plant .....	48
3.1.4. Résultats de l'estimation de la surface foliaire .....	49
3.1.5. Diagnostic foliaire.....	50

3.1.6. Croissance et développement des tiges en cours de cycle.....	51
3.1.6.1. Etude à 2 mois.....	51
3.1.6.2. Etude à 6 mois.....	52
3.1.7. Maladies et parasites .....	56
3.1.8. Résultats à la récolte.....	58
3.1.8.1. Parties aériennes.....	58
3.1.8.2. Racines tubérisées .....	65
3.1.9. Rendement en gari.....	78
 3.2. Résultats de l'expérimentation 2 : Influences de la qualité des racines tubérisées sur le rendement en gari.....	 79
 3.3. Résultats de l'expérimentation 3 : qualité des boutures et enracinement en début de cycle.....	 80
3.3.1. Qualité des boutures avant plantation.....	80
3.3.2. Répercussions de la qualité des boutures sur la reprise et le début de la croissance et de l'enracinement .....	80
 3.4. Résultats de l'expérimentation 4 : répartition des assimilats en début de croissance .....	 82
 <b>3.5. DISCUSSION</b> .....	 84
 <b>CONCLUSION</b> .....	 93
 Références bibliographiques .....	 95
 Annexes.....	 102

## LISTE DES TABLEAUX

1 : Production du manioc dans le monde (données FAO, 1989).....	8
2 : Composition des racines tubérisées de manioc.....	9
3 : Prélèvements minéraux des cultures de manioc en kg d'élément par tonne de racines tubérisées.....	13
4 : Production du manioc au TOGO en 1990 suivant les régions (DESA, 1991).....	25
5 : Résultats comparés d'analyse des sols des sites d'expérimentation de DAVIE et d'AGBOMEDJI.....	32
6 : Liste des traitements.....	35
7 : Description des parcelles et sous parcelles.....	36
8 : Nature des engrais utilisés avec leurs doses.....	37
9 : Caractéristiques des parcelles de l'essai qualité de boutures des tiges récoltées.....	44
10 : Résultats des analyses de sol des parcelles d'AGBOMEDJI avant les apports d'engrais minéraux de la campagne 1990 - 1991.....	45
11 : Variation du poids sec et de la surface individuels des feuilles selon 9 différents niveaux de fertilité.....	49
12 : Teneur en éléments minéraux de la plus jeune feuille complètement développée, 60 jours après plantation.....	51
13 : Comparaison des paramètres de croissance des tiges à 6 mois 53	
14 : Regroupement des traitements en fonction du diamètre des tiges à 6 mois.....	55
15 : Intensité des maladies et d'attaques de parasites observées en cours de cycle.....	57
16 : Comparaison de l'état végétatif des tiges à la récolte en fonction des différents niveaux de fertilité.....	59
17 : Regroupement des niveaux de croissance des tiges à la récolte en fonction de la fertilité du sol.....	62
18 : Nombre moyen de floraison par plant et pourcentage de tiges ayant fleuri au cours du cycle en fonction des classes de croissance.....	63
19 : Caractéristiques des parties aériennes à la récolte.....	64
20 : Accroissement de la quantité de matière sèche produite dans les parties aériennes avec l'augmentation de la dose d'azote.....	65
21 : Ecart de production en pourcentage entre traitements avec et sans prise en compte des racines tubérisées de la classe 0 - 200 grammes.....	69
22 : Morphologie (longueur et diamètre maximum) des racines tubérisées de 4 traitements T1, T3, T19 et T27 par classe de poids (200 grammes).....	69
23 : Caractéristiques moyennes des racines tubérisées par plant (récolte effectuée à 10 mois).....	71
24 : Rendements à l'hectare et index de récolte (I.R.) en fonction des différents niveaux de fertilité.....	76
25 : Moyenne factorielle : rendement en racines fraîches (Rdt en t/ha), index de récolte (I.R.) et gain de rendement en pourcentage.....	77
26 : Corrélations entre le rendement frais en racines tubérisées (y) et certains paramètres mesurés (x).....	77
27 : Rendement en produit fini (gari) en fonction de la taille des racines tubérisées (sur la base de 10 kg de racines fraîches).....	79
28 : Caractéristiques moyennes des boutures des tiges obtenues sur différents niveaux de fertilité du sol après 30 jours de stockage à l'ombre avec arrosage régulier.....	80
29 : Répercussions de la qualité des boutures sur le taux de reprise et les caractéristiques du jeune plant.....	81
30 : Différence entre les stades foliaires moyens des tiges pour des niveaux de fertilité différents du sol au cours du cycle.....	86
31 : Augmentation de la surface photosynthétique provoquée par la floraison (cas de 2 traitements) à 10 mois après plantation.....	87
32 : Rentabilité estimative de l'utilisation des formules d'engrais N, P et K.....	92

## LISTE DES FIGURES

1 : Carte de la localisation de la culture du manioc dans le monde .....	4
2 : Résumé de la transformation et des utilisations traditionnelles du manioc en Afrique.....	10
3 : Données pluviométriques des sites de Davié et d'Agbomédji.....	31
4 : Feuille de manioc montrant le lobe médian du manioc .....	40
5 : Surface foliaire moyenne en fonction de 4 traitements.....	50
6 : Stade foliaire terminal moyen de la tige la plus développée de chaque plant en fonction de 4 traitements .....	52
7a : Corrélation entre diamètre et hauteur de la tige la plus développée de chaque plant à 6 mois.....	54
7b : Corrélation entre diamètre et stade foliaire de la tige la plus développée de chaque plant à 6 mois.....	54
7c : Corrélation entre diamètre de la tige la plus développée et la somme des diamètres de toutes les tiges de chaque plant à 6 mois.....	54
8 : Pourcentage de tiges ayant ramifié par floraison 6 mois après plantation en fonction de différents niveaux de fertilité du sol .....	56
9a : Corrélation entre diamètre et hauteur de la tige la plus développée de chaque plant à la récolte .....	60
9b : Corrélation entre diamètre et stade foliaire de la tige la plus développée de chaque plant à la récolte .....	60
9c : Corrélation entre diamètre de la tige la plus développée et la somme des diamètres de toutes les tiges de chaque plant à la récolte.....	61
10 : Corrélation entre diamètres de la tige la plus développée de chaque plant à 6 mois et à la récolte .....	61
11 : Répartition par classe de poids de la production en racines tubérisées fraîches de 4 traitements T1, T3, T19 et T27 .....	62
12a : Longueur des racines tubérisées par classe de poids frais pour 2 types de sol (sol pauvre et sol riche).....	68
12b : Diamètre maximum des racines tubérisées par classe de poids frais pour 2 types de sol (sol pauvre et sol riche).....	70
13 : Pourcentage de matière sèche des racines tubérisées pour les 27 traitements.....	73
14 : Rendement et répartition de la matière sèche entre systèmes aériens et racinaires en fonction des éléments N, P et K.....	74
15a : Répartition de la biomasse entre les différents compartiments de la plante.....	83
15b : Evolution de la biomasse entre les différents compartiments de la plante au cours du temps.....	83
16 : Relation entre le rapport N/K de la feuille à 2 mois et le rendement en racines fraîches à 10 mois .....	87

## LISTE DES PHOTOS

1 : 2 variétés de manioc avec les racines tubérisées .....	5
2 : Profil cultural à 1 mois : racines basales (b) et racines nodales (n) .....	6
3 : Profil cultural à 2 mois : orientation horizontale des racines en début de tubérisation .....	6
4 : Feuilles saines d'un plant de manioc .....	22
5 : Mosaïque africaine du manioc : aspect des feuilles malades (maladie virale).....	22
6 : Bactériose : dessèchement des feuilles et d'un apex provoqué par <i>Xanthomonas campestris pv manihotis</i> .....	23
7 : Feuilles de manioc montrant les symptômes des attaques d'acaridés ( <i>Mononychellus tanajoa</i> ).....	23
8 : Raccourcissement des entre-noeuds causé par la cochenille farineuse du manioc ( <i>Phenacoccus manihoti</i> ) .....	24
9 : Morphologie des racines tubérisées : à gauche, 2 plants de T25 (racines tubérisées sessiles) et à droite, 2 plants de T5 (racines tubérisées avec pédoncules) .....	66
10 : Différences provoquées par les différents traitements dans le développement de la partie aérienne : floraison en cours de cycle (droite) ou pas de floraison (centre), hauteurs différentes de tiges.....	66
11 : Racines tubérisées à la récolte pour 4 traitements T1, T3, T19 et T27 .....	67

## LISTE DES ANNEXES

I : Pédogénèse des terres de barre (RAUNET, 1973).....	103
II : Plan de l'essai N/P/K .....	104
III : Caractéristiques culturales des sous parcelles.....	105
IV : Note technique de l'estimation de la surface du limbe foliaire de la feuille de manioc par la longueur du lobe médian ou par le poids sec de la feuille.....	106
V : Graphiques de corrélation entre le rendement frais et certains paramètres mesurés .....	108

**SIGLES ET ABREVIATIONS**

- C.I.A.T. : Centre International d'Agriculture Tropicale  
C.V. : coefficient de variation  
D.E.S.A. : Direction des Enquêtes et Statistiques Agricoles  
F.A.O. (= OAA) : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture  
HCN : acide cyanhydrique  
I.I.T.A. : Institut International pour l'Agriculture Tropicale  
I.N.P.T. : Institut National des Plantes à Tubercules  
I.R. : Index de récolte  
I.R.A.T. : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières  
J.A.P. : Jours après plantation  
M.A.M. : mosaïque africaine du manioc  
M.A.P. : Mois après plantation  
O.R.S.T.O.M. : institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. (anciennement : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer)

## RESUME

Le travail a porté sur la croissance, le développement et les composantes du rendement du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ, var. 312-524) selon des niveaux de fertilité très contrastés du sol. L'essai a été installé sur terres de barre dans la région Maritime du Sud-TOGO. Les différents niveaux de fertilité du sol ont été obtenus à partir d'un essai fertilisation longue durée installé en 1976 avec une combinaison factorielle d'apports annuels des éléments N, P et K sous culture de maïs. Ce travail est complété par l'étude, d'une part de l'influence de la forme des racines tubéreuses sur la transformation en gari, d'autre part de la qualité des boutures issues des tiges en fin de cycle.

Dès le deuxième mois, le manioc accuse un retard de croissance sur les parcelles au sol appauvri : le stade foliaire est en moyenne de 27 sur sol pauvre contre 32 sur sol riche. Cette différence de croissance s'accroît au cours du cycle. Les observations en cours de végétation ont montré que plus le sol est pauvre, plus les tiges se ramifient par floraison.

Les rendements frais vont de 14 à 39 t/ha suivant la richesse du sol en N, P et K pour un cycle cultural de 10 mois. Une bonne richesse du sol en K améliore la tubérisation des racines tandis que l'azote la défavorise au profit des organes aériens. L'index de récolte diminue avec l'apport de N. Il apparaît un effet négatif du rapport trop élevé entre N et K dans la feuille du manioc sur le rendement en racines tubérisées. Le poids moyen de ces dernières a augmenté suite à l'apport de K tandis que l'azote le diminue : il est en moyenne de 192 g avec apport de N contre 353 g avec apport de K. L'azote augmente le nombre de racines tubérisées : il est de 7 en moyenne sans N contre 9 avec apport de N. Cet effet de N sur le nombre de racines est plus accentué en présence du potassium.

La richesse du sol en N et K a un effet négatif sur la teneur en matière sèche des racines tubérisées : celle-ci est de 40% sur sol pauvre contre 29% sur sol riche. La morphologie des racines tubérisées est également modifiée : à poids égal, les racines tubéreuses ont sur sol riche un diamètre important, puis sont courtes et sessiles tandis que sur sol pauvre, elles ont un petit diamètre, sont longues et pédonculées. Les petites racines donnent un rendement en gari de l'ordre de 14% de leur poids contre 19% pour les grosses racines. Enfin, l'étude met en évidence le rôle positif de l'azote du sol dans la production des boutures de bonne qualité.

L'effet antagoniste de N et K nous conduit à proposer pour l'amélioration de la culture du manioc une dissociation des parcelles consacrées à la production de tiges pour l'obtention de boutures de bonne qualité des parcelles productrices de racines tubéreuses. Les premières seront essentiellement soumises à l'apport d'azote alors que les secondes seront enrichies en majorité de potassium.

## SUMMARY

The study was carried out on the analysis of the growth, the development and the components of the yield of the cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ, var. 312-524) during harvest with the presence of various levels of fertility of the soil on the "terres de barre" in maritime region of south Togo. These various levels of fertility of the soil have been obtained through a long term fertility trial established in 1976 with a factor combination of annual contribution of elements N, P and K under maize cultivation. This analysis is completed by the study of the form of the tuberous roots in relation with the process into gari on one hand, and on the other hand by the quality of the cuttings made from the stems.

From the second month, the cassava shows a delay of growth on the impoverished lands : the foliar stage is in average 27 on poor soil against 32 on fertile soil. This difference of growth is emphasized during the cycle of the plant. The study during the vegetation period shows that the more the soil is poor, the more the stems branch out by flowering.

The yield are varying from 14 to 39 t/ha according to the richness of the soil in N, P and K for a cultural period of 10 months. A good dressing in K provides well built roots whereas the nitrogen hardens it in favour of the stems. The harvest index decreases with the dressing of N. It appears a negative effect, due to the high ratio between N and K in the leaves on the yield. The mean weight of a root has increased with the dressing of K while the nitrogen decreases it : in average 192 g with N against 353 g with K. The nitrogen increases the number of tuberized roots : in average, it is 7 without N against 9 with N. This effect of N on the number of roots is more emphasized in presence of potassium.

The richness of the soil in N and K has a negative effect on the percentage of dried matter : 40% on poor soil against 29% on fertile soil. The morphology of the tuberized roots is also modified : from equal weight, tuberous roots have a big diameter, shorter and sessiles on fertile soil. On poor soil, they have a small diameter, longer and pedunculate. Small roots gives 14% of gari against 19% for big roots. At last the study shows the positive rôle of the richness of the soil in nitrogen for a good quality cuttings production, witch will be used for the following cycle.

The antagonistic effect of N and K leads us to propose, for the improvement of cassava cultivation, a dissociation between the parcels assigned to the production of stems, dressed essentially in nitrogen, in order to have cuttings of good quality, from those destined to the production of roots with a pertaining dressing of potassium.

## INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) est une plante tropicale cultivée essentiellement pour ses racines tubéreuses riches en amidon. Il intervient en Afrique subsaharienne, pour environ un tiers de la production totale, d'aliments de base et produit 2,2 fois plus de calories par hectare que le maïs (FAO, 1986). Il constitue une source énergétique alimentaire abondante reconnue peu coûteuse.

Une bonne connaissance du comportement de cette plante face aux variations des facteurs du milieu est indispensable pour envisager des voies et moyens de maintien et d'amélioration de la production. En particulier la connaissance des réactions du manioc à différents niveaux de fertilité du sol s'avère nécessaire pour le choix des techniques visant l'augmentation de la production.

Au Togo, avec une production de 592.900 tonnes en 1990 (D.E.S.A., 1991), le manioc s'est hissé à la tête des plantes à racines et tubercules amyliacées. La région Maritime est la zone la plus productrice avec 59% de la production totale du pays. Face à la pression démographique, les sols de cette région et plus particulièrement les terres de barre se sont dégradées sous l'effet de la culture continue sans intrant.

Dans le but de relever le potentiel de production de ces sols, de nombreux essais ont été conduits dans le cadre des programmes de recherches sur le thème de la dégradation des terres de barre (LOUETTE, 1988). Cependant, peu de données sont disponibles sur le comportement du manioc face au niveau de fertilité des sols de cette zone de production.

Ainsi, le but des travaux consignés dans ce mémoire consiste à établir un rapport entre les composantes du rendement en racines tubérisées et la partie aérienne en fonction du niveau de fertilité du sol. Ce travail s'inscrit dans un programme de recherche du Laboratoire d'Agronomie de l'ORSTOM mis en place en 1989 et qui vise d'une façon générale à établir une meilleure connaissance des réactions de cette plante vivrière à certains facteurs techniques et écologiques au TOGO.

L'essentiel du travail consiste en un suivi complet d'un cycle cultural de manioc installé sur un essai fertilisation longue durée avec apports annuels combinés de N, P et K; cet essai a été mis en place en 1976 à Agbomédji (Sud-Togo) sur terres de barre pour comparer l'évolution chimique du sol et le rendement en culture continue de maïs. Elle est complétée par une analyse détaillée de la transformation en gari des racines tubérisées et une étude de l'influence de la qualité du matériel de plantation obtenu en fin de cycle sur les premiers stades de croissance des plants d'un cycle cultural suivant.

Un travail sur l'élaboration et la répartition de la biomasse du manioc au cours du cycle cultural sur terre de barre complète ce mémoire.

## **CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE**

## 1.1. GENERALITES SUR LE MANIOC

### 1.1.1. Systématique

Le manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) est une phanérogame angiosperme dicotylédone. Il appartient à la famille des Euphorbiacées de l'ordre des Euphorbiales. Cette famille compte plus de trois cents genres et huit mille espèces presque toutes tropicales.

### 1.1.2. Origine - Répartition géographique

Le manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) est originaire d'Amérique du Sud (CRANTZ, 1966 cité par SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

Il a été introduit en Afrique par les Portugais vers le milieu du 16<sup>ième</sup> siècle. Diffusé tout d'abord en Afrique Centrale, il n'est signalé en Afrique de l'Ouest que vers la fin du 17<sup>ième</sup> siècle.

La culture du manioc s'étend approximativement entre 30° de latitude Nord et Sud et dans ces limites jusqu'à 2000 m d'altitude au plus (voir figure 1).

### 1.1.3. Morphologie

Le manioc est un arbuste dont la taille varie de 1 à 5 m suivant la variété et les conditions de culture (photo 1). Il porte une à plusieurs tiges ramifiées ou non.

#### 1.1.3.1. Racines

Le système racinaire d'un plant issu d'une graine comporte une racine pivotante et des racines secondaires.

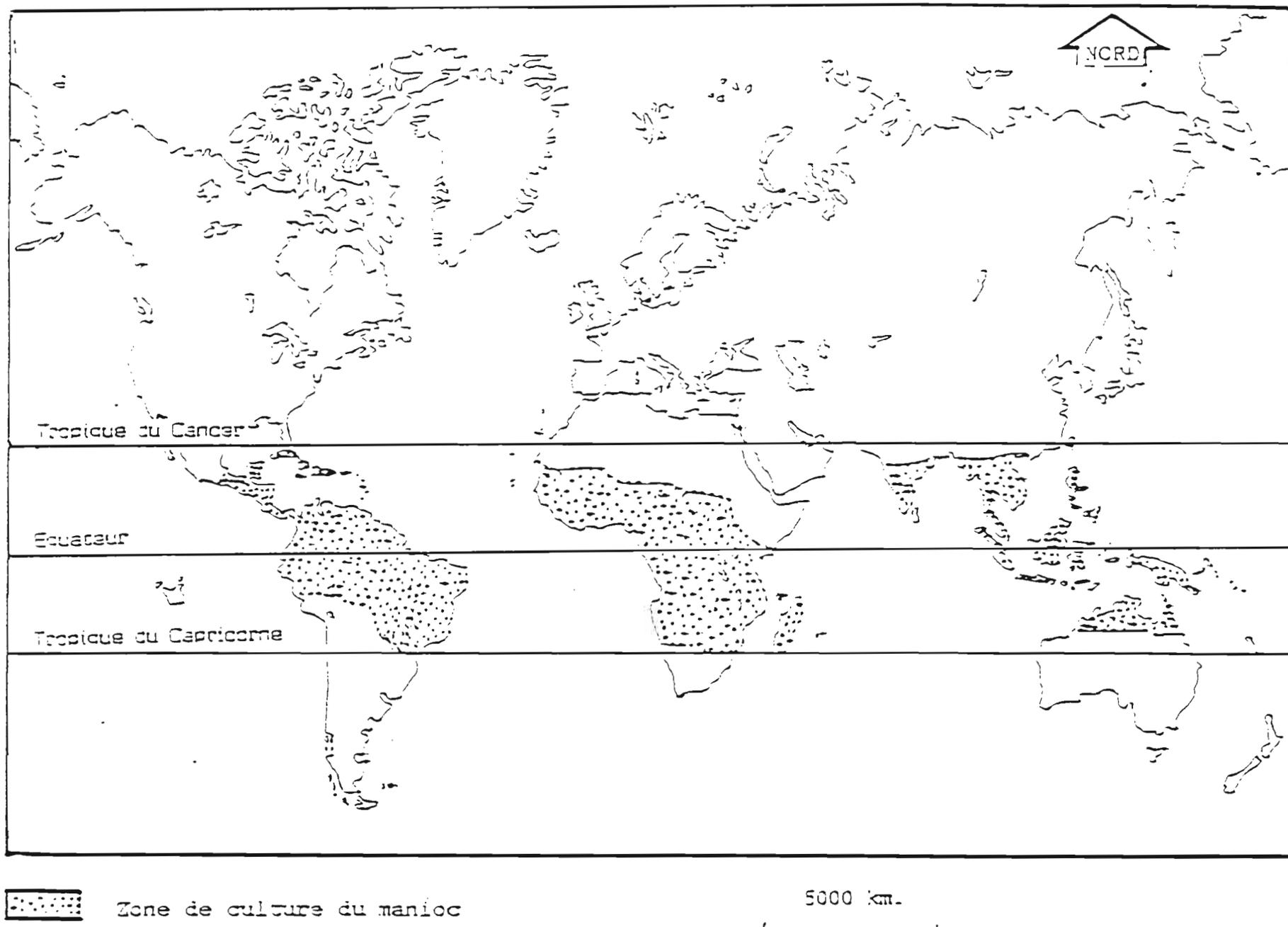
Lorsque le plant est issu de bouture, ce qui est le cas quasi-général, on distingue deux types de racines (photos 2 et 3) :

- les racines nodales : ce sont des racines issues des noeuds en contact avec le sol,
- les racines basales : ce sont celles issues de la partie basale de la bouture.

On peut citer un troisième type apparenté au premier : ce sont des racines de tige. En cas d'humidité suffisante, la base des tiges principales dont le point d'insertion sur la bouture est sous terre émet des axes racinaires.

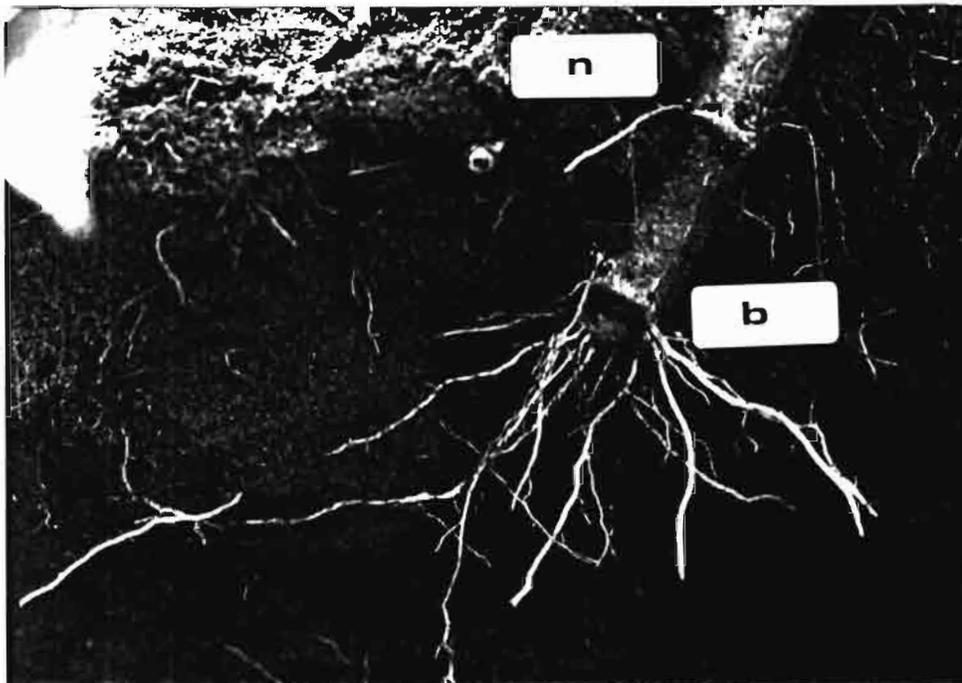
Tous ces types de racines sont d'abord traçantes et peuvent s'enfoncer ensuite verticalement dans le sol.

Figure 1 : Carte de la localisation de la culture du manioc dans le monde





**PHOTO 1** : aspect général de 2 variétés de manioc avec les racines tubérisées.



**PHOTO 2 :** Profil cultural à 1 mois :  
racines basales (b) et racines nodales (n).



**PHOTO 3 :** Profil cultural à 2 mois :  
orientation horizontale des racines en début de tubérisation.

Les racines tubérisées constituent la partie utile du manioc. Elles proviennent du gonflement d'une portion de la partie traçante des racines émises par la bouture. Elles peuvent être attachées directement à la bouture qui leur a donné naissance (racines tubéreuses sessiles) ou reliées par un pédoncule (racines tubéreuses pédonculées).

### **1.1.3.2. Tiges**

Une même bouture peut donner naissance à une ou plusieurs tiges.

La tige, de couleur variable suivant l'âge et la variété, présente un aspect noueux du fait de la présence de cicatrices pétiolaires proéminentes.

Selon la variété, la tige peut donner des ramifications une ou plusieurs fois au cours du cycle. On distingue deux types de ramifications : celles issues de la floraison par transformation du méristème végétatif terminal en méristème floral accompagnée du développement de 2 à 4 branches et celles issues du développement de bourgeons latéraux par levée de dominance apicale.

### **1.1.3.3. Feuilles**

Les feuilles sont alternes, simples et caduques; elles sont disposées en spirales sur la tige. Le limbe membraneux, rattaché à la tige par un pétiole allongé, est divisé en trois à sept lobes (COURS, 1951); on rencontre parfois un seul lobe.

Les colorations vont du vert au rouge pourpre pour les pétioles et du vert au rouge cuivré pour les jeunes feuilles non encore complètement développées.

### **1.1.3.4. Fleurs et inflorescences; Fruits et graines**

Les fleurs forment une inflorescence qui est composée d'un axe central de deux à dix centimètres de long et de plusieurs axes latéraux constituant une panicule protogyne. Les fleurs femelles, peu nombreuses, sont situées à la base de l'inflorescence et s'ouvrent les premières.

Le fruit est une capsule déhiscente à trois loges contenant chacune généralement une graine.

## **1.1.4. Importances domestique et économique**

### **1.1.4.1. Production**

La production mondiale du manioc s'élevait en 1989 à 147.500 millions de tonnes (FAO, 1989) et se répartissait de la façon suivante (tableau 1).

Tableau 1 : Production du manioc dans le monde (données FAO, 1989)

	Production 1000 MT	Rendement T/ha	Superficie 1000 ha
Monde	147 500	9,842	14 987
Afrique	62 098	7,440	8 346
Amérique (Centre et Nord)	941	4,901	192
Amérique du Sud	29 902	12,307	2 380
Asie	54 378	13,418	4 053
Océanie	180	10,870	17

(Source FAO, 1989).

Au Togo, la production au cours de la même année est évaluée à 403 000 tonnes avec une superficie cultivée de 55 000 ha soit un rendement de 7,32 tonnes à l'hectare (FAO, 1989).

#### **1.1.4.2. Utilisations diverses**

##### **1.1.4.2.1. Aspects nutritionnels**

La racine tubéreuse du manioc est un aliment essentiellement énergétique riche en amidon, peu encombré de glucides non digestibles. Elle est assez bien pourvue en acide ascorbique (vitamine C) mais pauvre en lipides, en sels minéraux, autres vitamines et surtout en protides.

Les feuilles contiennent par contre, des taux élevés de protides.

Selon COURS (1951), BUSSON (1965), BARIOS et BRESSANI (1967) et DEVENDRA (1977) cités par SILVESTRE et ARRAUDEAU (1983), la composition du manioc peut être schématisée de la façon suivante (tableau 2).

Tableau 2 : Composition des racines tubérisées de manioc

		Racines entières	Ecorces 8 - 15 % de la racine	Cylindre central	Tiges	Feuilles
Matière sèche	% MF	35	30	40	30	15
Glucides	% MS	89	75	91	48	41
Lipides	% MS	1	2	0.5	9	3
Protides	% MS	2.5	4	2	10	6
Fibres	% MS	4.5	12	4	23	20
Cendres	% MS	3	5	2.5	10	8

MF : matière fraîche; MS : matière sèche  
(source : P.SILVESTRE et M. ARRAUDEAU, 1983)

### **. Problème de l'acide cyanhydrique (HCN)**

Le manioc est capable de produire au niveau de tous ses organes de l'acide cyanhydrique présent sous forme de glucosides cyanogénétiques, le linamaroside en particulier (NARTEY, 1973 cité par SILVESTRE et ARRAUDEAU 1983).

Les teneurs élevées en glucosides peuvent être parfois létales en cas d'alimentation. Les techniques de transformation telles que le rouissage, la fermentation, le chauffage et le séchage au soleil font baisser à des doses acceptables le niveau parfois très toxique du glucoside cyanogénétique.

#### **1.1.4.2.2. Alimentation humaine**

Les transformations et utilisations des racines tubéreuses en alimentation humaine peuvent se résumer de la façon explicitée dans la figure 2. Les limbes des jeunes feuilles sont également consommés dans certaines régions (Congo, Zaïre ...), où elles constituent un apport intéressant en protéines.

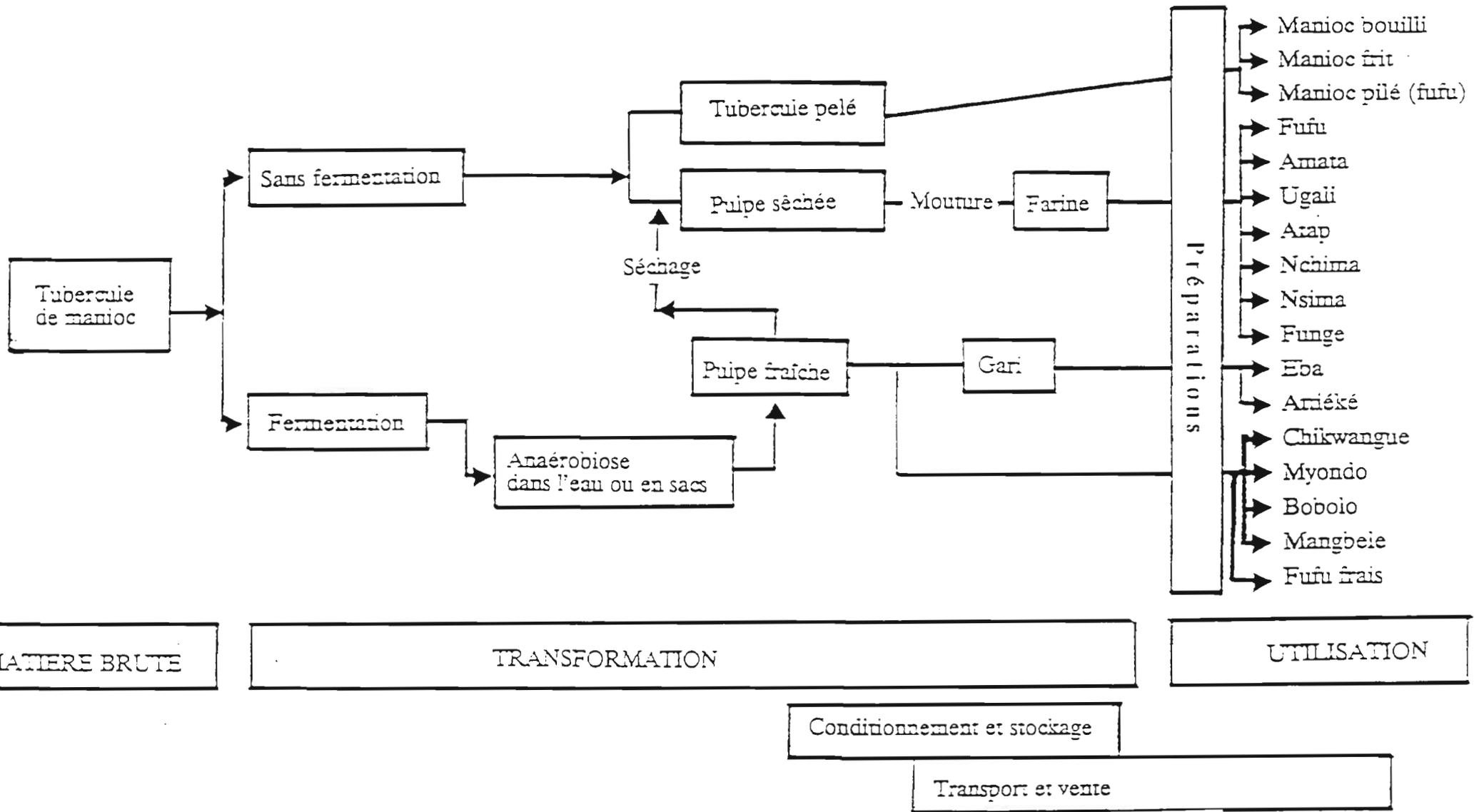


Figure 2 : Résumé de la transformation et des utilisations traditionnelles du manioc en Afrique

### **1.1.4.2.3. Alimentation animale**

Feuilles, tiges, racines sont utilisées en alimentation animale.

Les racines sont utilisées à l'état frais (cruées ou cuites) ou à l'état sec (cossettes, granulés, farines). Elles peuvent également être utilisées en ensilage dans le cas d'approvisionnement irrégulier.

Les feuilles et les épluchures de racines sont également consommées à l'état frais ou sec par les animaux.

Les tiges tendres sont entièrement consommées par les herbivores alors que pour les tiges âgées, seules les écorces le sont.

### **1.1.4.2.4. Utilisations industrielles**

L'extraction de la féculé constitue l'activité la plus importante en industrie. La féculé est utilisée dans les industries alimentaires, textiles, en papeterie ainsi que dans la fabrication des contreplaqués, des placages, des colles, du glucose, de la dextrine, de colorants, de médicaments, d'alcool, de produits chimiques divers, de tapis...

Pour mécaniser totalement ou en partie des productions en produits finis, certaines étapes de procédés de transformation traditionnelle ont fait l'objet d'améliorations techniques : épluchage, râpage, broyage, séchage, tamisage; c'est le cas de l'"attiéké" avec une unité pilote en Côte d'Ivoire, du "gari" au Nigéria et au Togo.

## **1.1.5. Physiologie du manioc**

### **1.1.5.1. Croissance et développement du manioc**

On peut distinguer, selon COURS (1951), quatre phases principales dans le développement du manioc : reprise, installation, développement du système aérien et tubérisation des racines. Ces différentes phases se chevauchent partiellement.

La phase de reprise des boutures dure 3 à 6, voire 15 jours; elle correspond aux premières émissions de racines nodales puis basales et à la sortie de une ou plusieurs tiges.

L'installation dure 1 mois et demi à 2 mois. C'est la phase pendant laquelle la plante vit sur les réserves de la bouture.

Le développement aérien est marqué par une croissance rapide de la plante, une édification rapide du feuillage, la fabrication des réserves avec un début de stockage dans les racines. Cette phase dure également 1 mois et demi à 2 mois.

La tubérisation des racines est la phase pendant laquelle il y a une accélération du gonflement des racines. Rythmée par les conditions climatiques, elle dure jusqu'à la récolte. Il faut souligner que le dépôt d'amidon dans les racines commence dès les premières semaines après la plantation (LOWE et al. 1982).

La durée des différentes phases dépend de la variété et des conditions de culture.

#### **1.1.5.2. Exigences écologiques**

Le manioc est une plante de zone tropicale humide à grande capacité d'adaptation tant pour le climat que pour le sol.

##### **- Température**

Les températures moyennes les plus favorables à la croissance se situent entre 23°C et 25°C. La croissance est arrêtée à des températures inférieures à 10°C et très ralentie à 40°C. Le gel entraîne la mort de la plante.

##### **- Eclaircissement**

Le manioc est une plante héliophile. Une réduction de l'éclaircissement de moitié entraîne une diminution de 30% de la matière sèche produite allant vers les racines (CIAT, 1973).

Le manioc est en outre considéré comme une plante de jours courts.

##### **- Régime hydrique**

Le manioc est considéré d'une façon générale comme une plante tolérante à la sécheresse. Une pluviométrie moyenne comprise entre 1000 et 2000 mm est généralement satisfaisante. Les sols engorgés d'eau provoquent des pourritures de racines et un ralentissement de la croissance.

##### **- Facteurs édaphiques**

Dans de bonnes conditions de température et d'humidité, le manioc peut être cultivé sur des sols extrêmement variés : alluvionnaires récents, ferrallitiques ou tourbeux. Il supporte mal les sols hydromorphes.

Les meilleurs sols sont en général les sols profonds à bonne réserve en eau, bien drainés, de texture sablo-limoneuse ou argilo-sableuse, à structure stable, à pH 5,5.

### 1.1.5.3. Nutrition minérale

#### 1.1.5.3.1. Mobilisations et exportations minérales

Plusieurs auteurs, notamment NIJHOLT (1953), COURS (1953), DUFOURNET et GOARIN (1957), KANAPATHY (1976), cités par SILVESTRE et ARRAUDEAU (1983), ont étudié les prélèvements minéraux des cultures de manioc. Par tonne de racines récoltées et pour des rendements situés entre 20 et 60 t/ha, les valeurs extrêmes trouvées (en Kg/ha d'élément) sont présentées par le tableau 3.

Tableau 3 : Prélèvements minéraux des cultures de manioc en kg d'éléments par tonne de racines tubérisées.

	Parties aériennes	Racines	Total
N	1,78 - 3,09	0,72 - 3,64	2,50 - 6,03
P	0,22 - 1,33	0,34 - 0,53	0,56 - 1,77
K	1,30 - 1,96	2,09 - 5,08	5,00 - 9,04
Ca	0,40 - 2,41	3,37 - 0,65	0,84 - 3,08
Mg	0,40 - 1,15	0,10 - 0,48	0,50 - 1,63

(Source : P. SILVESTRE et M. ARRAUDEAU, 1983).

Exprimées en Kg/ha d'unités fertilisantes, on considère que les exportations par tonne de racines tubérisées sont : 4,5 de N; 2,5 de  $P_2O_5$ ; 7,5 de  $K_2O$ ; 2,5 de CaO et 1,5 de MgO.

Cependant, les quantités d'éléments fertilisants prélevés par la plante sont d'une part difficiles à saisir en raison de la chute des feuilles qui entraîne un retour permanent de ceux-ci au sol, d'autre part variables selon les conditions du milieu (disponibilité de l'azote, du phosphore et surtout du potassium). Les prélèvements les plus élevés ne correspondent pas toujours aux meilleurs rendements.

D'une manière générale, la demande en éléments minéraux d'une culture de manioc est régulière sauf pour l'azote qui est absorbé plus rapidement aux périodes de forte croissance végétative (NIJHOLT, 1935 cité par SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

#### 1.1.5.3.2. Eléments minéraux : rôle, besoin et carence.

##### - Azote

L'azote est nécessaire à l'élaboration de la matière vivante (protéines). Les parties végétatives et surtout les limbes des jeunes feuilles sont les plus riches en azote. L'azote intervient dans de nombreuses phases métaboliques de la plante notamment dans la synthèse des enzymes et des composés azotés (chlorophylle et acides aminés).

De fortes réponses aux engrais azotés sont généralement observées jusqu'à un optimum qui dépend du niveau de nutrition en d'autres éléments, la potasse en particulier. Au delà de cet optimum, l'azote accroît le développement des parties aériennes au détriment des racines, augmente les teneurs en acide cyanhydrique de la plante et diminue la teneur en amidon des racines.

La carence en azote se traduit par une faible croissance; les feuilles deviennent vert pâle avec un jaunissement des extrémités.

### **- Phosphore**

Le phosphore est un constituant de la cellule vivante. Il intervient dans la phosphorylation des carbohydrates et leur transformation en amidon.

Le manioc tire bien parti des sols à faibles réserves en phosphore disponible dans lesquels d'autres espèces exigent des apports en cet élément. Mais, cultivé en solution nutritive, il exige des concentrations en phosphore beaucoup plus élevées. Cette aptitude à bien extraire le phosphore du sol est attribuée à l'activité de mycorhizes associées au système racinaire (HOWELER, 1980).

En Côte d'Ivoire, SAVARY (1982) a montré que cette association symbiotique était partout présente quels que soient la variété, le type de sol et les façons culturales.

La carence en phosphore entraîne une réduction de la taille des plantes.

### **- Potassium**

Comme pour toutes les plantes à tubercules, le potassium occupe une place essentielle dans la production des racines tubérisées du manioc.

Les réponses aux engrais potassiques dépendront du niveau de nutrition azotée. En effet, avec une mauvaise nutrition potassique, l'azote provoque une réduction de la production de racines tubérisées. Lorsque la nutrition potassique est bonne, l'amélioration de la nutrition azotée se traduit par un fort accroissement des rendements jusqu'à une limite où se produit un déséquilibre entre développement végétatif et développement des racines. Ceci a été démontré en Inde par RAJENDRAN et ses collaborateurs en 1976 (cités par SILVESTRE et ARRAUDEAU 1983) sur sols latéritiques acides.

Un apport potassique trop important peut conduire à une consommation de luxe sans effet sur le rendement. La carence en potassium se traduit par une réduction de la taille de la plante, une diminution du nombre et de la largeur des lobes et/ou un jaunissement des feuilles âgées avec brunissement des extrémités.

## **- Autres éléments minéraux**

Le calcium : souvent, il assure un rôle de relèvement du pH sur sol acide pour améliorer la nutrition car de très fortes acidités induisent des troubles dans l'assimilation des autres éléments (carence et toxicité).

Pour les autres éléments, les apports relèvent de cas particuliers.

### **1.1.6. Techniques culturales**

#### **1.1.6.1. Culture traditionnelle**

Les systèmes traditionnels de production dans lesquels entre le manioc peuvent être caractérisés, dans leur très grande majorité, comme des systèmes manuels, souvent itinérants en zone forestière et sans ou à faibles intrants monétaires.

#### **- Place et rôle du manioc en culture traditionnelle**

Le manioc peut être la culture principale dans certains systèmes de production : c'est le cas de plusieurs régions d'Afrique pour lesquelles il est devenu l'une des bases de l'alimentation. Souvent, il occupe un rôle secondaire et assure la soudure alimentaire entre deux récoltes d'autres productions végétales. La récolte se fait en fonction des besoins de la famille.

#### **- Systèmes traditionnels de production**

Le manioc se cultive en culture pure ou en association.

##### \* Culture pure

Après défrichage et brûlis d'une parcelle, le sol est ameubli à la houe très localement avec constitution ou non de buttes ou de billons. La bouture de longueur très variable est enfoncée verticalement, obliquement ou horizontalement, parfois doublée sur le même emplacement pour assurer un meilleur pourcentage de reprise. Un ou plusieurs désherbages manuels sont faits au cours du cycle. Généralement, aucune fertilisation n'est apportée. La récolte par arrachage manuel est réalisée entre sept et quinze mois ou plus, non seulement selon la variété mais aussi selon les besoins individuels et les tendances du marché de consommation.

Les rendements sont très variables et se situent dans une fourchette de 6 à 25 tonnes à l'hectare.

### \* Culture associée

Le manioc est souvent associé à des cultures diverses : maïs, niébé, igname, arachide..., le souci du paysan étant d'optimiser le rendement par unité de surface. Il est installé soit au même moment que la plante associée, soit en milieu ou en fin de cycle.

Les rendements, toujours très variables, se situent entre 5 et 15 - 20 tonnes à l'hectare.

### \* Place du manioc dans la rotation

Le manioc, capable de tirer parti des sols plus ou moins pauvres, est généralement une plante de fin de rotation, placé juste avant la jachère.

Les systèmes de culture traditionnels décrits ci-dessus peuvent subir des modifications. Ces modifications sont induites par plusieurs causes dont certaines sont :

- importance des autres cultures,
- densités de population,
- milieu physique,
- commercialisation.

Dans le cadre de notre étude, nous insisterons sur les modifications induites par la densité de population. Dans les régions les plus densément peuplées du Sud du Ghana, du Togo, et du Bénin, les systèmes étaient à l'origine basés sur le maïs ou une association maïs-niébé cultivés deux fois par an et deux à trois ans de suite; le manioc intervenait ensuite avant la reconstitution de la jachère. L'accroissement de la densité de population a entraîné un prolongement du temps d'occupation des terres et une réduction de la durée de jachère. Parallèlement, la diminution de la fertilité du sol a entraîné un accroissement de l'importance de la culture du manioc par rapport aux autres espèces plus exigeantes et les successions sont devenues maïs-manioc en permanence ou manioc seul (SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

### **1.1.6.2. Systèmes de culture améliorés**

L'amélioration des techniques de production du manioc, outre l'emploi de cultivars performants sélectionnés par la recherche, peut apporter des gains substantiels dans les rendements par rapport aux rendements observés en culture traditionnelle.

#### **1.1.6.2.1. Préparation du sol**

Le manioc est cultivé sur buttes, sur billons ou en terrain plat labouré. Le choix du billonnage ou de la plantation sur terrain plat est fonction de la nature du sol. Un sol lourd exigera des billons tandis qu'un sol sableux une plantation à plat. Un labour ne s'accompagnera pas forcément d'une augmentation de production (RAFFAILLAC, 1985).

#### **1.1.6.2.2. Matériel de plantation**

Les critères de choix des boutures sont essentiellement la qualité (les dimensions : longueur, diamètre et l'âge physiologique) et leur état sanitaire.

Des considérations pratiques et économiques conduisent à choisir des boutures de 20 à 25 cm de longueur, portant aux moins cinq à six noeuds, épaisses et prélevées sur les parties moyennes suffisamment lignifiées des plantes mères saines. Il convient donc d'éviter les parties les plus basses lorsque celles-ci sont très âgées (SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

#### **1.1.6.2.3. Plantation**

Le début de saison pluvieuse convient mieux aux périodes de plantation. Le choix du mode de plantation des boutures (vertical, plus ou moins oblique, horizontal) se fait en fonction de la nature et de l'humidité du sol au moment de la plantation. Sur sol humide argileux, le mode horizontal est préférable alors que sur sol sableux et drainant, les modes oblique et/ou vertical conviennent mieux.

Pour la position oblique, il est préférable d'enfoncer la bouture à moitié ou les 2/3 dans le sol. Il est recommandé de ne placer qu'une seule bouture par emplacement.

A l'optimum, la densité de plantation se situe entre 10 000 et 20 000 plants à l'hectare soit des écartements entre plants passant de 1 m x 1 m à 0,5 m x 0,5 m.

#### **1.1.6.2.4. Entretien culturaux**

\* **Désherbage** : il sera exécuté à la demande. On pourra effectuer un buttage à l'occasion d'un sarclage.

\* **Traitements phytosanitaires** (voir 1.8)

Compte tenu de son coût, la lutte chimique n'est pas utilisée. L'IITA préconise la lutte biologique (YANINEK et HERREN, 1989).

#### **1.1.6.2.5. Fertilisation** (voir 1.7)

#### **1.1.6.2.6. Récolte**

La récolte commence par la coupe, le plus souvent manuelle des tiges d'où l'on tirera les boutures pour la prochaine plantation. Les plants sont ensuite arrachés avec des arracheuses mécaniques (POUZET, 1988) ou à la main.

Les rendements sont variables : 25 à 60 tonnes à l'hectare.

### **1.1.7. Maintien de la fertilité - Fertilisation**

En cultures intensives modernes, partant du principe que les éléments minéraux exportés par les récoltes doivent être restitués aux sols, il faut penser à conserver la fertilité du sol. Cette conservation de la fertilité concerne aussi la lutte anti-érosive.

#### **1.1.7.1. Lutte anti-érosive**

En raison de son développement relativement lent en début de cycle, de la grandeur des écartements entre les plants et surtout de son mode de récolte, le manioc favorise l'érosion.

La limitation du travail du sol à la zone de développement des racines, l'occupation des interlignes par des cultures permettant de couvrir rapidement le sol en début de cycle (cultures associées), l'apport du mulch sont des pratiques susceptibles de limiter l'érosion.

#### **1.1.7.2. Restauration de la fertilité**

##### **1.1.7.2.1. Fertilisation organique**

La matière organique améliore la structure du sol. La restitution des parties aériennes du manioc en culture continue ne paraît pas dans la majorité des cas maintenir un niveau organique satisfaisant. Des apports de fumier entraînent des augmentations de rendements. En effet, une étude a montré en Tanzanie qu'un apport de 22 tonnes de fumier à l'hectare fait passer le rendement en racines tubérisées de 19 à 36 t/ha (HOWELER, 1980).

Dans les cultures modernes de manioc, la fertilisation organique est envisagée ou réalisée par la mise en place d'engrais verts; les plantes utilisées comme engrais verts sont cultivées après un ou deux cycles de manioc (SILVESTRE et ARRAUDEAU, 1983).

##### **1.1.7.2.2. Fertilisation minérale**

La fertilisation minérale du manioc est encore peu pratiquée, bien qu'elle ait donné lieu à de nombreuses expérimentations dans plusieurs pays notamment en Inde, au Brésil, en Tanzanie, au Nigéria, en Côte d'Ivoire ... D'après ces travaux, quelques principes généraux sont dégagés.

Dans les systèmes de culture permanents, l'aptitude élevée du manioc à prélever du sol des éléments minéraux peut conduire à un épuisement de celui-ci. La restitution des quantités d'éléments minéraux prélevés et perdus par lessivage est donc nécessaire. Eu égard à ce principe, l'apport de chaque élément doit être fait en fonction de l'état des réserves du sol et de certaines particularités propres à chaque élément.

Pour l'azote, le phosphore et le potassium il faut tenir compte respectivement de :

- l'état de la matière organique et des déséquilibres végétatifs résultant de trop fortes doses,

- du pouvoir fixateur du sol et de la solubilité de la forme du phosphore apporté,

- des consommations de luxe.

En Côte d'Ivoire, MIEGE (1957) a obtenu des surplus de rendements significatifs avec le nitrate de potasse. Dans ses essais multiloaux, POUZET (1983) n'observe aucune amélioration de la production avec un ternaire 10 - 18 - 18. Pour RAFFAILLAC et NEDELEC (1984), l'urée agit défavorablement sur le rendement sur sol sableux en Basse Côte d'Ivoire; l'apport potassique seul augmente significativement le poids de racines tubérisées.

#### **- Formes et doses des engrais utilisés.**

Au champ, on n'observe pas de différences d'efficacité entre les formes nitrique et ammoniacale de l'azote (FORNO, 1977 cité par SILVESTRE et ARRAUDEAU 1983). Les doses à apporter aux cultures peuvent varier de 50 à 120 kg/ha.

Le phosphore est apporté sous forme soluble mais les formes peu solubles (phosphates tricalciques) peuvent être utilisées en milieu acide et à bonne pluviométrie. Des apports de l'ordre de 40 kg/ha peuvent suffire; mais sur sols pauvres, ces apports peuvent aller jusqu'à 100 à 150 kg/ha.

Enfin, la potasse est généralement apportée sous forme de chlorure de potassium. Les quantités à apporter peuvent varier de 200 à 400 kg/ha.

#### **- Modalités d'application des engrais.**

Les engrais sont généralement apportés peu avant le bouturage.

En tenant compte du début réel de l'accumulation des réserves sous forme d'amidon (vers 1,5 à 2 mois), LOWE et ses collaborateurs (1982) pensent que l'apport potassique peut se faire un mois après la plantation des boutures.

### **1.1.8. Principales maladies et déprédateurs**

Le manioc subit les attaques de divers parasites et déprédateurs qui peuvent réduire les rendements.

#### **1.1.8.1. La mosaïque africaine du manioc (photo 5 comparée à photo 4)**

C'est une maladie virale. Elle se caractérise par des taches jaunes et verdâtres sur les feuilles qui présentent dans les cas graves, des déformations (crispation,

enroulement) et un rabougrissement du limbe. La limitation de la surface foliaire ainsi provoquée peut réduire le rendement suivant l'intensité des symptômes et leur persistance sur le plant au cours du cycle. Selon OPSOMER, (1938) cité par SILVESTRE et ARRAUDEAU (1983), les pertes sont normalement de 5 à 10% mais peuvent atteindre 45% lorsque la plantation est réalisée avec des boutures contaminées.

La maladie se transmet au plant sain par une mouche blanche (*Bemisia tabaci*) et se multiplie par l'utilisation de boutures issues des tiges déjà contaminées.

Les moyens de lutte sont pour l'instant l'emploi de tiges saines pour le bouturage et l'utilisation de variétés résistantes.

#### **1.1.8.2. La bactériose du manioc (photo 6)**

Maladie bactérienne, la bactériose est reconnaissable par les symptômes suivants : formation de taches foliaires à contours anguleux parfois entourées de plages de brûlure, flétrissement de feuilles, exsudation de gomme sur les pétioles et les tiges non aoûtées et dessèchement des sommités (die-back).

L'agent pathogène responsable de cette maladie est *Xanthomonas campestris* pv manihotis.

La dissémination de la maladie est faite par les boutures infectées, les insectes, les outils de coupe et le sol qui peut garder la bactérie enkystée jusqu'à deux ans.

Des pertes de rendement allant de 7 à 57% ont été enregistrées en Colombie et des destructions complètes de récoltes ont été observées au Congo (DANIEL et al. 1979 cités par SILVESTRE et ARRAUDEAU).

Les moyens de lutte sont : l'emploi des boutures saines et l'utilisation de variétés résistantes .

#### **1.1.8.3. Les insectes**

De nombreux insectes sont des prédateurs pour le manioc.

- **Les cochenilles farineuses du manioc** (*Phenacoccus manihoti*). Ces cochenilles provoquent des déformations de feuilles, le rabougrissement de l'apex suivi du raccourcissement des entre-noeuds (photo 8). Des pertes de rendement ont été enregistrées mais n'ont pas été évaluées avec précision.

En ce qui concerne la protection des plantes, on s'oriente vers la lutte biologique (YANINEK et HERREN, 1989).

- Outre les cochenilles, on peut citer le criquet puant (*Zonocerus variegatus*) qui dévorent les feuilles.

#### 1.1.8.4. Les acariens et les nématodes

Certains acariens figurent parmi les ravageurs les plus dangereux du manioc. Trois espèces le sont particulièrement. Ce sont :

- *Mononychellus tanjoa*
- *Tetranychus urticae*
- *Oligonychus peruvianus*

La photo 7 montre les symptômes des attaques d'acariens sur feuilles.

Pour ce qui concerne les nématodes, on peut citer :

- *Meloïdogyne spp*
- *Pratylenchus spp*

Les attaques des nématodes constituent des portes d'entrée pour plusieurs micro-organismes pathogènes.

#### 1.1.8.5. Les maladies fongiques

Les maladies fongiques du manioc sont nombreuses avec une incidence très variable.

- **Les cercosporioses** : les symptômes se manifestent par des taches brunes réduites et bien définies sur les feuilles lorsque l'agent causal est *Cercospora henningsii* Allesch; des taches brunes plus grandes et à contours mal définis lorsque l'agent pathogène est *Cercospora vicosae* Muller et Chupp.

Les pertes occasionnées peuvent aller jusqu'à 30% dans les cas les plus graves.

- **L'antracnose** : elle est causée par *Colletotrichum gloeosporioides* et se caractérise par un flétrissement des feuilles et un dessèchement des sommités.

- **La pourriture du manioc** : Plusieurs champignons s'attaquent aux tiges et racines du manioc.

Dans le groupe de ceux qui causent la pourriture des racines, on peut citer : *Phytophthora spp*, *Rigidoporus lignosus*, *Phaseolus manihotis* ...Il pénètrent dans les vaisseaux des racines tubéreuses et provoquent leur pourriture.

S'agissant de la pourriture des tiges, *Lasiodiplodia theobromae* est l'agent pathogène principal (PTCHOLO, 1990). La maladie se manifeste par un flétrissement des plants en début de cycle.



**PHOTO 4 :** Feuilles saines d'un plant de manioc.



**PHOTO 5 :** Mosaïque Africaine du Manioc (maladie virale) : aspect des feuilles malades.



**PHOTO 6 :** Bactériose du manioc : dessèchement des feuilles et d'un apex provoqué par *Xanthomonas campestris* pv *manihotis*.



**PHOTO 7 :** Feuilles de manioc montrant les symptômes des attaques d'acariens (*Mononychellus tanajoa*).



**PHOTO 8** : Raccourcissement des entre-nœuds causé par la cochenille farineuse du manioc (*Phenacoccus manihoti*).

## 1.2. LA CULTURE DU MANIOC ET LES TERRES DE BARRE AU TOGO

### 1.2.1. La culture du manioc au Togo

La production du manioc a éprouvé ces dernières années une baisse par rapport à la production des années 1960 à 1968 : en 1990, elle est évaluée à 592 867 tonnes contre 800 000 tonnes en moyenne par an entre 1960 et 1968 (DESA, 1990). Cette situation s'explique par le niveau de production relativement bas ces dernières années dans la région maritime considérée comme la zone de production par excellence. Les causes de cette faible production seraient en partie la pression démographique entraînant la pratique ininterrompue de cette culture sur les mêmes terres. Aussi faut-il ajouter que cette culture n'a pas réellement bénéficié des résultats de recherches avec la vulgarisation de techniques culturales modernes.

En 1990, la production du manioc au TOGO se répartissait de la façon suivante (Tableau 4).

Tableau 4 : Production du manioc au TOGO en 1990 suivant les régions (DESA, 1991)

Régions	Superficie (ha)	Rendement (T/ha)	Production (Tonnes)
Maritime	49 640	7,08	351 926
Plateaux	12 416	8,21	101 986
Centrale	10 502	11,33	119 004
Kara	4 563	4,37	19 951
Savanes	-	-	-
TOTAL	77 121	7,68	592 867

(Source DESA, 1990)

D'après cette répartition, la région maritime est la zone de plus grande production et dans cette zone, les terres de barre à vocation de culture de manioc sont les terres les plus cultivées en manioc.

La culture traditionnelle est celle qui est pratiquée en milieu paysan. Le manioc reste le plus souvent associé à une autre plante vivrière (maïs, arachide, niébé...) (APEDOH, 1991). Les systèmes de culture améliorés ne se rencontrent que dans le cadre d'expérimentation de recherches.

## **1.2.2. Les terres de barre du Togo**

### **1.2.2.1. Localisation - Formation**

Les terres de barre occupent une vaste superficie dans le Sud Togo, soit environ 15 000 ha (LAMOUROUX, 1969). Elles sont localisées dans un bassin sédimentaire, entre le 6<sup>ième</sup> et le 8<sup>ième</sup> degré de latitude Nord. C'est une formation assez récente (fin du tertiaire) ayant vraisemblablement une origine continentale; elle est en priorité alluviale, (voir détails en annexe I pour sa pédogénèse).

### **1.2.2.2. Caractéristiques générales des terres de barre**

Les terres de barre sont des sols faiblement ferralitiques plus ou moins désaturés.

D'après WILLAIME (1958), RENAUT (1973) et MARQUETTE *et al.* (1982) cités par LOUETTE (1988), les sols des terres de barre possèdent de bonnes caractéristiques physiques (aération, perméabilité et profondeur) mais de piètres propriétés hydriques et chimiques. Ils sont caractérisés par :

- une couleur brun rouge virant au rouge en surface,
- une texture sableuse à sablo-argileuse en surface (10 à 20 cm) puis de plus en plus argileuse en profondeur,
- une structure polyédrique stable,
- des teneurs en matière organique faibles, liées étroitement au passé cultural (0,4 à 2 %),
- une capacité d'échange de cations faible,
- une faible somme en bases échangeables : pauvre à très pauvre en K, variable en Ca, Mg, et P. VOLKOFF et WILLAIME (cités par LOUETTE, 1988) ont conclu en 1976 que les terres de barre sont d'excellents supports de cultures (maïs, manioc, palmiers à huile...) sur le plan physique. Leur fertilité chimique est variable; elle est étroitement liée au taux de matière organique, lui même fonction du passé cultural.

### 1.2.2.3. Densité de population et utilisation du sol

La région des terres de barre est fortement peuplée : la densité moyenne est de 124 hbts/km<sup>2</sup> (193 hbts/km<sup>2</sup>, 201 hbts/km<sup>2</sup> par endroits) selon le recensement de 1981.

Cette forte pression démographique entraîne une réduction des surfaces cultivables, la diminution de la durée voire la suppression des jachères. Les terres sont ainsi intensément cultivées et ceci entraîne leur épuisement : on parle alors des terres de barre dégradées.

### 1.2.2.4. Processus de la dégradation des terres de barre

D'après RAUNET (1973), ce processus se caractérise essentiellement par :

- une accélération de l'appauvrissement en argile dans la partie travaillée, se traduisant par une augmentation de richesse en sable,
- une baisse du taux de matière organique due à l'accélération de sa minéralisation,
- une diminution très nette de la teneur en bases échangeables (Ca, Mg, K et P)
- une baisse du PH,
- une disparition de toute activité biologique superficielle du sol.

Selon l'état de dégradation traduisant le niveau de fertilité de ces terres (résultats de leur degré d'exploitation), deux cas cités par MARQUETTE (1982) sont distingués :

- les terres de barre non dégradées : celles-ci se trouvent principalement au Nord de la ligne Sud-Ouest Nord-Est NOEPE-TABLIGBO.

- les terres de barre dégradées : elles se rencontrent au Sud de la ligne NOEPE-TABLIGBO, dans la partie Sud du Togo qui est à la fois la plus peuplée et la plus sèche (pluviométrie inférieure à 1000 mm/an).

### 1.2.2.5. Perspectives de régénération des terres de barre

Le relèvement du niveau de production des terres de barre dégradées a fait l'objet de plusieurs études telles celles de DABIN (1956), MARQUETTE *et al.* (1982) et MARQUETTE (1986). Pour ces auteurs, la lutte contre la dégradation de ces sols, le maintien et l'amélioration de leur niveau de fertilité dans le contexte agricole actuel semblent passer par la combinaison de diverses techniques agricoles telles que :

- le recours au labour annuel au moins en grande saison,

- l'association des cultures : manioc-maïs, maïs-arachide, manioc-arachide,
- la rotation céréale-légumineuse sur un an intercalant à intervalles réguliers du manioc (tous les deux ou trois ans),
- la restitution totale obligatoire des résidus de récolte simplement à la surface du sol puis leur enfouissement au premier labour de la saison suivante,
- l'emploi d'une fumure minérale N, P et K adaptée, d'amendements calcaires en association avec l'apport de matière organique (culture d'engrais vert).

## **CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES**

## 2.1. OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est de déterminer la réaction d'une variété de manioc (var. 312-524) à plusieurs niveaux de fertilité des terres de barre dégradées de la région Maritime du Togo. Cette détermination se fera par analyse de la croissance, du développement des plants, ainsi que les composantes du rendement à savoir le nombre, le poids moyen, le taux de matière sèche des racines tubéreuses par plant et le nombre de plants par unité de surface. Ceci nous permettra d'établir une liaison correcte entre les parties souterraine et aérienne du plant de manioc selon différents niveaux de fertilité du sol.

Les niveaux de fertilité ont pu être obtenus à partir de l'essai longue durée mis en place par des chercheurs de l'IRAT en 1976 à la station expérimentale d'AGBOMEDJI sous le thème : dégradation de la fertilité des terres de barre (LATRILLE et al. 1982).

Cet essai utilise depuis sa conception le même protocole dans lequel les trois facteurs N, P et K sont testés à trois doses chacun en culture continue de maïs (première et deuxième saisons). Pour étudier l'effet du précédent cultural, un second facteur a été introduit en 1981. Il s'agit d'un sous traitement représenté par la culture d'arachide ou de niébé en deuxième saison de pluie.

Des expérimentations complémentaires ont porté sur la qualité des tiges obtenues en fin de cycle pour la production du matériel de plantation, le rendement en produit fini (gari) selon la taille des racines tubérisées et l'établissement de la courbe de croissance type du manioc avec la répartition de la biomasse sur le site expérimental de DAVIE.

## 2.2. CADRE EXPERIMENTAL

### 2.2.1. Site d'AGBOMEDJI

#### 2.2.1.1. Localisation

Le site d'AGBOMEDJI est situé à 6 km au Nord-Est d'ANEHO (Sud-Togo) à 40 m d'altitude, 06° 20' latitude Nord et 1° 40' longitude Est.

#### 2.2.1.2. Climat

Il est du type subéquatorial côtier, chaud et humide, à deux saisons de pluies intercalées de deux saisons sèches d'importance inégale : une grande saison de pluie de Mars-Avril à Juin-Juillet est suivie d'une courte saison sèche puis d'une petite saison des pluies de fin-Septembre à mi-Novembre (RAUNET, 1977). La figure 3 présente la répartition moyenne mensuelle des pluies pendant dix ans successifs (1980 - 1989) comparée à celle des années 1990 et 1991.

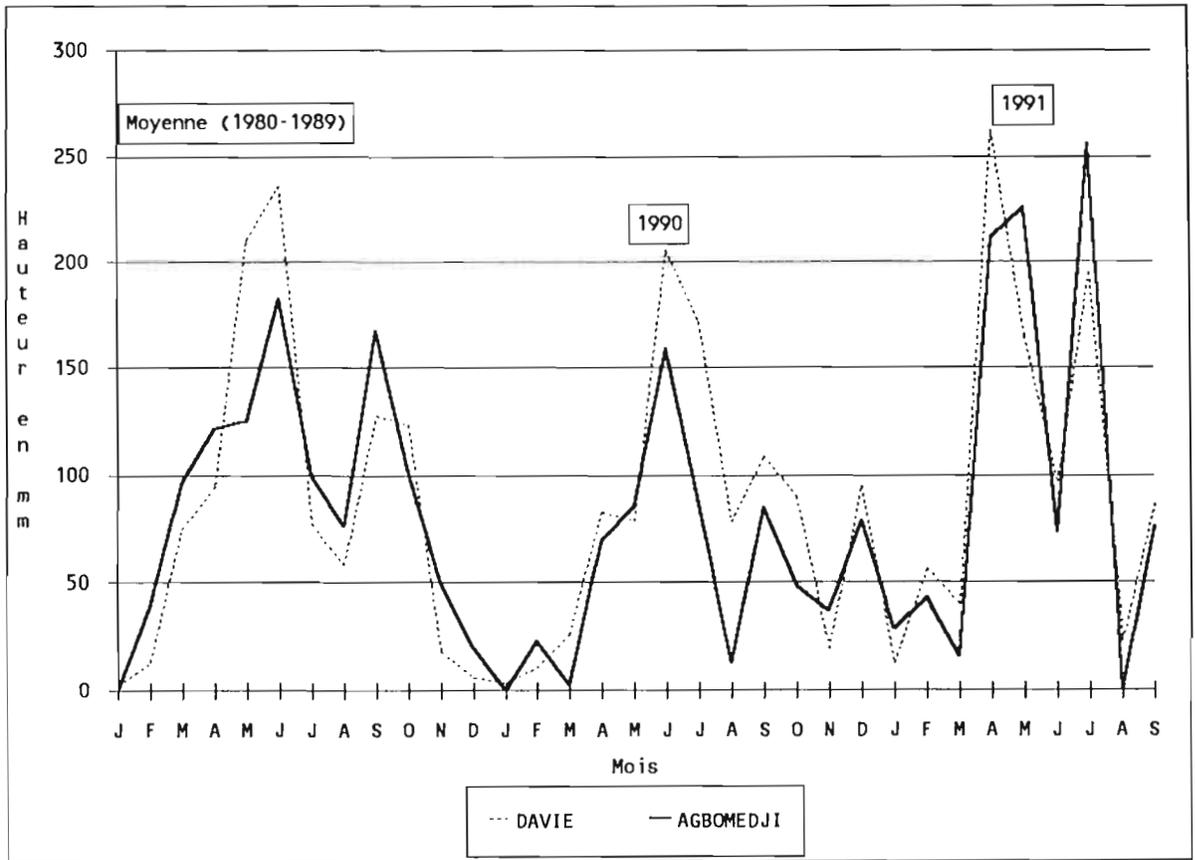


Figure 3 : Courbes pluviométriques des sites d'AGBOMEDJI et de DAVIE

### 2.2.1.3. Végétation

La végétation est constituée de savane à dominance d'herbes (*Imperata* et *Panicum*) et d'arbustes de moins de 2 mètres. Les espèces ligneuses de 5 mètres de hauteur sont rares. La végétation naturelle constituée de savane boisée a presque partout disparu sous l'action de l'homme.

### 2.2.1.4. Sol

Les sols du site d'AGBOMEDJI sont des sols faiblement ferrallitiques. Ils sont mieux connus sous le nom de terres de barre du Sud-Togo. Leur exploitation intensive à raison de deux cycles de cultures par an avec la suppression de la jachère ont abouti à la dégradation profonde de leur fertilité; ils sont ainsi désignés sous le nom de terres de barre dégradées.

Le tableau 5 donne à titre indicatif la comparaison des données caractérisant les sols des localités d'AGBOMEDJI et de DAVIE.

Tableau 5 : Résultats comparés d'analyse de sols des sites d'expérimentation de DAVIE et d'AGBOMEDJI

Eléments analysés		DAVIE	AGBOMEDJI
<u>Granulométrie</u>			
argile	(%)	8,1	6,5
limon	(%)	3,8	2,4
sable très fin	(%)	9,3	4,4
sable fin	(%)	26,4	41,3
sable grossier	(%)	52,3	45,9
<u>Matière organique</u>			
matière organique	(%)	1,05	0,59
carbone	(%)	0,61	0,34
azote total	(%)	0,41	0,23
rapport C/N	(%)	15	15
<u>Phosphore P</u>			
P total	(ppm)	226	196
P assimilable (OLSEN)	(ppm)	10	14
<u>Complexe absorbant</u>			
calcium	(mé/100 g)	1,21	0,59
magnésium	(mé/100 g)	0,58	0,40
potassium	(mé/100 g)	0,12	0,08
azote	(mé/100 g)	0,01	0,01
somme des bases	(%)	1,92	1,28
capacité d'échange	(%)	2,89	2,00
saturation V	(%)	66	64
<u>Acidité</u>			
pH eau		5,5	5,6
pH KCl		4,4	4,5

Horizon : non précisé  
(Source : MARQUETTE, 1986)

## 2.2.2. Site de DAVIE

### 2.2.2.1. Localisation

Le site expérimental de DAVIE est situé à 25 km au Nord de LOME, à 90 m d'altitude, 7°20' latitude Nord et 1°10' longitude Est.

#### 2.2.1.2 Climat

Il est du même type que celui du site d'AGBOMEDJI (subéquatorial côtier chaud et humide). La figure 3 montre la répartition mensuelle des pluies.

### **2.2.2.3. Végétation**

La végétation est constituée de savane boisée. On y trouve des baobabs, des rôniers et quelques espèces ligneuses dont le diamètre et la hauteur ne dépassent respectivement pas 20 centimètres et 10 mètres. La couverture végétale en partie herbeuse est dominée par *Panicum* et *Imperata*.

### **2.2.1.4. Sol**

Le site de DAVIE est également situé sur terres de barre. L'abondance relative des pluies et la pratique de la jachère créent des conditions favorables au maintien d'un niveau de fertilité plus ou moins satisfaisant des sols (cf tableau 5) : ce sont des terres de barre considérées comme non dégradées lors de l'installation d'un essai IRAT analogue à celui d'Agbomédji en 1976.

## **2.3. MATERIELS ET METHODES**

### **2.3.1. Expérimentation 1 : Etude des composantes du rendement du manioc en fonction de différents niveaux de fertilité du sol.**

#### **2.3.1.1. Matériels**

##### **2.3.1.1.1. Matériel végétal**

La variété de manioc utilisée est la variété 312-524. C'est une variété qui a été sélectionnée par l'IRAT et retenue par l'INPT pour les critères suivants :

- durée du cycle d'environ un an
- rendement élevé
- bonne résistance aux maladies
- stabilité variétale
- rendement quantitatif en gari acceptable, bon témoin à l'INPT pour la transformation en gari.

Les caractéristiques morphologiques générales de la variété sont :

- pas de ramifications de tiges
- port dressé
- entre-noeuds courts
- feuille de couleur verte
- pétiole rouge-violet
- jeune tige vert clair
- tige aoûtée grisâtre ou beige.

### 2.3.1.1.2. Engrais utilisés

Les engrais utilisés sont des engrais minéraux simples. Ce sont :

- l'urée ( $\text{Co}(\text{NH}_2)_2$ ) à 46 % d'azote
- le supertriple ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2, \text{H}_2\text{O}$ ) à 46 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$
- le chlorure de potassium (KCl) à 60 % de  $\text{K}_2\text{O}$

### 2.3.1.2. Méthodologie expérimentale

#### 2.3.1.2.1. Facteurs et niveaux de facteurs étudiés

L'expérience repose sur trois facteurs N, P et K à trois niveaux chacun. Ces niveaux sont :

- $\text{N}_0, \text{N}_1, \text{N}_2$
- $\text{P}_0, \text{P}_1, \text{P}_2$
- $\text{K}_0, \text{K}_1, \text{K}_2$

correspondant respectivement aux doses suivantes:

- 0 , 30 , 60 unités de N
- 0 , 45 , 90 unités de  $\text{P}_2\text{O}_5$
- 0 , 45 , 90 unités de  $\text{K}_2\text{O}$

#### 2.3.1.2.2. Traitements

La combinaison des trois facteurs N, P et K à trois niveaux chacun permet d'avoir une expérience trifactorielle comportant 27 ( $3^3$ ) traitements correspondant ainsi à 27 différents niveaux de fertilité du sol (tableau 6).

Tableau 6 : Liste des traitements

Traitements	N	P	K
T1	0	0	0
T2	1	0	0
T3	2	0	0
T4	0	1	0
T5	1	1	0
T6	2	1	0
T7	0	2	0
T8	1	2	0
T9	2	2	0
T10	0	0	1
T11	1	0	1
T12	2	0	1
T13	0	1	1
T14	1	1	1
T15	2	1	1
T16	0	2	1
T17	1	2	1
T18	2	2	1
T19	0	0	2
T20	1	0	2
T21	2	0	2
T22	0	1	2
T23	1	1	2
T24	2	1	2
T25	0	2	2
T26	1	2	2
T27	2	2	2

### 2.3.1.2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec parcelles divisées, comportant 27 traitements en 2 répétitions a été adopté.

Les parcelles sont disposées en six sous blocs confondus de 9 parcelles chacun (voir plan de l'essai en annexe II). Les mêmes traitements occupent les mêmes parcelles depuis l'installation de l'essai en 1976. Les doses d'engrais ont subi de légères modifications entre 1976 et 1982. Elles sont restées constantes à partir de 1983 pour chacun des traitements.

### - Parcelles et sous parcelles

Les traitements sont repartis au hasard sur les 2 blocs. Chaque parcelle a été divisée en 1981 en deux sous parcelles A et B. La culture continue de maïs (première et deuxième saisons) est pratiquée sur la sous parcelle A; sur la sous parcelle B, à la culture du maïs en grande saison de pluie suit celle de légumineuses en petite saison (voir caractéristiques culturales des sous parcelles en annexe III). Contrairement aux années précédentes où les résidus de récolte sont exportés, à partir de 1981, ils sont enfouis dans le sol à la houe quelques jours avant le début réel de chaque grande saison des pluies. Le tableau 7 indique les caractéristiques des parcelles principales et des parcelles élémentaires.

Tableau 7 : Description des parcelles et sous-parcelles.

Nombre de : - traitements - sous traitements - répétitions - parcelles élémentaires	27 2 par traitement 2 108
Parcelle : - dimensions - surface - nombre de lignes - nombre de plants par ligne	9 m x 8 m 72 m <sup>2</sup> 9 8
Parcelle élémentaire - dimensions - surface - nombre de lignes - nombre de plants par ligne	4,5 m x 8 m 36 m <sup>2</sup> 4 8
Parcelle élémentaire utile - dimensions - surface - nombre de ligne - nombre de plants par ligne - nombre de plants observables	3 m x 6 m 18 m <sup>2</sup> 3 6 18
Surface en culture	3.888 m <sup>2</sup>
Largeurs des allées : - entre parcelles - entre blocs	1 m 1 m
Surface totale de l'essai	5.005 m <sup>2</sup>

### 2.3.1.2.4. Mise en place et entretiens de l'essai

#### - Calendrier des travaux

05/04/1990 : sarclage du terrain  
 20/04/1990 : labour à la houe avec enfouissement des végétaux (profondeur 20 à 30 cm)  
 08/05/1990 : épandage du supertriple  
 09/05/1990 : plantation des boutures  
 15/05/1990 : épandage de l'urée  
 20/05/1990 : épandage du chlorure de potassium  
 28/05/1990 : remplacement des plants manquants  
 14/06/1990 : premier sarclage  
 18/08/1990 : deuxième sarclage

#### - Plantation

Les boutures sont choisies sur une même parcelle, la plus homogène possible (Station INPT de Togodo), en n'utilisant que le tiers inférieur de tiges âgées de douze mois. Leur longueur théorique est de 20 centimètres. Elles sont plantées à l'oblique à 45° et enfoncées aux 2/3 dans le sol.

L'écartement entre les plants est 1 m x 1 m, soit une densité de 10.000 plants à l'hectare.

#### - Epandage des engrais

L'épandage des engrais se fait à la volée suivi d'un affinage du sol. Le supertriple est apporté un jour avant la plantation. L'épandage de l'urée est effectué dans la première semaine qui suit immédiatement la plantation et le chlorure de potassium, 2 semaines après la plantation. Les doses respectives des engrais utilisés sont mentionnées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Nature des engrais utilisés avec leurs doses.

Nature de l'engrais	Doses (unités/ha)	Quantités d'engrais (Kg/ha)
N1 - urée à 46%	30	65,21
N2 - urée à 46%	60	130,43
P1 - supertriple à 46%	45	97,82
P2 - supertriple à 46%	90	195,65
K1 - chlorure de potassium à 60%	45	75
K2 - chlorure de potassium à 60%	90	150

### **2.3.1.2.5. Les contrôles et observations**

#### **2.3.1.2.5.1. Contrôles avant plantation**

##### **- Niveau chimique du sol**

Toute intervention raisonnée en vue d'améliorer les facteurs naturels de la production suppose l'établissement préalable d'un diagnostic. Ainsi, pour connaître le niveau de fertilité du sol de chaque parcelle élémentaire du point de vue composition minérale, des prélèvements de sol ont été effectués et analysés au laboratoire d'analyse chimique de l'ORSTOM. Ils concernent l'horizon 2 à 20 centimètres de profondeur correspondant approximativement à la partie travaillée à la houe. Le mélange de 5 prises élémentaires réalisées sur la ligne diagonale de chaque sous parcelle constitue un échantillon représentatif de la sous parcelle.

##### **- Qualité des boutures**

En prélude au suivi d'un plant de manioc au cours du cycle cultural et à la récolte, il s'avère nécessaire de caractériser qualitativement le matériel de plantation (boutures) qui peut être source première d'une grande hétérogénéité dans le peuplement qui en sera issu (RAFFAILLAC, 1987). Ainsi sur 10 lots de 10 boutures choisies au hasard parmi les boutures à planter, les mesures suivantes ont été effectuées :

- \* longueur individuelle,
- \* nombre de noeuds de chaque bouture,
- \* poids humide de chaque lot de boutures,
- \* poids sec individuel après passage à l'étuve à 85°C pendant 48 heures.

#### **2.3.1.2.5.2. Contrôles et observations en cours de cycle**

##### **- Taux de reprise des boutures et nombre de tiges par plant**

Les mesures suivantes ont été effectuées un mois après plantation sur la totalité des sous parcelles :

- . nombre de boutures reprises
- . nombre de tiges émises par bouture.

##### **- Diagnostic foliaire**

Il permet de connaître par analyse chimique de feuilles référentielles, l'état nutritionnel de la plante vis à vis des principaux éléments apportés. Dans le cas du manioc, c'est la plus jeune feuille complètement développée qui sert de référence.

Deux mois après la plantation, on prélève sur chacun des 12 plants à l'intérieur des parcelles élémentaires, la plus jeune feuille complètement développée : seules les

feuilles non virosées sont choisies. Elles sont séchées à l'étuve à 85°C pendant 48 heures et envoyées à l'analyse chimique. Ces analyses portent sur neuf traitements : T1(0N/0P/0K), T2(30N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T4(0N/45P/0K), T7(0N/90P/0K), T10(0N/0P/45K), T14(30/45P/45K), T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K).

### **- Contrôle de croissance en cours de cycle**

Pour situer le niveau de croissance et de développement des parties aériennes en fonction des facteurs N, P et K étudiés, des contrôles ont été réalisés à 2 mois et à 6 mois. Il s'agit du comptage du nombre de cicatrices foliaires et du nombre de feuilles de la tige la plus développée de chaque plant à 2 mois des traitements T1(0N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T19(0N/0P/90K) et T21(60N/0P/90K). A 6 mois les mesures suivantes ont porté sur 18 plants observables de toutes les parcelles élémentaires :

- . le diamètre de base de toutes les tiges ( mesuré au pied à coulisse entre 5 et 10 cm du point de raccordement de la tige sur la bouture),

- . la hauteur, le nombre de cicatrices foliaires et le nombre de feuilles présentes sur la tige principale la plus développée de chaque plant,

- . le nombre de plants ayant ramifié par parcelle (la ramification étant celle issue de la floraison par transformation du méristème végétatif en méristème floral accompagnée du développement de 2 à 4 branches).

### **- Estimation de la surface foliaire**

Pour évaluer la surface foliaire (surface captrice de l'énergie lumineuse nécessaire pour la photosynthèse) en fonction des éléments étudiés, des contrôles permettant d'estimer la surface unitaire des feuilles ont été réalisés. Deux méthodes indirectes d'approche de la surface du limbe ont été utilisées.

\* méthode destructive : mesure du poids unitaire de limbe.

Les feuilles servant de contrôle de diagnostic foliaire, ont été pesées individuellement après séchage à l'étuve à 85°C pendant 48 heures.

\* méthode non destructive : mesure de la longueur du lobe médian.

Sur quatre traitements T1(0N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T19(0N/0P/90K) et T27(60N/0P/90P), on a mesuré à 2 mois la longueur du lobe médian de la plus jeune feuille complètement développée de chaque plant ne présentant pas de symptôme virale.

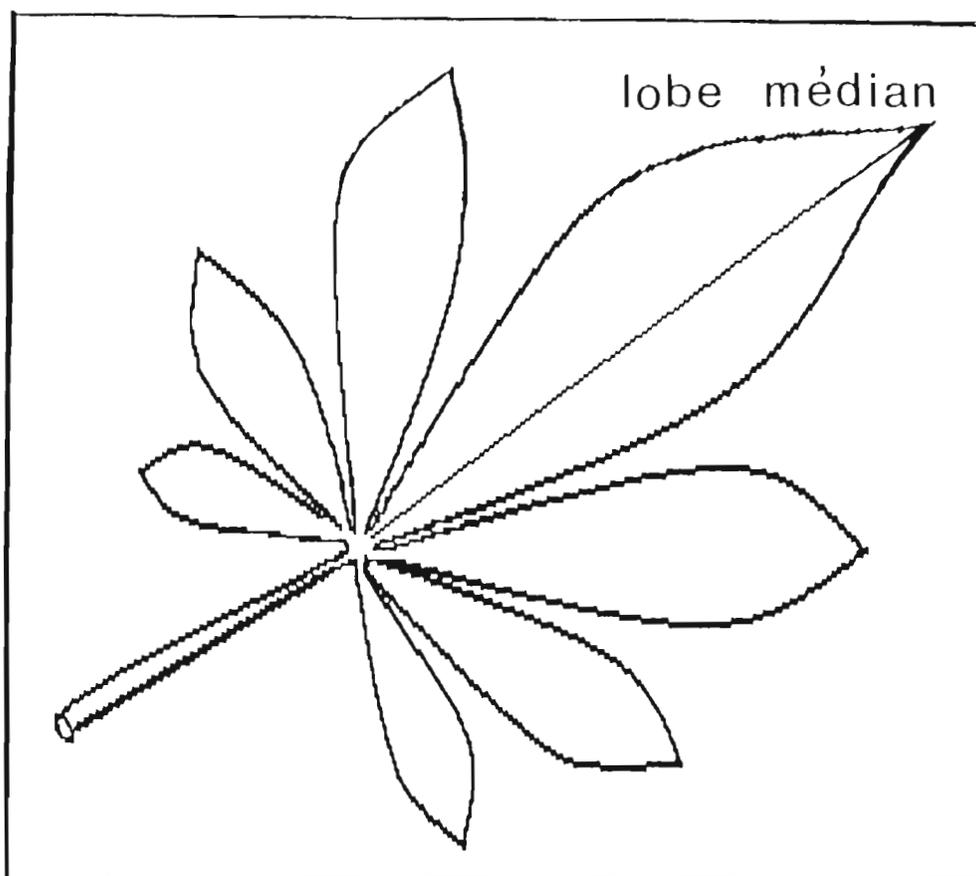


Figure 4 : une feuille de manioc montrant le lobe médian du limbe

### - Observations phytosanitaires

Les principales maladies et attaques de parasites rencontrées au cours du cycle cultural sont évaluées aux troisième, cinquième, septième et neuvième mois après plantation sur tous les traitements.

Selon la classification en vigueur à l'I.I.T.A. et à l'I.N.P.T., on distingue cinq classes de symptômes des attaques notées de 1 à 5 selon leur gravité.

#### \* Mosaïque africaine du manioc

classe 1 : pas de symptôme visible,

classe 2 : taches chlorotiques sur les folioles,

classe 3 : taches chlorotiques sur toutes les feuilles, rétrécissement des limbes, déformation du tiers inférieur de la feuille,

classe 4 : mosaïque prononcée; forte déformation des 2/3 de la feuille et réduction généralisée de la surface foliaire,

classe 5 : mosaïque prononcée; forte déformation des 4/5 de la feuille, feuilles tordues et forte réduction de la surface foliaire.

### \* Bactériose

classe 1 : pas de symptôme visible,

classe 2 : taches foliaires anguleuses; pas de flétrissement ni de brûlure foliaire, pas de gommose sur les tiges ni de die-back,

classe 3 : flétrissement important, grandes taches foliaires, brûlures des feuilles, défoliation et gommose sur les pétioles et les tiges,

classe 4 : flétrissement important; brûlure, défoliations, gommose et nécrose apicale,

classe 5 : flétrissement important, brûlures, défoliation, gommose, nécrose apicale totale, avortement des rameaux latéraux et rabougrissement marqué.

### \* Cochenille farineuse du manioc

classe 1 : pas de symptôme,

classe 2 : traces de raccourcissement des entre-noeuds sur les tiges aoûtées, pas de colonies de cochenilles,

classe 3 : raccourcissement des entre-noeuds sur les tiges non aoûtées, présence de colonies de cochenilles,

classe 4 : rabougrissement des apex avec déformation des feuilles, forte présence de cochenilles,

classe 5 : rabougrissement des apex avec déformations de feuilles, forte présence de cochenilles, arrêt végétatif dessèchement de l'apex.

### \* Acariens

classe 1 : pas de symptôme visible,

classe 2 : quelques punctuations chlorotiques sur les feuilles, présence d'acariens,

classe 3 : nombreuses punctuations sur les feuilles, légère réduction de la surface foliaire, présence d'acariens,

classe 4 : nombreuses punctuations sur les feuilles, forte réduction de la surface foliaire avec déformation, apex rabougris, présence d'acariens,

classe 5 : nombreuses punctuations sur les feuilles, réduction très forte de la surface foliaire, apex rabougris, arrêt végétatif, présence d'acariens.

### 2.3.1.2.5.3. Observations et mesures à la récolte

La récolte est faite 10 mois après plantation. Les observations portent sur 18 plants utiles de chaque parcelle élémentaire.

#### - Etat végétatif des tiges

Pour connaître l'état végétatif des plantes à la récolte et lier le développement aérien à la formation des racines tubérisées, les observations suivantes ont été effectuées sur la tige la plus développée de chaque plant :

- . hauteur de la tige,
- . diamètre de base de la tige (mesuré au pied à coulisse entre 5 et 10 cm du point de raccordement de la tige sur la bouture),
- . stade foliaire terminal (nombre de cicatrices foliaires plus nombre de feuilles présentes sur la tige)
- . nombre de ramifications successives issues de floraison par transformation du méristème végétatif en méristème floral accompagnée du développement de 2 à 4 branches,

En dehors de ces mesures portant sur la tige la plus développée, on relève le diamètre de base des autres tiges de chaque plant.

### **- Etude individuelle des plants à l'arrachage**

A la récolte, les plants sont coupés individuellement puis arrachés. On relève sur chaque plant :

- . le poids humide des tiges plus feuilles,
- . le poids humide des boutures,
- . le nombre de racines tubérisées,
- . le poids humide des racines tubérisées.

Sur chacun des quatre traitements T1(0N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K), l'étude individuelle des plants au niveau des racines tubérisées est plus poussée : sur chaque racine tubérisée, le poids humide, la longueur et le diamètre maximum ont été relevés.

### **- Teneur en matière sèche des parties aériennes et des racines tubérisées**

\* Pour la partie aérienne (tiges + feuilles + bouture), un plant représentatif de chaque traitement a été prélevé sur le terrain. Le poids humide (= poids frais) est mesuré à l'arrachage puis le poids sec après passage à l'étuve à 85°C pendant 48 heures.

\* Pour la partie souterraine, trois racines tubérisées représentatives de chaque sous parcelle sont choisies puis pesées individuellement au gramme près à l'état frais. Elles sont ensuite découpées au laboratoire en petites tranches de 1 à 3 cm d'épaisseur puis séchées à l'étuve à 85°C pendant 48 heures pour avoir le poids sec.

### **- Rendement en racines tubérisées à l'hectare - Index de récolte**

Le rendement frais à l'hectare est le produit du poids moyen d'une racine tubérisée (PM1RT) par le nombre moyen de racines tubérisées par plant (NMRT) et le nombre de plants par hectare (NP/ha) :

$$\text{Rendement frais} = (\text{PM1RT}) \times (\text{NMRT}) \times (\text{NP/ha}).$$

Le rendement sec s'obtient en multipliant le rendement frais par la teneur en matière sèche des racines tubérisées (%MSRT) :

$$\text{Rendement sec} = (\text{PM1RT}) \times (\text{NMRT}) \times (\text{NP/ha}) \times (\text{\%MSRT}).$$

L'index de récolte (I.R.) est le paramètre le plus simple pour compléter les mesures directes de production. C'est le rapport du poids sec des racines tubérisées (PSRT) sur le poids sec de la plante entière (PSTP) :  $\text{I.R.} = (\text{PSRT})/(\text{PSTP})$ . Cet indice traduit l'équilibre entre la production utile immobilisée dans les racines tubérisées et la biomasse totale (racines plus partie aérienne). Les poids secs sont obtenus par conversion des poids frais à l'aide de la teneur en matière sèche.

#### **2.3.1.2.6. Rendement en gari**

Sur chaque parcelle, 10 kg de racines tubérisées fraîches sont prélevées puis transformées en gari selon la méthode traditionnelle employée en milieu paysan. Les différentes étapes de la transformation sont : épluchage, râpage, fermentation - essorage, tamisage et cuisson.

#### **2.3.1.2.7. Traitements et analyses des données**

L'essai factoriel N/ P/ K tel qu'il a été conçu, permet d'étudier l'effet des interactions des facteurs étudiés. Dans le cadre de notre étude où il s'agit de situer les effets du facteur sol sur le manioc, cette analyse est laissée de côté au profit d'un test plus simple : celui de Newman et Keuls du logiciel STAT-ITCF. Ce dernier test permet de comparer les différents niveaux de fertilité entre eux sans prendre en compte les interactions entre N, P et K.

#### **2.3.2. Expérimentation 2 : qualité des racines tubérisées en relation avec le rendement en produit fini (gari)**

Cet essai a pour objectif d'étudier les répercussions de la qualité (mesurée par le poids et le diamètre) des racines tubérisées sur le rendement en gari. Pour ce faire, les racines fraîches ont été réparties en trois groupes selon leur poids et leur diamètre. Ces groupes sont :

- petites racines : diamètre et poids respectivement inférieurs à 40 mm et 400 grammes,
- racines moyennes : diamètre compris entre 40 mm et 60 mm, poids compris entre 401 et 800 grammes,
- grosses racines : diamètre et poids respectivement supérieurs à 60 mm et 801 grammes.

Dans chaque groupe, cinq échantillons de 10 kg chacun sont prélevés et envoyés à l'unité de transformation du manioc de l'INPT sur la station de DAVIE. Dans cette unité, certaines étapes de la transformation comme le râpage, l'essorage, l'émiettage et le tamisage sont mécanisées. A chaque étape, le produit est pesé jusqu'à l'obtention du gari.

### 2.3.3. Expérimentation 3 : qualité des boutures et reprise de croissance du manioc.

Elle fait suite à l'expérimentation 1. Elle a pour but de tester les effets de différentes qualités de boutures sur les premiers stades de croissance d'une culture de manioc. Les boutures sont prises sur les tiges de plants âgés de 10 mois de certains traitements de l'expérimentation 1.

Les tiges récoltées ont été stockées verticalement, à l'ombre, avec arrosage régulier pour prévenir leur dessèchement et ce pendant 4 semaines avant constitution des boutures pour une nouvelle plantation. Pour ce faire, quatre traitements T1(0N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T19(0N/0P/90K), T27(60N/90P/90K) ont été choisis. Le dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions a été adopté. La description des parcelles est présentée dans le tableau 9.

Tableau 9 : Caractéristiques des parcelles de l'essai qualité de boutures des tiges récoltées.

Nombre de traitements	4
Nombre de répétitions	4
Nombre de parcelles	16
Parcelle :	
dimensions	6 X 7 mètres
surface	42 m <sup>2</sup>
nombre de lignes	6
nombre de plants/ligne	7
nombre de plants observables	20

Les boutures sont prélevées sur le tiers inférieur des tiges. Leur longueur est de 20 centimètres. Elles sont plantées à l'oblique à 45° et enfoncées aux 2/3 dans le sol.

#### Les contrôles :

\* A la plantation, 5 lots de 10 boutures par traitement ont été choisies au hasard parmi les boutures à planter pour évaluer le taux de matière sèche à 85°C. Sur chacune de ces boutures, les contrôles suivants ont été faits :

- nombre de noeuds,
- poids humide,
- poids sec après passage à l'étuve à 85°C pendant 48 heures.

Ces boutures sont ensuite analysées pour déterminer les teneurs des éléments N, P, K, Ca, Mg et Na.

\* Un mois après la plantation, les observations du taux de reprise des boutures et du nombre de tiges par plant ont été effectuées.

\* Deux mois après la plantation, les plants sont arrachés et font l'objet de contrôles sur l'enracinement et la croissance des organes aériens. Sur chaque plant, on relève :

- le nombre de tiges,
- la hauteur et le stade foliaire de la tige la plus développée,
- le nombre de racines nodales,
- le nombre de racines basales,
- le nombre de racines tubérisées (à ce stade on considère toute racine dont le diamètre est supérieur à 5 mm comme racine tubérisée),
- le poids sec des racines tubérisées,
- le poids sec des boutures, des tiges, des pétioles et des limbes.

#### **2.3.4. Expérimentation 4 : répartition des assimilats au cours du cycle cultural**

Les objectifs de cette expérimentation sont :

- la connaissance de l'orientation et de la localisation des racines basales et nodales qui constituent les sites potentiels de remplissage des produits de réserve issus de la photosynthèse,

- l'étude de l'évolution de la croissance avec la répartition de la biomasse en cours de cycle afin de disposer d'une référence pour la croissance du manioc dans les conditions de sol et de climat de la station de Davié.

Pour réaliser cet essai, une parcelle de manioc (variété 312-524) a été installée en début de grande saison de pluies à DAVIE. Elle comporte 30 lignes de 20 plants chacune. Les écartements entre les plants sont de 1 m x 1 m.

Les contrôles d'enracinement ont été faits aux 30<sup>ième</sup> et 60<sup>ième</sup> jours après la plantation par réalisation de profils culturaux. Pour le suivi de l'évolution de la croissance, vingt plants ont été arrachés aux 40<sup>ième</sup>, 60<sup>ième</sup>, 70<sup>ième</sup>, 80<sup>ième</sup>, 110<sup>ième</sup>, 135<sup>ième</sup>, 150<sup>ième</sup>, 180<sup>ième</sup>, 210<sup>ième</sup> et 240<sup>ième</sup> jours après plantation. Sur chaque plant, le poids sec de chacun des compartiments de la plante (racines, boutures, tiges, pétioles et limbes) a été relevé après passage à l'étuve à 85°C.

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

### 3.1. RESULTATS ET INTERPRETATIONS : ESSAI N - P - K.

#### 3.1.1. Résultats des analyses de sol

Ils sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Résultats des analyses de sol des parcelles d'AGBOMEDJI avant les apports d'engrais minéraux de la campagne 1990 - 1991

	pH	C %	N %	C/N	M.O.	K %	P %	Ca %	Mg %	Na %	S	CEC	V(%)
T1(0/0/0)	5,78	2,42	0,17	14,25	0,42	0,05	0,11	0,41	0,11	0,07	0,64	1,75	36,57
T2(30/0/0)	5,59	2,55	0,18	14,17	0,44	0,07	0,09	0,68	0,22	0,08	1,05	1,57	66,88
T3(60/0/0)	5,25	2,52	0,18	14,00	0,43	0,05	0,11	0,32	0,14	0,07	0,58	1,6	36,25
T4(0/45/0)	5,79	2,28	0,17	13,41	0,39	0,04	0,13	0,60	0,19	0,08	0,91	1,55	58,71
T5(30/45/0)	5,58	2,90	0,23	12,61	0,50	0,06	0,14	0,59	0,21	0,07	0,93	2,12	43,87
T6(60/45/0)	5,13	2,51	0,21	11,95	0,43	0,05	0,18	0,27	0,12	0,08	0,52	1,85	28,11
T7(0/90/0)	5,89	2,89	0,22	13,14	0,50	0,05	0,20	0,95	0,29	0,08	1,37	2,07	66,18
T8(30/90/0)	5,26	2,67	0,19	14,05	0,46	0,06	0,24	0,46	0,17	0,09	0,78	2,27	34,36
T9(60/90/0)	5,14	2,08	0,16	13,00	0,36	0,05	0,24	0,32	0,12	0,08	0,57	1,80	31,67
T10(0/0/45)	6,00	2,51	0,17	14,76	0,40	0,09	0,05	0,49	0,15	0,07	0,80	1,80	44,44
T11(30/0/45)	5,72	2,97	0,22	13,50	0,51	0,11	0,09	0,60	0,17	0,08	0,96	2,37	40,51
T12(60/0/45)	5,48	2,31	0,17	13,59	0,40	0,08	0,08	0,33	0,13	0,08	0,62	1,97	31,47
T13(0/45/45)	5,75	2,61	0,18	14,50	0,45	0,08	0,13	0,54	0,17	0,07	0,86	1,87	45,99
T14(30/45/45)	5,55	2,35	0,17	13,82	0,40	0,10	0,12	0,38	0,13	0,07	0,68	2,50	27,20
T15(60/45/45)	5,39	2,71	0,20	13,55	0,47	0,10	0,12	0,37	0,13	0,07	0,67	2,72	24,63
T16(0/90/45)	5,96	2,92	0,21	13,90	0,50	0,10	0,15	0,75	0,18	0,07	1,10	3,12	35,26
T17(30/90/45)	5,86	2,65	0,21	12,62	0,46	0,10	0,14	0,54	0,15	0,07	0,86	3,05	28,20
T18(60/90/45)	5,35	2,46	0,19	12,95	0,42	0,08	0,26	0,30	0,11	0,07	0,56	3,07	18,24
T19(0/0/90)	6,38	2,51	0,17	14,76	0,43	0,11	0,09	0,49	0,15	0,06	0,81	2,55	31,76
T20(30/0/90)	6,22	2,92	0,22	13,27	0,50	0,13	0,12	0,59	0,21	0,06	0,99	2,75	36,00
T21(60/0/90)	5,58	2,64	0,20	13,20	0,46	0,12	0,16	0,27	0,12	0,07	0,58	2,55	22,75
T22(0/45/90)	6,20	2,56	0,17	15,06	0,44	0,13	0,13	0,58	0,17	0,06	0,94	2,55	36,86
T23(30/45/90)	5,82	2,73	0,19	14,37	0,47	0,13	0,15	0,48	0,14	0,07	0,82	2,87	28,57
T24(60/45/90)	5,61	2,35	0,18	13,06	0,41	0,11	0,18	0,33	0,11	0,07	0,62	2,90	21,38
T25(0/90/90)	5,78	2,76	0,20	13,80	0,48	0,10	0,28	0,56	0,13	0,06	0,85	2,92	29,11
T26(30/90/90)	5,64	2,82	0,22	12,82	0,49	0,11	0,24	0,52	0,12	0,07	0,82	2,75	29,82
T27(60/90/90)	5,77	2,55	0,21	12,77	0,46	0,13	0,19	0,47	0,13	0,07	0,80	1,95	41,03

pH : pH eau

C % : carbone organique

N % : azote total

S : somme des bases échangeables

mé : milli-équivalent

K % : potassium échangeable (mé)

Ca % : calcium échangeable (mé)

M.O. : taux de matière organique

CEC : capacité d'échange totale

P % : phosphore assimilable (méthode Olsen)

Mg % : magnésium échangeable (mé)

Na % : sodium échangeable (mé)

V (%) : taux de saturation (S/CEC)

Seules les tendances générales sont examinées dans ce rapport, l'objectif du mémoire n'étant pas une analyse détaillée de l'évolution du sol.

Le pH moyen pour tous les traitements confondus est de 5,68. On observe néanmoins des écarts jusqu'à 1,2 entre traitements. L'apport d'urée pendant plusieurs années diminue le pH et la teneur en Ca du sol : le pH est de 5,9, 5,7 et 5,4 en moyenne respectivement pour les niveaux N0, N30 et N60.

Le taux de carbone et le taux d'azote moyens pour tous les traitements confondus sont respectivement 2,59% et 0,18%. Le rapport C/N varie de 11,9 à 14,7. En ce qui concerne la matière organique du sol, les différences observées ne vont pas dans le même sens entre les sous traitements A (monoculture de maïs) et les sous traitements B (culture de maïs en grande saison et de légumineuse en petite saison); la moyenne générale est de 0,4%. La teneur du sol en azote n'est pas modifiée par la culture de légumineuse en petite saison.

Le taux de phosphore assimilable et de potassium varient en fonction de l'historique culturale des parcelles. En moyenne, le pourcentage de  $P_2O_5$  assimilable est de 0,10% sur les 9 parcelles qui ne bénéficiaient pas d'apport de phosphore, de 0,14% sur les 9 parcelles qui recevaient 45 unités de  $P_2O_5$  et de 0,21% sur les 9 autres qui en recevaient 90 unités. Pour le potassium, les teneurs sont de 0,05%, 0,09% et 0,11% respectivement sur les parcelles qui bénéficiaient de 0 unité, 45 unités et 90 unités de  $K_2O$ .

Quant aux autres éléments Na, Mg, à la somme des bases échangeables et au taux de saturation, dans une première approche, aucune tendance nette n'apparaît en fonction des apports N, P et K.

### **3.1.2. Caractéristiques des boutures à l'implantation**

La longueur moyenne réelle des boutures est de 25,0 cm au lieu de 20 cm prévue théoriquement par le protocole expérimental. Cette variation est due simplement aux erreurs de coupe des manipulateurs. Le nombre de noeuds moyen est de 13,7 par bouture. Les boutures ont une teneur moyenne en matière sèche de 49% avec un poids sec moyen de 55,2 grammes.

### **3.1.3. Taux de reprise et nombre de tiges par plant**

Le taux de reprise est en moyenne de 99,3% et le nombre de tiges par plant est de 3,8 en moyenne. L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les moyennes du taux de reprise, du nombre de tiges par plant pour les 27 traitements. Les plants manquant ont été remplacés un mois après plantation et identifiés pour être exclus des observations en cours de cycle et à la récolte.

### 3.1.4. Résultats de l'estimation de la surface foliaire

#### 3.1.4.1. Estimation de la surface foliaire par le poids sec du limbe.

La relation qui lie le poids sec individuel (P à 85°C) du limbe des feuilles servant de contrôle de diagnostic foliaire et la surface (S) du limbe de ces feuilles peut s'écrire :

$$S = 251,9 * P - 24,8 \text{ avec un coefficient de corrélation égal à } 0,97$$

(voir note technique en annexe IV).

Le tableau 11 montre que plus le sol est riche en éléments minéraux, plus la surface foliaire est grande. Deux mois après plantation, la surface d'un limbe de référence est de 120,7 cm<sup>2</sup> pour T1(0N/0P/0K) contre 218,6 cm<sup>2</sup> pour T27(60N/90P/90K), soit une augmentation de 81,1%.

Tableau 11 : Variation du poids sec et de la surface individuels des feuilles selon 9 différents niveaux de fertilité.

Traitements	Poids sec (g)	Surface foliaire en cm <sup>2</sup>
T1(0/0/0)	0,58 b	120,75 b
T2(30/0/0)	0,65 b	138,41 b
T3(60/0/0)	0,69 ab	150,24 ab
T4(0/45/0)	0,63 b	134,47 b
T7(0/90/0)	0,60 b	125,14 b
T10(0/0/45)	0,87 ab	194,32 ab
T19(0/0/90)	0,76 ab	168,18 ab
T27(60/90/90)	0,97 a	218,64 a

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour p = 0,05 : test de Newman et Keuls).

#### 3.1.4.2. Estimation de la surface (S) selon la longueur (L) du lobe médian de feuille

La relation entre les deux paramètres S et L s'écrit :

$$S = 0,82 * L^{1,93}$$

(voir note technique en annexe IV)

On constate que des apports réguliers d'azote et de potassium pendant plusieurs années successives entraînent une augmentation de la surface foliaire (figure 5). En moyenne, la surface du limbe d'une feuille de référence est de 177 cm<sup>2</sup> pour T1(0N/0P/0K) contre 224 cm<sup>2</sup> pour T21(60N/0P/90K), soit une augmentation de 26.6%.

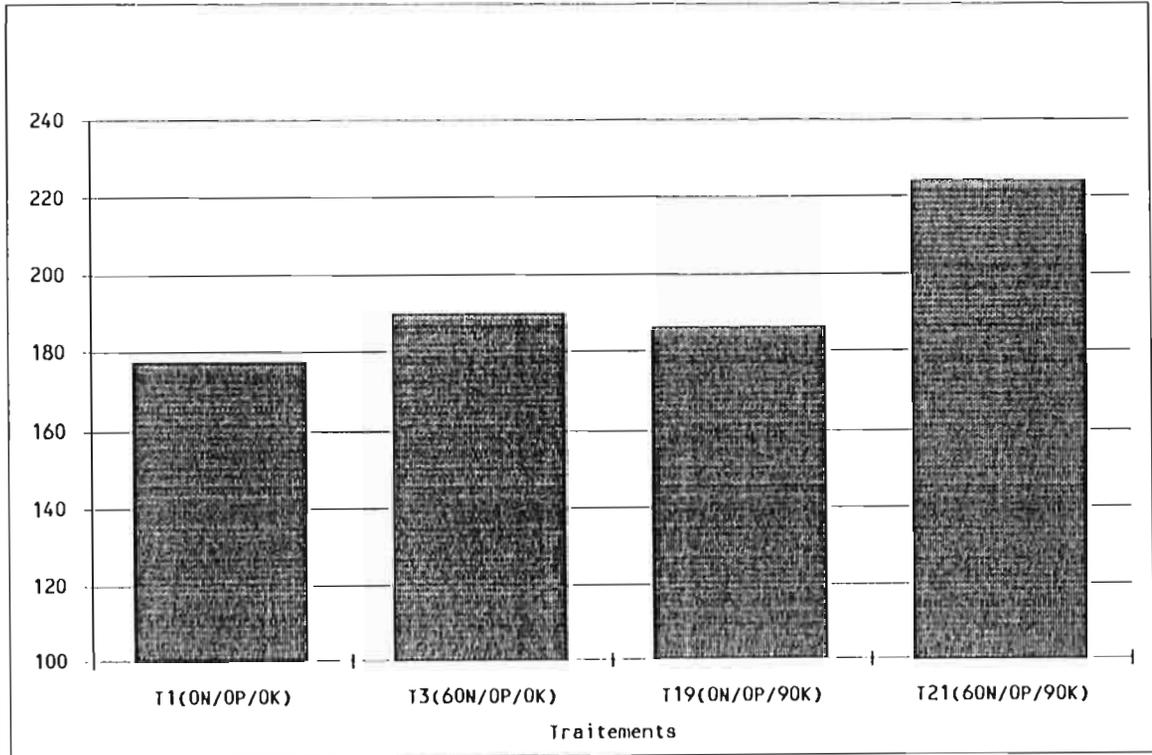


Figure 5 : histogramme montrant la surface foliaire moyenne (en cm<sup>2</sup>) en fonction de 4 traitements très différenciés

### 3.1.5. Diagnostic foliaire

Les résultats obtenus à l'issue des contrôles de nutrition minérale par diagnostic foliaire sont présentés dans le tableau 12. Aucune différence n'a été observée entre les 2 sous traitements A et B pour toutes les teneurs en éléments minéraux : les moyennes indiquées regroupent donc les valeurs individuelles.

Les teneurs en azote (N) sont plus importantes pour les parcelles qui reçoivent en plus de l'azote du phosphore et du potassium; nous avons obtenu des teneurs de 6,5% et 5,9% respectivement pour T27(60N/90P/90K) et T24(30N/45P/45K) contre 5,4% pour T3(60N/0P/0K).

L'effet du phosphore est ressenti pour les traitements T4(0N/45P/0K) et T7(0N/90P/0K) qui reçoivent respectivement 45 et 90 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> à l'hectare. L'analyse statistique réalisée pour les 9 traitements ne révèle cependant aucune différence significative entre les teneurs en phosphore des feuilles mais on ne peut rien conclure car le coefficient de variation est excessivement fort (CV = 47%).

Tableau 12 : Teneur en éléments minéraux de la plus jeune feuille complètement développée, 60 jours après plantation.

Traitements	N%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K%	Ca%	Na%
T1(0/0/0)	4,30 d	0,52 a	1,29 c	0,57 ab	0,06 a
T2(30/0/0)	4,88 cd	1,02 a	1,24 c	0,57 ab	0,07 a
T3(60/0/0)	5,39 c	0,83 a	1,28 c	0,49 b	0,05 a
T4(0/45/0)	4,83 d	1,20 a	1,18 c	0,67 a	0,05 a
T7(0/90/0)	4,90 cd	1,34 a	1,46 c	0,66 a	0,06 a
T10(0/0/45)	5,10 cd	0,99 a	1,92 b	0,64 a	0,08 a
T14(30/45/45)	5,90 b	1,21 a	2,30 a	0,67 a	0,04 a
T19(0/0/90)	5,37 c	0,62 a	2,38 a	0,64 a	0,06 a
T27(60/90/90)	6,49 a	0,84 a	2,61 a	0,63 a	0,03 a

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour p = 0,05 : test de Newman et Keuls).

En ce qui concerne le potassium, sa teneur dans les feuilles est fortement modifiée par les apports potassiques; elle est de 2,30% en moyenne pour T10(0N/0P/45K), T14(30N/45P/45K), T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K) contre 1,29% pour T1(0N/0P/0K), T2(30N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T4(0N/45P/0K) et T7(0N/90P/0K).

### 3.1.6. Croissance et développement des tiges

#### 3.1.6.1. Etude à 2 mois

Le niveau de croissance à 2 mois estimé par le stade foliaire terminal de la tige la plus développée de chaque plant des 4 traitements T1(0N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T19(0N/0P/90K) et T21(60N/0P/90K) est représenté sur la figure 6. On constate que les plants du traitement T21(60N/0P/90K) croissent plus vite que les plants des trois autres traitements : le nombre des cicatrices foliaires additionné à celui des feuilles (stade foliaire) est de 31,6 pour T21 contre 26,6 en moyenne pour les 3 autres traitements (T1, T3, T19).

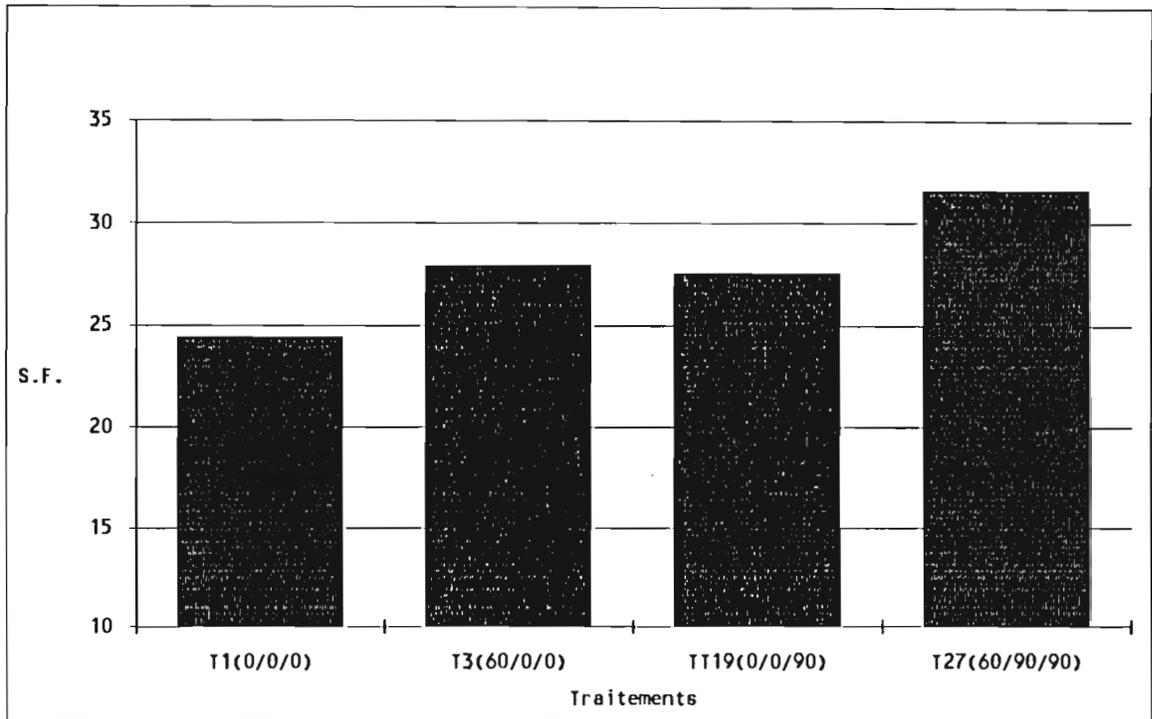


Figure 6 : Histogramme montrant le stade foliaire terminal moyen de la tige la plus développée à 2 mois de chaque plant selon 4 niveaux de fertilité

### 3.1.6.2. Etude à 6 mois

L'ensemble des mesures de croissance des parties aériennes à 6 mois montre que le niveau de fertilité influence fortement la croissance des tiges (tableau 13).

#### 3.1.6.2.1. Relation entre les paramètres de croissance mesurés

Ces relations sont représentées sur les figures 7(a, b, c).

On constate que ces paramètres sont étroitement liés entre eux. De ce fait, l'analyse d'un seul peut amplement nous renseigner sur la fluctuation des autres selon les traitements. Le meilleur pour ce faire paraît être le diamètre moyen de la tige la plus développée de chaque plant. Ce paramètre se détermine très facilement sur le terrain et présente des différences nettes selon les traitements.

Tableau 13 : Comparaison des paramètres de croissance des tiges à 6 mois

Traitements	DTPD6 (mm)	HTPD6 (cm)	S.D6M (mm)	S.F6M
T1(0/0/0)	14,65 h	89,97 g	34,37 h	67,17 f
T2(30/0/0)	15,67 fgh	95,47 fg	39,67 efgh	72,74 def
T3(60/0/0)	14,82 h	88,02 g	38,17 efgh	70,90 ef
T4(0/45/0)	15,10 h	97,30 fg	39,32 efgh	71,92 def
T5(30/45/0)	15,21 gh	90,27 g	36,40 gh	72,10 def
T6(60/45/0)	15,36 gh	87,61 g	37,05 fgh	72,37 def
T7(0/90/0)	15,52 gh	100,87 fg	36,22 gh	74,47 cdef
T8(30/90/0)	16,45 defgh	97,45 fg	43,07 bcdefgh	74,90 cdef
T9(60/90/0)	16,15 efgh	92,35 g	42,35 cdefgh	74,77 cdef
T10(0/0/45)	17,98 bcdefgh	115,27 def	44,95 abcdefgh	75,62 cdef
T11(30/0/45)	19,39 abcde	126,02 bcde	49,62 abcdefgh	84,18 abcde
T12(60/0/45)	22,42 a	136,85 bcd	59,22 abc	88,42 abc
T13(0/45/45)	19,17 abcdef	127,70 bcde	51,27 abcdefgh	83,00 abcde
T14(30/45/45)	19,6 abcde	131,57 bcd	57,60 abcd	83,25 abcde
T15(60/45/45)	21,15 ab	144,40 abc	60,62 ab	92,30 ab
T16(0/90/45)	19,27 abcdef	127,80 bcde	47,67 abcdefgh	86,20 abcd
T17(30/90/45)	21,35 ab	139,55 abcd	51,60 abcdefgh	89,65 ab
T18(60/90/45)	20,40 abc	133,97 bcd	52,15 abcdefgh	83,90 abcde
T19(0/0/90)	18,72 abcdefg	126,17 bcde	42,75 bcdefgh	82,07 abcde
T20(30/0/90)	19,20 abcdef	128,22 bcde	47,52 abcdefgh	82,12 abcde
T21(60/0/90)	21,65 ab	145,92 abc	54,57 abcdef	91,22 ab
T22(0/45/90)	18,70 abcdefg	125,48 cde	47,75 abcdefgh	81,81 abcde
T23(30/45/90)	21,61 ab	145,31 abc	55,47 abcde	91,59 ab
T24(60/45/90)	22,20 a	152,12 ab	59,55 abc	90,50ab
T25(0/90/90)	19,97 abcd	131,6 bcd	53,87 abcdefg	85,02 abcde
T26(30/90/90)	20,87 ab	142,75 abc	57,95 abcd	88,70 abc
T27(60/90/90)	22,50 a	160,40 a	62,82 a	94,95 a

DTPD6 = diamètre de la tige la plus développée à 6 mois

HTPD6 = hauteur de la tige la plus développée à 6 mois

S.D6M = somme des diamètres des tiges de chaque plant

S.F6M = stade foliaire de la tige la plus développée à 6 mois

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)

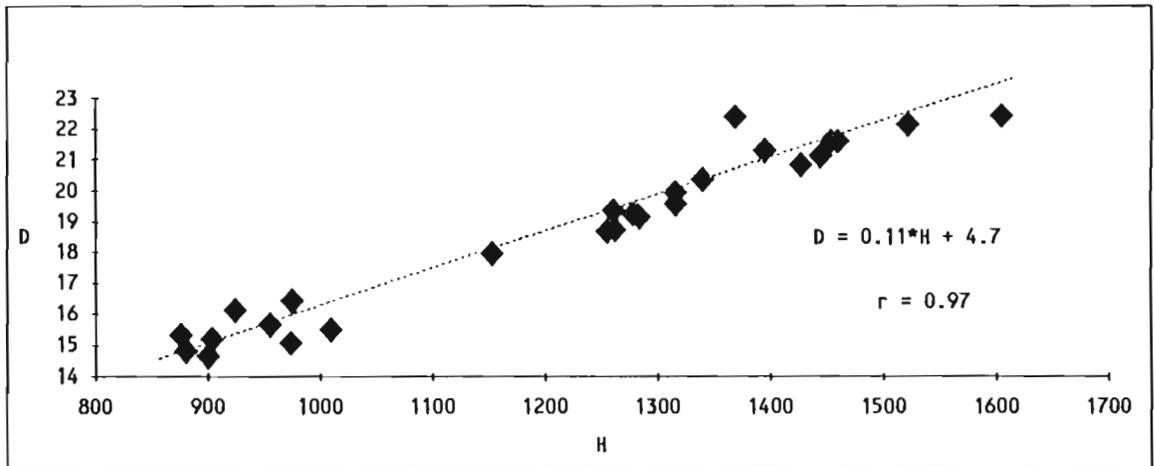


Figure 7a : Corrélation entre le diamètre  $D$  (en mm) et la hauteur  $H$  (en mm) de la tige la plus développée de chaque plant à 6 mois

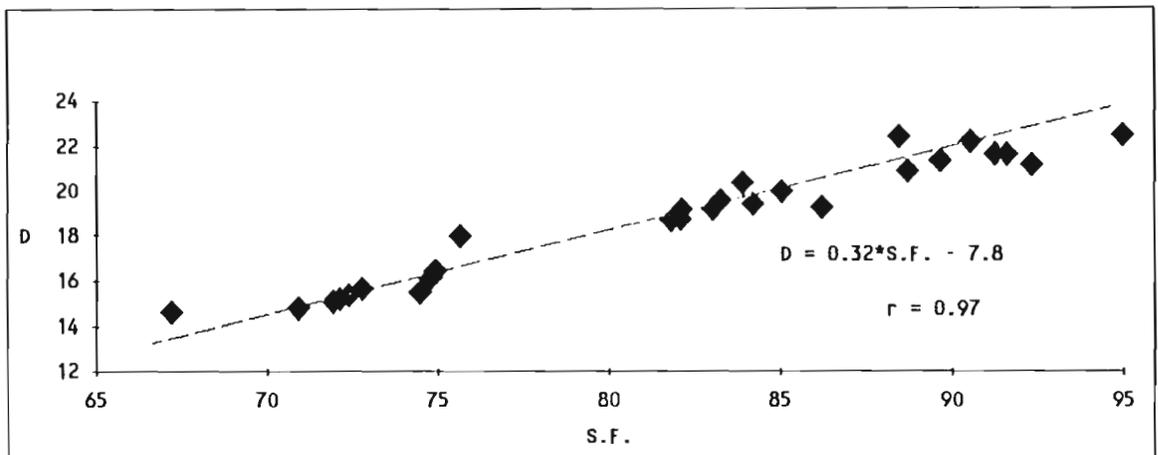


Figure 7b : Corrélation entre le diamètre  $D$  (en mm) et le stade foliaire  $S.F.$  de la tige la plus développée de chaque plant à 6 mois

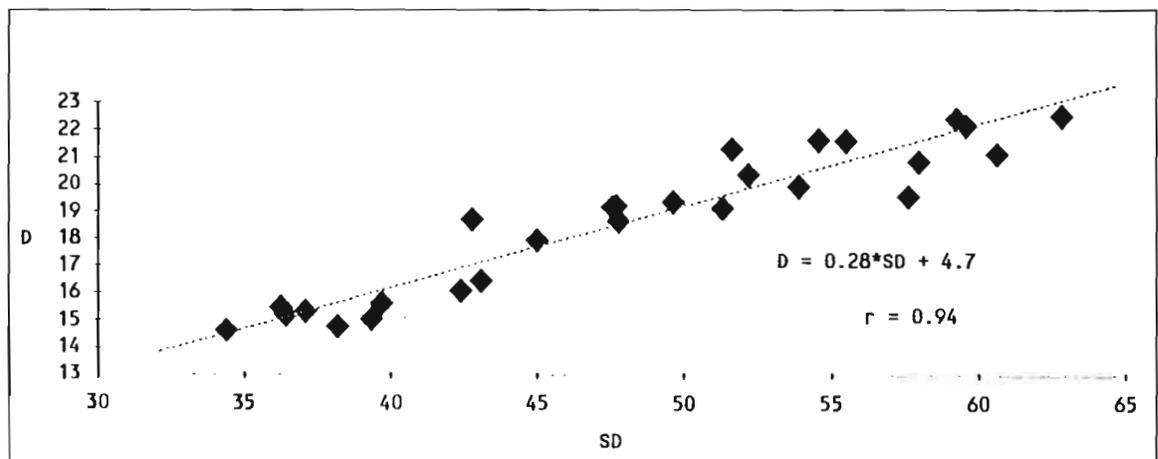


Figure 7c : Corrélation entre le diamètre  $D$  (en mm) de la tige la plus développée et la somme des diamètres  $SD$  de toutes les tiges (en mm) de chaque plant

### 3.1.6.2.2. Croissance des plants en fonction du niveau de fertilité du sol : variation du diamètre maximum de la tige la plus développée du plant.

Un regroupement du diamètre maximum moyen des tiges en fonction de la fertilité est représenté par le tableau 14.

**Tableau 14** : Regroupement des traitements en fonction du diamètre maximum moyen des tiges à 6 mois de végétation

CLASSE 1		CLASSE 2		CLASSE 3	
Traitements	DTPD (mm)	Traitements	DTPD (mm)	Traitements	DTD (mm)
T1(0/0/0)	14,6	T10(0/0/45)	17,9	T18(60/90/45)	20,4
T3(60/0/0)	14,8	T22(0/45/90)	18,7	T26(30/90/90)	20,8
T4(0/45/0)	15,1	T19(0/0/90)	18,7	T15(60/45/45)	21,1
T5(30/45/0)	15,2	T13(0/45/45)	19,2	T17(30/90/45)	21,3
T6(60/45/0)	15,3	T20(30/0/90)	19,2	T23(30/45/90)	21,6
T7(0/90/0)	15,5	T16(0/90/45)	19,3	T21(60/0/90)	21,6
T2(30/0/0)	15,6	T11(30/0/45)	19,4	T24(60/45/90)	22,2
T9(60/90/0)	16,1	T14(30/45/45)	19,6	T12(60/0/45)	22,4
T8(30/90/0)	16,4	T25(0/90/90)	19,9	T27(60/90/90)	22,5
Moyenne	15,4	Moyenne	19,1	Moyenne	21,5

DTPD : moyenne du diamètre de la tige la plus développée de chaque plant

Les faibles diamètres de tiges correspondent aux traitements ne recevant pas de potassium; la combinaison de N, K et/ou de P assure une meilleure croissance des tiges aussi bien en épaisseur qu'en hauteur.

### 3.1.6.2.3. Etude de la floraison à 6 mois

La figure 8 présente le pourcentage de tiges ayant fleuri à 6 mois en fonction du niveau de fertilité. Seules les tiges de T27(60N/90P/90K) n'ont pas fleuri. Sur les autres traitements, nous avons observé des floraisons mais le pourcentage de plants ayant fleuri une fois varie en fonction du niveau de croissance des tiges; plus les tiges sont développées, moins elles fleurissent.

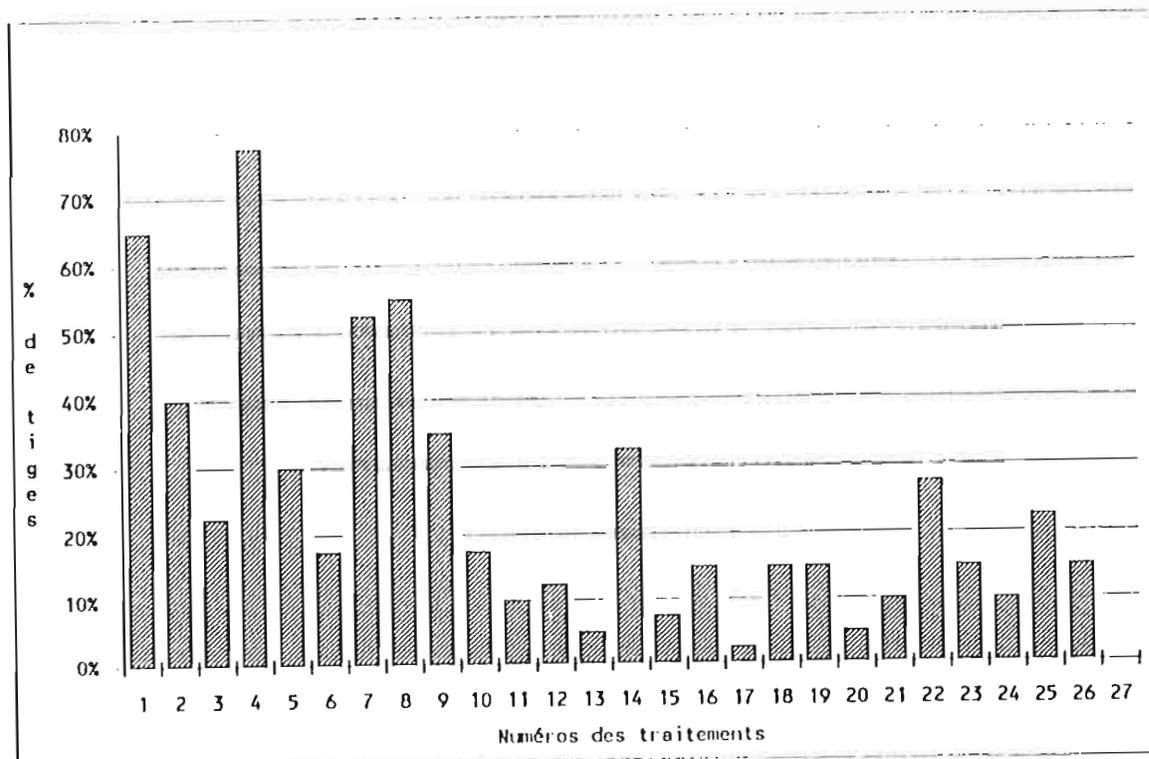


Figure 8 : Pourcentage de tiges ayant ramifié par floraison 6 mois après plantation en fonction de différents niveaux de fertilité

### 3.1.7. Maladies et parasites

Les résultats de l'ensemble des observations phytosanitaires sont regroupés dans le tableau 15.

#### 3.1.7.1. Mosaïque africaine du manioc (M.A.M.)

L'intensité moyenne de la mosaïque africaine du manioc diminue au cours du cycle : la note moyenne générale passe de 2,6 (3 mois) à 2,0 (6 mois) puis à 1,4 (7 et 9 mois). Les différences observées entre traitements restent faibles pour chacune des 4 périodes. La note moyenne à 3 mois est de 2,4 et 2,7 respectivement pour les classes 1 et 2 (croissance faible) et la classe 3 qui regroupe les traitements à croissance plus forte. A 5 mois, cette note est passée à 2,1 pour la classe 1 et 1,8 pour les classes 2 et 3.

#### 3.1.7.2. Bactériose

Au cours de tout le cycle cultural, les symptômes de la bactériose n'ont pas été décelés.

### 3.1.7.3. Attaques de cochenilles

Des symptômes d'attaques de cochenilles ont été observés à partir du 7<sup>ième</sup> mois. A ce stade, les notes d'attaques sont statistiquement identiques pour tous les traitements (tableau 15). A 9 mois, elles varient en fonction du niveau de fertilité mais ces variations sont difficilement interprétables car très hétérogènes.

Tableau 15 : Intensité des maladies et d'attaques de parasites observées en cours de cycle

	MOS.3	MOS.5	MOS.7	MOS.9	COC.7	COC.9	ACA.3	ACA.5	ACA.7	ACA.
T1	2,36 a	2,06 ab	1,26 a	1,37 bcd	1,32 a	2,81 abc	2,20 a	1,57 abcd	1,23 ab	1,38 bc
T2	2,46 a	2,12 ab	1,56 a	1,41 abcd	1,77 a	2,31 abc	2,33 a	1,58 abcd	1,60 ab	1,46 abc
T3	3,03 a	2,06 ab	1,38 a	1,41 abcd	1,53 a	1,96 abc	2,12 a	1,50 abcdef	1,28 ab	1,40 bc
T4	2,31 a	2,33 a	1,37 a	1,53 abcd	1,66 a	2,77 abc	2,18 a	1,87 a	1,50 ab	1,51 abc
T5	2,51 a	2,07 ab	1,30 a	1,32 bcd	1,15 a	1,56 bc	2,51 a	1,81 ab	1,35 ab	1,35 bc
T6	2,50 a	2,13 ab	1,47 a	1,73 ab	2,63 a	3,75 a	2,33 a	1,65 abc	1,32 ab	1,61 ab
T7	2,37 a	2,22 ab	1,32 a	1,11 d	1,01 a	1,32 c	2,22 a	1,65 abc	1,33 ab	1,20 c
T8	2,47 a	2,17 ab	1,55 a	1,41 abcd	2,30 a	3,29 abc	2,15 a	1,63 abc	1,48 ab	1,55 abc
T9	2,51 a	2,15 ab	1,78 a	1,46 abcd	2,61 a	3,08 abc	2,36 a	1,67 abc	1,76 ab	1,52 abc
T10	2,33 a	1,72 b	1,33 a	1,18 cd	1,49 a	1,68 bc	2,06 a	1,32 cdef	1,27 ab	1,20 c
T11	2,48 a	1,96 ab	1,28 a	1,91 a	1,80 a	2,30 abc	2,35 a	1,48 abcdef	1,26 ab	1,76 a
T12	2,67 a	2,00 ab	1,38 a	1,36 bcd	2,31 a	2,17 abc	2,13 a	1,27 cdef	1,57 ab	1,37 bc
T13	2,67 a	2,03 ab	1,21 a	1,43 abcd	1,38 a	1,78 bc	2,18 a	1,45 bcdef	1,08 b	1,41 bc
T14	2,58 a	1,97 ab	1,40 a	1,25 bcd	2,30 a	2,55 abc	2,21 a	1,25 cdef	1,42 ab	1,45 abc
T15	3,00 a	2,17 ab	1,58 a	1,52 abcd	1,43 a	1,46 bc	2,33 a	1,41 bcdef	1,43 ab	1,46 abc
T16	2,45 a	1,91 ab	1,47 a	1,52 abcd	1,93 a	2,05 abc	2,16 a	1,23 cdef	1,46 ab	1,42 abc
T17	2,82 a	1,98 ab	1,25 a	1,47 abcd	1,26 a	1,51 bc	2,05 a	1,33 cdef	1,18 ab	1,38 bc
T18	3,03 a	2,07 ab	1,82 a	1,71 abc	3,35 a	3,36 ab	2,23 a	1,18 def	1,87 a	1,62 ab
T19	2,60 a	2,05 ab	1,41 a	1,40 bcd	1,56 a	1,82 bc	2,22 a	1,33 cdef	1,37 ab	1,30 bc
T20	2,50 a	1,98 ab	1,25 a	1,38 bcd	1,07 a	1,37 bc	2,32 a	1,55 abcde	1,27 ab	1,42 abc
T21	2,87 a	1,95 ab	1,54 a	1,38 bcd	1,92 a	2,40 abc	2,22 a	1,07 f	1,42 ab	1,42 abc
T22	2,35 a	1,77 ab	1,25 a	1,33 bcd	1,40 a	2,12 abc	2,06 a	1,32 cdef	1,23 ab	1,40 bc
T23	2,56 a	2,07 ab	1,65 a	1,50 abcd	2,35 a	2,48 abc	2,17 a	1,33 cdef	1,55 ab	1,63 ab
T24	2,97 a	2,16 ab	1,47 a	1,42 abcd	2,43 a	2,46 abc	2,15 a	1,31 cdef	1,57 ab	1,42 abc
T25	2,68 a	2,06 ab	1,71 a	1,37 bcd	2,80 a	3,00 abc	2,25 a	1,26 cdef	1,75 ab	1,56 ab
T26	2,80 a	2,13 ab	1,50 a	1,53 abcd	2,21 a	2,31 abc	2,27 a	1,33 cdef	1,50 ab	1,51 abc
T27	2,71 a	1,75 b	1,20 a	1,45 abcd	1,25 a	1,42 bc	2,11 a	1,11 ef	1,13 b	1,42 abc

MOS.x = note d'intensité de mosaïque à x mois

COC.x = note d'intensité des attaques de cochenilles à x mois

ACA.x = note d'intensité des attaques d'acaréens à x mois

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)

### **3.1.7.4. Attaques d'acariens**

A 3 mois, la note moyenne est de 2,2; aucune différence n'a été observée entre les traitements (tableau 15). L'intensité des attaques diminue en cours de cycle; en moyenne, elle passe de 2,2 (3 mois) à 1,4 (5, 7 et 9 mois). Les attaques observées à 5 mois sont en corrélation négative avec la croissance des tiges à 6 mois (le coefficient de corrélation est de - 0,79) : plus les plants sont développés, moins ils sont attaqués.

### **3.1.8. Résultats des observations et mesures faites à la récolte**

#### **3.1.8.1. Parties aériennes**

##### **3.1.8.1.1. Etat végétatif des tiges 7 jours avant la récolte.**

La récolte a été effectuée 10 mois après la plantation. Le tableau 16 regroupe l'ensemble des résultats des mesures réalisées sur la partie aérienne des plants : diamètre, hauteur et stade foliaire terminal de la tige la plus développée de chaque plant et somme des diamètres des tiges de chaque plant.

Il existe des relations étroites entre ces différents paramètres (figures 9a, 9b, 9c). Pour comparer les différents niveaux de fertilité entre eux en ce qui concerne la croissance des tiges, nous ne retiendrons que le diamètre de la tige la plus développée de chaque plant. Les écarts de croissance des tiges observés à la récolte sont conformes à ceux qui ont été dégagés 6 mois après la plantation; le diamètre des tiges à 6 mois est bien en corrélation étroite avec celui mesuré à la récolte : le coefficient de corrélation est de 0,96 (figure 10).

Tableau 16 : Comparaison de l'état végétatif des tiges à la récolte en fonction des différents niveaux de fertilité

Traitements	DTPDR (mm)	HTPDR (cm)	S.DR (mm)	S.F.R	N.N.R	N.FER
T1(0/0/0)	19,23 def	149,47 fghi	61,19 efg	120,29 e	100,56 ef	19,72 abc
T2(30/0/0)	19,19 def	150,62 efghi	67,26 defg	128,02 bcde	107,64 bcdef	20,37 abc
T3(60/0/0)	18,15 f	143,25 ghi	60,19 fg	121,39 de	102,18 def	19,20 abc
T4(0/45/0)	18,39 f	149,50 fghi	58,59 g	122,35 de	100,04 f	22,31 abc
T5(30/45/0)	18,50 f	130,02 i	63,40 defg	120,31 e	100,58 ef	19,10 abc
T6(60/45/0)	18,43 f	128,47 i	64,32 defg	118,16 e	101,89 def	16,27 c
T7(0/90/0)	19,45 cdef	161,43 defghi	66,70 defg	124,66 cde	104,33 cdef	20,33 abc
T8(30/90/0)	19,21 def	142,70 ghi	63,06 defg	119,06 e	102,43 def	16,62 bc
T9(60/90/0)	18,82 ef	133,72 hi	69,07 defg	117,95 e	100,79 ef	17,16 bc
T10(0/0/45)	19,69 cdef	167,93 bcdefgh	73,50 cdefg	133,37 bcde	110,47 abcdef	22,89 abc
T11(30/0/45)	21,67 abcdef	187,14 abcdef	84,30 bcdef	147,98 abcd	119,68 abcdef	28,30 abc
T12(60/0/45)	22,53 abcd	199,75 abcd	87,86 bcd	153,10 ab	126,18 abcd	26,91 abc
T13(0/45/45)	20,86 abcdef	179,16 bcdefg	83,22 cdefg	139,70 abcde	114,39 abcdef	25,31 abc
T14(30/45/45)	21,75 abcdef	190,12 abcde	88,30 bcd	152,37 ab	124,08 abcdef	28,29 abc
T15(60/45/45)	23,31 abc	204,89 abc	104,84 ab	154,35 ab	126,62 abcd	27,72 abc
T16(0/90/45)	21,01 abcdefg	183,58 abcdef	68,84 defg	146,93 abcd	119,29 abcdef	27,64 abc
T17(30/90/45)	22,64 abcd	198,10 abcd	76,24 cdefg	154,12 ab	124,16 abcdef	29,95 a
T18(60/90/45)	22,09 abcde	183,62 abcdef	84,34 bcdef	147,91 abcd	124,22 abcdef	23,68 abc
T19(0/0/90)	21,58 abcdef	185,50 abcdef	75,14 cdefg	144,56 abcde	118,54 abcdef	26,02 abc
T20(30/0/90)	21,35 abcdef	186,92 abcdef	74,90 cdefg	140,02 abcde	112,60 abcdef	27,41 abc
T21(60/0/90)	23,71 ab	201,50 abcd	81,34 cdefg	153,12 ab	125,04 abcde	28,08 abc
T22(0/45/90)	21,44 abcdef	183,79 abcdef	81,80 cdefg	143,95 abcde	116,75 abcdef	27,20 abc
T23(30/45/90)	23,50 ab	203,90 abc	81,03 cdefg	155,94 ab	129,61 ab	26,32 abc
T24(60/45/90)	23,43 ab	208,18 ab	109,44 a	154,06 ab	125,31 abcde	28,75 ab
T25(0/90/90)	22,04 abcde	185,95 abcdef	78,58 cdefg	150,22 abc	127,62 abc	22,60 abc
T26(30/90/90)	22,38 abcde	200,79 abcd	86,34 bcde	154,41 ab	126,22 abcd	28,18 abc
T27(60/90/90)	24,22 a	223,71 a	96,92 abc	163,62 a	133,79 a	29,83 a

DTPDR = diamètre de la tige la plus développée à la récolte

HTPDR = hauteur de la tige la plus développée à la récolte

S.DR = somme des diamètres des tiges de chaque plant à la récolte

S.F.R = stade foliaire de la tige la plus développée à la récolte

N.N.R = nombre de noeuds de la tige la plus développée de chaque plant à la récolte

N.FER = nombre de feuilles présentes sur la tige la plus développée de chaque plant à la récolte

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)

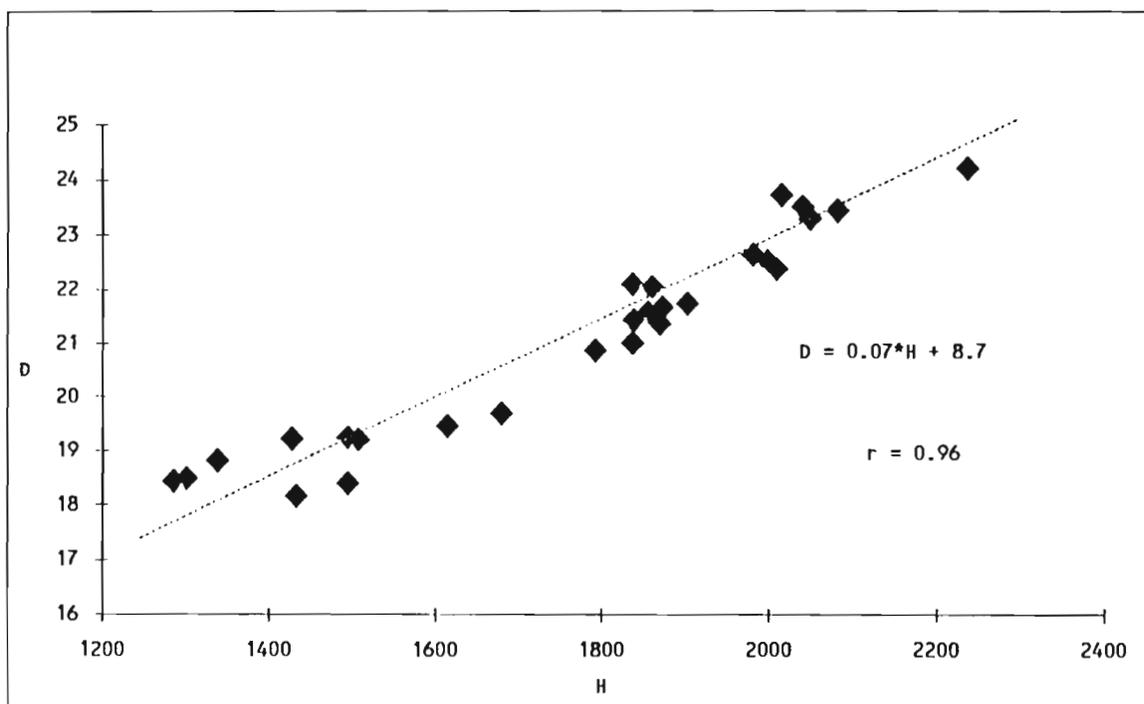


Figure 9a : Corrélation entre le diamètre D (en mm) et la hauteur H (en mm) de la tige la plus développée de chaque plant à la récolte

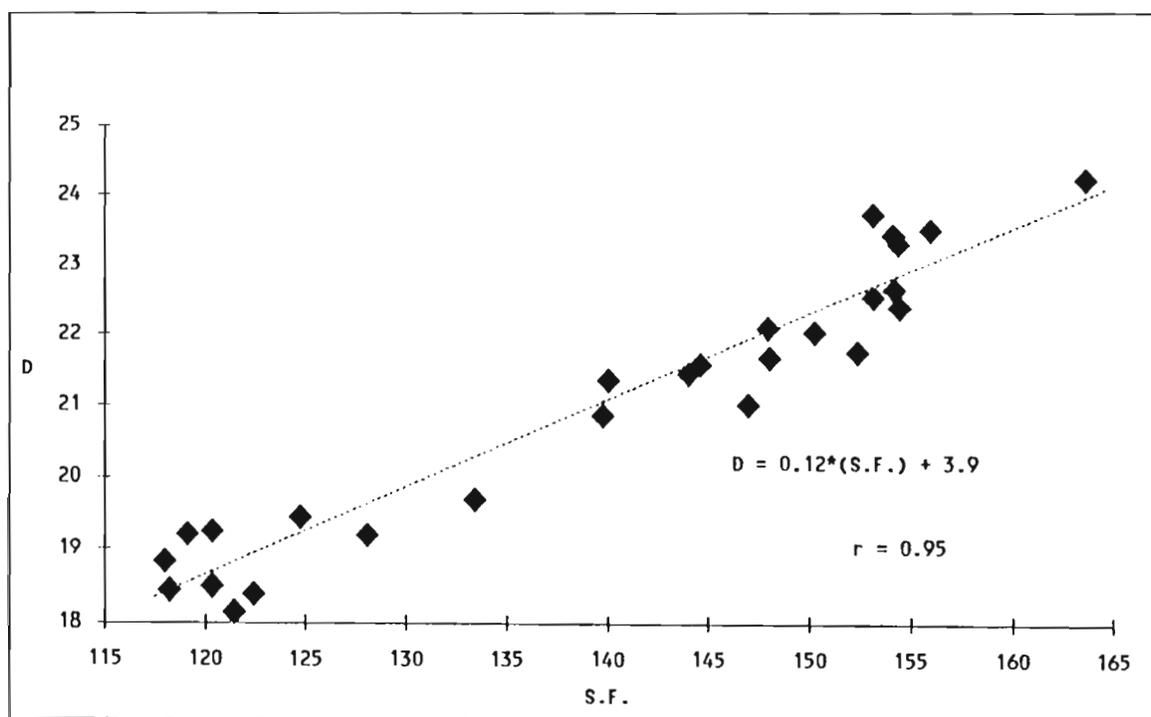


Figure 9b : Corrélation entre le diamètre D (en mm) et le stade foliaire (S.F.) de la tige la plus développée de chaque plant à la récolte

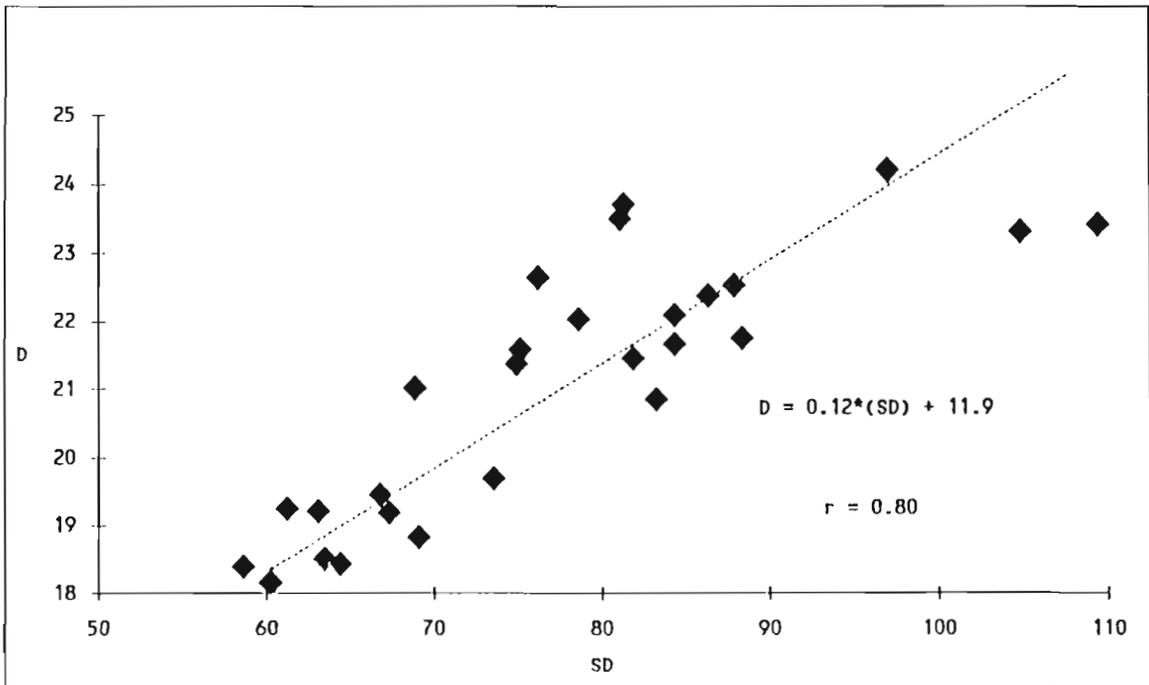


Figure 9c : Corrélation entre le diamètre  $D$  (en mm) de la tige la plus développée et la somme des diamètres  $SD$  (en mm) de toutes les tiges de chaque plant à la récolte

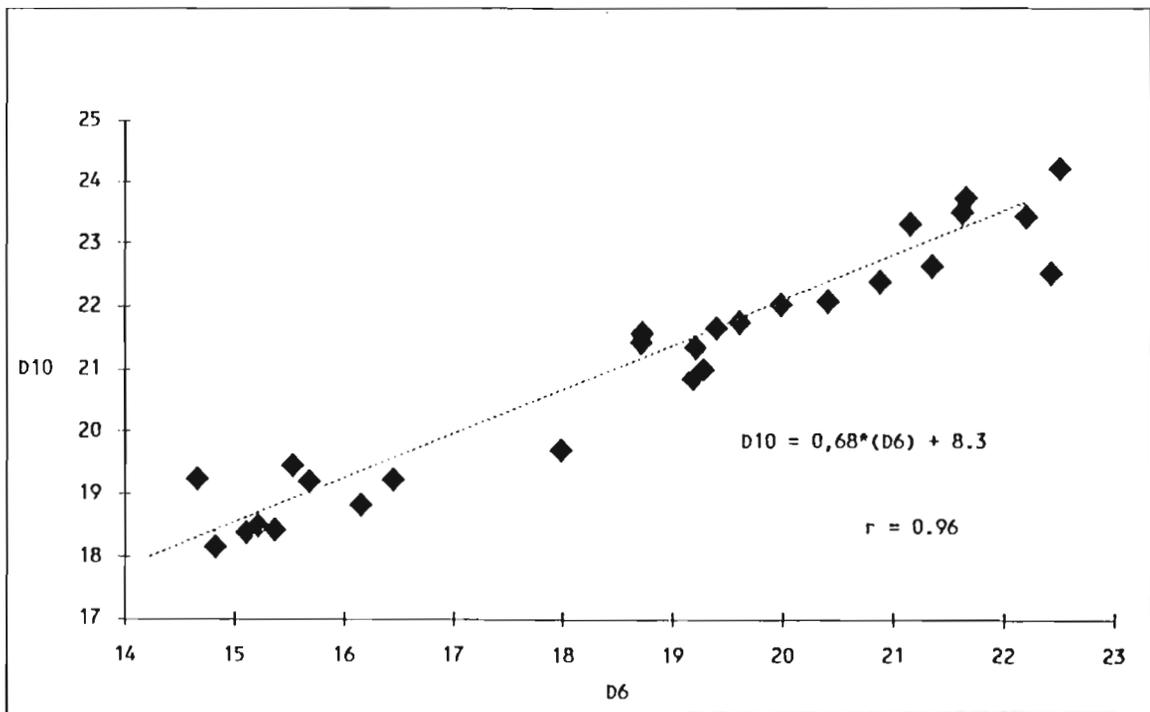


Figure 10 : Corrélation entre les diamètres (en mm) de la tige la plus développée de chaque plant à 6 mois ( $D6$ ) et à la récolte ( $D10$ )

Trois groupes de niveaux de croissance des tiges peuvent être établis en fonction de la fertilité du sol (tableau 17). L'écart moyen entre les classes 1 et 3 est de 4,3 mm. Les combinaisons de N, K et/ou P assurent une meilleure croissance des tiges.

Tableau 17 : Regroupement des niveaux de croissance des tiges à la récolte en fonction de la fertilité du sol

CLASSE 1		CLASSE 2		CLASSE 3	
Traitements	DTPD	Traitements	DTPD	Traitements	DTPD
T3(60/0/0/)	18,2	T10(0/0/45)	19,7	T18(60/90/45)	22,1
T4(0/45/0)	18,4	T13(0/45/45)	20,8	T26(30/90/90)	22,4
T6(60/45/0)	18,4	T16(0/90/45)	21,0	T12(60/0/45)	22,5
T5(30/45/0)	18,5	T20(30/0/90)	21,3	T17(30/90/45)	22,6
T9(60/90/0)	18,8	T22(0/45/90)	21,4	T15(60/45/45)	23,3
T2(30/0/0)	19,2	T19(0/0/90)	21,5	T24(60/45/90)	23,4
T8(30/90/0)	19,2	T11(30/0/45)	21,6	T23(30/45/90)	23,5
T1(0/0/0)	19,2	T14(30/45/45)	21,7	T21(60/0/90)	23,7
T7(0/90/0)	19,4	T25(0/90/90)	22,0	T27(60/90/90)	24,2
Moyenne	18,8	Moyenne	21,2	Moyenne	23,1

DTPD: diamètre de la tige la plus développée de chaque plant en mm

Le diamètre maximum de chaque plant pris comme paramètre de référence de la croissance des tiges est étroitement lié au nombre de feuilles présentes sur la tige la plus développée à la récolte (le coefficient de corrélation est égal à 0,84).

Le taux de défoliation ( $T_{\text{déf.}}$  = Nombre de cicatrices foliaires/Stade foliaire) est le même quel que soit le traitement : il est en moyenne de 82,2% tous traitements confondus. Les tiges se comportent de la même façon en ce qui concerne la chute des feuilles au stade récolte.

#### . Etude de la floraison des tiges à la récolte.

On retrouve la même tendance que celle observée à 6 mois : plus la croissance des tiges est faible, plus celles-ci fleurissent en cours de cycle. La photo 10 illustre les différences provoquées par les différents traitements dans le développement des parties aériennes. Le coefficient de corrélation entre le diamètre maximum des plants et le nombre de floraison par tige est  $r = - 0,83$ . Conformément aux classes de croissance des tiges établies (tableau 17), on remarque que les tiges des classes 2 et 3 fleurissent à peine une fois au cours du cycle tandis que pour la classe 1, on enregistre en moyenne 2 floraisons (voir tableau 18).

Tableau 18 : Nombre moyen de floraison par plant et pourcentage de tiges ayant fleuri au cours du cycle en fonction des classes de croissance.

Classe de croissance des tiges (D : diamètre)	Nombre moyen de floraisons au cours du cycle	Pourcentage de tiges ayant fleuri
CLASSE 1 : 18 mm < D < 19,4 mm	2,1	95,8
CLASSE 2 : 19,7 mm < D < 22 mm	1,0	65,4
CLASSE 3 : D > 22 mm	0,7	59,9

### 3.1.8.1.2. Poids des parties aériennes (boutures, tiges, feuilles)

Le taux de matière sèche à 85°C dans la partie aérienne des plants est de 33,3% en moyenne tous traitements confondus. Le tableau 19 regroupe l'ensemble des résultats des pesées des parties aériennes à la récolte.

On remarque d'une façon quasi-générale qu'à dose fixe de P et K, la quantité de matière sèche fabriquée augmente avec l'accroissement de la dose d'azote (tableau 20). L'augmentation de la quantité de matière sèche est faible entre les traitements T25(0N/90P/90K), T26(30N/90P/90K) et T27(60N/90P/90K); le taux d'accroissement est de 6% entre les 2 premiers et 19% entre T25 et T27 contre 64% entre T10(0N/0P/45K) et T12(60N/0P/45K). On peut conclure qu'à dose élevée de K, une augmentation de la dose de N n'entraîne pas une fabrication élevée de matière sèche dans les parties aériennes.

Une très bonne corrélation existe entre le diamètre maximum pris comme référence de la croissance des tiges et le poids sec des parties aériennes (le coefficient de corrélation est égal à 0,93).

Tableau 19 : Caractéristiques des parties aériennes à la récolte

Traitements	PFBOU, g	PFAER, g	PSAER, g
T1(0/0/0)	181,45 f	1052,08 j	407,55 k
T2(30/0/0)	209,37 ef	1272,70 ghij	492,04 hijk
T3(60/0/0)	181,52 f	1504,56 efghij	575,33 fghijk
T4(0/45/0)	205,62 ef	1093,95 ij	425,40 jk
T5(30/45/0)	201,29 ef	1192,66 hij	435,74 ijk
T6(60/45/0)	199,16 ef	1196,25 hij	462,70 ijk
T7(0/90/0)	208,33 ef	1173,83 hij	455,27 ijk
T8(30/90/0)	203,47 ef	1278,20 ghij	493,51 hijk
T9(60/90/0)	208,12 ef	1219,25 hij	472,10 ijk
T10(0/0/45)	233,33 cdef	1546,66 efghij	595,92 fghijk
T11(30/0/45)	267,91 abcde	1818,12 cdefgh	699,90 cdefghi
T12(60/0/45)	315,62 ab	2554,58 a	977,57 a
T13(0/45/45)	248,54 bcdef	1749,16 cdefghi	672,47 defghij
T14(30/45/45)	290,41 abcd	1958,75 abcdef	754,21 abcdefg
T15(60/45/45)	293,95 abcd	2284,62 abcd	875,38 abcde
T16(0/90/45)	246,45 bcdef	1714,29 defghi	659,34 efghij
T17(30/90/45)	263,95 abcde	1892,70 bcdefg	727,18 bcdefgh
T18(60/90/45)	286,04 abcd	2218,12 abcd	849,96 abcde
T19(0/0/90)	226,43 def	1789,00 cdefgh	692,61 defghi
T20(30/0/90)	268,47 abcde	1737,83 defghi	669,83 defghij
T21(60/0/90)	296,25 abcd	2408,95 abc	921,71 abcd
T22(0/45/90)	267,05 abcde	1761,47 cdefghi	677,77 defghij
T23(30/45/90)	278,06 abcd	2379,31 abcd	908,37 abcde
T24(60/45/90)	320,20 a	2455,83 ab	941,39 abc
T25(0/90/90)	292,29 abcd	2090,83 abcde	803,37 abcdef
T26(30/90/90)	300,08 abc	2238,79 abcd	858,98 abcde
T27(60/90/90)	277,06 abcd	2495,47 ab	951,94 ab

PFBOU = poids frais de bouture

PFAER = poids frais des tiges + feuilles

PSAER = poids sec des tiges + feuilles + boutures

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)

Tableau 20 : Accroissement de la quantité de matière sèche produite dans les parties aériennes avec l'augmentation de la dose d'azote

Traitements	PS.AE., g	Gain, %	Traitements	PS.AE., g	Gain, %
T1(0/0/0)	407,5	-	T16(0/90/45)	659,3	-
T2(30/0/0)	492,0	20	T17(30/90/45)	727,1	10
T3(60/0/0)	575,3	41	T18(60/90/45)	849,9	29
T10(0/0/45)	595,9	-	T22(0/45/90)	677,7	-
T11(30/0/45)	699,9	17	T23(30/45/90)	908,3	34
T12(60/0/45)	977,5	64	T24(60/45/90)	941,3	39
T13(0/45/45)	672,4	-	T25(0/90/90)	803,3	-
T14(30/45/45)	754,2	12	T26(30/90/90)	858,9	6
T15(60/45/45)	875,2	30	T27(60/90/90)	951,9	19

PS.AR. : poids sec des organes aériens (boutures + tiges + feuilles)

### 3.1.8.2. Racines tubérisées

#### 3.1.8.2.1. Poids individuel des racines tubérisées de 4 traitements : T1(0N/0P/0K), T3(60N/0P/0K), T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K)

Les photos 11 (a, b, c, d) illustrent les caractéristiques morphologiques des racines tubérisées récoltées sur ces 4 traitements : on constate que T1(0N/0P/0K) présente des racines tubérisées avec pédoncules contrairement à T27(60N/90P/90K) dont les racines sont sessiles. On retrouve ces mêmes différences entre T5(30/45/0) et T25(0/90/90) (photo 9).

Les racines tubérisées des 4 traitements sont regroupées par classe de poids (figure 11). Ce regroupement permet une approche de la qualité du rendement pour chaque niveau de fertilité du sol. La classe des racines 0 - 200 grammes est plus importante pour les traitements T1(0N/0P/0K) et T3(60N/0P/0K) : elle représente respectivement 22% et 35% du poids total des racines contre 9% et 12% respectivement pour T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K). Si l'on rejette de la production totale les racines de la classe 0 - 200 grammes, les écarts de production entre les traitements augmentent (voir tableau 21).



**PHOTO 9 :** Morphologie des racines tubérisées :  
à gauche, racines tubérisées sessiles  
pour le traitement **T25** (N/P/K : 0/90/90 unités).  
à droite, racines tubérisées avec pédoncules  
pour le traitement **T5** (N/P/K : 30/45/0 unités).



**PHOTO 10 :** Différences provoquées par les différents  
traitements dans le développement des parties aériennes :  
- floraison en cours de cycle (plants de droite)  
- ou pas de floraison (au centre) et hauteurs différentes des tiges.



**PHOTOS 11** : Racines tubérisées à la récolte pour 4 traitements : T1 (N/P/K : 0/0/0) - T3 (N/P/K : 60/0/0) - T19 (N/P/K : 0/0/90) et T27 (N/P/K : 60/90/90).

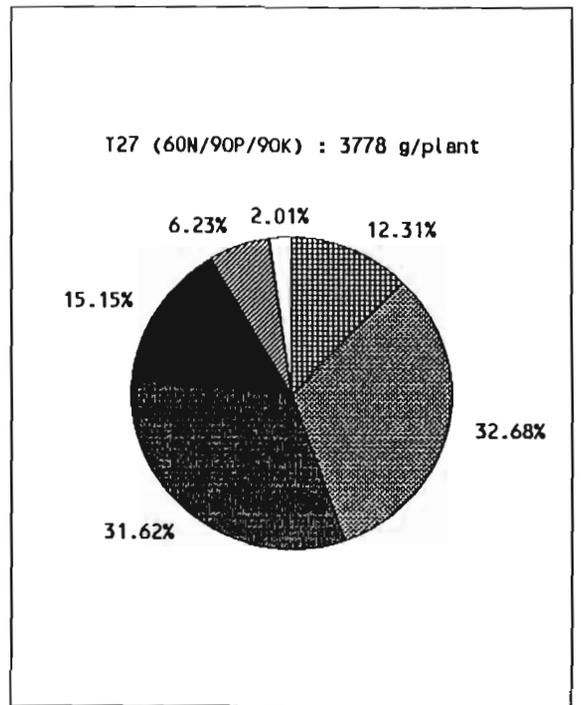
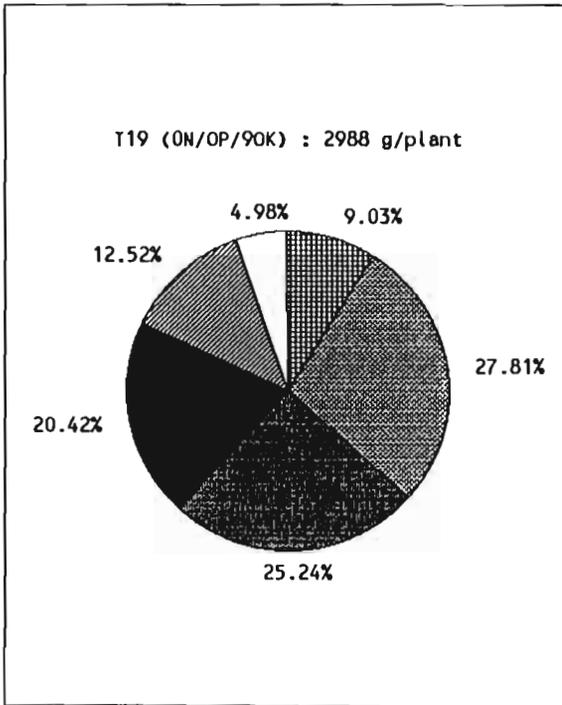
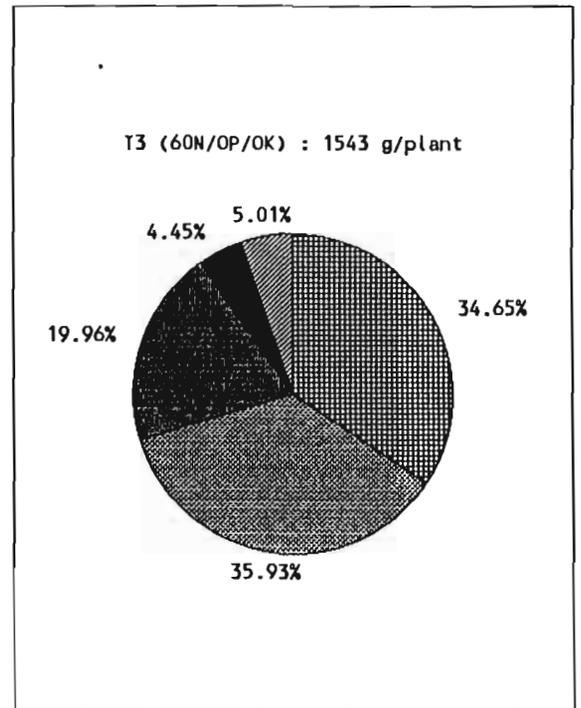
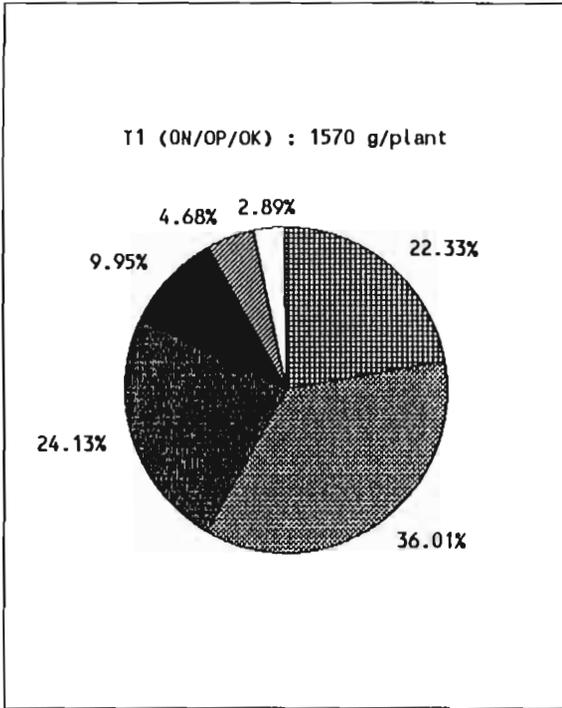


Figure 11 : Répartition par classe de poids de la production en racines tubérisées fraîches de 4 traitements : T1, T3, T19 et T27

Tableau 21 : Ecarts de production en pourcentage entre les traitements avec et sans prise en compte des racines tubérisées de la classe 0 - 200 grammes.

TRAITEMENTS COMPARES	Ecarts de production toutes racines tubérisées prises en compte, %	Ecarts de production après élimination des racines de la classe 0-200 g, %
T19 - T1	47	55
T19 - T3	48	62
T27 - T1	58	63
T27 - T3	59	69

L'augmentation des écarts a atteint 8% et 14% respectivement pour les comparaisons T19 - T1 et T19 - T3, 5% et 10% pour T27 - T1 et T27 - T3.

La longueur et le diamètre des racines tubérisées sont également modifiés par le niveau de fertilité du sol. Pour une même classe de poids de racines, on obtient des longueurs et des diamètres différents selon les traitements (tableau 22) : les racines sont longues et présentent de faibles diamètres pour T1 et T3 contrairement à T19 et T27 chez qui les longueurs sont plus faibles avec des diamètres beaucoup plus élevés. Les figures 12a et 12b illustrent ces différences entre T1 et T27.

Tableau 22 : Longueur et diamètre maximum des racines tubérisées de 4 traitements T1, T3, T19 et T27 par classe de poids

Classes de poids, par 200 g	Caractéristiques des racines	T1	T3	T19	T27
0 - 200	Longueur (cm)	23,9	24,8	18,5	19,0
	Diamètre (mm)	27,1	25,7	35,6	35,9
201 - 400	Longueur (cm)	37,4	36,7	27,7	27,9
	Diamètre (mm)	37,2	38,2	44,9	46,3
401 - 600	Longueur (cm)	42,1	42,3	33,5	32,3
	Diamètre (mm)	44,3	43,7	53,8	54,9
601 - 800	Longueur (cm)	54,6	43,6	42,6	34,6
	Diamètre (mm)	50,1	48,1	57,2	61,0
801 - 1000	Longueur (cm)	51,5	52,0	44,0	40,2
	Diamètre (mm)	55,7	46,1	61,4	70,8
plus de 1000	Longueur (cm)	67,0	- *	60,8	49,7
	Diamètre (mm)	51,8	- *	66,5	70,3

\* absence de racines de poids supérieur à 1000 grammes.

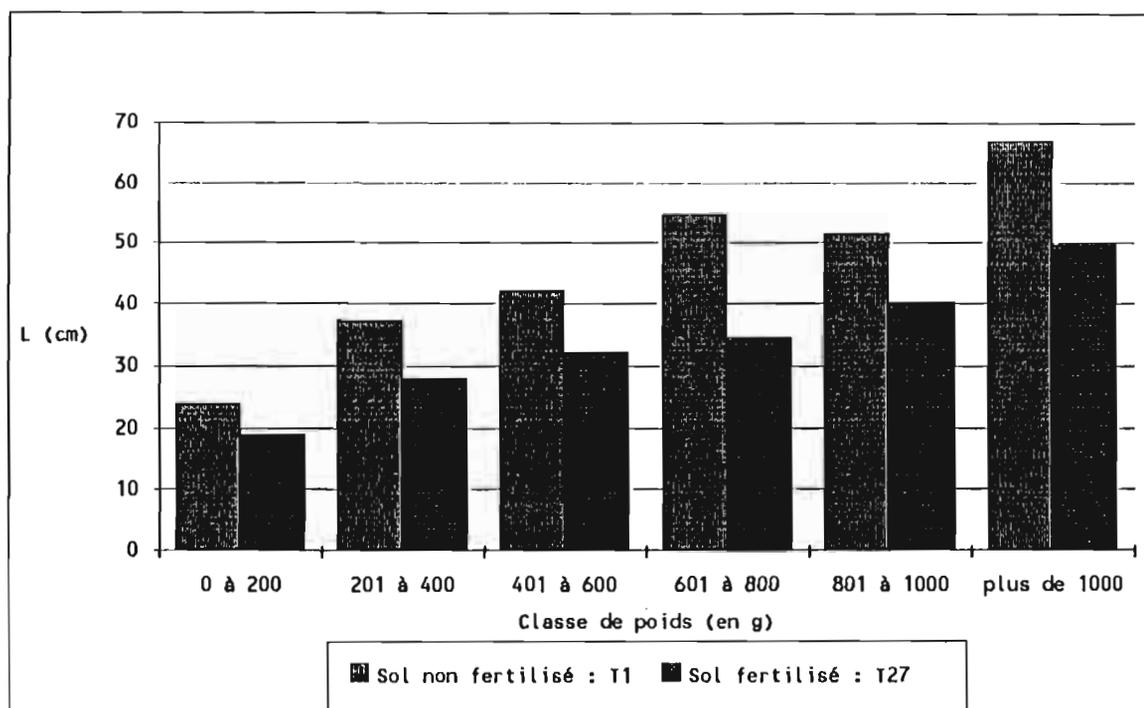


Figure 12a : histogramme montrant les longueurs (L) des racines tubérisées par classe de poids humide pour 2 types de sol (sol pauvre et sol riche)

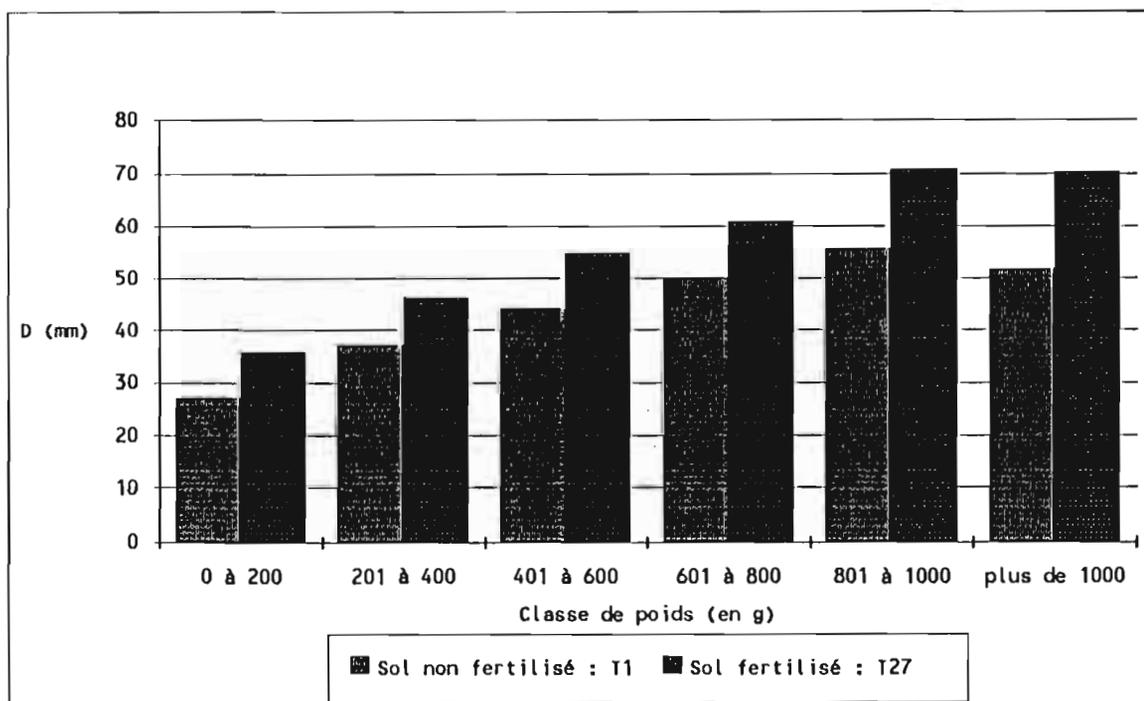


Figure 12b : histogramme montrant le diamètre maximum (D) des racines tubérisées par classe de poids humide pour 2 types de sol (sol pauvre et sol riche)

### 3.1.8.2.2. Analyse du nombre moyen, du poids moyen et du poids total des racines tubérisées par plant sur tous les traitements

Le nombre de racines tubérisées par plant, le poids moyen d'une racine tubérisée, la production totale de racines tubérisées par plant varient en fonction du niveau de fertilité du sol (voir tableau 23). L'application de N provoque une augmentation du nombre de racines tubérisées et ceci est plus accentué lorsque l'azote se trouve en combinaison avec K. Le nombre de racines tubérisées est de 7,1 en moyenne pour des traitements sans N et K contre 9,2 pour ceux qui ont reçu uniquement de l'azote et ceci quelle que soit la dose de P. Lorsque l'apport azoté est en combinaison avec K, le nombre de racines tubérisées est de 11,3 en moyenne contre 8,8 pour des traitements ayant reçu de l'azote ou du potassium.

Tableau 23 : Caractéristiques moyennes des racines tubérisées par plant (récolte effectuée à 10 mois)

Traitements	NTUB	PFM1RT (en g)	PFMRT/plant
T1(0/0/0)	6,54 e	244,80 bcdefgh	1570,2 d
T2(30/0/0)	9,41 abcd	194,04 defgh	1803,5 d
T3(60/0/0)	8,47 bcde	189,61 efgh	1543,7 d
T4(0/45/0)	7,56 de	229,61 cdefgh	1627,1 d
T5(30/45/0)	9,04 abcde	181,32 efg	1699,1 d
T6(60/45/0)	9,25 abcde	170,23 fgh	1594,7 d
T7(0/90/0)	7,25 de	281,63 abcdefg	1963,3 cd
T8(30/90/0)	9,54 abcd	146,47 h	1422,3 d
T9(60/90/0)	9,43 abcd	159,98 gh	1447,9 d
T10(0/0/45)	8.37 cde	356,99 abc	2756,7 abc
T11(30/0/45)	11.06 abc	304,36 abcdef	3321,3 ab
T12(60/0/45)	12.00 a	291,18 abcdef	3416,7 ab
T13(0/45/45)	10.22 abcd	334,47 abcd	3320,9 ab
T14(30/45/45)	11.54 ab	273,92 abcdefg	3109,8 ab
T15(60/45/45)	11.85 a	287,40 abcdefg	3379,6 ab
T16(0/90/45)	9.25 abcde	357,13 abc	3300,8 ab
T17(30/90/45)	10.72 abc	314,59 abcde	3276,4 ab
T18(60/90/45)	11.22 abc	266,79 bcdefgh	2892,5 abc
T19(0/0/90)	8,64 bcde	348,51 abc	2987,9 ab
T20(30/0/90)	9,67 abcd	415,29 a	3800,3 a
T21(60/0/90)	12,04 a	340,33 abc	3911,7 a
T22(0/45/90)	9,37 abcd	375,73 ab	3468,2 ab
T23(30/45/90)	11,20 abc	307,05 abcde	3348,2 ab
T24(60/45/90)	11,54 ab	307,25 abcde	3443,1 ab
T25(0/90/90)	9,5 abcd	308,63 abcde	2798,3 abc
T26(30/90/90)	10,64 abc	316,01 abcde	3366,3 ab
T27(60/90/90)	12,00 a	321,48 abcde	3777,9 a

NTUB = nombre moyen de racines tubérisées par plant

PFMRT = poids frais moyen d'une racine tubérisée

PFMRT/plant = poids frais moyen de racines tubérisées par plant

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)

En ce qui concerne le poids moyen d'une racine tubérisée, on constate que l'apport de N le diminue tandis qu'il est augmenté par l'apport de K. En moyenne, il est de 315,3 g, 272,5 g et 259,4 g respectivement pour les niveaux N0, N30 et N60 quelle que soit la dose de P et K. Pour les niveaux K0, K45 et K90 il est respectivement de 199,7 g, 309,7 g et 337,8 g quelle que soit la dose de N et P.

#### **. Teneur en matière sèche des racines tubérisées**

La teneur en matière sèche des racines tubérisées diminue avec l'apport d'éléments minéraux, (voir figure 13) : elle est de 40% pour T1(0N/0P/0K) contre 29% pour T27(60N/90P/90K). L'augmentation de la dose d'azote avec P et K constants entraîne une diminution de la teneur en matière sèche des racines tubérisées. Il en est de même pour le potassium avec N et P constants.

#### **3.1.8.2.3. Rendement en racines tubérisées - Index de récolte**

La production de racines tubérisées par plant se détermine par la combinaison des deux composantes : nombre moyen de racines par plant et poids moyen d'une racine. Le taux de reprise étant très proche de 100% et les écartements entre les plants étant de 1 m x 1 m, l'interprétation des résultats de la production par plant n'est autre que celle du rendement en racines tubérisées par hectare.

#### **- Etude de la production en fonction des différents éléments minéraux N, P et K pris isolément**

Les figures 14(a, b, c, d, e, et f) présentent les rendements en racines tubérisées fraîches et la répartition de la matière sèche produite entre le système aérien et les racines. On constate :

##### **\* pour l'azote**

. une diminution du rendement au delà de 30 unités par hectare; le gain de production est de 14,9% entre les niveaux 0 et 30 u/ha,

. un déséquilibre dans la répartition des assimilats fabriqués au profit des organes aériens avec l'apport de 60 unités : l'index de récolte est de 0,59 pour 30 unités, contre 0,48 pour 60 unités.

##### **\* pour le phosphore,**

. une augmentation de la production utile avec l'accroissement de la dose; les gains sont de 3,6%, 20,6% et 25,03% respectivement entre les niveaux 0 et 45 u/ha, 45 et 90 u/ha, 0 et 90 u/ha,

. l'équilibre entre organes aériens et les racines tubérisées est presque constante quelle que soit la dose.

\* pour le potassium,

. la dose de 90 unités a presque doublé la production de racines fraîches par rapport au témoin; les gains sont de 75,6%, 8,3% et 90,3% respectivement entre les niveaux 0 et 45 u/ha, 45 et 90 u/ha, 0 et 90 u/ha,

. la meilleure répartition des assimilats fabriqués par la plante est obtenue avec 45 unités de  $K_2O$  par hectare.

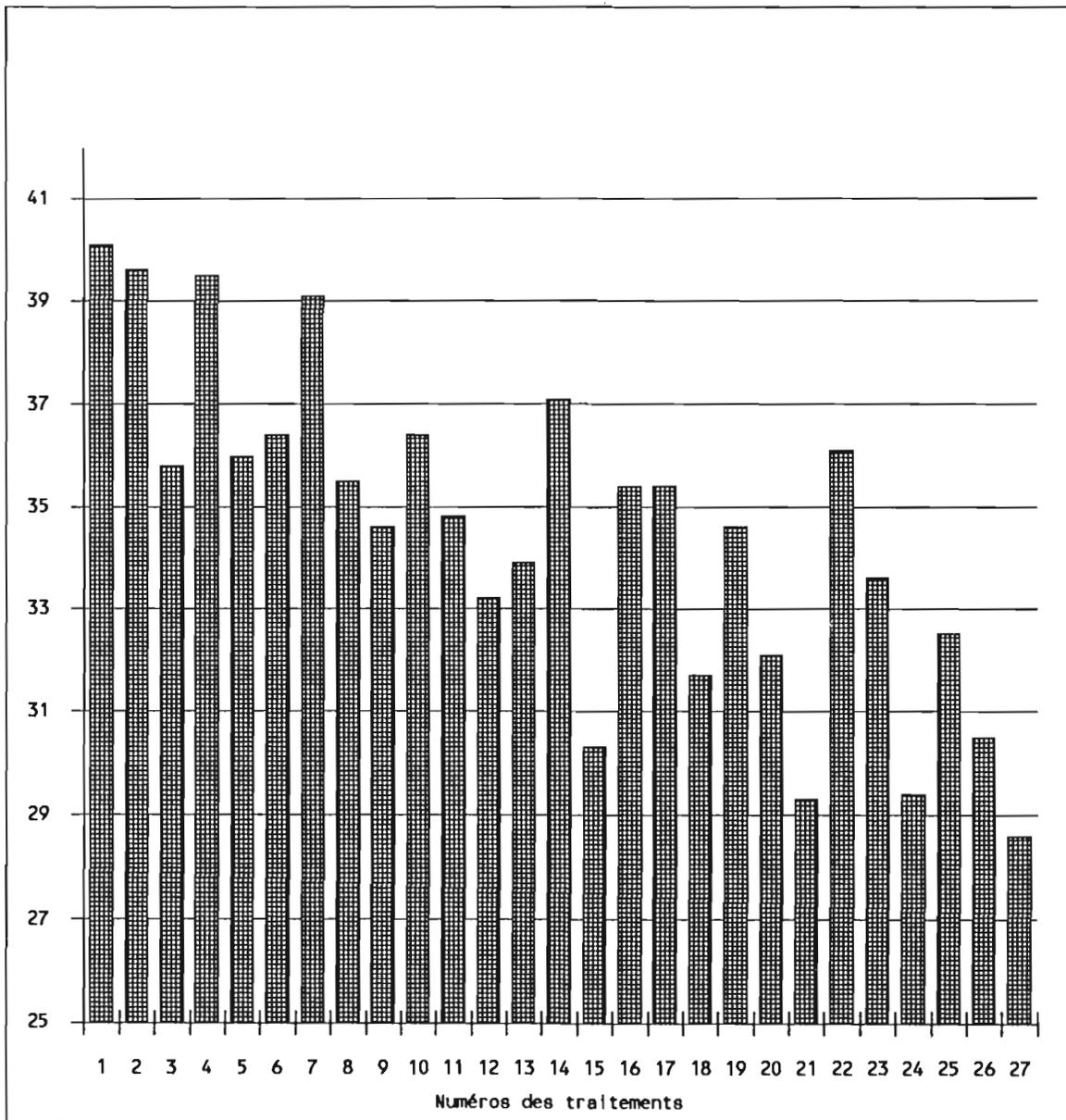
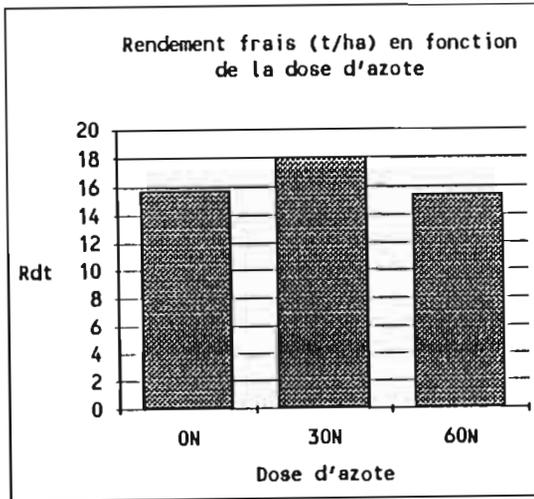
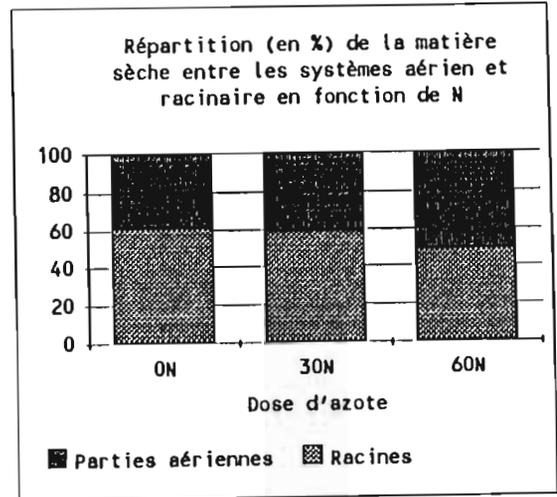


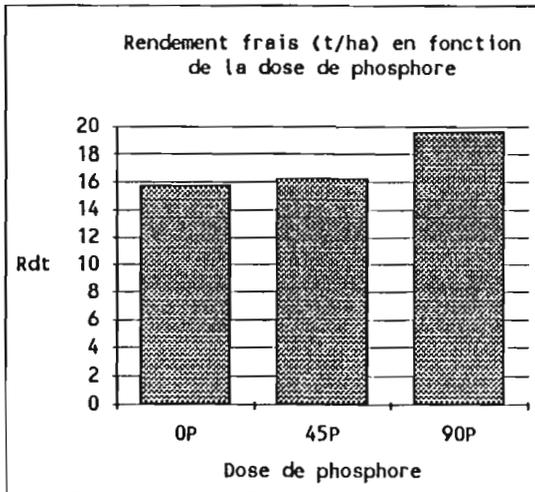
Figure 13 : Pourcentage de matière sèche des racines tubérisées pour les 27 traitements (moyenne de 12 racines tubérisées par traitement)



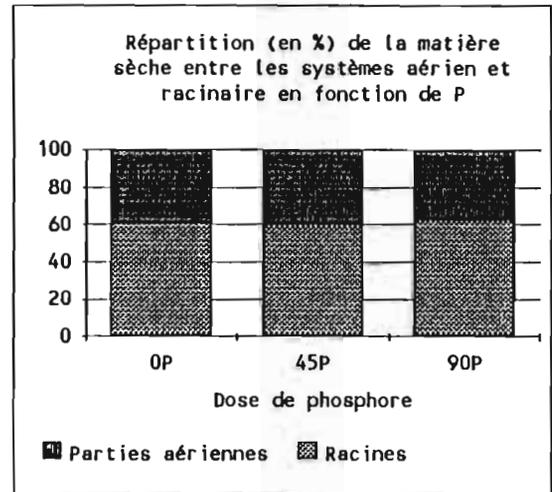
a



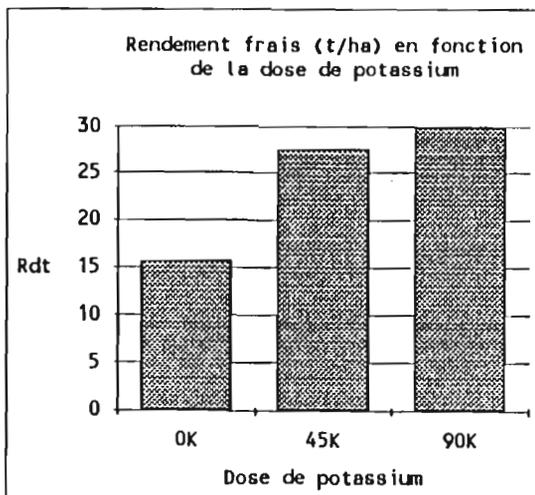
b



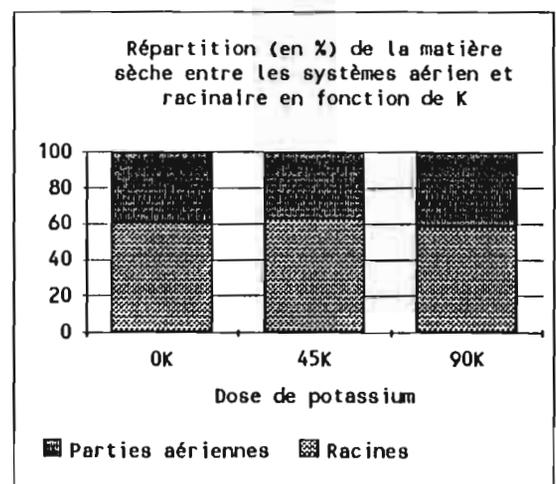
c



d



e



f

Figures 14(a, b, c, d, e, f) : Rendement et répartition de la matière sèche entre systèmes aériens et racinaires en fonction des éléments minéraux N, P et K

### - Analyse de la production pour les 27 différents niveaux de fertilité

Les rendements frais et secs, l'index de récolte sont présentés dans le tableau 24. L'analyse statistique montre que ces paramètres dépendent du niveau de fertilité du sol. Les rendements frais sont faibles pour les traitements qui ne reçoivent pas d'apport potassique (quel que soit le niveau de N et P); la moyenne est de 16,3 tonnes par hectare. L'apport de K à 45 ou 90 unités par hectare améliore la production en racines tubérisées fraîches; les traitements à apports potassiques donnent des rendements beaucoup plus élevés : en moyenne 33,15 t/ha. De forts écarts s'observent néanmoins dans cette catégorie de traitements : 27,57 t/ha pour T10(0N/0P/45K), 39,11 pour T21(60N/0P/90K).

Le classement des traitements établi par le rendement frais est relativisé par la prise en compte de la teneur en matière sèche des racines tubérisées. Les écarts de rendement entre traitements sur la base du rendement sec deviennent plus faibles par rapport au rendement frais : entre T8(30N/90P/0K) et T21(60N/0P/90K) (les deux traitements extrêmes en production de racines fraîches), la baisse de rendement frais est de 63,6% contre 56% en rendement sec.

En ce qui concerne l'index de récolte, on constate d'une façon quasi-générale que l'apport de l'azote le diminue.

Les moyennes factorielles du rendement, l'index de récolte et les gains de production sont présentées dans le tableau 25. Bien que l'analyse statistique de l'essai (en confounding 3<sup>3</sup>) ne soit pas disponible, certaines remarques peuvent être faites :

- \* un effet faiblement positif de N (jusqu'à 30 unités par hectare) et de P (45 unités par hectare),

- \* un effet fortement positif de K à 45 unités par hectare; son action devient plus faible entre 45 unités et 90 unités par hectare,

- \* un effet négatif de l'azote sur l'index de récolte.

Tableau 24 : Rendements à l'hectare et index de récolte (I.R.) en fonction des différents niveaux de fertilité

Traitements	Rendement frais (en t/ha)	Rendement sec (en t/ha)	I.R.
T1 (0/0/0)	15,70 d	6,30 efg	0,60 abcd
T2 (30/0/0)	18,03 d	7,17 cdefg	0,58 abcde
T3 (60/0/0)	15,43 d	5,54 fg	0,48 e
T4 (0/45/0)	16,27 d	6,47 defg	0,60 abcde
T5 (30/45/0)	16,99 d	6,11 efg	0,58 abcde
T6 (60/45/0)	15,94 d	5,85 fg	0,55 abcde
T7 (0/90/0)	19,63 cd	7,69 bcdefg	0,63 ab
T8 (30/90/0)	14,22 d	5,05 g	0,49 de
T9 (60/90/0)	14,47 d	5,02 g	0,50 cde
T10 (0/0/45)	27,56 abc	9,98 abcde	0,63 ab
T11 (30/0/45)	33,21 ab	11,58 ab	0,62 abc
T12 (60/0/45)	34,16 ab	11,35 ab	0,53 abcde
T13 (0/45/45)	33,20 ab	11,21 ab	0,63 ab
T14 (30/45/45)	31,09 ab	11,52 ab	0,60 abcd
T15 (60/45/45)	33,79 ab	10,27 abc	0,54 abcde
T16 (0/90/45)	33,00 ab	11,59 a	0,63 ab
T17 (30/90/45)	32,76 ab	11,63 a	0,61 abc
T18 (60/90/45)	28,92 abc	9,20 abcdef	0,52 bcde
T19 (0/0/90)	29,87 ab	9,65 abcde	0,58 abcde
T20 (30/0/90)	38,00 a	12,01 a	0,66 a
T21 (60/0/90)	39,11 a	11,50 ab	0,55 abcde
T22 (0/45/90)	34,68 ab	11,87 ab	0,64 ab
T23 (30/45/90)	33,48 ab	11,09 abc	0,54 abcde
T24 (60/45/90)	34,43 ab	10,12 abcde	0,51 bcde
T25 (0/90/90)	27,98 abc	9,09 abcdef	0,53 abcde
T26 (30/90/90)	33,66 ab	10,21 abcd	0,54 abcde
T27 (60/90/90)	37,77 a	10,80 abc	0,53 abcde

I.R. Index de récolte

(dans chaque colonne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)**- Analyse des corrélations (2 à 2) significatives au seuil de 1%**

Les rendements en racines tubérisées sont en relation étroite avec certains paramètres mesurés au cours du cycle et à la récolte. Le tableau 26 présente ces paramètres avec leur coefficient de corrélation. L'intensité de la mosaïque, des attaques d'acariens, de cochenilles à 5 mois sont en corrélation négative avec le rendement en racines tubérisées. Le diamètre des tiges, le nombre de feuilles présentes sur la tige, le poids frais des boutures, celui des organes aériens et les composantes du rendement, à savoir le poids frais moyen de la racine, le nombre moyen de racines par plant, le taux de matière sèche dans la racine sont en corrélation positive avec le rendement.

Tableau 25 : Moyenne factorielle : rendement en racines fraîches (t/ha), index de récolte (I.R.) et gain de rendement (%)

N/P	P0			P45			P90		
	Rdt	Gain	I.R.	Rdt	Gain	I.R.	Rdt	Gain	I.R.
N0	24,4	-	0,61	28,0	-	0,62	26,9	-	0,60
N30	29,7	22,7	0,62	27,2	-	0,57	26,9	-	0,55
N60	29,6	21,3	0,52	28,1	0,3	0,53	27,1	0,7	0,51

P/K	K0			K45			K90		
	Rdt	Gain	I.R.	Rdt	Gain	I.R.	Rdt	Gain	I.R.
P0	16,4	-	0,56	31,6	-	0,59	35,7	-	0,60
P45	16,4	-	0,57	32,7	3,4	0,59	34,2	-	0,56
P90	16,1	-	0,54	31,6	-	0,59	33,1	-	0,53

K/N	N0			N30			N60		
	Rdt	Gain	I.R.	Rdt	Gain	I.R.	Rdt	Gain	I.R.
K0	17,2	-	0,61	16,4	-	0,55	15,3	-	0,51
K45	31,9	85,4	0,63	32,4	97,5	0,58	32,3	111,1	0,53
K90	30,8	79,1	0,59	35,0	113,4	0,58	37,1	142,5	0,53

Tableau 26 : Corrélations entre le rendement frais en racines tubérisées (y) et certains paramètres mesurés (x)

Variables explicatives (x) (valeurs moyennes)	Fonction de régression avec coefficient de corrélation
1 - Mosaïque à 5 M.A.P.	$Y = -0,32x + 93,2; (r = -0,54)$
2 - Acariens à 5 M.A.P.	$Y = -29,6x + 70,1; (r = -0,73)$
3 - Cochenilles à 5 M.A.P.	$Y = -71,5x + 100; (r = -0,49)$
4 - Diamètre de la tige la plus développée de chaque plant 6 M.A.P.	$Y = 2,8x - 26,3; (r = 0,89)$
5 - Floraison 6 M.A.P.	$Y = -32,3x + 35,4; (r = -0,76)$
6 - Diamètre de la tige la plus développée de chaque plant à la récolte	$Y = 4,0x - 57,7; (r = 0,88)$
7 - Nombre de floraisons à la récolte	$Y = -10,4x + 41,2; (r = -0,89)$
8 - Nombre de feuilles présentes sur la tige la plus développée de chaque plant à la récolte	$Y = 1,8 - 171; (r = 0,92)$
9 - Poids frais de bouture	$Y = 0,16x - 13,1; (r = 0,84)$
10 - Poids frais des parties aériennes à la récolte	$Y = 0,01x + 2,06; (r = 0,82)$
11 - Nombre moyen de racines tubérisées à la récolte	$Y = 3,8x - 9,8; (r = 0,70)$
12 - Poids frais moyen d'une racine tubérisée	$Y = 0,1x - 1,7; (r = 0,84)$
13 - % de matière sèche des racines tubérisées	$Y = -179,0x + 1,7; (r = -0,63)$

### **3.1.9.Rendement en gari**

Sur la base de 10 kg de racines fraîches prélevées sur chaque parcelle pour la transformation en gari, on constate que le pourcentage de la transformation en gari s'élève de 20% en moyenne tous traitements confondus. Il s'ensuit que le classement des traitements par le rendement en gari est identique à celui établi avec le rendement en racines fraîches.

### 3.2. Résultats de l'expérimentation 2 : influences de la qualité des racines tubérisées sur le rendement en gari

Les résultats sont présentés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Rendement en produit fini (gari) en fonction de la taille des racines tubérisées (sur la base de 10 kg de racines fraîches)

Classes de racines	Petites racines (P < 400 g) (D < 40 mm)	Moyennes racines (400 g < P < 800 g) 40 mm < D < 60 mm)	Grosses racines (P > 800 g) (D > 60 mm)
Poids de racines fraîches ramenés à 100, g	100	100	100
Poids de racines épluchées, g	62,4 b	71,6 a	74,0 a
Poids de gari brut, g	13,6 b	17,6 a	20,0 a
Poids du gari tamisé, g	12,4 b	15,8 a	17,8 a
Poids du refus, g	1,2 b	1,6 b	2,2 a
Proportion du refus dans le gari obtenu, %	8,8 a	9,1 a	11,0 a

P : poids, D : diamètre

(Sur chaque ligne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes entre elles pour  $p = 0,05$  : Test de Newman et Keuls).

On constate que la taille des racines tubérisées a des répercussions sur le rendement en transformation : plus les racines sont grosses, plus le rendement en gari est élevé. Les pertes s'observent dès la première étape au niveau de l'épluchage.

### 3.3. Résultats de l'expérimentation 3 : qualité des boutures et enracinement en début de cycle

#### 3.3.1. Qualité des boutures avant plantation

L'origine des plants sur lesquels sont prélevées les boutures entraîne des différences significatives sur le poids frais et le nombre de noeuds de celles-ci (tableau 28); la teneur en matière sèche n'est pas significativement affectée. Les teneurs en azote et en potassium des boutures sont en relation directe avec la richesse du sol qui porte le plant : forte teneur azotée pour T3(60N/0P/0K) et T27(60N/90P/90K), forte teneur en potassium pour T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K).

Tableau 28 : Caractéristiques moyennes des boutures des tiges obtenues sur différents niveaux de fertilité du sol après 30 jours de stockage à l'ombre avec arrosage régulier.

Origine des boutures	T1 (0/0/0)	T3 (60/0/0)	T19 (0/0/90)	T27 (60/90/90)
Poids frais moyen d'une bouture *, g	37,9 b	41,1 b	41,5 b	56,7 a
Nombre de noeuds par bouture *	12,2 a	13,7 a	12,5 a	8,5 b
Taux de matière sèche des boutures **, %	33,0 a	29,4 a	30,6 a	30,2 a
% de N	0,38 c	0,72 a	0,30 c	0,55 b
% de K <sub>2</sub> O	0,22 c	0,23 c	1,10 b	1,20 a
Poids sec moyen d'une bouture *, g	12,5 b	12,1 b	12,7 b	17,1 a

\* mesures sur 50 boutures

\*\* mesures sur 12 boutures

(Sur chaque ligne, les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes entre elles pour  $p = 0,05$  : Test de Newman et Keuls)

#### 3.3.2. Répercussions de la qualité des boutures sur la reprise, le début de la croissance et l'enracinement

Le tableau 29 regroupe l'ensemble des résultats de l'étude des conséquences de l'emploi des boutures issues des tiges obtenues sur les parcelles de niveaux de fertilité très différents : T1(0N/0P/0K), T3(60/0P/0K), T19(0N/0P/90K) et T27(60N/90P/90K), dans la mise en place de la culture.

Tableau 29 : Répercussions de la qualité des boutures sur le taux de reprise et les caractéristiques du jeune plant.

Origine des boutures	T1 0/0/0	T3 60/0/0	T19 0/0/90	T27 60/90/90
Taux de reprise en % *	51 b	78 a	29 c	88 a
Nombre moyen de tiges par plant *	2,1 a	2,2 a	1,3 b	1,9 a
Hauteur de la tige la plus développée par plant **, cm	16,6 c	21,6 b	17,6 c	30,5 a
Stade foliaire de la tige la plus développée par plant **	15,6 c	19,5 b	15,0 b	25,0 a
Poids secs des tiges **, g	1,3 b	2,1 b	0,7 b	4,6 a
Poids secs des pétioles **, g	0,9 b	2,2 b	0,6 b	5,1 a
Poids secs des limbes **, g	5,4 b	8,3 b	2,8 b	16,5 a
Poids secs des boutures **, g	15,6 a	15,4 a	11,9 a	15,9 a
Nombre de racines nodales **	6,9 ab	9,6 a	4,3 b	7,0 a
Nombre de racines basales **	9,6 b	11,5 ab	9,0 b	14,4 a
Nombre total de racines (nodales + basales)	16,5	21,1	13,3	21,4
Nombre de racines en début de tubérisation	0,0	1,0	0,0	1,3

\* Observations effectuées à 30 JAP

\*\* Observations effectuées à 58 JAP

(Sur chaque ligne les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement différentes pour  $p = 0,05$  : test de Newman et Keuls)

Il apparaît une différence significative des paramètres mesurés selon les différentes origines, à l'exception du poids sec des boutures. On peut noter une diminution du poids sec initial des boutures au niveau des traitements T27(60N/90P/90K) et T19(0N/0P/90K) et une augmentation pour les traitements T1(0N/0P/0K) et T3(60N/0P/0K). Le taux de reprise dont dépendra en partie le rendement à l'hectare est fortement modifié par l'origine de la bouture : les meilleures

reprises sont obtenues avec des tiges issues de T3(60N/0P/0K) et T27(60N/90P/90K). Le nombre de tiges émises par plant est faible pour les boutures provenant de T19(0N/0P/90K).

En ce qui concerne la croissance des plantules, les boutures issues de T27(60N/90P/90K) entraîne un meilleur début de croissance par rapport aux 3 autres traitements. Le nombre total de racines émises par les boutures est lié à l'apport azoté sur sol sur lequel les plants sont obtenus : ce nombre est de 21,3 en moyenne pour T3(60N/0P/0K) et T27(60N/90P/90K) contre 14,9 en moyenne pour T1(0N/0P/0K) et T19(0N/0P/90K). On observe des débuts de tubérisation sur les racines des boutures issues des tiges de T3(60N/0P/0K) et T27(60N/90P/90K) tandis que chez les racines des boutures de T1(0N/0P/0K) et T19(0N/0P/90K), aucun signe de stockage d'amidon n'a été perceptible sur le terrain.

#### **3.4. Résultats de l'expérimentation 4 : répartition des assimilats en cours de croissance.**

Les photos 2 et 3 de la première partie illustrent les profils culturaux réalisés 30 jours et 60 jours après plantation : les racines basales et nodales sont traçantes et sont localisées dans l'horizon de sol travaillé à la houe (0 - 25 cm).

Les figures 15a et 15b présentent la répartition des assimilats dans les différents compartiments du plant au cours du cycle végétatif : bouture, tiges, pétioles, limbes et racines tubérisées. Un début de tubérisation des racines s'observe au stade 40 jours après plantation. La proportion de matière sèche fabriquée augmente avec le temps dans les tiges et les racines; cet accroissement est beaucoup plus rapide au niveau des racines. Dans les feuilles (limbes et pétioles), cette proportion diminue dès le 70<sup>ième</sup> jour en relation avec la défoliation. En ce qui concerne la bouture, la quantité de matière sèche augmente à partir du 70<sup>ième</sup> jour.

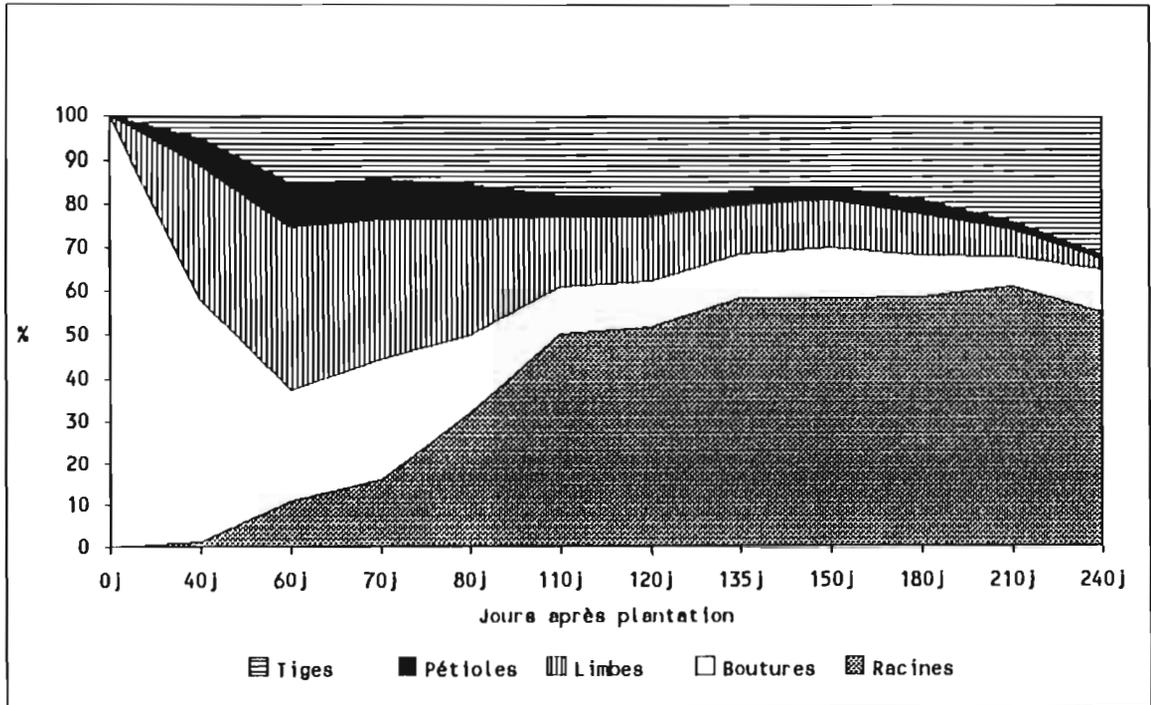


Figure 15a : Répartition de la biomasse entre les différents compartiments de la plante

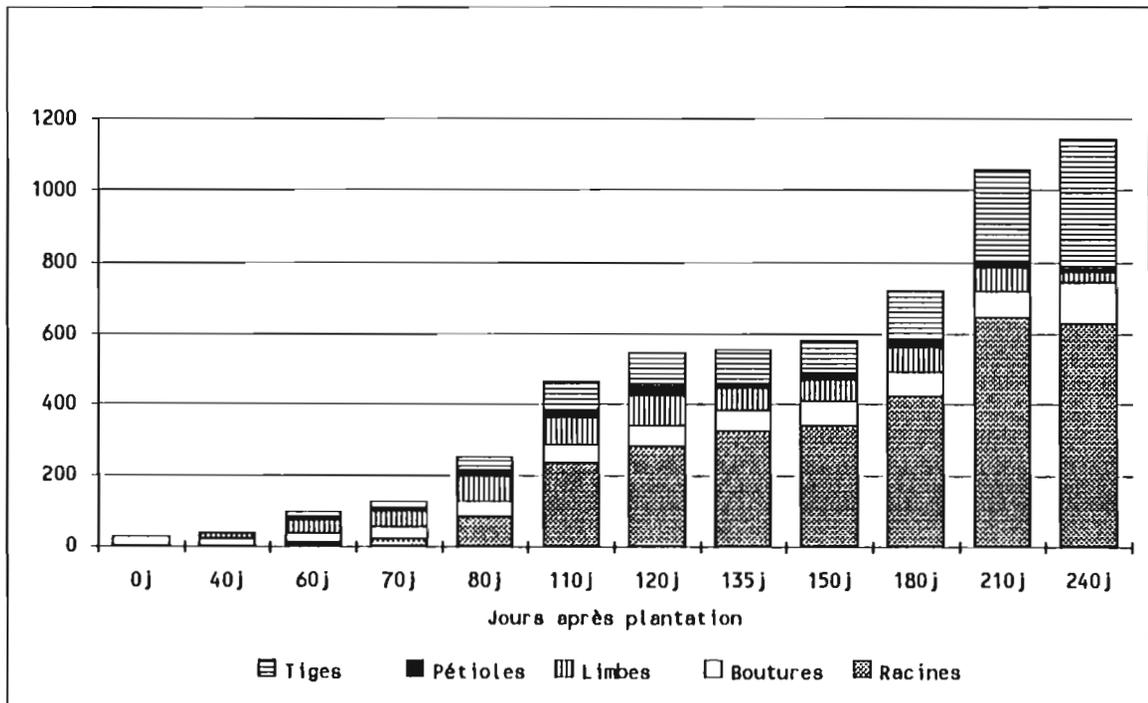


Figure 15b : histogramme montrant l'évolution de la biomasse entre les différents compartiments de la plante au cours du temps

### **3.5. DISCUSSION**

La plupart des résultats obtenus au cours des différentes expérimentations sont conformes à ceux rencontrés à travers la littérature. Certains sont cependant en contradiction avec d'autres préalablement établis par certains chercheurs : cette dernière situation peut provenir des différences de conditions de travail. Nous nous proposons dans cette partie du mémoire de donner des explications scientifiques à nos résultats relatifs aux composantes quantitatives et qualitatives du rendement de racines tubérisées.

#### **3.5.1. Différence de fertilité du sol dans les parcelles expérimentales**

Après 15 ans de gestion identique de chacune des parcelles de l'essai N P K à AGBOMEDJI (apports différents de N, P et K sous culture continue du maïs et association maïs - légumineuse), on dispose de niveaux de fertilité très différents.

La teneur du sol en potassium échangeable et en phosphore assimilable varie profondément selon les doses des apports annuels. Elle est de 0,10%, 0,14% et 0,21% respectivement pour les niveaux P0, P1 et P2, de 0,05%, 0,09% et 0,11% respectivement pour les niveaux K0, K1 et K2. En comparant ces résultats avec ceux donnés par MARQUETTE en 1986 sur les terres de barre dégradées du point d'essai d'AGBOMEDJI, on peut conclure que l'exploitation intensive du sol diminue sa richesse en K échangeable quand il n'y a pas de fertilisation minérale : elle était de 0,08% en 1977 (pendant l'horizon de sol analysé n'est pas précisé).

La proportion de Ca diminue dans le sol avec l'apport d'engrais azoté et ceci provoque une élévation de l'acidité du sol. Cette acidité induite par apport d'engrais azoté a été déjà soulignée par EGOUMENIDES (1981), DJEGUI (1982), EGOUMENIDES et OLIVER (1985) cités par LOUETTE (1988) qui ont conduit des essais sur la fertilité des terres de barre au Bénin. Il en est de même pour l'essai longue durée réalisé par BLEVINS et ses collaborateurs en 1983. EDWARDS et LOFTY (1975) ajoutent que c'est l'apport d'azote non combiné avec  $\text{CaCO}_3$  qui acidifie le sol.

L'absence de différence dans le taux de matière organique entre les sous traitements A (culture permanente de maïs) et B (culture de maïs + légumineuse) que montrent les analyses de sol peut être due soit à l'époque de prélèvement des échantillons (début de la reprise des pluies où la minéralisation est déjà poussée), soit à la hauteur trop importante de la couche (prélèvement sur 15 à 20 cm) sur laquelle l'analyse a été effectuée.

#### **3.5.2. Paramètres intervenant dans la production de la plante**

##### **3.5.2.1. La bouture**

La qualité des nouvelles boutures (quantité de matière sèche par unité de longueur, nombre de noeuds par unité de longueur) obtenues en fin de cycle après 10

mois est inférieure à celle des boutures utilisées au départ. En prenant par exemple le traitement T27(60N/90P/90K) dont la croissance des tiges au cours du cycle est parmi les meilleures, les deux paramètres précités indiquent les chiffres moyens 0,85 g/cm et 0,42 noeud/cm contre 2,2 g/cm et 0,54 noeud/cm pour les boutures de départ. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les boutures utilisées au départ étaient âgées de 12 mois. En outre, elles ont été prélevées sur des plants ayant poussé sous d'autres conditions climatiques et sur un sol nouvellement défriché donc beaucoup plus fertile.

Le matériel de plantation obtenu en fin de cycle entre tous les traitements est très hétérogène à cause du niveau de fertilité du sol exclusivement, les autres conditions ayant été identiques pour toutes les parcelles. Cette variabilité de la qualité des boutures se répercute sur le taux de reprise et la formation des racines au début du cycle suivant (tableaux 28 et 29). Nos résultats à ce propos complètent ceux publiés par RAFFAILLAC en 1987. Ce dernier a relevé une certaine dépendance de la qualité des boutures de départ pour la dynamique racinaire du jeune plant.

De ce qui précède, il ressort que la richesse du sol de la parcelle fournissant les boutures pourra avoir des incidences sur le rendement des plants en racines tubérisées à l'issue du cycle suivant, étant donné que la production par unité de surface dépend non seulement de la qualité du matériel de plantation mais aussi du taux de reprise et de la dynamique racinaire de ce dernier.

Les résultats de nos travaux témoignent également de l'importance de l'azote pour la production de boutures de bonne qualité. Toutefois, cet élément défavorise la tubérisation des racines. Il conviendrait donc pour la production des boutures de bonne qualité de concevoir des parcelles réservées à cette seule fin. Celles-ci devront être soumises à des apports spécifiques d'azote, contrairement aux parcelles de production de racines tubéreuses qui elles, recevront de l'engrais potassique complémentée par une dose convenable d'azote.

### **3.5.2.2. Le taux de reprise et le nombre de tiges par plant**

Le taux de reprise est régulièrement conditionné par la bonne qualité des boutures associée aux conditions climatiques qui prévalaient lors de l'implantation : pour notre essai, pendant 5 jours avant plantation et 6 jours après plantation, il est tombé respectivement 27,3 mm et 56,5 mm de pluie assurant une excellente reprise.

La fertilité du sol n'intervient ni sur la reprise des boutures, ni sur la structure potentielle du futur peuplement végétal (Cf 3.1.3.) : le nombre de tiges par plant reste inchangé d'un traitement à l'autre. Ceci signifie qu'une bonne qualité des boutures est l'une des conditions essentielles de départ pour assurer un peuplement homogène d'une parcelle de manioc.

### 3.5.2.3. Croissance des plants en cours de cycle

Pour des plants ayant poussé dans les mêmes conditions climatiques, l'effet de la fertilité du sol sur la croissance des tiges se fait sentir dès le deuxième mois de végétation : le stade foliaire, la hauteur et le diamètre des tiges diffèrent selon le niveau de fertilité (Cf. 3.1.6.). En mettant en évidence les écarts de stade foliaire entre quatre niveaux de fertilité, les données du tableau 30 confirment cette situation. En outre, ces données montrent que l'action de ce paramètre n'est pas limitée dans le temps; elle s'accroît au cours du cycle.

Tableau 30 : Différence entre les stades foliaires moyens des tiges pour des niveaux de fertilité différents du sol au cours du cycle.

Traitements		T27 et T1	T27 et T3	T19 et T1	T19 et T3
Stade foliaire	à 2 mois	7	4	3	-
	à 6 mois	28	24	15	11
	à 10 mois	43	24	24	23

La potasse favorise la croissance des tiges ; son apport complété par celui de l'azote améliore la formation et l'élargissement de la surface des feuilles assimilatrices. Il devient alors clair qu'en présence de l'azote et du potassium, la capacité photosynthétique s'accroît et par ce biais, la fabrication de la matière sèche par le plant de manioc augmente.

Les observations ont montré un effet de la fertilité du sol sur la ramification des tiges (figure 8). Alors que la variété 312-524 ne fleurit généralement pas au cours des 12 premiers mois du cycle dans les conditions normales, le phénomène s'est produit au moins une fois en 10 mois sur les parcelles ne recevant pas d'engrais potassique (parcelles sur lesquelles le niveau de croissance des tiges est beaucoup plus faible). Le nombre total de feuilles par tige a ainsi augmenté (une tige a donné 2 à 3 apex), entraînant une augmentation de la surface assimilatrice totale. La ramification des tiges en absence du potassium (Cf tableau 18) confirme les résultats de DIAS (1966).

De ce qui précède, on peut dire qu'en absence du potassium, la plante accélère le processus de la floraison, favorisant ainsi le nombre de feuilles par tige. Il convient cependant de noter que l'augmentation de la surface photosynthétique provoquée par la ramification des tiges ne compense pas totalement le désavantage engendré par un faible niveau de fertilité du sol sur la surface unitaire du limbe. Le tableau 31 présente un exemple de ces différences : le traitement T27 non ramifié a une meilleure surface captrice d'énergie lumineuse que le traitement T1 qui a ramifié en 2 branches pour une floraison.

La figure 16 qui établit une relation entre le rapport N/K dans la feuille à 2 mois et la production de racines tubérisées à 10 mois, rend compte de l'effet dépressif des

fortes valeurs de ce rapport sur le rendement. Il existe donc un antagonisme entre ces deux éléments; J.E. OKEKE et ses collaborateurs (1982) et J.P. RAFFAILLAC et G. NEDELEC (1984) l'ont signalé à l'issue de travaux effectués respectivement au Nigéria et en Côte d'Ivoire.

Tableau 31 : Augmentation de la surface photosynthétique suite aux ramifications (cas de 2 traitements, 10 mois après la plantation).

Traitements	T1(0/0/0)	T27(60/90/90)
Surface de la feuille	120,0 cm <sup>2</sup>	218,6 cm <sup>2</sup>
Nombre moyen de feuilles présentes sur une branche	19,7	29,8
Nombre de ramifications par tige	2,0	0,0
Surface photosynthétique totale calculée sur la tige	4755,9 cm <sup>2</sup>	6514,3 cm <sup>2</sup>

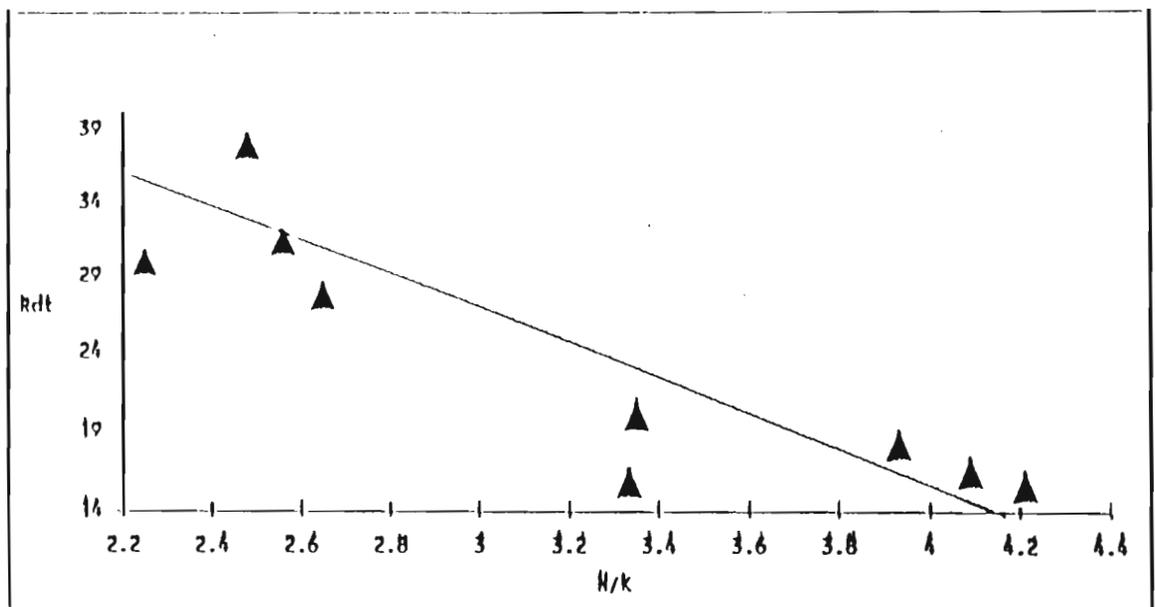


Figure 16 : Relation entre le rapport N/K de la feuille à 2 mois et la rendement de racines fraîches à 10 mois

Les corrélations positives existant entre le rendement et les paramètres de croissance, en l'occurrence le diamètre des tiges, montre que l'augmentation du rendement en racines tubérisées ne peut se faire sans favoriser au préalable la croissance des tiges. Cependant, ce développement des parties aériennes ne doit pas être trop élevé pour gêner la tubérisation des racines.

Ces bonnes corrélations établies entre les paramètres de croissance en cours de cycle et le rendement à la récolte montrent que l'on dispose d'indicateurs sûrs pour évaluer une production à partir d'observations précoces sur la parcelle. Le relevé en cours de cycle du diamètre de base de la tige la plus développée semble constituer un excellent indice pour comparer des traitements entre eux.

### **3.5.3. Les composantes du rendement**

#### **3.5.3.1. Nombre de racines tubérisées**

En prenant comme hypothèse le fait que le nombre total de racines a été le même au départ pour tous les traitements (ce qui est fortement probable car même origine et même qualité des boutures, labour et gestion identiques sur toutes les parcelles), nous conviendrons que l'effet de la fertilité du sol joue sur la proportion des racines ayant tubérisé. Toutes les racines émises sur un plant ont anatomiquement la même potentialité de tubérisation (LOWE, 1982 - INDIRA et SINHA, 1970), mais cette dernière peut varier selon l'équilibre entre l'azote et le potassium. L'effet de l'azote sur le nombre de racines tubérisées constaté lors de nos travaux confirme certains résultats obtenus antérieurement par CHADDHA (1958), NGONGI *et al.* (1977), KASELE *et al.* (1983). Mais tout en reconnaissant l'effet positif de l'azote, selon ces mêmes chercheurs, le potassium diminuerait le nombre de racines tubéreuses. Cette dernière affirmation entre en contradiction avec nos résultats qui montrent que l'apport de  $K_2O$  entraîne une légère augmentation du nombre de racines tubérisées. Nos résultats suggèrent plutôt que K serait susceptible d'influencer défavorablement le nombre de racines tubérisées à la récolte par l'intermédiaire de son action sur la qualité du matériel plantation : en effet les boutures obtenues avec des tiges du traitement T19 (parcelle sans azote ni phosphore mais enrichie en potassium à la dose de 90 u/ha) donnent moins de racines totales au départ sur le plant que celles obtenues sur les autres traitements aux sols enrichis en azote (tableau 29). En conséquence, on peut estimer que le nombre de racines tubérisées formées sur les premières boutures sera moindre à conditions de croissance égales.

#### **3.5.3.2. Poids des racines tubérisées**

Le poids moyen d'une racine tubérisée par plant est à notre avis une bonne approche pour comparer les traitements entre eux : l'effet du sol enrichi en K est positif sur cette composante du rendement. En montrant l'importance du potassium favorisant la translocation des carbohydrates de la partie aérienne vers les organes de stockage, nos résultats nous mettent en accord avec plusieurs auteurs, notamment MALAVOTA *et*

al. (1955), KASELE (1983), RAFFAILLAC et NEDELEC (1985), SILVESTRE et ARRAUDEAU (1983), KUMAR et al. (1971), TARDIEU et FAUCHE (1961).

L'azote diminue le poids moyen des racines : cet effet dépressif de l'azote sur la tubérisation a été démontré par KANG et WILSON (1980), KANG et OKEKE (1983). La diminution constatée peut cependant être liée en partie à l'augmentation du nombre de racines tubérisées. La matière sèche n'est donc pas stockée de la même façon dans les racines des plants développés sur sol dépourvu de tout apport annuel d'éléments N, P, K que dans celles des plants qui ont poussé sur sol enrichi régulièrement en N. Ce dernier type de sol semble favoriser la tubérisation d'un plus grand nombre de racines mais en même temps privilégier l'accumulation de la matière sèche dans la partie aérienne aux dépens des racines.

En outre, au niveau d'un même plant, la répartition de la matière sèche entre tous les tubercules s'effectue de façon très hétérogène et la proportion des petites tailles est élevée sur un sol pauvre (Cf figures 11). Ceci nous amène à souligner l'importance du niveau de fertilité du sol souhaitable lors de la définition des objectifs de la production : par exemple une commercialisation directe ou un usinage nécessitent des productions homogènes de gros tubercules. Les résultats de la transformation en gari des racines fraîches par catégorie de taille (tableau 27) nous montrent bien que plus les racines sont petites, plus le coefficient de transformation est faible : si l'on veut assurer un approvisionnement en tubercules de calibre satisfaisant pour un usinage en souhaitant limiter au maximum les pertes à l'épluchage, on voit donc combien la richesse du sol importe. Selon AKINRELE (1971), ODIGBOH (1976) et HERBLOT (1978), les pertes à l'épluchage sont d'autant plus élevées que les racines tubéreuses sont petites et irrégulières.

La richesse du sol joue non seulement sur la quantité de la tubérisation mais également sur la morphologie individuelle des racines tubérisées (Cf tableau 22). Des travaux effectués en Côte d'Ivoire (RAFFAILLAC, 1984) montrent qu'en moyenne, la longueur et le diamètre des racines tubéreuses diminuent avec l'augmentation des densités de plantation. Nos résultats montrent qu'à densité égale, ces deux paramètres (longueur et diamètre) sont très sensiblement modifiés par le niveau de fertilité du sol. Sur les sols riches en potassium, le remplissage des racines en glucides se concentre sur une proportion de la racine plus réduite qu'en sol appauvri. En outre, sur ce dernier type de sol, les racines tubéreuses présentent des pédoncules.

### **3.5.3.3. Nombre de plant par hectare**

Cette composante n'est pas modifiée par le niveau de fertilité du sol. Mais elle dépend fortement de la qualité des boutures utilisées pour l'essai : on peut le constater en se référant aux résultats de la comparaison des boutures issues des 4 traitements. Il est donc important de disposer de matériel de plantation de bonne qualité à chaque nouvelle implantation de parcelles de manioc.

### **3.5.3.4. Teneur en matière sèche des racines tubérisées**

La teneur en matière sèche des racines tubérisées est plus forte sur sol appauvri; cela remet en cause en partie le classement établi sur la base de racines fraîches (Cf 3.1.8.2.2). Le potassium et l'azote diminuent cette teneur en matière sèche; ceci est en désaccord avec les travaux de OBIGBESAN (1977) qui n'a trouvé aucune modification de cette teneur en fonction du potassium.

La teneur en matière sèche des racines tubérisées est un critère essentiel à prendre en compte pour l'aspect qualitatif des produits transformés. Ainsi, si l'on veut privilégier l'aspect qualitatif aux dépens de l'aspect quantitatif, on devra tenir compte de la modification dans la teneur en matière sèche induite par l'apport des éléments minéraux. La fertilisation se fera donc en tenant compte des objectifs de production poursuivis. Pour des productions de cossettes, de farine, de gari ou de tapioca, la teneur en matière sèche des racines n'est pas primordiale. Par contre pour la transformation en fofou il est important d'en tenir compte : une teneur trop élevée en eau diminue son acceptabilité.

### **3.5.4. Rendement en gari**

Avec la méthode traditionnelle de transformation en milieu paysan, le taux en gari des racines tubérisées est de 20% en moyenne quelle que soit la taille des racines tubérisées alors qu'en transformation mécanique, on observe des différences en fonction de la taille des racines. Cela s'explique d'une part par la teneur en matière sèche élevée des petites racines obtenues sur sol pauvre, d'autre part par l'adaptation par le transformateur traditionnel de sa méthode à la taille des racines tubérisées qu'il a à sa disposition.

### **3.5.5 Approche économique**

Notre objectif dans cette partie du document n'est pas de faire une analyse économique exhaustive de tous les intrants et des opérations effectuées au cours de l'essai. En effet, la production obtenue en fin de cycle est fonction non seulement des apports d'engrais minéraux de la campagne 1990 mais aussi et surtout de la gestion des parcelles expérimentales pendant les 14 années précédentes. Notre analyse économique se bornera à l'effet des apports d'engrais au cours de la campagne 1990 tout en sachant que les parcelles expérimentales ne possèdent pas la même historique culturale.

### 3.5.5.1. Méthodologie

Nous utilisons dans notre démarche la méthode de l'analyse de la rentabilité de l'emploi des engrais préconisée par les spécialistes de la F.A.O. en 1980.

Dans cette méthode, seuls les coûts des engrais et la valeur des produits de la récolte sont pris en compte. Les autres coûts de production sont supposés constants pour tous les traitements; ce qui est le cas dans notre étude excepté le temps des travaux consacrés à l'épandage des engrais. A partir de ces deux paramètres, on établit un rapport :

$$\text{RVC} = \frac{\text{Valeur de l'augmentation de production (V)}}{\text{Coût de l'engrais (C).}}$$

Ce rapport sert à l'appréciation de la rentabilité des engrais par rapport au capital investi.

L'application de l'engrais est supposée rentable pour une valeur de RVC supérieure à l'unité ( $\text{RVC} > 1$ ), très rentable pour une valeur comprise entre 2 et 3 ( $2 < \text{RVC} < 3$ ) et hautement rentable pour une valeur supérieure à 3 ( $\text{RVC} > 3$ ).

### 3.5.5.2. Eléments de base du calcul

#### . Engrais

Le prix des engrais est fixé à 65 F.CFA le kilogramme.

#### . Produit de récolte

Nous considérons ici le gari (produit issu de la transformation des racines tubéreuses) comme produit de récolte; celui-ci pouvant être conservé et vendu sur plusieurs mois. Le prix de vente du gari subit de fortes fluctuations au cours de l'année. Dans le cadre de cette analyse, nous ne retiendrons que la moyenne des prix mensuels de la campagne 1990 soit 108 F.CFA le kilogramme dans la région Maritime (DESA, 1991).

### 3.5.5.3. Analyse et observations

A partir des éléments de base et des rendements en gari des différents traitements, nous pouvons établir le tableau 32.

Tableau 32 : Rentabilité estimative de l'utilisation de différentes formules d'engrais (N, P et K)

Traitements	Rdt. en. gari, t/ha	Valeur du gari, F.CFA	V.A.P (V), F.CFA	Engrais		RVC=v/c
				quantité kg/ha	coût (C) F.CFA	
T1(0/0/0)	3.1	339120	0	0	0	
T2(30/0/0)	3.6	389448	50328	65.2	4238	11
T3(60/0/0)	3.1	333288	-5832	130.4	8476	-0
T4(0/45/0)	3.3	351432	12312	97.8	6357	1
T5(30/45/0)	3.4	366984	27864	163	10595	2
T6(60/45/0)	3.2	344304	5184	228.2	14833	0
T7(0/90/0)	3.9	424008	84888	195.6	12714	6
T8(30/90/0)	2.8	307152	-31968	260.8	16952	-1
T9(60/90/0)	2.9	312552	-26568	326	21190	-1
T10(0/0/45)	5.5	595296	256176	75	4875	52
T11(30/0/45)	6.6	717336	378216	140.2	9113	41
T12(60/0/45)	6.8	737856	398736	205.4	13351	29
T13(0/45/45)	6.6	717120	378000	172.8	11232	33
T14(30/45/45)	6.2	671544	332424	238	15470	21
T15(60/45/45)	6.8	729864	390744	303.2	19708	19
T16(0/90/45)	6.6	712800	373680	270.6	17589	21
T17(30/90/45)	6.5	707616	368496	335.8	21827	16
T18(60/90/45)	5.8	624672	285552	401	26065	10
T19(0/0/90)	5.9	645192	306072	150	9750	31
T20(30/0/90)	7.6	820800	481680	215.2	13988	34
T21(60/0/90)	7.8	844776	505656	280.4	18226	27
T22(0/45/90)	6.9	749088	409968	247.8	16107	25
T23(30/45/90)	6.7	723168	384048	313	20345	18
T24(60/45/90)	6.9	743688	404568	378.2	24583	16
T25(0/90/90)	5.6	604368	265248	345.6	22464	11
T26(30/90/90)	6.7	727056	387936	410.8	26702	14
T27(60/90/90)	7.6	815832	476712	476.07	30945	15

V.A.P. : valeur ajoutée de la production - Rdt : rendement

RVC : rapport valeur ajoutée de la production sur coût de l'engrais.

Les données du tableau 32 nous permettent de conclure que l'utilisation de l'engrais est rentable par rapport au témoin T1 sauf pour les traitements T3, T6, T8 et T9. La rentabilité est hautement appréciable lorsqu'il s'agit de KCl à dose moyenne (45 u/ha de K<sub>2</sub>O) : c'est le cas de T10; mais l'apport d'azote diminue cette rentabilité.

Il convient de rappeler une fois encore que cette analyse économique n'est que théorique; elle est fortement biaisée par la gestion antérieure des parcelles expérimentales pendant 14 ans.

Pour être vraiment valable, il faudrait qu'elle inclut les gains annuels en maïs, en gari et les coûts des engrais et de leur épandage des années précédentes.

## CONCLUSION

Cette étude du comportement du manioc sur terre de barre avec des niveaux de fertilité très différents met en évidence le rôle joué par les différents éléments minéraux N, P et K d'une part dans la production des boutures pour l'implantation d'un nouveau cycle, d'autre part dans la quantité et la qualité de la production des racines tubérisées.

L'azote est l'élément qui favorise le plus la production des tiges; il intervient surtout dans la qualité des boutures pour le cycle cultural suivant. Par contre, une bonne production de racines tubéreuses nécessite une bonne réserve en potassium du sol. Cette production s'améliore lorsque l'apport potassique est complété par une dose convenable d'azote. Toutefois un rapport trop élevé entre N et K défavorise le rendement.

L'observation d'effets antagonistes des deux éléments N et K en cas de rapport non équilibré nous amène à conclure que la dose à apporter de l'un ou de l'autre des éléments dépendra de l'objectif poursuivi.

En milieu paysan où l'objectif principal est la production de racines tubéreuses, il s'avère important de créer un peuplement exclusivement destiné à la production de tiges pour des boutures de bonne qualité. On y assurera un bon développement des organes aériens par un apport azoté spécifiquement étudié. En supposant qu'un plant peut donner 3 à 4 tiges, et une tige un minimum de 5 à 6 boutures (variété 312-524), une superficie de 0,05 ha avec une densité de plantation de 10 000 plants/ha suffirait pour la production de boutures pouvant emblaver un hectare de plantation. Ce matériel de plantation permettra d'assurer un bon taux de reprise et un meilleur enracinement aux jeunes plants, préalables indispensables à la réussite d'une culture de manioc.

La richesse du sol en éléments minéraux joue non seulement sur la quantité de racines tubérisées produites, mais aussi sur leur qualité. Les racines tubéreuses sont longues, petites et pédonculées sur sol pauvre tandis que sur sol riche, elles sont grosses, courtes et sessiles. L'azote et le potassium à des niveaux élevés dans le sol entraînent une teneur en eau importante dans les racines.

Ainsi, caractériser une production en tenant compte uniquement du rendement frais paraît largement insuffisant dans certains contextes de production. L'apport de K favorise la production de grosses racines tubéreuses : cela constitue un avantage certain en cas d'usinage car les pertes lors des opérations d'épluchage sont fortes avec de petites racines et de plus ces dernières racines (poids inférieur à 200 grammes) peuvent ne pas convenir.

D'un autre côté, l'augmentation de la production engendrée par l'apport potassique s'accompagne d'une diminution de la teneur en matière sèche des racines tubérisées. La prise en compte de la teneur en matière sèche des racines tubéreuses pour évaluer le rendement à l'unité de surface relativise le gain de production engendré par l'apport potassique. Certains procédés de transformation exigent de faibles teneurs en eau de la racine. Ainsi, pour l'amélioration de la production de la culture du manioc, il faudra dépasser les seuls aspects quantitatifs de la production pour pouvoir mieux définir les doses des apports potassiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKINRELE, I. A. (1971). - Industrial specification for mechanized processing of cassava into gari. Nigeria Federal Institute on Industry Research, Technical Memorandum N° 26, 14 p.
- APEDOH, K. A. (1991) - Analyse des cultures associées de premier cycle 1991 dans les systèmes de cultures en région maritime. Rapport de stage technique spécialisé. Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie, U.B., 39 p.
- BLEVINS, R. L. et al. (1983) - Influence of conservation tillage on soil properties. J. Soil Water Conserv. 38, pp 301-304.
- CHADDHA, T. B. (1958) - Fertilizer experiments of tapioca in the Kerela. State Journal of the Indian Society of soil Science, 6 (11), pp 53-63.
- C I A T. (1981) - Cassava production systems program; Annual reports 1971 - 1981. CIAT, Cali, Colombia;, 35p.
- COCK, J. H. & EL-SHARKAWY, M. A. (1988) - Physiological characteristics for cassava selection. Expl Agric., Vol. 24, pp 443-448.
- COURS, G. (1951) - Le manioc à Madagascar - Mémoire de l'Institut Scientifique de Madagascar, Série B, Tome III, Fasc. 2, pp 203-400.
- DABIN, B. (1956) - Contribution à l'étude de la fertilité des Terres de Barre. Agronomie Tropicale, Vol. XI, n°4, pp 490-506.
- DAGNELIE, P. (1984) - Théorie et méthodes statistiques - Applications agronomiques. Vol. 2, Presses agronomiques de Gembloux, BELGIQUE, 463p.
- DEGRAS, L. (1988) - VIIth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. Gosier (Guadeloupe), 1-6 July 1985, éd., INRA, PARIS, pp 675-685, 939p .
- DIAS, C. (1966) - "Mandioca tamben se aduba. Fir 8 (9), 14-16". In HOWELER, R. Mineral nutrition and fertilizer of Cassava. CIAT, Cali, Colombia, 1981, Series N° 09EC-4, 52 p.
- DIRECTION DE LA STATISTIQUE - DIVISION DE LA DEMOGRAPHIE (1989) - Actes du Séminaire National de divulgation des Résultats des Analyses des Données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat. 9-22 Novembre 1981. Lomé, - DCTD/FNUAP, TOG/86/PO (10), 81 p.

- DIRECTION DE LA STATISTIQUE. (1985) - Recensement général de la population et de l'habitat. Vol. I, Tome II. Lomé, 378 p.
- DIRECTION DES ENQUETES ET STATISTIQUES AGRICOLES. (1991) - Production des principales cultures vivrières. Campagne agricole 1990-1991. Vol. I, Résultats chiffrés. Lomé, 49 p.
- DIRECTION DES ENQUETES ET STATISTIQUES AGRICOLES. (1991) - Production des principales cultures vivrières. Campagne agricole 1989-1990. Vol. II, Analyse des résultats. Lomé, 108 p.
- DIRECTION DES ENQUETES ET STATISTIQUES AGRICOLES. (1991) - Prix des principaux produits vivriers observés sur les marchés ruraux en 1990. Lomé, 61p.
- DIZES, J. (1975) - Aperçus sur le manioc et sa culture. ORSTOM, Service d'Expérimentation Biologique, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 47 p.
- EGLE, K. (1990) - Croissance et développement du manioc en fonction de la fertilisation. Rapport de stage technique spécialisé. Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie - U.B., 50 p.
- EGOUMENIDES, C. (1981) - Etude en laboratoire des arrières effets des fumures azotées et de leur interaction avec le fumier dans un sol du Bénin. IRAT/GERDAT, Montpellier, 17 p.
- FOOD ALIMENTATION ORGANIZATION. (1980) - Les engrais et leurs applications, 3<sup>ème</sup> édition révisée. Rome 51p.
- FOOD ALIMENTATION ORGANIZATION. (1986) - Role of root, tubers and plantains in food security in sub-Saharan Africa. Rome, 21 p.
- FOOD ALIMENTATION ORGANIZATION. (1989) - Production. Vol. 43, Rome, (141-142), 346 p.
- FRYE, W.W. & THOMAS, G. W. (1991) - Management of Long-Term Field Experiments. *Agronomy Journal*, 83 (7), pp 38-44.
- HAHN, S. K. et al. (1991) - Le manioc et la crise alimentaire en Afrique. In TERRY, E.R., AKORODA, M.O. & ARENE, O. B. éd. *Plantes - Racines tropicales : Les plantes - racines et la crise alimentaire en Afrique*. Compte rendu du troisième symposium triennal de la Société Internationale pour les Plantes-Racines Tropicales - Direction Afrique, 17 au 23 Août 1986, Owerri, Nigéria, Centre de recherche pour le développement international, Ottawa, Ontario, Canada. IDRC - MR 273f, pp 28-34, 236 p.

- HAHN, S. K. (1983) - An Overview of African Traditional Cassava. Processing and Utilisation. IITA, P.M.B. 5320, Ibadan, 19 p.
- HERBLOT, G. (1978) - L'éplucheuse-broyeuse de manioc Bertin-Sodeplam. *Machinisme Agricole Tropical*, n° 52, pp 55-58.
- HOWELER, R. H. (1981) - Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ). CIAT, Cali, Colombia, 52 p.
- HOWELER, R. H. & CADAVID, L.F. (1990) - Short and long-term fertility trials in Colombia to determine the nutrient requirement of cassava. *Fertilizer Research*, 26 (20), pp 61-80.
- HOWELER, R. H. (1991) - Long-term effect of cassava cultivation on soil productivity. *CIAT, Field Crops Research*, 26 (18), pp 1-18.
- INDIRA, P. & SINHA, S. K. (1970) - Studies of the initiation and development of tubers in *Manihot esculenta* CRANTZ. *Indian Journal of Plant Physiology*, 13 (1), pp 37-40.
- KANAPATHY, K. (1976) - Fertilizer requirement on peat soil. *Malaysian Agricultural Journal*, 50 (3), pp 292-313.
- KANG, B. T. & WILSON, G. F. (1980) - Effect of maize plant population and nitrogen application on maize - cassava intercrop. *Proc. First Triennial Root Crops Symposium for Tropical Root Crops, Africa Branch, IDRC, Ottawa, Canada*, pp 129-133.
- KANG, B. T. & OKEKE, J.E. (1983) - Nitrogen and potassium responses of two cassava varieties grown on a Alfisol in Southern Nigeria. IITA, Root and Tuber Crops Research Institute, 231-237.
- KANG, B. T. (1984) - Potassium and magnesium responses of cassava grown in Ultisol in Southern Nigeria. *Fertilizer Research*, 5, pp 403-410.
- KASELE, I. N. *et al.* (1983) - Effects of shade, nitrogen and potassium on cassava. In *Production and uses in Africa. Processings of the second triennial symposium of ISTRC, Africa-Branch, Cameroun, IDRC*, pp 55-58, 231.
- KUMAR, C.R.M. *et al.* (1982) - Influence of potash on cassava. *Indian Journal of Agronomy*, 16 (3), pp 82-84.
- LAMOUREUX, M. (1969) - Note explicative N° 34 de la carte pédologique du TOGO au 1/1 000 000. ORSTOM, Paris, 91 p.

- LATRILLE, Ed.; ISSIFOU, A. & AGBOH, A. (1982) - Recherche Agronomique d'Accompagnement : année 1981. IRAT-PRODERMA, Lomé, pp 1-108.
- LAVILLE, J. (1975) - Aperçus sur le manioc et sa culture. Service d'Expérimentation Biologique, ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 47 p.
- LOUETTE, D. (1988) - Synthèse des travaux de recherche sur la fertilité des terres de Barre au Bénin et au Togo. DSA, CIRAD, Montpellier, 43 p.
- LOWE, S. B.; MAHON, J. D. & HUNT, L. A. (1982) - Early development of cassava (*Manihot esculenta*). Can. J. Bot., 60, pp 3040-3048.
- LOZANO, J. C. et al. (1976) - Field problems in Cassava. CIAT, Apartado Aereo 6713, Cali, Colombia, 127 p.
- MALAVOTA, E. et al. (1955). Studies on the mineral nutrition of cassava (*Manihot utilissima* Pohl). Plant physiology, 30 (1), pp 81-82.
- MARQUETTE, J. (1986) - Maintien et amélioration des rendements sur les terres de barre dans le Sud-TOGO. In CEPEDE, M. et al., Agronomie Tropicale, 1986, Vol. 41, N° 2, (132-148), 177 p.
- MARQUETTE, J. et al. (1982) - Recherche Agronomique d'Accompagnement 1976-1981 : premières conclusions. IRAT, PRO.DE.R.MA., Lomé, 34 p.
- MIEGE, J. (1957). Essais culturaux sur le manioc. J. Agric. Trop. et Bot. Appl., 4 (9-10), pp 402-441.
- MUCHNIK, J. & VINCK, D. (1984) - La transformation du manioc - Technologies autochtones. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Conseil International de la langue française, Presses Universitaires de France, (14-120), 172 p.
- NGONGI, A. G. N. (1976) - Influence of some mineral nutrient on growth, composition and yield of cassava (*Manihot esculenta* CRANTZ). Ph. D. Thesis. Ithaca, N. Y., Cornell University, 215 p.
- NGONGI, A. G. N. (1977) - Effect of potassium and sulfur on growth, yield, and composition of cassava. In COCK et al. éd. Processings of the Fourth Symposium of the International Society for Tropical Root Crop, Held at CIAT, Cali, Colombia, 1-7 August 1976, IDRC - 080e, pp 107-112.

- NJOKU, B. O. & ODURUKWE, S. O. (1991) - Evaluation des sources et des doses d'engrais azotés pour les cultures intercalaires de manioc - maïs. In TERRY, E.R., AKORODA, M.O. et ARENE, O.B. éd. *Plantes-Racines tropicales : Les plantes - racines et la crise alimentaire en Afrique*. Troisième symposium triennal de la Société Internationale pour les Plantes-Racines Tropicales - Direction Afrique, 17 au 23 Août 1986, Owerri, Nigéria. CRDI, Ottawa, Ontario, Canada, IDRC - MR 273 f, pp 36-40, 236 p.
- OBIGBESAN, G. O. & FAYEMI, A. A. A. (1976) - Investigations on Nigeria root and tuber crops. Influence of nitrogen fertilization on the yield and chemical composition of two cassava cultivars (*Manihot esculenta*). *J. agric. Sc. (Camb.)*, 86 (6), pp 401-406.
- OBIGBESAN, G. O. et al. (1977) - Effects of age at harvest and fertilizer application on the yield, available carbohydrates and hydrocyanic acid content of cassava (*Manihot palmata* Pohl). *J. agric. Sc. (Camb.)*, 88 (3), pp 679-681.
- OBIGBESAN, G. O. (1977) - Recherches sur les plantes à tubercules du Nigéria : effet du potassium sur la croissance, le rendement, les teneurs en amidon et en cyanure (HCN) et sur l'absorption des éléments nutritifs chez diverses variétés de manioc (*Manihot esculenta*). *J. agric. Sc. (Camb.)*, 89 (12), pp 23-34.
- OBIGBESAN, G. O. (1977) - Investigations on Nigeria root and tuber crops : response of cassava cultivars to potassium fertilizer in Western Nigeria. *J. agric. Sc. (Camb.)*, 89 (5), pp 23-27.
- ODIGBOH, E. U. (1976) - A cassava Peeling Machine : Development, Design and Construction. *J. agri. Engin. Res.*, Vol. 21, pp 361-369.
- OKEKE, J. E. et al. (1982) - Effects of fertilizers and plant age on distribution of nutrients in Nigeria cassava (*Manihot esculenta*). *NCRI*, Vol. 18, pp 403-411.
- POUZET, D. (1980-1984) - Rapport semestriel d'exécution technique n°9. Recherches d'accompagnement manioc. Programme d'agronomie. Document IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 79 p.
- RAFFAILLAC, J. P. & NEDELEC, G. (1982) - Comportement du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) pour différentes densités de plantation. Premiers résultats. Laboratoire d'agronomie, ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 16 p.
- RAFFAILLAC, J. P. & NEDELEC, G. (1984) - Fertilisation du manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ var. Bonoua) en Basse Côte d'Ivoire. Etude de cas. Communication au séminaire de l'IMPHOS, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 11 p.

- RAFFAILLAC , J. P. & NEDELEC, G. (1985) - Comportement du manioc en début de cycle en fonction de la durée de stockage de la bouture. In DEGRAS, L. éd., INRA. VIIth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. Gosier (Guadeloupe), 1-6 July 1985, pp 675-685.
- RAFFAILLAC , J. P. & NEDELEC, G. (1985) - Le travail du sol sous culture du manioc en Basse Côte d'Ivoire. Laboratoire d'Agronomie, ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 12 p.
- RAFFAILLAC, J. P. (1987) - Rôle de la qualité de la bouture dans l'enracinement du manioc au cours des premières semaines de croissance. ORSTOM, Paris, 39 p.
- RAFFAILLAC, J. P. (1987) - Le manioc et les autres plantes tropicales à tubercules. Cours de 3<sup>ième</sup> année à l'ORSTOM, Le Havre, 53 p.
- RAUNET, M. (1973) - Contribution à l'étude pédo-agronomique des terres de barre du Dahomey et du Togo. Agr. Trop., Vol.XXVIII, n°11, pp 1049-1069.
- SAVARY, S. (1982) - Données préliminaires sur les endomycorhizes à vésicules et arbuscules du manioc en Côte d'Ivoire. Laboratoire de phytopathologie, ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 26 p.
- SEBILLOTTE, M. (1979) - Cours d'agronomie. TOME II. Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris, 118 p.
- SILVESTRE, P. & ARRAUDEAU, M. (1983) - Le manioc. Maisonneuse et Larose éd., A.C.C.T., techniques agricoles et productions tropicales, Paris, 262 p.
- TALINEAU, J. C. (1975) - Contribution à l'élaboration d'une opération de recherches à caractère agronomique sur le manioc. Laboratoire d'agronomie, ORSTOM, Adiopodoumé, Côte d'Ivoire, 19 p.
- TARDIEU, M. & FAUCHE, J. (1961) - Contribution à l'étude des techniques culturales chez le manioc. IRAT, Agronomie Tropicale, Vol. XVI, N° 4, pp 375-386.
- TERRY, E.R., AKORODA, M.O. & ARENE, O.B. (1991) - Les plantes - racines et la crise alimentaire en Afrique. Compte rendu du troisième symposium triennal de la Société Internationale pour les Plantes-Racines Tropicales - Direction Afrique, 17 au 23 Août 1986, Owerri, Nigéria. CRDI, Ottawa, Ontario, Canada, IDRC - MR 273 f, pp 36-40, 236 p.

- VILAIN, M. (1987) - La production végétale : les composantes de la production. Technique et Documentation, Lavoisier éd., Paris, Vol. 1, 416 p.
- WESTPHAL, E. et al. (1985) - Cultures Vivrières Tropicales. Center of Agricultural Publishing Documentation, Wageningen, the Netherlands, pp 119-189, 514 p.
- YANINEK, J.S. & HERREN, H.R. (1989) - La lutte biologique : une solution durable aux problèmes posés par les déprédateurs des cultures en Afrique. IITA, Ibadan, NIGERIA, 231p.

## **ANNEXES**

Ces sols rouges du Dahomey et du Togo ont été étudiés par R. FAUCK dans sa thèse (« Les sols rouges sur sable et sur grès d'Afrique occidentale », mars 1971). Nous nous bornerons donc à résumer ses idées sur la formation des terres de barre.

Le processus initial et fondamental qui transforme la roche-mère grés-argileuse du continental terminal, en horizon B, est celui de la désilicification des grains de quartz par solubilisation et évacuation dans les eaux de nappe. Cette solubilisation est provoquée par une désagrégation mécanique préalable du quartz et une corrosion de celui-ci par le fer ; la perte de silice est très importante au niveau de la roche-mère : celle-ci peut perdre 47 % de son poids. La conséquence de cette désilicification est l'argilification de la roche-mère, par enrichissement relatif en argile. Il y a création progressive de nodules plus argileux et plus ferrugineux dans la roche-mère gréseuse. Cette accumulation relative peut être accompagnée d'accumulation absolue par apport de fer et d'argile.

L'argilification est accompagnée d'une rubéfaction : ce processus traduit la dynamique du fer ; le fer cristallisé, abondant dans la roche-mère, est transformé par pédogenèse en fer amorphe libre ; c'est la silice soluble, abondante dans la solution du sol, qui serait responsable de cette évolution du fer et de sa concentration en fer amorphe dans l'horizon B. Le fer amorphe est « piégé » par les surfaces argileuses et il est le principal responsable de la couleur rouge du sol (la part du fer cristallisé est moins importante). Lorsque les surfaces argileuses sont saturées par le fer, les apports extérieurs de fer amorphe par lessivage continuent à se fixer en formant des pseudo-particules, pouvant donner l'apparence d'une texture plus sableuse.

Ce sont donc les dynamiques de la silice et du fer qui sont les responsables de la formation de l'horizon (B) des terres de barre ; la désilicification est due à la richesse en fer du milieu (sous certaines conditions), puis la silice soluble induit la concentration de fer amorphe. Départ de silice et apport de fer amorphe contribuent à argilifier et à rubéfier la roche-mère. Quelle que soit l'hétérogénéité de celle-ci, on arrive, par ces processus de pédogenèse, à un horizon (B) sensiblement identique. La pédogenèse aboutit donc à une homogénéisation superficielle et également à un tassement (par départ de silice) des formations sédimentaires du continental terminal.

L'horizon (B) des sols rouges est donc caractérisé par la présence de pseudo-particules qui représentent une liaison particulière du fer amorphe avec les surfaces argileuses.

A ces phénomènes fondamentaux de pédogenèse s'en ajoute un autre qui est le phénomène de l'appauvrissement de la partie supérieure du sol rouge : il se traduit par une migration des éléments de la fraction argileuse (kaolinite, quartz très fin, hydroxydes). C'est la matière organique qui a le rôle essentiel dans ce processus ; les acides fulviques diminuent la stabilité des pseudo-particules ; celles-ci se dissocient, et il y a migration par lessivage des fractions argileuses, sous forme de chélates ou de complexes (l'érosion sélective peut également intervenir dans l'enrichissement relatif en sable ; cet appauvrissement serait transmis en profondeur par les actions biologiques).

Donc, ces différents mécanismes :

désilicification, argilification,  
rubéfaction,  
pseudo-particulation,  
appauvrissement.

se traduisent par une différenciation en horizons :

— Les horizons appauvris qui comprennent :

L'horizon humifère A1 : à matière organique fournisseur d'acides fulviques qui migrent en profondeur (le rapport AF/AII augmente avec la profondeur) ;

L'horizon intermédiaire A-B (ou de transition) dans lequel l'appauvrissement est en cours ; il possède une texture limono-sableuse ; dans certains cas, cet horizon fait passage à un sous-horizon (non discernable sur le terrain) où la dispersabilité de l'argile est plus grande que dans l'horizon (B) sous-jacent : il est caractérisé par une diminution de la stabilité des pseudo-particules ; ce caractère n'est identifiable que par des techniques appropriées de dispersion à l'analyse granulométrique ; d'où son nom d'« horizon de comportement » (CHAUVEL et FAUCK, 1969).

L'horizon intermédiaire est limité à la base par le « front d'appauvrissement » attaquant l'horizon (B) qui se comporte comme une roche-mère.

— Les horizons B : rubéfiés, très épais (jusqu'à 6 m). Horizons d'accumulation d'argile et de fer. Cette accumulation est double :

absolue par importation d'argile et de fer,  
relative par départ de silice.

Le fer est piégé par l'argile et il y a formation de pseudo-particules.

— Les horizons C : horizons de passage entre le B et la roche-mère. Ils peuvent avoir une morphologie variable : grès en voie d'altération et de digestion, enrichissement discontinu en argile et en fer aux dépens de roches sableuses, caractères hydromorphes (nappe). La limite des horizons C est difficile à préciser.

Plan de l'essai N/P/K 1990-1991 (AGBOMEDJI) : références des traitements et doses (N/P/K)

## ANNEXE II

BLOC I	BLOC I	BLOC I	BLOC II	BLOC II	BLOC II
T4 (0/1/0)	T9 (2/2/0)	T14 (1/1/1)	T22 (0/1/2)	T17 (1/2/1)	T20 (1/0/2)
T12 (2/0/1)	T16 (0/2/1)	T24 (2/1/2)	T10 (0/0/1)	T27 (2/2/2)	T5 (1/1/0)
T19 (0/0/2)	T2 (1/0/0)	T26 (1/2/2)	T7 (0/2/0)	T3 (2/0/0)	T15 (2/1/1)
T27 (2/2/2)	T7 (0/2/0)	T20 (1/0/2)	T23 (1/1/2)	T13 (0/1/1)	T11 (1/0/1)
T17 (1/2/1)	T15 (2/1/1)	T5 (1/1/0)	T21 (2/0/2)	T8 (1/2/0)	T6 (2/1/0)
T3 (2/0/0)	T10 (0/0/1)	T22 (0/1/2)	T25 (0/2/2)	T1 (0/0/0)	T18 (2/2/1)
T6 (2/1/0)	T21 (2/0/2)	T1 (0/0/0)	T19 (0/0/2)	T16 (0/2/1)	T4 (0/1/0)
T13 (0/1/1)	T18 (2/2/1)	T8 (1/2/0)	T26 (1/2/2)	T2 (1/0/0)	T24 (2/1/2)
T11 (1/0/1)	T25 (0/2/2)	T23 (1/1/2)	T14 (1/1/1)	T9 (2/2/0)	T12 (2/0/1)

## Caractéristiques culturelles des sous parcelles (essai N / P / K)

Années	Saisons	Sous parcelle A	Sous parcelle B
1981	1 <sup>ère</sup>	maïs	maïs
	2 <sup>ème</sup>	maïs	arachide
1982	1 <sup>ère</sup>	maïs	maïs
	2 <sup>ème</sup>	sorgho	niébé
1983	1 <sup>ère</sup>	maïs	maïs
	2 <sup>ème</sup>	maïs	arachide
1984	1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup>	manioc	manioc
1985 à 1988	1 <sup>ère</sup>	maïs	maïs
	2 <sup>ème</sup>	maïs	niébé
1989	1 <sup>ère</sup>	maïs	maïs
	2 <sup>ème</sup>	maïs	arachide
1990	1 <sup>ère</sup> et 2 <sup>ème</sup>	manioc	manioc

**EVALUATION INDIRECTE DE LA SURFACE  
DU LIMBE FOLIAIRE DU MANIOC**

**I. METHODE NON DESTRUCTIVE : ESTIMATION DE LA SURFACE S DU LIMBE FOLIAIRE DE LA FEUILLE DE MANIOC PAR LA LONGUEUR L DU LOBE MEDIAN**

La liaison entre la surface S et la longueur du lobe médian L est du type :

$$S \text{ (en cm}^2\text{)} = a \cdot L^b \text{ (en cm)}$$

Sur un échantillonnage de 100 feuilles de manioc ( var. 312-524 dans le cadre de cette étude), on relève simultanément :

L, longueur en centimètre du lobe médian du limbe

S, surface en cm<sup>2</sup> du limbe correspondant. La mesure se fait à l'aide d'un appareil de mesure automatique des surfaces (modèle DELTA T - AMS)

La relation  $S = a \cdot L^b$  est établie après transformation logarithmique :

$$\ln(S) = \ln(a) + b \cdot \ln(L)$$

Les paramètres  $\ln(a)$  et b de cette droite sont estimés à partir des couples de valeurs S et L relevées sur les feuilles.

**II. METHODE DESTRUCTIVE : ESTIMATION DE LA SURFACE S DU LIMBE FOLIAIRE DE LA FEUILLE DE MANIOC PAR LE POIDS SEC P DU LIMBE.**

La liaison entre la surface S et le poids sec P est du type :

$$S = a \cdot P + b$$

Sur un échantillonnage de 100 feuilles de manioc ( var. 312-524 dans le cadre de cette étude), on relève simultanément :

S, surface en cm<sup>2</sup> du limbe correspondant. La mesure se fait à l'aide de l'appareil de mesure automatique des surfaces (modèle DELTA T - AMS)

P, le poids sec individuel du limbe après passage à l'étuve à 85°C dans le cadre de notre étude.

Les paramètres a et b de cette droite sont estimés par régression linéaire à partir des couples des valeurs S et P relevées.

Il existe des différences entre les surfaces estimées par relevé du poids  $P$  du limbe et la longueur  $L$  du lobe médian. Ces écarts peuvent être dûs aux maladies ou attaques de parasites qui peuvent entraîner soit l'altération du lobe médian ou celle des autres lobes du limbe. Cependant, l'évaluation de  $S$  par la mesure in situ de  $L$  présente un grand avantage : celui de la possibilité de suivre les mêmes plants au cours du cycle cultural sans aucune destruction.

Ces méthodes d'estimation ne sont valables que pour une variété donnée car la morphologie du limbe varie beaucoup d'une variété à l'autre. Celle-ci doit de plus être cultivée dans des conditions proches de celles utilisées pour les plants sur lesquels on a prélevé les feuilles en vue de mesurer  $L$ ,  $P$  et  $S$ . Une estimation moins précise intégrera dans le calcul de la régression des données sur des feuilles issues de plants dont les conditions de cultures sont variées.

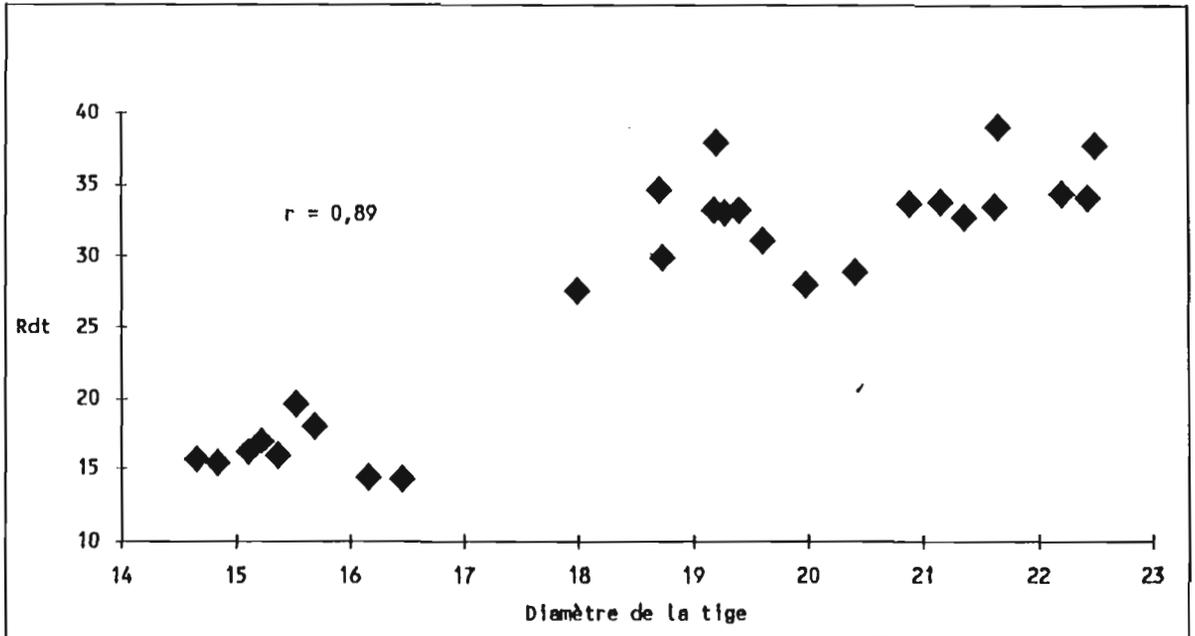


Figure 1 : Corrélation entre le rendement à 10 mois (Rdt en t/ha) et le diamètre (en mm) mesuré à 6 mois de la tige la plus développée des plants

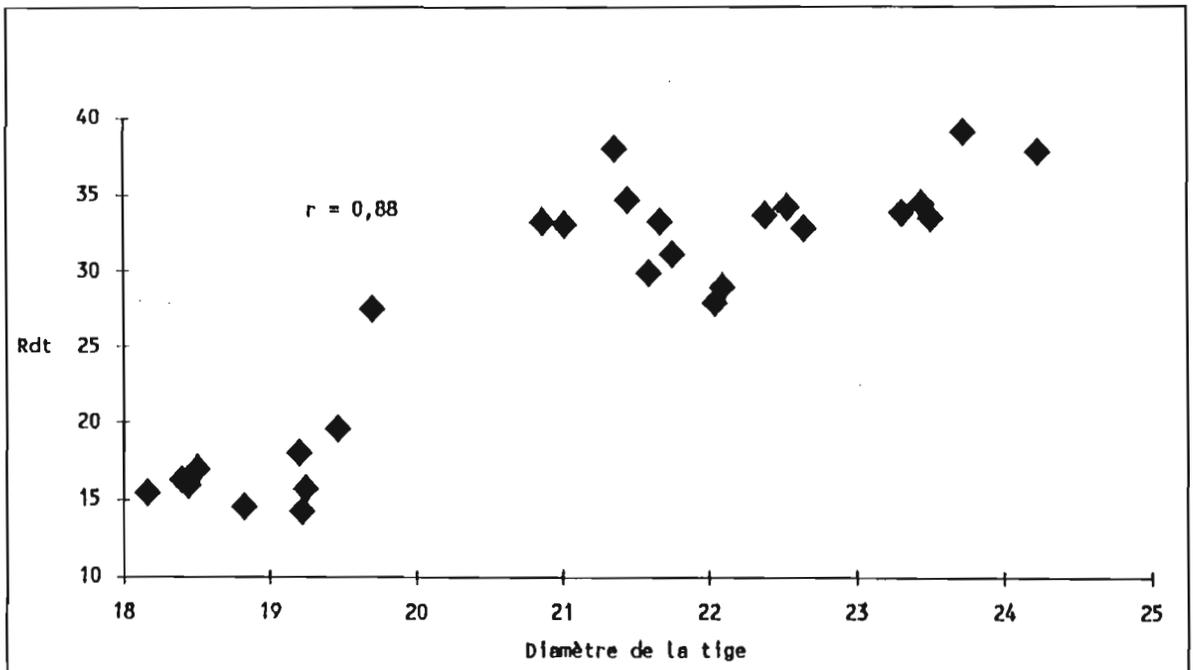


Figure 2 : Corrélation entre le rendement à 10 mois (Rdt en t/ha) et le diamètre (en mm) mesuré à 10 mois de la tige la plus développée des plants

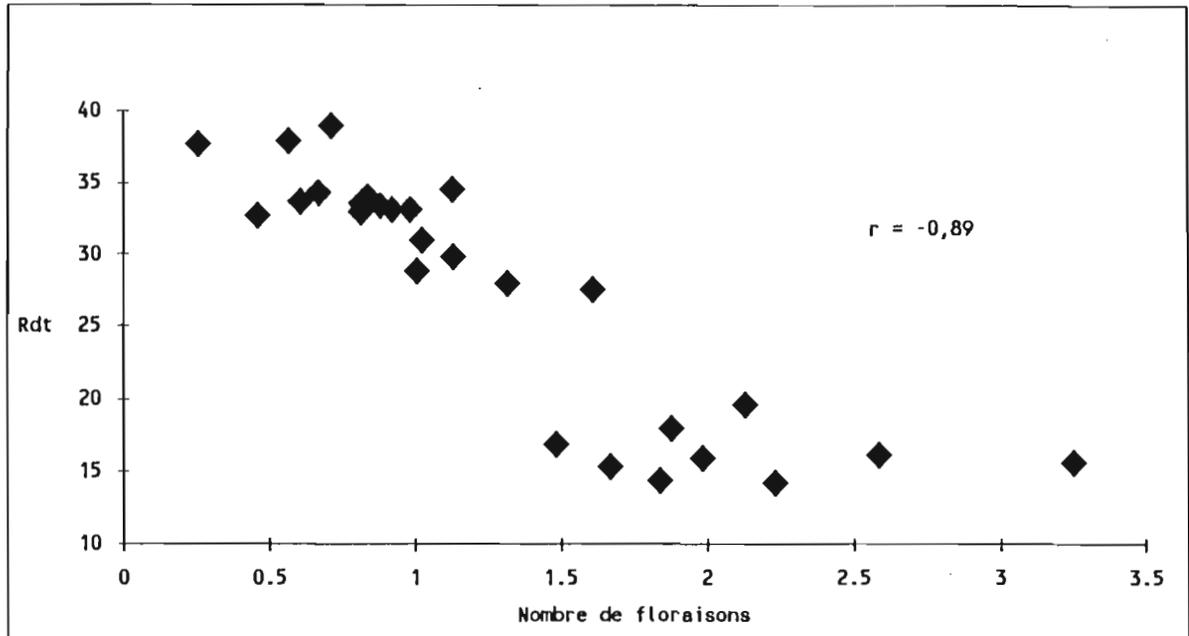


Figure 3 : Corrélation entre le rendement à 10 mois (Rdt en t/ha) et le nombre moyen de floraisons par tige au cours du cycle

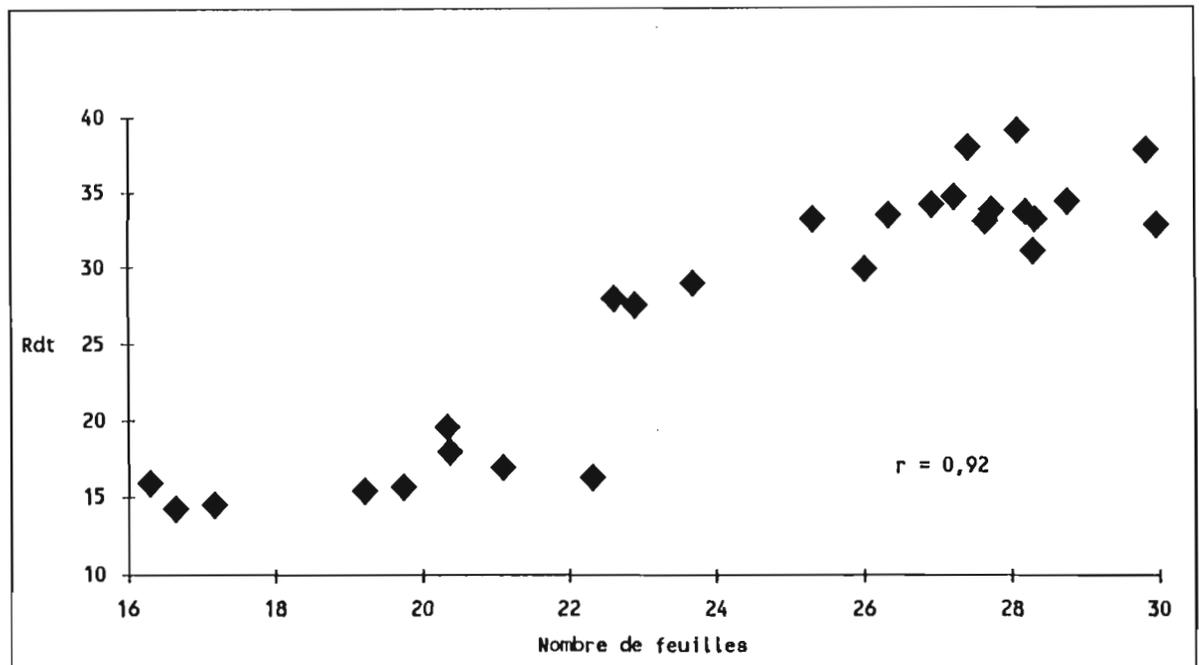


Figure 4 : Corrélation entre le rendement à 10 mois (Rdt en t/ha) et le nombre de feuilles présentes sur la tige la plus développée de chaque plant à la récolte (10 mois)

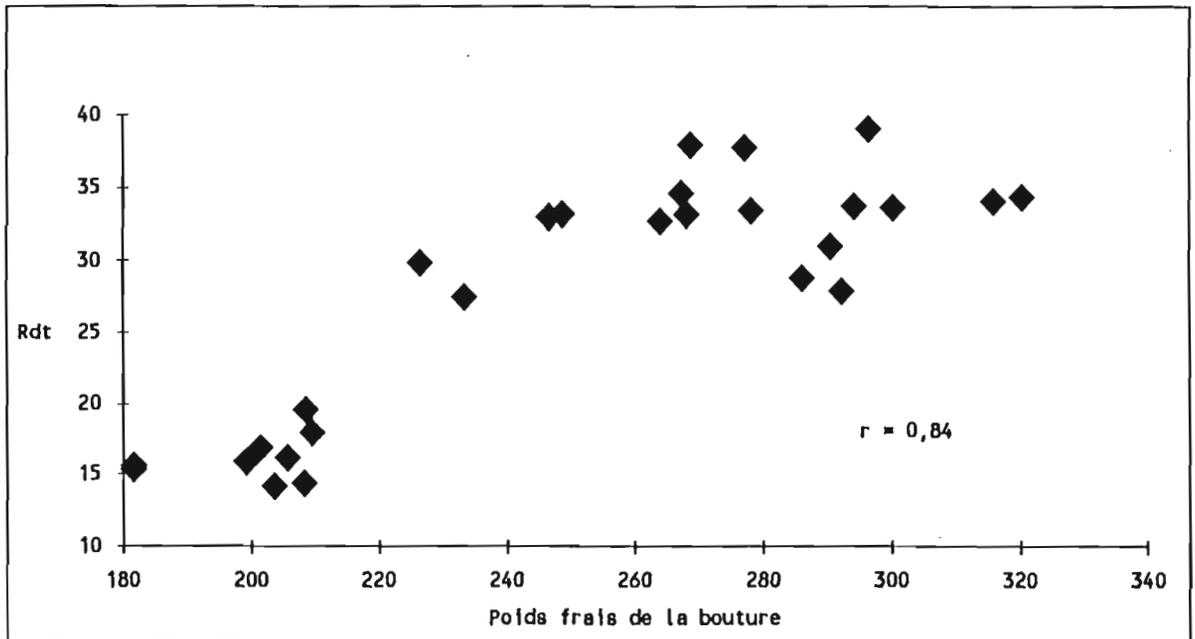


Figure 5 : Corrélation entre le rendement à 10 mois (Rdt en t/ha) et le poids frais (en grammes) de la bouture à la récolte

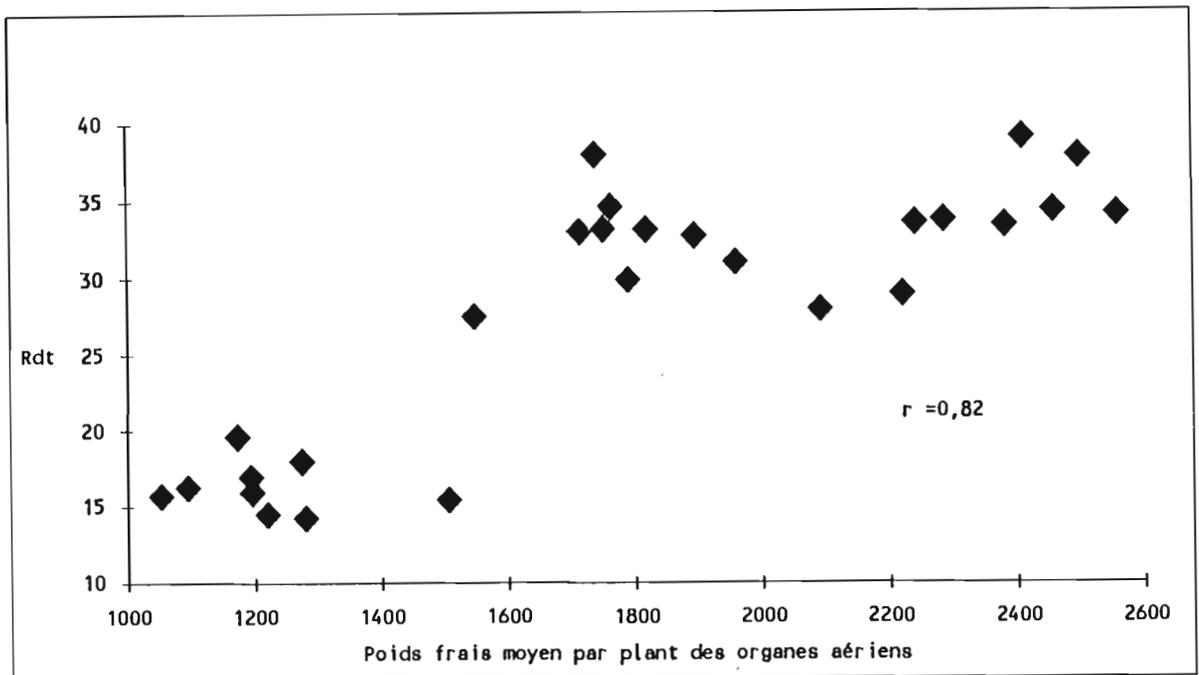


Figure 6 : Corrélation entre le rendement à 10 mois (Rdt en t/ha) et le poids frais moyen des organes aériens (en grammes) par plant

Les tableaux et graphiques ont été établis à l'aide du logiciel Microsoft-EXCEL.

Pour les analyses statistiques, nous avons utilisé le logiciel STATITCF (version 4).

La dactylographie a été faite sous le logiciel WORD5.