



LABORATOIRE D'AGRONOMIE
CENTRE DE RECHERCHE D'ABIDJAN
CÔTE D'IVOIRE .

N° OPR O.R.S.T.O.M. 2225.0

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
présenté à
L' I.S.T.O.M.
pour l'obtention du
DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES TECHNIQUES
D'OUTRE-MER (maitrise).

ABORATION DES COMPOSANTES DU RENDEMENT DU
MANIOC Manihot esculenta Grantz.

Philippe RENAUD.
Decembre 1983.

SOMMAIRE

	Pages
- AVANT-PROPOS	: 1
- LISTE DES PRINCIPAUX TERMES ET ABREVIATIONS	: 2
- INTRODUCTION	: 3
- <u>SECTION I : ESSAI PLANTATION MENSUELLE. ETUDE DES PRINCIPALES COMPOSANTES DU RENDEMENT DU MANIOC</u>	: 11
- MATERIEL ET METHODE	: 12
Eléments de climatologie	: 12
Le sol	: 12
Le matériel végétal	: 15
La plantation en bandes	: 15
- RESULTATS	: 17
<u>La matière végétative aérienne</u>	
Effet de la date de plantation sur le PFPA	: 17
Effet de la date de plantation sur l'émission des tiges	: 17
<u>Le rendement racinaire et ses composantes</u>	
Formalisation du rendement brut (Rb) du manioc	: 20
Effet de la date de plantation sur le rendement brut et commercial à 12 mois	: 20
Analyse de l'élaboration du rendement brut et utile	: 22
<u>Interactions entre système aérien et racinaire du manioc</u>	: 26
Interaction entre poids en tubercules et poids du système aérien	: 31
Interaction entre poids en tubercules et nombre de tiges émises	: 31
Interaction entre poids en tubercules et nombre d'apex	: 35
Interaction entre poids en tubercules et diamètre des tiges	: 35
Paramètre de productivité ; l'indice de récolte	: 35
- INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	
La matière végétative aérienne	: 42
Le rendement racinaire et ses composantes	: 42
Interaction entre système aérien et racinaire du manioc	: 44

- <u>SECTION II : ESSAI FERTILISATION. ETUDE PARTICULIERE DE LA MOSAÏQUE AFRICAINE DU MANIOC</u>	: 47
- MATERIEL ET METHODE	: 48
Protocole expérimental "in situ", essai fertilisation	: 48
Le matériel végétal	: 49
Méthode d'appréciation de l'intensité de la mosaïque Africaine du manioc	: 49
Définition des indices de gravité des symptômes	: 51
Test immuno-enzymatique ELISA pour la détection du virus de la mosaïque du manioc par voie sérologique	: 51
Centrifugation à basse vitesse	: 54
Mesure de l'abscission foliaire	: 54
- RESULTATS	
<u>Impact des facteurs cultureux responsables d'une aggravation de la virose.</u>	
Effet de la fertilisation minérale sur le pourcentage de plants virosés	: 56
Effet de la fertilisation minérale sur la gravité des symptômes	: 56
<u>Impact de l'accroissement des indices de gravité sur le plant.</u>	
Effet de l'aggravation des symptômes sur l'abscission foliaire	: 62
Effet de l'aggravation des symptômes sur le diamètre des tiges	: 62
Effet de l'aggravation des symptômes sur l'architecture du plant	: 62
<u>Mise en évidence de mécanismes de résistance à la mosaïque</u>	: 66
Effet du vieillissement de la feuille	: 66
Essai préliminaire de détection d'inhibiteur	: 66
- INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	
Effet de la fertilisation minérale sur la gravité des symptômes	: 69
Impact de l'accroissement des indices de gravité sur le plant	: 73
- CONCLUSION GENERALE	: 77
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	: 78

- ANNEXES.

Annexe I	: 81
Annexe II	: 87
Annexe III	: 90

TABLE DES FIGURES

- Figure N°1 : répartition des espèces du genre <u>Manihot esculenta</u> Grantz	: 4
- Figure N°2 : <u>Manihot esculenta</u> Grantz	: 6
- Figure N°3 : émission racinaire en fonction du taux hydrique du sol	: 8
- Figure N°4 : influence de l'âge de la récolte sur le rendement en amidon et tubercules	: 8
- Figure N°5 : ETO et précipitations mensuelles 82-83	: 13
- Figure N°6 : Corrélation entre évapotranspiration standard et poids frais du système aérien	: 6
- Figure N°7 : Corrélation entre rayonnement global et nombre de tiges	: 19
- Figure N°9 : corrélation entre le nombre de racines à 21 jours et le rendement brut	: 23
- Figure N°8 : corrélation entre précipitations cumulées des 4 premiers mois et rendement brut à 12 mois	: 23
- Figure N°10: régression linéaire entre le rendement par plant et le pourcentage du poids représenté par les nodales	: 27
- Figure N°11: régression linéaire entre le nombre de tubercules commercialisables et totaux	: 28
- Figure N°12: courbes comparatives du rendement brut et commercial	: 30
- Figure N°13: régression linéaire entre le poids frais en tubercules et celui du système aérien	: 33
- Figure N°14: régression linéaire du poids en tubercules en fonction du nombre de tiges	: 34
- Figure N°15: régression linéaire entre le nombre d'apex et le poids en tubercules	: 36
- Figure N°16: régression linéaire entre le diamètre moyen des tiges et le poids en tubercules	: 38
- Figure N°17: régression linéaire entre le diamètre cumulé des tiges et le poids en tubercules/plant	: 40
- Figure N°18: saturation mécanique et stockage	: 45
- Figure N°19: principe du test immuno-enzymatique ELISA	: 53
- Figure N°20: profil de résolution des composantes du broyat	: 55
- Figure N°21: évolution du pourcentage de plants virosés	: 59
- Figure N°22: classification décroissante des indices de gravité des 25 répétitions	: 60
- Figure N°23: régression linéaire de l'abscission foliaire en fonction de l'intensité	: 63
- Figure N°24: stéréogramme : abscission foliaire et intensité de la virose	: 64

- Figure N°25 : évolution du port en fonction de l'intensité : 65
 - Figure N°26 : évolution du taux de virus avec l'âge de la
feuille : 67
 - Figure N°27 : Variation du taux de virus détecté avec ou
sans chloroforme : 68
 - Figure N°28 : régression de la surface foliaire en fonction
de l'intensité : 71
 - Figure N°29 : régression linéaire du taux de virus en
fonction de l'intensité : 75
 - Figure N°30 : variation du taux de virus entre plages
vertes et plages jaunes des feuilles : 75
-

AVANT _ PROPOS

Avant d'exposer les résultats et les conclusions de ces recherches sur les composantes du rendement du manioc, je tiens à remercier toutes les personnes qui, par leurs enseignements, leurs conseils, ou leur collaboration m'ont facilité l'accomplissement de ce travail.

Cette étude n'aurait pas vu le jour sans les encouragements et le soutien de Monsieur J. P. RAFFAILLAC, Maître de Recherche O. R. S. T. O. M. que je ne saurais trop remercier ici.

Ma reconnaissance va également à Monsieur HAINNAUX, Directeur de Recherche des laboratoires d'agronomie pour sa collaboration.

Je remercie l'ensemble du personnel travaillant sur le programme Manioc et en particulier MM N. HOUNTAGNI, A. OUEDRAOGO, et W. DJAKO, ainsi que le laboratoire de virologie qui m'a autorisé à réaliser quelques expériences.

Ma gratitude va également à Monsieur J. LAVILLE pour ses conseils dans la rédaction de ce mémoire.

Je prie Monsieur FORESTIER, chef du département Indépendance Alimentaire de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, qui m'a autorisé à réaliser cette étude de recevoir ici l'expression de ma reconnaissance.

"COPYRIGHT - O.R.S.T.O.M. 1983". Ne sont autorisées, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective.
Loi du 11 mars 1957.

LISTE DES PRINCIPAUX TERMES ET ABREVIATIONS

MATERIEL VEGETAL.

CB : Manihot esculenta Grantz variété Congo Brazzaville.
BR : Manihot esculenta Grantz variété Bonoua.

EXPERIMENTATION SUR ESSAI PLANTATION MENSUELLE.

ETO : Evapotranspiration standard en mm.
HCN : Acide cyanidrique.
L1 : Longueur du premier article de la tige en cm.
Lto : Longueur maximale du plant.
NA : Nombre d'apex total par plant.
NR : Nombre de ramifications maximales de la tige par plant.
Nt : Nombre de tiges issues de la bouture.
NT : Nombre de tubercules par plant.
NTu : Nombre de tubercules utiles par plant.⊙
P : Précipitations.
PFB : Poids frais de la bouture en g.
PM : Plantation mensuelle.
PFPA : Poids frais des parties aériennes par plant en kg.
PFTU : Poids frais des tubercules utiles par plant.⊙
T : Température.
O : Diamètre de base du premier article de la tige en mm.

EXPERIMENTATION SUR ESSAI FERTILISATION.

E ; Echantillon.
ELISA: Method of Enzyme-Linked Immunosorbent Assay.
IF : Indice foliaire.
IGS : Indice de gravité des symptômes au niveau d'un plant.
IGSM : Indice de gravité des symptômes au niveau d'une culture.
PVP : Polyvinyl Pyrolidone.
T : Témoin.
TPA : Tampon antigène.
Tween 20 : Polyoxyéthylène Sorbitan Monolaurate.

⊙ On considère comme utile ou commercialisable un tubercule répondant aux trois critères suivants :

- Diamètre minimal : 4cm.
- Longueur minimale: 20 cm.
- Poids minimal : 150g.

INTRODUCTION

"Sans théorie on ne saurait jamais si ce qu'on voit et qu'on sent correspond au même phénomène". BACHELARD.

ELEMENTS D'ANALYSE HISTORIQUE.

Toutes les espèces du genre Manihot sont originaires d'Amérique tropicale (GRANTZ 1766).

Le Brésil a été d'abord cité comme centre d'origine en raison de ses caractères de berceau de culture (De CANDOLLE 1886). En 1965, ROGERS signalait cependant, qu'une origine uniquement Amazonienne du manioc, serait difficilement compatible avec le caractère héliophile de la plupart des espèces connues.

Des indices trouvés au Guatemala confirment cette hypothèse de zones de diversification secondaires (grains d'amidons trouvés dans des coprolithes datés de 200 à 900 av JC ; figure : 1).

L'introduction en Afrique par les Portugais remonte au XVI^e siècle. La culture s'est rapidement liée à l'histoire du continent noir, puisqu'au cours des conquêtes territoriales qui furent à la base de la fondation de Royaumes Africains, les tubercules de manioc constituaient l'aliment principal des troupes.

Son apparition dans l'océan Indien (Bourbon et à l'île De France) remonte à 1738 et 1739.

En Asie le manioc est implanté à Ceylan et Calcutta à la fin du XVIII^e siècle.

L'introduction en Australie date du XX^e siècle au Queensland (SILVESTRE, ARRAUDEAU).



figure 1 • Répartition des espèces du genre Manihot esculenta Grantz (Rogers 1963).

CONNAISSANCE BOTANIQUE.

-Classification :

Le genre Manihot est un phanérogame angiosperme dicotylédone de la famille des Euphorbiacées, qui compte plus de 300 genres et 8000 espèces presque toutes tropicales. Le genre Manihot appartient à la tribu des Manihotae. L'espèce cultivée est le Manihot esculenta Grantz.

-Description :

C'est un arbrisseau de 4 ou 5 mètres, à tiges très variables se ramifiant par trichotomie ou dichotomie. Les feuilles sont alternes, caduques, palmipartites (Figure : 2). La pollinisation est croisée (TAN 1979).

Les tubercules atteignent en moyenne à 12 mois 30 à 45 cm de long, 5 à 15 cm de diamètre et peuvent peser de 0,9 à 2,5 kg. Les racines atteignent en moyenne 0,90 m de profondeur (COURS 1951).

LE MANIOC SIGNIFICATION ACTUELLE POUR LA RECHERCHE.

Le manioc est la 7^e culture du monde, avec une production de 120 millions de tonnes en 1979 (estimations F. A. O.). Son taux d'accroissement est de 237% de 1950 à 1970, ce qui est comparable aux autres grandes productions alimentaires amyliacées : blé 285% ; riz 225% ; maïs 259%. C'est un aliment fondamental pour 500 millions d'êtres humains, on estime à l'heure actuelle que 37% des calories utilisées sur le continent Africain proviennent de ses tubercules.

Le commerce du manioc sec (cossettes, semoules, granulés) connaît un développement rapide depuis 1973 sous l'effet d'un considérable développement de l'offre (Thaïlande) et d'une demande de la C. E. E. Sa farine est largement utilisée dans les aliments composés fabriqués en Europe :

- Bovins : 10 à 20% de farine.
- Vaches laitières : 10 à 40% " " "
- Volailles : 5 à 30% " " "

L'amidon du manioc concurrence celui du maïs, du blé, de la pomme de terre dans les industries alimentaires pour la fabrication de produits édulcorants (sirop de glucose, isosirops, produits épaississants) et du tapioca. Il intervient également dans l'industrie textile, l'encollage du papier, la fabrication de céramiques, la floculation des métaux et l'industrie du caoutchouc.

Devant l'importance croissante du manioc au niveau mondial l'O. R. S. T. O. M. a mis en place depuis 3 ans un programme de recherche pour déterminer les processus d'élaboration des composantes du rendement de Manihot esculenta Grantz. On constate en effet, que jusqu'à présent les gains de production



figure 2 • *Manihot esculenta* Grantz.
A Aspect général
B Inflorescence
C Fleurs femelles
D Fleurs mâles
E Fruits
F Graines



sont dus à l'extension des surfaces cultivées et non pas à des progrès importants de productivité à l'hectare (exception faite de la Thaïlande).

Le bilan des connaissances étant encore très faible sur le manioc, de nombreux pays tropicaux producteurs ont simultanément lancé des opérations de recherche analogues : Centre International d'Agronomie Tropicale C. I. A. T ; Centre de Recherche International Tropical C. R. I. T ; International Institute of Tropical Agriculture I. I. T. A.

BILAN DES PUBLICATIONS RECENTES SUR L'ELABORATION DU RENDEMENT.

-Influence de l'état hydrique du sol.

En 1982, GODO signalait dans ses travaux, que l'état hydrique du sol avait un impact sur le nombre de racines émises par la bouture (Figure : 3). On soulignera cependant que la réponse du plant à l'humidité ne semble pas très concluante à ce stade de développement (on n'observe pas de différences significatives entre des taux d'humidité aussi distincts que 5, 10 et 20%).

-Influence de la date de récolte.

Elle est réalisable à n'importe quelle période de l'année, à condition que les racines aient atteint leur maturité, en particulier en région où l'on observe une répartition homogène des pluies (Malaisie). A la faveur de premières expériences on observe que l'âge de récolte optimum se situe entre le 12^e et le 23^e mois (teneur maximale en amidon). La figure 4 montre l'influence de l'âge sur le rendement en amidon et en tubercules.

-Influence de la fertilisation minérale.

40% des publications des 10 dernières années sur la fertilisation du manioc sont d'origine Indienne, 20% proviennent du Nigéria (I. I. T. A.) et 10% de la Colombie (C. I. A. T.). La fumure potassique est la plus étudiée (48% des travaux dans le monde) suivie de la fertilisation azotée (31%) et celle du phosphore (20%). La majorité des études portent sur le rendement racinaire. On remarque cependant que les recherches concernant le développement du système aérien (surface foliaire, pérennité, hauteur du plant) sont assurées en quasi totalité par la Colombie (C. I. A. T.).

Les essais en fumure et les études relatives à la nutrition ont néanmoins montré une telle diversité de résultats, qu'à l'heure actuelle à défaut de lois générales sur la fertilisation, on a seulement pu dégager des tendances. Devant l'extrême variabilité voire la contradiction des conclusions obtenues il nous a semblé indispensable de citer quelques exemples.

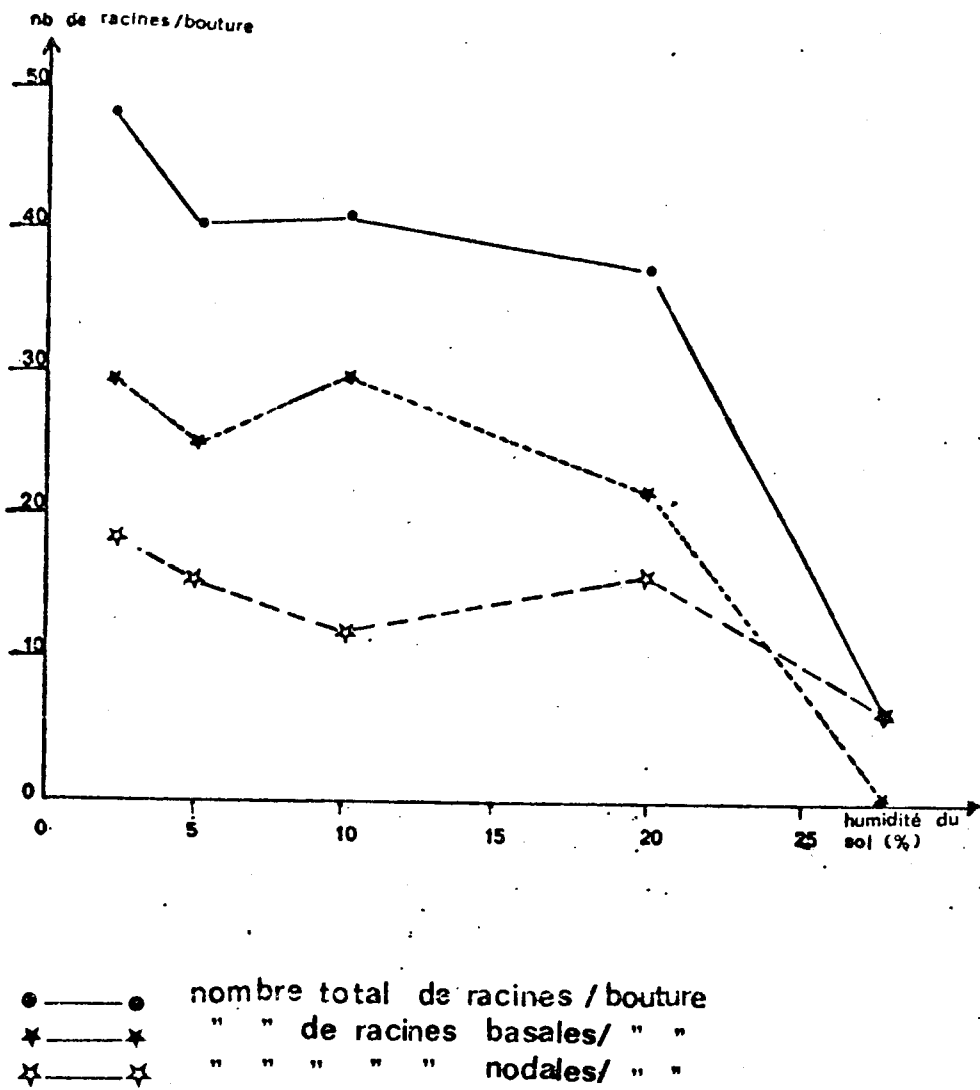


figure 3 • Emission racinaire en fonction du taux hydrique du sol.

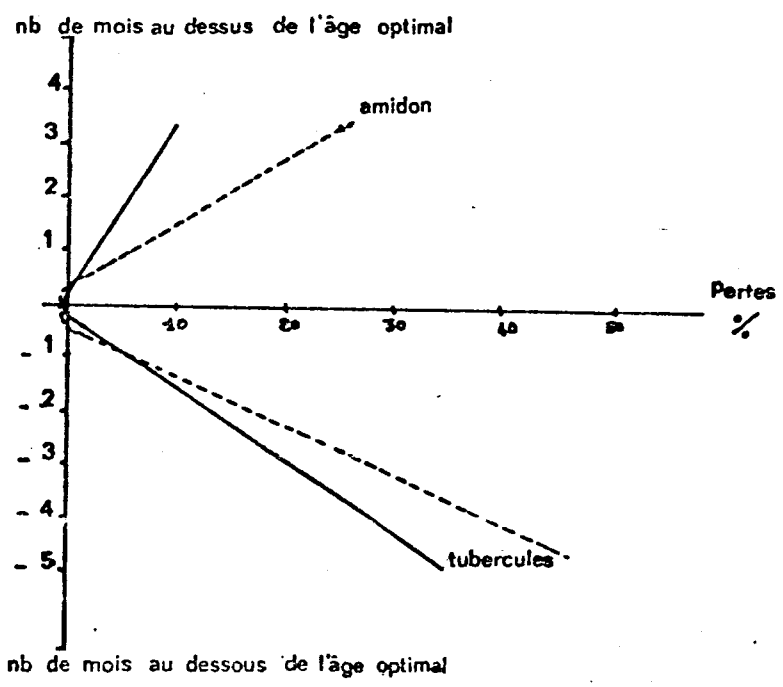


figure 4 • Influence de l'âge de récolte sur le rendement en amidon et tubercules.

Les apports d'engrais azotés sont suivis de fortes réponses jusqu'à un optimum dépendant du niveau de nutrition des autres éléments, en particulier de la potasse (SILVESTRE, ARRAUDEAU). Au delà de cet optimum, l'azote favorise le développement du système aérien au détriment des tubercules, accroît les teneurs en HCN et diminue simultanément le taux d'amidon racinaire.

Une étude de KRISHNARAMA sur Manihot esculenta Grantz var H105, H97 et M4 contredit les affirmations précédentes. L'absence de réponse à la fertilisation azotée qu'il signale est confirmée par I. I. T. A. sur Manihot esculenta Grantz var 53101.

A l'inverse l'ensemble des chercheurs s'accordent à penser que le phosphore ne joue qu'un rôle secondaire. Les besoins du manioc étant très faibles. En 1978 le C. I. A. T. constatait qu'un rendement maximum pouvait être obtenu avec des teneurs en P de la solution du sol comprises entre 0,015 et 0,025 PPM (exigences de la pomme de terre : 0,20 PPM). En 1980 le même organisme a montré que l'inoculation de mycorrhizes favorise l'absorption de P. On note cependant que des travaux menés en Inde sur variété Malayan 4 sur terre rouge végétale contredisent les conclusions du C. I. A. T.

Les besoins en potasse sont les plus importants dans la fumure du manioc (YAWALKAR). On observe l'existence d'une consommation de luxe. Une étude menée en Inde sur variété H97 montre qu'au delà de 100 kg/ha la potasse diminue le rendement en tubercules. Les travaux de l'I. I. T. A. sur les variétés 53101 et 60506 ont abouti à de semblables conclusions.

UN FACTEUR LIMITANT DU RENDEMENT : LA MOSAÏQUE AFRICAINE DU MANIOC. - Distribution géographique.

L'apparition de la mosaïque du manioc ne suit pas l'installation de la culture sur le continent noir (PYNAERT, 1951). On l'observe seulement à la fin du XIX^e siècle en Afrique Orientale et Centrale (WARBURG, 1894 ; ZIMMERMANN, 1906 ; MORGAN, 1912).

La mosaïque a été observée dans tous les pays d'Afrique Intertropicale : Ouganda (HALL, 1928), Somalie (PETRI, 1931), Soudan (BOUGHEY, 1945), Nigéria (GOLDING, 1935 ; MACKIE, 1937 ; WEST, 1938), Côte d'Ivoire (HENIN, 1951 ; ROGER et MALLAMAIRE, 1937).

Elle a été retrouvée aux Canaries et à Gibraltar (Mc KINNEY, 1929), en Malaisie (STEYAERT, 1951), et tout récemment en Inde (ALAGIANAGALINGAM et RAMAKRISHNAN, 1965 ; MENON et RAYCHAUDHURI, 1970).

On situe donc l'apparition de la maladie au début du siècle en Afrique, l'Amérique du Sud en étant indemne. Le décalage entre l'introduction du manioc en Afrique et l'apparition de la mosaïque oblige à penser qu'il existe un hôte primaire de l'agent pathogène, le manioc n'étant devenu qu'un hôte privilégié.

-Nomenclature

La mosaïque du manioc est la première maladie virale végétale observée et étudiée sur le continent noir (WARBURG 1894). Elle est d'abord décrite sous l'appellation de "Kraußelkrankheit" (frisolée) par ZIMMERMAN en 1906, "Leaf Curl" par HALL en 1928, "Lèpre" par PASCALET en 1932, "Kroepoek" par THUNG en 1934.

En 1928 MARTIN est le premier à lui donner son appellation actuelle de "Mosaïque".

L'agent pathogène (gémiviruses) est à peine connu, il est isolé en 1982 par le Dr BOCK au Kenya. La mosaïque devient donc la première maladie décrite causée par ce type de virus. Le vecteur est un aleurode : Bémisia tabaci Genn (Classe : Insecta ; Ordre : Homoptera ; Sous Ordre : Aleurodinea ; Famille : Aleurodidae

-Les pertes de rendement

Les dégâts occasionnés sont très importants, liés à la gravité des symptômes foliaires (CHANT, 1957 ; EKANDEM, 1964). De nombreux auteurs estiment les pertes à 16,6% dans les territoires Africains Anglophones (WATTS ; PADWICK, 1956).

A Madagascar, les chutes de rendement varient selon les régions climatiques de 0 à 83% (COURS, 1951).

En Inde, dans l'état de Madras, l'incidence de la maladie est de 60 à 100% (ALAGIANAGALINGAM et RAMAKRISHNANA, 1966).

En Côte d'Ivoire, la mosaïque atteint 95 à 100% des plants (DUBERN, 1976).

THEME DE L'ETUDE.

Dans le cadre de l'opération de recherche Manioc n° 2225 O menée par l'O.R.S.T.O.M. nous nous sommes attachés à préciser d'une part, le rôle de la date de plantation sur le rendement agronomique (étalement au maximum la récolte pour la nutrition humaine et faciliter le fonctionnement des industries de transformation).

D'autre part, il nous a semblé intéressant d'aborder le problème de la mosaïque sous l'angle de la fertilisation minérale (rôle sur les manifestations de la maladie). Ce type d'étude n'a pas fait l'objet à notre connaissance de recherches dans divers pays producteurs, et pose donc les premières bases de la connaissance sur cet aspect de la fertilisation.

SECTION I

ESSAI PLANTATION MENSUELLE :
ETUDE DES PRINCIPALES COMPOSANTES DU RENDEMENT
DU MANIOC (*Manihot esculenta* Grantz).

1.1 MATERIEL ET METHODES.

1.1.1. CONDITIONS DE MILIEU.

1.1.1.1. Elément de climatologie.

Ils proviennent de relevés mensuels O. R. S. T. O. M. (1982-83) publiés par le laboratoire de bioclimatologie (MONTENY).

Les 5 paramètres étudiés sont :

- : Le rayonnement global.
- : La température.
- : La pluviométrie.
- ; L'Evapotranspiration standard (0.76•rayonnement net).
- : Le déficit hydrique.

impliqués dans les réponses biologiques différentes des 6 plantations mensuelles étudiées (synthèse figure : 5).

Le rayonnement global est maximal au mois de mars (60520 Joules . cm²) il décroît progressivement jusqu'à un minimum de 27150 J.cm² en août, pour s'accroître ensuite (tableau n2).

Les températures moyennes mensuelles varient peu au cours de l'année, avec un maximum de 29,6°C en mars, et un minimum de 25°C en juillet (tableau n°1).

La répartition mensuelle des précipitations admet les valeurs remarquables du tableau n°3. Les hauteurs de précipitations mensuelles connaissent des fluctuations considérables : 905 mm en juin et 0 mm en janvier 83.

1.1.1.2. Le sol.

Il est fortement désaturé sur sables tertiaires, à pH acide dès la surface (4,5-5,5). Les teneurs en bases échangeables sont médiocres, et le degré de saturation inférieur à 15%. Les teneurs en phosphore total (0,6-0,3%) et en azote total (1,5-0,2%) sont moyennes.

On constate une bonne activité de la micro et méso-faune (ROOSE., HENRY DES TUREAUX 1971).

Le sol présente en surface un mince horizon (15cm) gris brun, riche en sables grossiers et très meuble, puis un horizon sablo-argileux brun jaune déjà beaucoup plus cohérent qui, en fait, est mélangé au précédent par les travaux culturaux.

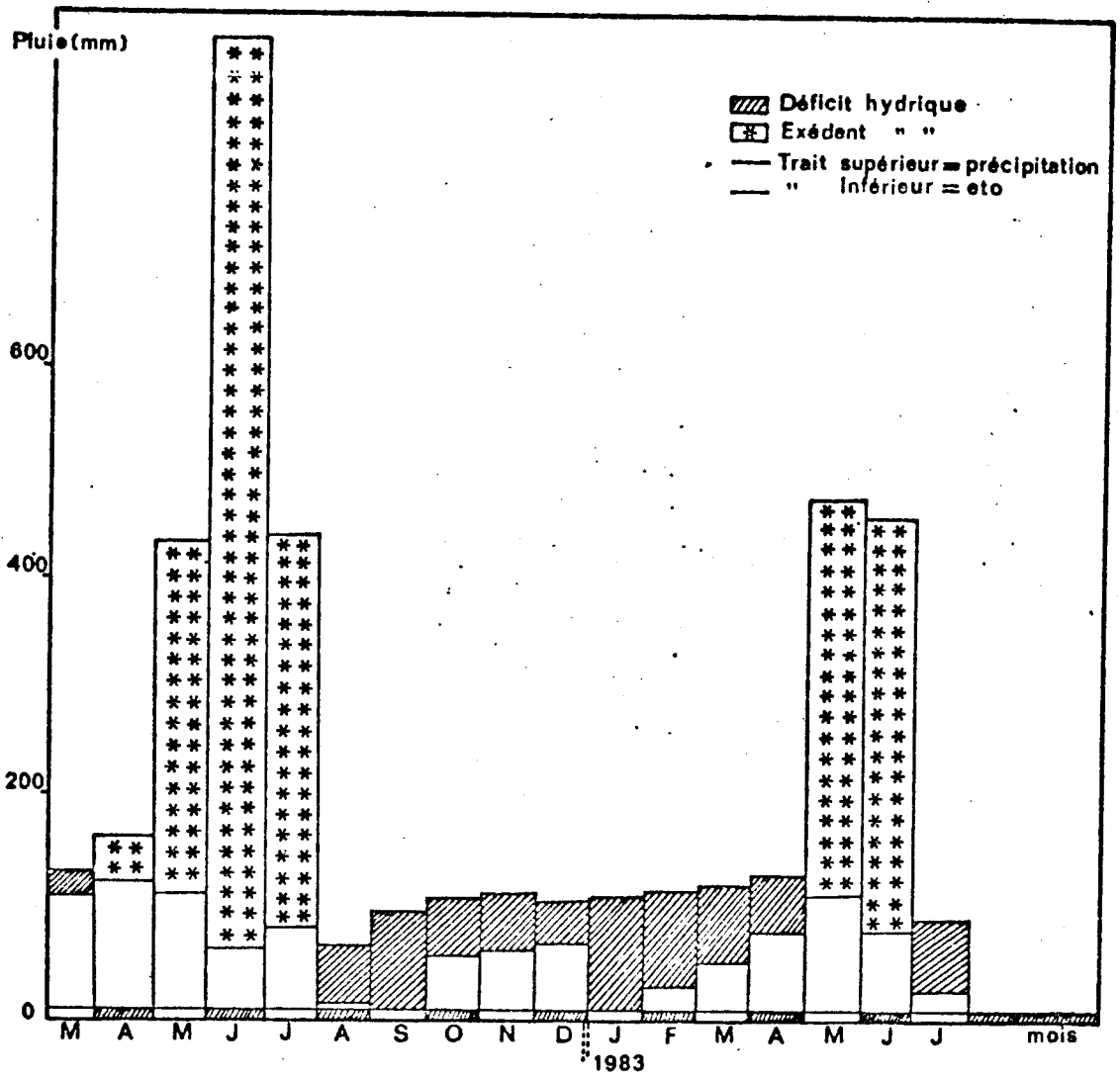


figure 5 • Eto et précipitations mensuelles 82 - 83

1982	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
T° max	32,2	31,6	30,0	27,6	27,2	26,3	28,5	29,0	30,3	30,6
T° min	24,0	24,3	26,9	23,5	22,7	22,0	22,6	23,3	23,0	22,8
T°	8,2	7,3	6,3	4,1	4,5	4,3	5,9	5,7	6,9	7,8
T°	28,1	28,4	26,9	25,6	25,0	24,2	25,6	26,2	26,7	26,7

1983	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil
T° max	32,0	32,3	33,2	32,2	30,8	27,9	27,5
T° min	20,8	24,6	25,9	25,0	24,6	23,6	22,6
T°	11,2	7,7	7,3	7,2	6,2	4,3	4,9
T°	26,4	28,5	29,6	28,6	27,7	25,8	25,1

Tableau n°1 : REPARTITION MENSUELLE DES TEMPERATURES EN °C.

1982	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
RG somme	60520	55850	50170	27290	35930	27150	40520	48590	50870	46000
RG moyen	1952	1862	1618	909	1159	876	1350	1567	1696	1484

1983	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil
RG somme	48180	49790	52350	58300	50210	33800	38409
RG moyen	1554	1770	1688	1943	1619	1127	1239

Tableau n°2 : REPARTITION MENSUELLE DU RAYONNEMENT GLOBAL EN JOULES.CM⁻¹.

	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil
P mm	107	158	433	905	440	10	3	55	52	63	0	24	46	75	475	455	20

Tableau n° 3 : REPARTITION MENSUELLE DES PRECIPITATION EN mm.

Ce sol se présente donc, comme un bon milieu physique de culture, poreux, homogène et profond mais pauvre chimiquement. Il y a cependant une tendance à la saturation rapide du profil lors des pluies. Il est appauvri en argile sur 15 à 30 cm (6-8%), les teneurs moyennes en sables oscillant de 86 à 88%.

1.1.2. LE MATERIEL VEGETAL.

Le laboratoire utilise essentiellement des boutures de Manihot esculenta Grantz var CB. Elle proviennent de Toumodi (Côte d'Ivoire centrale) par l'intermédiaire du laboratoire de virologie, elles sont toutes parfaitement saines.

La variété proviendrait du Congo Brazzaville, c'est la plus productrice du pays, elle présente néanmoins le double inconvénient d'être : amer (acide cyanidrique ou prussique ; annexe :1).

: particulièrement sensible à la verse.

La teneur en matière sèche des tubercules est faible : 25 à 30% (DIZES).

1.1.3. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL : PLANTATION EN "BANDES".

- But : C'est la détermination de la date de plantation sur les composantes du rendement.

C'est une expérience principale, à objectifs multiples, réalisée en station.

- Conditions : Chacune des 6 unités expérimentales est une parcelle de 100 m², plantée à 1 mois d'intervalle.

Plantation mensuelle : PM1	: 1 ^o avril 82.
: PM2	: 3 mai 82.
: PM3	: 3 juin 82.
: PM4	: 2 juillet 82.
: PM5	: 5 août 82.
: PM6	: 3 septembre 82.

123,40 boutures sont implantées par parcelle (0,80 • 0,80m) Elles ont chacune 20 cm de long et sont implantées inclinées à 45°.

- Mesures :

21 jours après mise en place, prélèvement n°1 :
détermination du pourcentage de racines nodales (issues des
noeuds) et basales (issues du cal cicatriciel).

12 mois après implantation : récolte de 50% de
chaque parcelle. (50 individus car élimination des plants
de bordure). Sont relevés :

- Le poids des parties aériennes.
- La hauteur maximale du plant.
- La hauteur de la première ramification.
- Le diamètre des tiges issues de la bouture (au
pied à coulisse).
- le nombre d'apex du plant.
- Le poids en tubercules (brut et utile).

14 mois après implantation : récolte des 50% restant
de chaque parcelle. Relevés identiques aux précédents.

1.2 RESULTATS.

Avant d'aborder ce chapitre on se reportera à l'annexe 1 p81 relative aux trois séquences de développement du manioc, ainsi qu'aux caractéristiques de la tubérisation.

1.2.1. LA MATIERE VEGETATIVE AERIENNE.

1.2.1.1. Effet de la date de plantation sur le poids frais des parties aériennes,

Les résultats portent sur les 6 plantations mensuelles récoltées à 12 mois. Ils sont résumés sur la figure 6.

Le poids frais du système aérien (bouture exclue) varie considérablement entre chaque PM. Il fait plus que doubler dans les cas extrêmes : PM6 = 3,30 kg plant ; PM2 = 1,68 kg plant .

L'étude des précipitations, températures, déficit hydrique et rayonnement global cumulé sur la totalité du cycle, et sur les 4 premiers mois (séquence du développement aérien) n'a pas fait apparaître de résultats significatifs.

A l'inverse, on obtient un excellent coefficient de BRAVAIS-PEARSON (0,89) entre l'évapotranspiration standard cumulée sur les 4 premiers mois et le poids du système aérien. Celui ci s'accroît avec la demande en eau du climat. Cette constatation revêt une importance non négligeable, puisque la matière végétative aérienne constitue l'une des principales conditions du rendement racinaire.

1.2.1.2. Effet de la date de plantation sur l'émission des tiges.

Les résultats portent sur les 6 plantations mensuelles récoltées à 12 mois.

On observe une moyenne de 1,77 tiges formées pour les plants de la PM4 contre 2,44 pour ceux de la PM2.

L'étude des composantes climatiques relatives à chaque plantation mensuelle a fait apparaître le rôle du rayonnement global cumulé pendant le premiers mois suivant la mise en place. La corrélation est positive et significative : 0,77 (figure n°7).

La variation du nombre de tiges a fait l'objet d'une attention particulière car c'est également une condition du rendement racinaire.

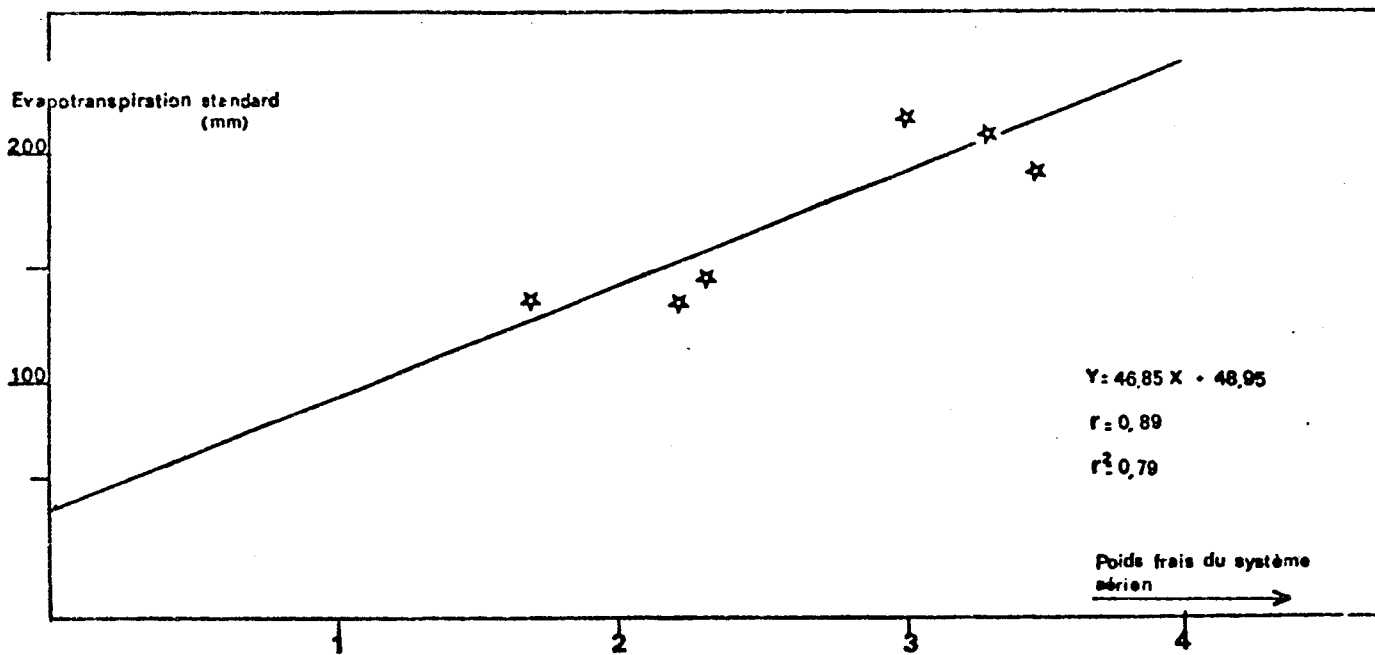
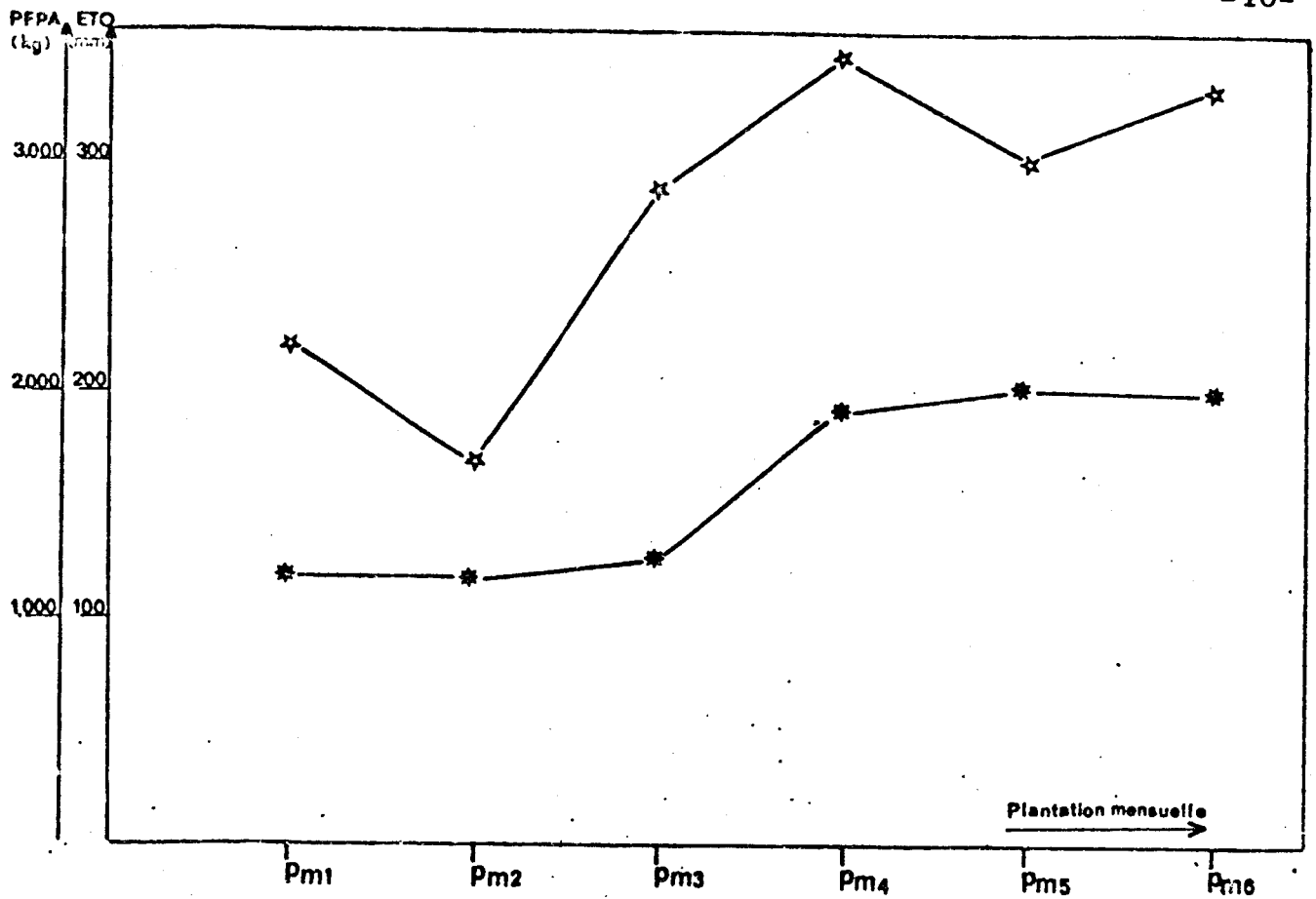


figure 6 • Corrélation entre évapotranspiration standard et poids frais du système aérien.
Essai plantation mensuelle.

• NB = r : coefficient de corrélation.
r²: coefficient de détermination.

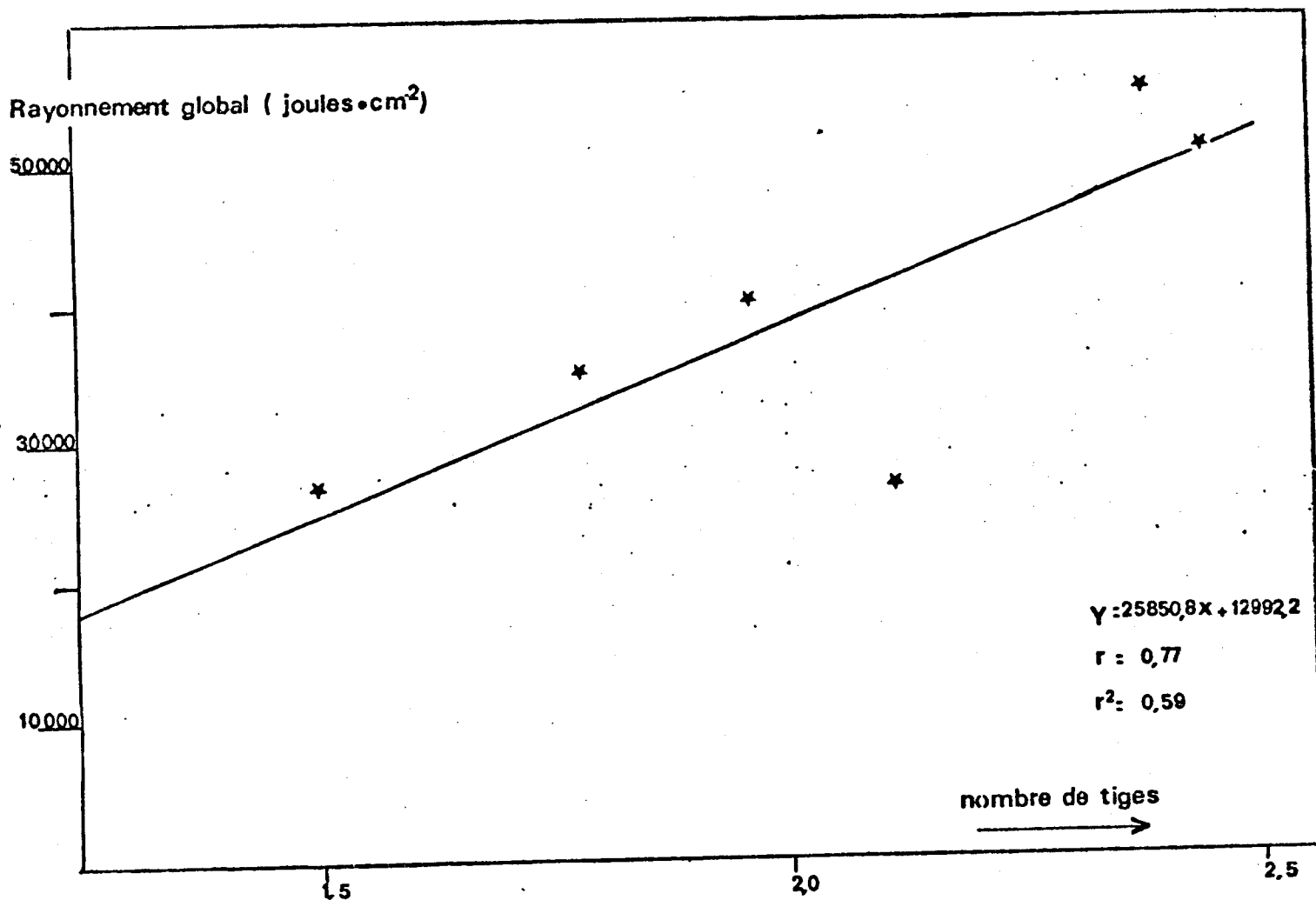


figure 7 ● Corrélation entre rayonnement global et nombre de tiges.

Essai plantation mensuelle .

1.2.2. LE RENDEMENT RACINAIRE ET SES COMPOSANTES.

1.2.2.1. Formalisation du rendement brut (Rb) du manioc.

Il est décomposé en 2 termes :

$$Rb = \text{Poids moyen unitaire du tubercule} \cdot \text{Nombre de tubercules} \cdot \text{Plant}^{-1}$$

En seconde analyse, pour l'établissement de relations explicatives sur le rôle respectifs des tubercules nodaux et basaux, la décomposition de l'équation précédente a été accentuée.

$$Rb = (\text{Poids moyen unitaire du tubercule basal} \cdot \text{nombre de tubercules basaux} \cdot \text{Plant}^{-1}) + (\text{Poids moyen unitaire du tubercule nodal} \cdot \text{nombre de tubercules nodaux} \cdot \text{plant}^{-1})$$

1.2.2.2. Formulation du rendement utile ou commercial (Ru) du manioc (Ru p 2).

$$Ru = \text{Poids moyen unitaire du tubercule utile} \cdot \text{nombre de tubercules utiles} \cdot \text{plant}^{-1}$$

NB : $Ru < Rb$.

Les résultats obtenus sont toujours extrapolés à l'hectare (densité : $1,2340 \text{ plant} \cdot \text{m}^{-2}$).

1.2.2.3. Effet de la date de plantation sur le rendement brut et commercial à 12 mois.

L'étude du tableau 4 montre une variation du rendement brut entre chaque plantation mensuelle. Il est maximal pour la PM4 ($37143 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), minimal pour la PM5 ($22212 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). L'amplitude est de $14930 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (variation : 40,20%). L'analyse statistique indique une différence positive et significative.

Un accroissement du rendement brut entraîne malgré quelques irrégularités une augmentation du rendement utile et inversement (tableau 4). Les meilleurs résultats

Plantation mensuelle	Poids unitaire du tubercule (kg)		Nombre de tubercules par plant		Rendement par plant (kg)		Conversion à l'hectare (kg)	
	Moyen	Utile	Totaux	Utile	brut	Utile	brut	Utile
PM1	0,262	0,429	10,10	4,8	2,65	2,06	32701	25338
PM2	0,337	0,406	6,91	5,0	2,33	2,03	28752	24969
PM3	0,273	0,427	6,62	3,1	1,91	1,36	23569	16728
PM4	0,338	0,434	8,90	5,9	3,01	2,57	37143	31611
PM5	0,360	0,409	4,98	3,9	1,80	1,63	22212	20049
PM6	0,276	0,399	7,62	3,3	2,10	1,31	26000	16113

Tableau n°4 : Comparaison des rendements bruts et utile à 12 mois.

sont observés en PM4 (31611 kg·ha⁻¹) les plus faibles correspondent à la PM6 et à la PM3 (16113 et 16728 kg·ha⁻¹). Les amplitudes du rendement utile sont du même ordre que celles observées sur le rendement brut .

L'étude des corrélations entre, le rayonnement global cumulé sur la 3^e séquence de développement (4^e au 12^e mois) et le rendement brut ou utile, n'est pas significative : coefficient de corrélation = 0,51 pour 5 degrés de liberté (hypothèse initiale non confirmée : Pendant cette période végétative les photosynthétats migrent préférentiellement vers le système racinaire selon COURTS, 1951). Or on sait que leur biosynthèse est liée entre autre à l'énergie lumineuse reçue.

L'étude des températures cumulées du 4^e au 12^e mois n'a pas non plus abouti à des corrélations significatives (hypothèse initiale non confirmée : Des moyennes élevées pourraient permettre un meilleur développement des capteurs photosynthétiques que sont les feuilles).

On ne constate pas non plus de corrélation significative entre la pluviométrie cumulée sur la 3^e séquence de développement et le rendement brut ou utile.

A l'inverse, on obtient des coefficients de corrélation très étroits entre, les précipitations cumulées des 4 premiers mois et le rendement brut : 0,99 et 0,95. Il y a cependant apparition de 2 populations distinctes : PM1, PM2, PM3 et PM4, PM5, PM6 (figure n°9).

On observe également des corrélations significatives entre le nombre de racines fonctionnelles émises à 21 jours et le rendement final (seuil de signification : 0,05). Il y a apparition de 2 populations distinctes (figure n°8).

1.2.2.4. Analyse de l'élaboration du rendement brut et utile (300 individus étudiés).

- Le rendement en nombre des tubercules nodaux.

Les résultats sont résumés graphiquement par les régressions linéaires de la figure 9 et les données statistiques du tableau n°5.

Il y a un net accroissement du pourcentage de tubercules nodaux quand le rendement pondéral par plant s'accroît. Toutes les régressions linéaires sont significatives au seuil 0,001 ou 0,01 à l'exception de la PM5.

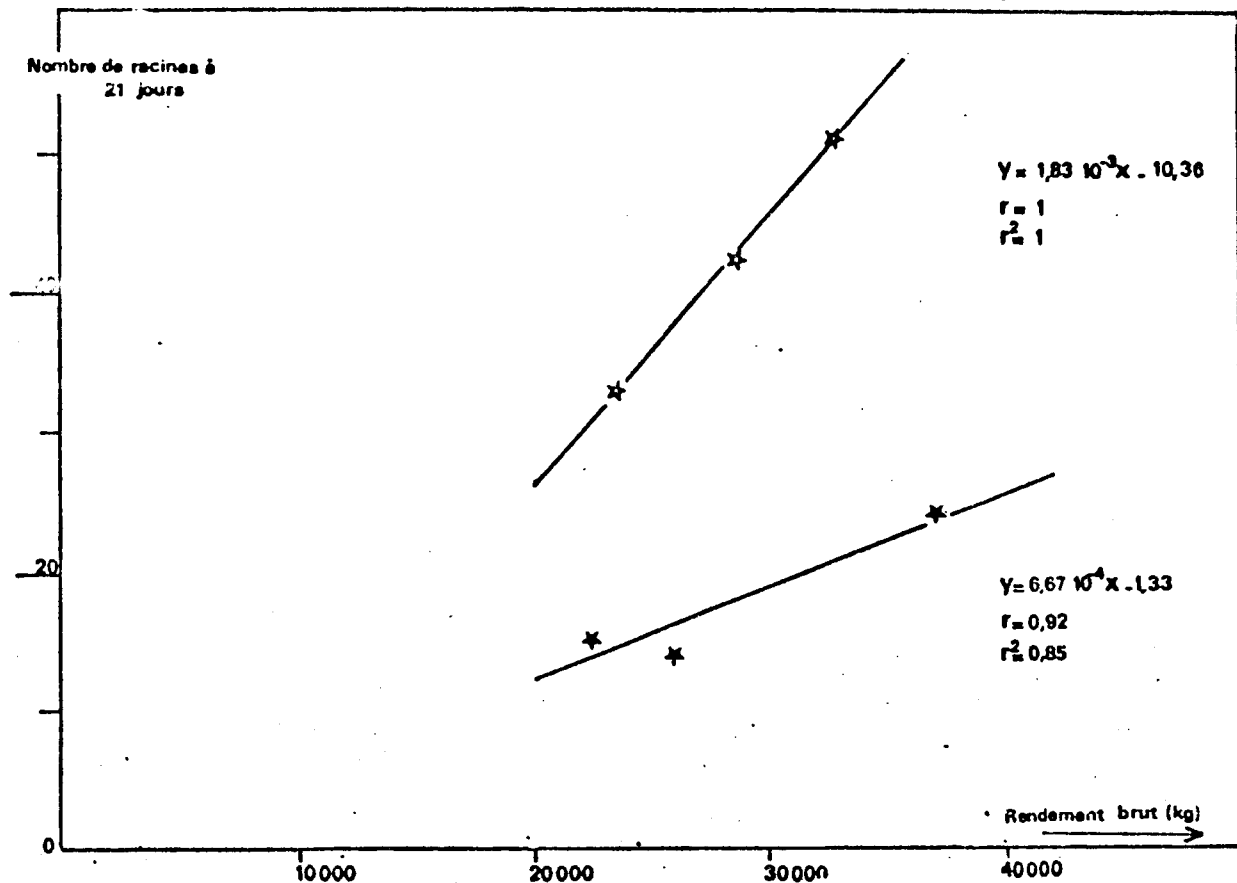


figure 9 • Corrélation entre le nombre de racines à 21 jours et le rendement brut.

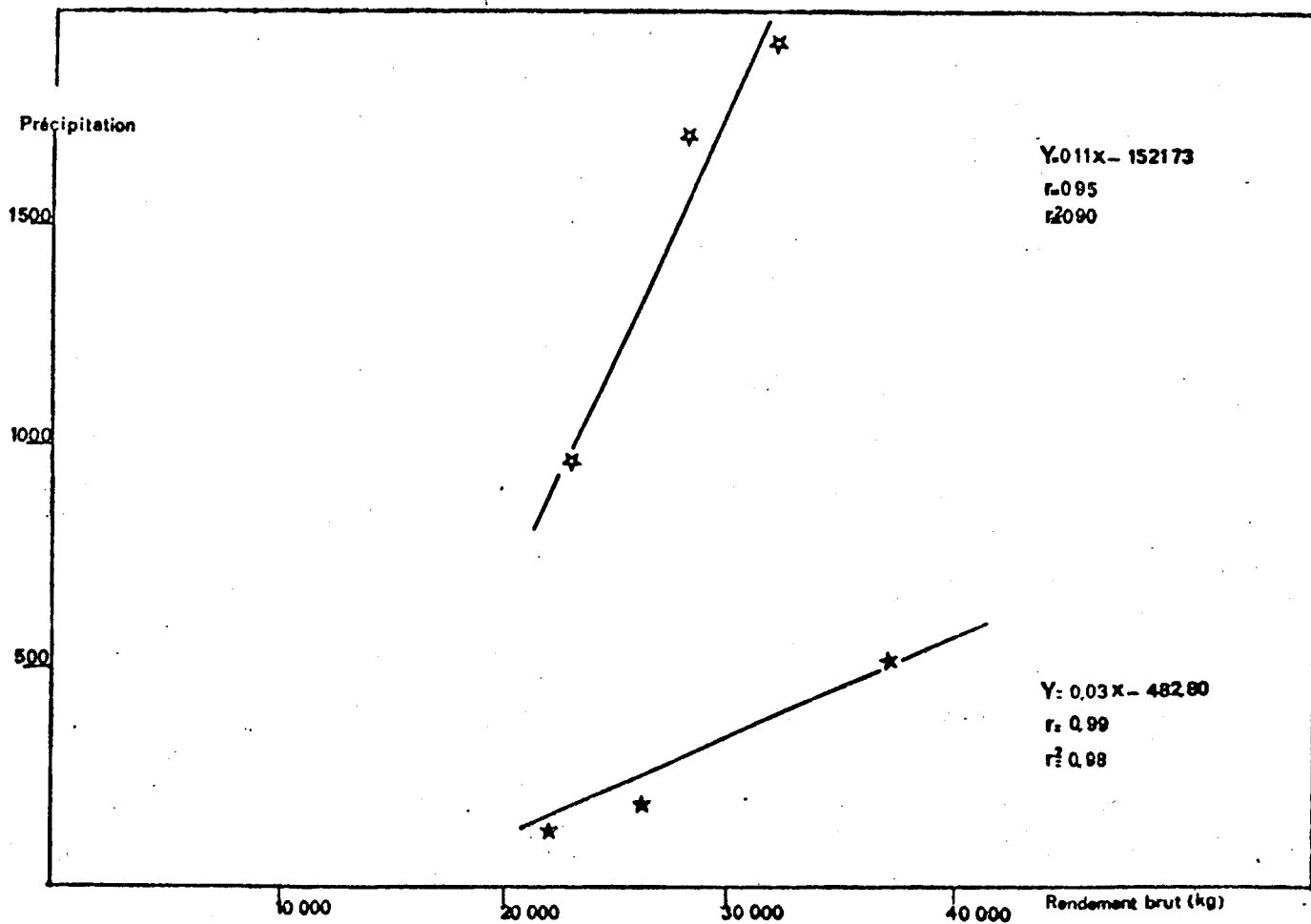


figure 8 • Corrélation entre précipitations cumulées des quatre premiers mois et rendement brut à 12 mois.

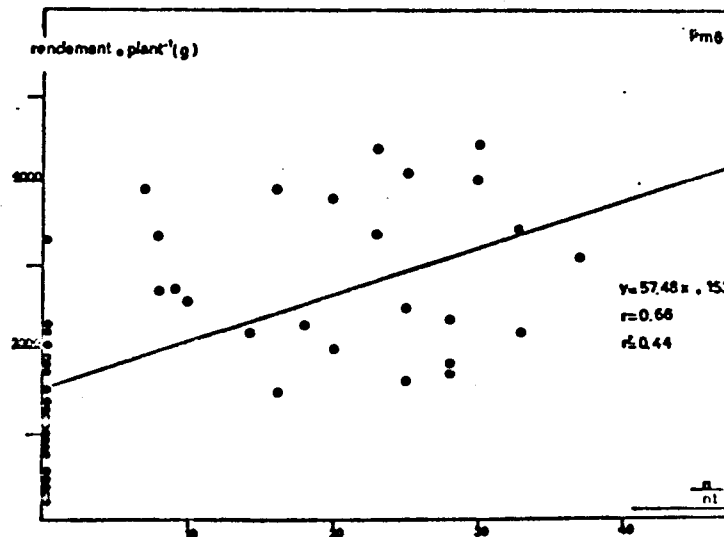
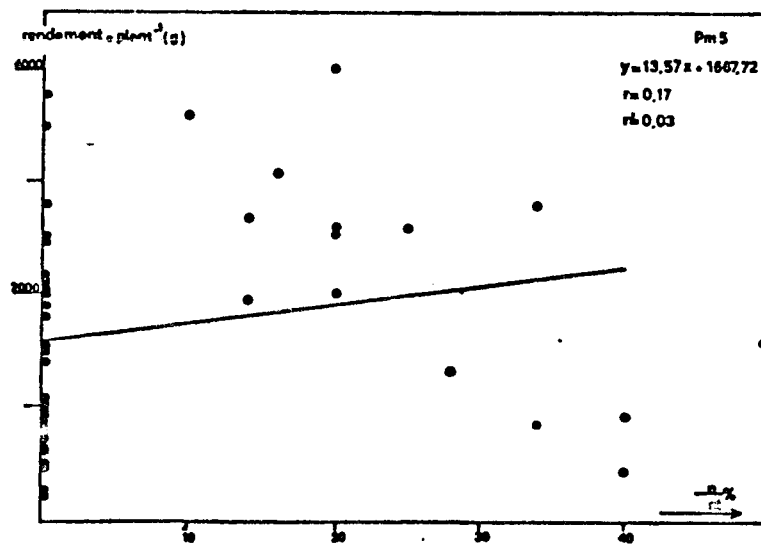
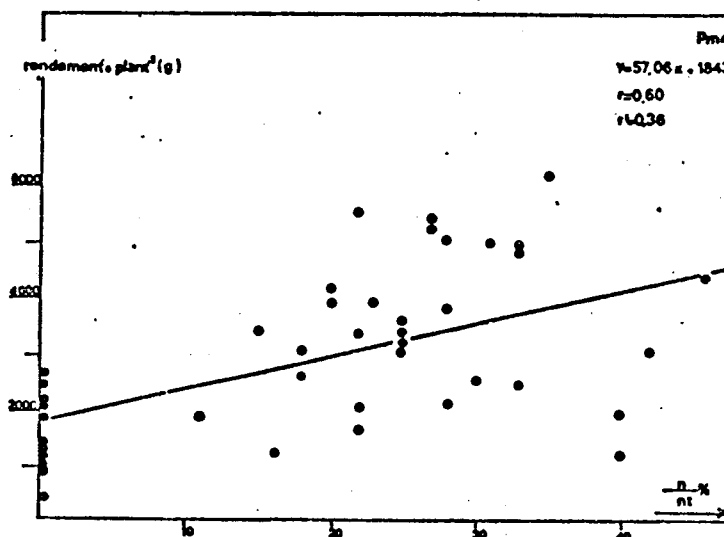
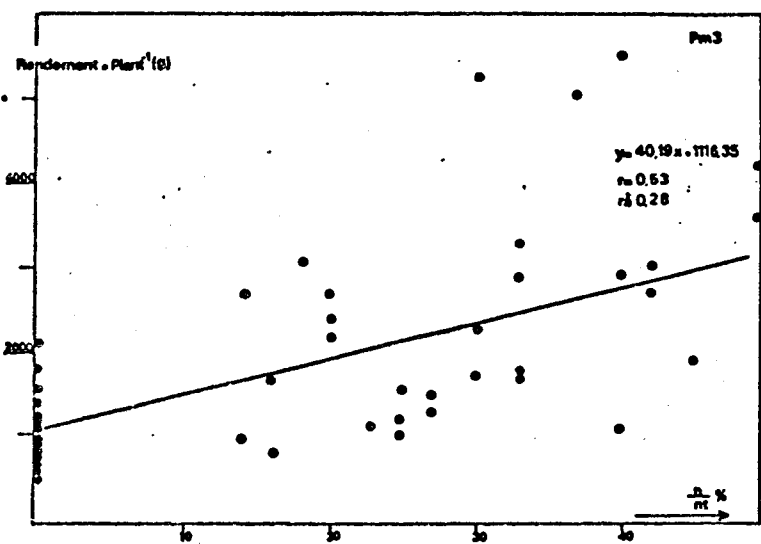
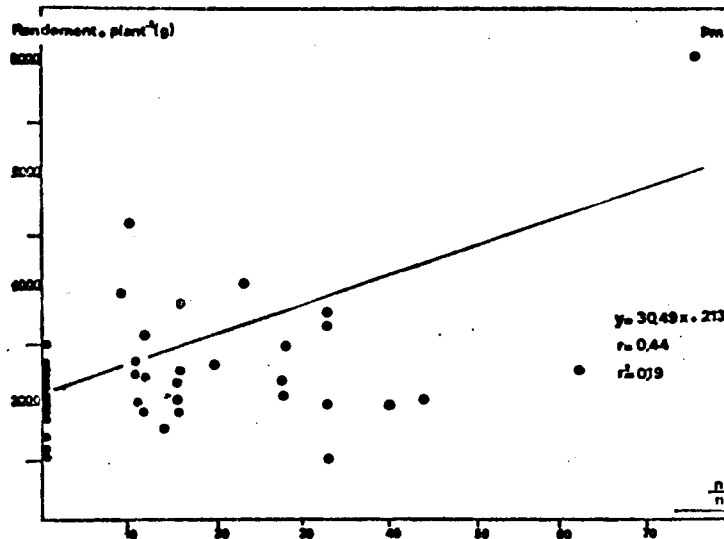
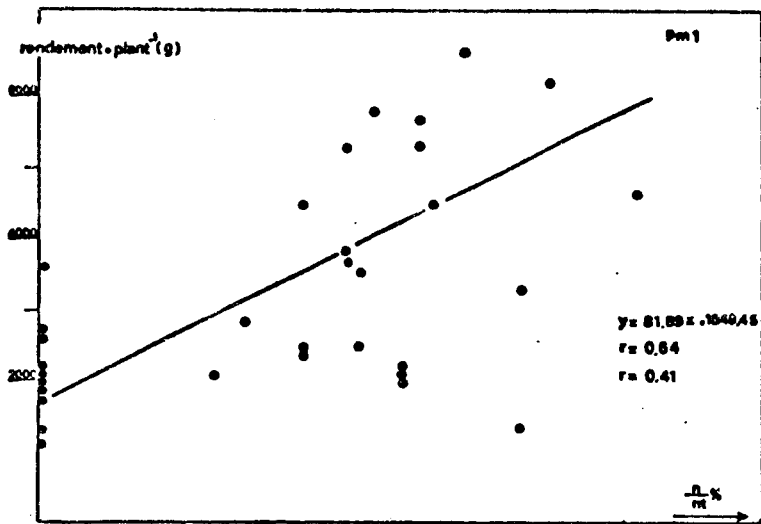


figure 9' • Régression linéaire entre le rendement par plant et le pourcentage de tubercules nodaux.

Plantation mensuelle	Données stat. entre le rendement pondéral total/plant et le % de nodales (nombre)			Données stat. entre le rendement pondéral total/plant et le % de nodales (en poids)		
	Coef de corrélation	Coef de détermination	Degrés de liberté	Coef de corrélation	Coef de détermination	Degrés de liberté
PM1	0,64 ☆☆☆	0,41	38	0,66 ☆☆☆	0,36	38
PM2	0,44 ☆☆	0,19	42	0,58 ☆☆☆	0,34	42
PM3	0,53 ☆☆☆	0,28	49	0,54 ☆☆☆	0,29	49
PM4	0,60 ☆☆☆	0,36	48	0,52 ☆☆☆	0,27	48
PM5	0,17	0,03	44	0,10	0,01	44
PM5	0,66 ☆☆☆	0,44	49	0,60 ☆☆☆	0,36	49
Total	3,04	1,71	270	3,00	1,63	270
Moyenne	0,51	0,29	45	0,50	0,27	45

Seuils de signification
0,05 ☆
0,01 ☆☆
0,001 ☆☆☆

Tableau n° 5 : Données statistiques entre le rendement pondéral total par plant et le pourcentage de nodales en nombre et en poids.

- Le rendement en poids des tubercules nodaux.

Plus le rendement pondéral par pied s'accroît, plus la part en poids, représentée par les tubercules nodaux est importante (tableau n°5 et figure 10). A l'exception de la PM5, l'ensemble des régressions linéaires entre : rendement total par pied et pourcentage du poids représenté par les nodales sont significatives au seuil de probabilité 0,001.

- Le rendement en nombre des tubercules utiles.

On observe une relation étroite entre le nombre de tubercules totaux par pied et le nombre de tubercules commercialisables (figure 11). Les 2 variables évoluent dans le même sens.

Cette relation est confirmée par des valeurs élevées des coefficients de corrélation significatifs aux seuils de probabilité 0,001 et 0,01 pour la PM3.

A l'exception de la PM2, le pourcentage de tubercules commercialisables est relativement constant autour d'une moyenne de 52,60% (tableau n°6). Les résultats obtenus sont satisfaisants sachant que le coefficient de variation moyen observé sur manioc est de 30%.

- Le rendement en poids des tubercules utiles.

On observe une constance relative du pourcentage en poids représenté par les tubercules utiles (tableau n°6 et figure 12).

En dehors de la PM5 (90%) les résultats se maintiennent dans une fourchette variant de 61 à 85% ; moyenne : 75,4%.

1.2.3. INTERACTIONS ENTRE SYSTEMES AERIEN ET RACINAIRE DU MANIOC.

1.2.3.1. Introduction.

Elles sont extrêmement variées et basées sur les différences de fonctions physiologiques entre tiges et racines.

L'existence d'un équilibre fonctionnel entre système aérien et racinaire révèle un certain nombre de corrélations remarquables, une hiérarchie dans les dimensions atteintes par des organes de même nature ou de nature différentes.

L'intérêt et la nécessité d'entreprendre ce type d'étude est double :

- Déterminer les conditions biologiques du rendement.
- Permettre au cultivateur d'appréhender sa récolte en tubercules à partir de mensurations déterminées du système aérien.

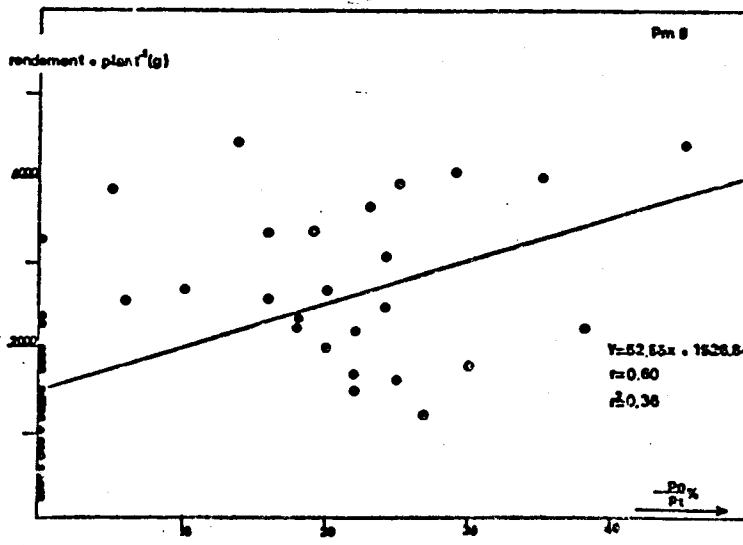
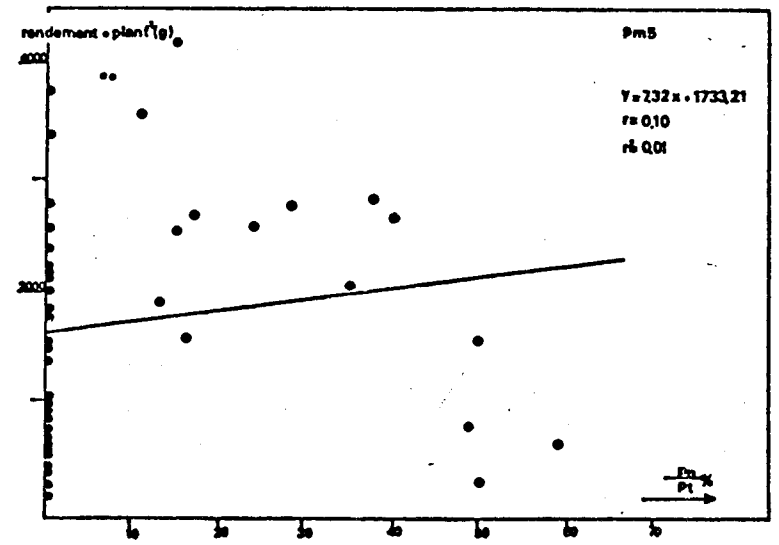
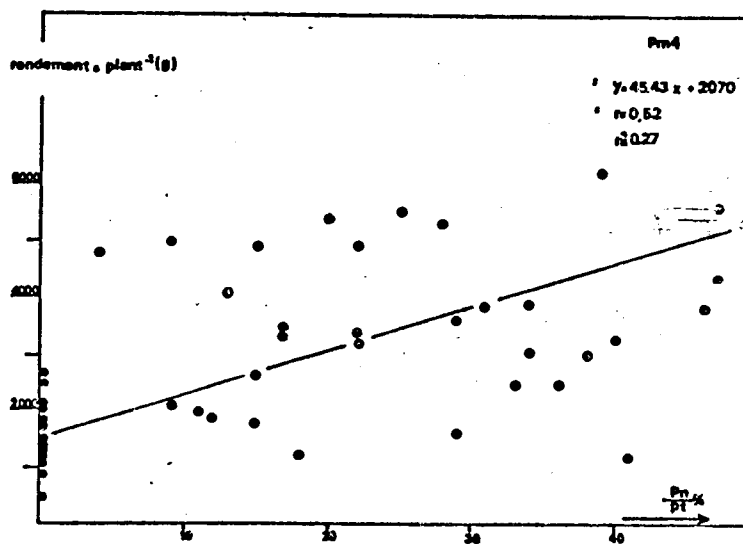
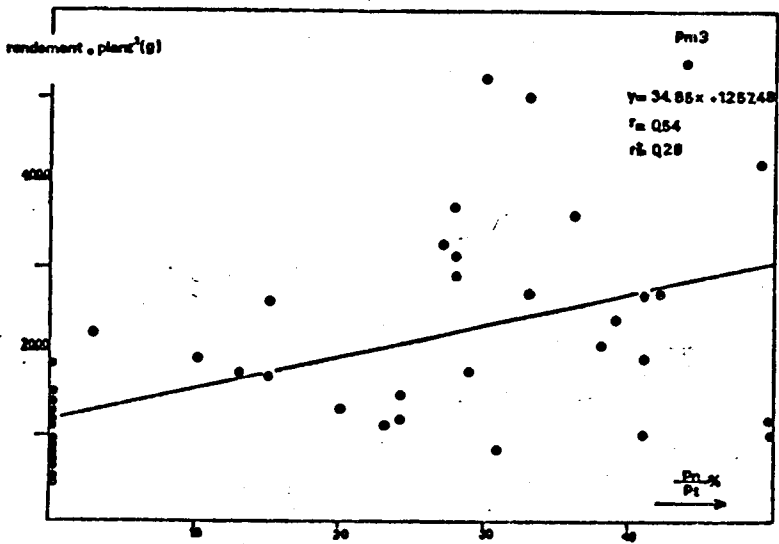
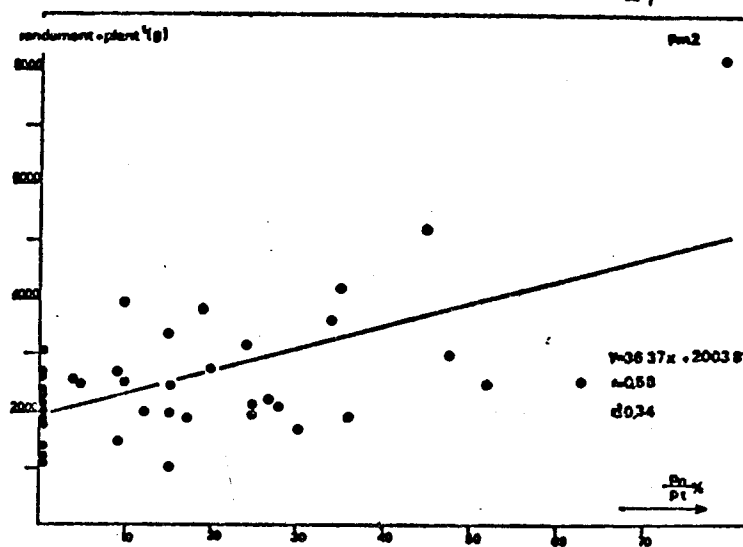
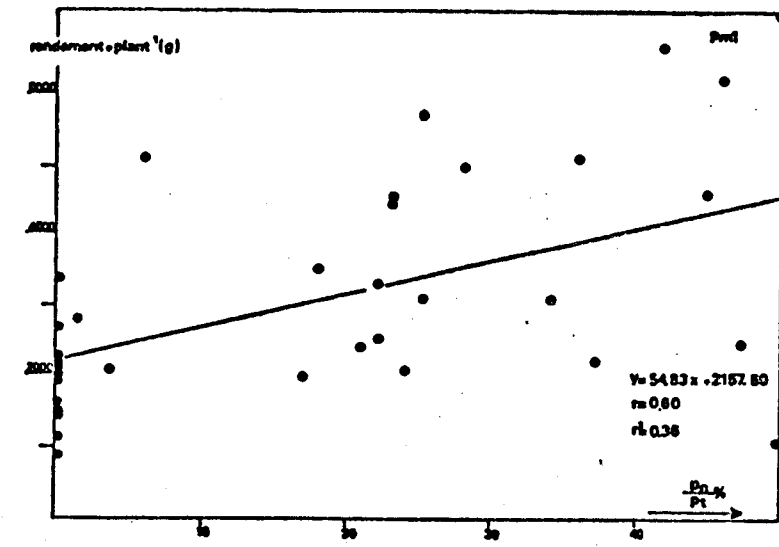


figure10 • Régression linéaire entre le rendement par plant et le pourcentage du poids représenté par les nodales.

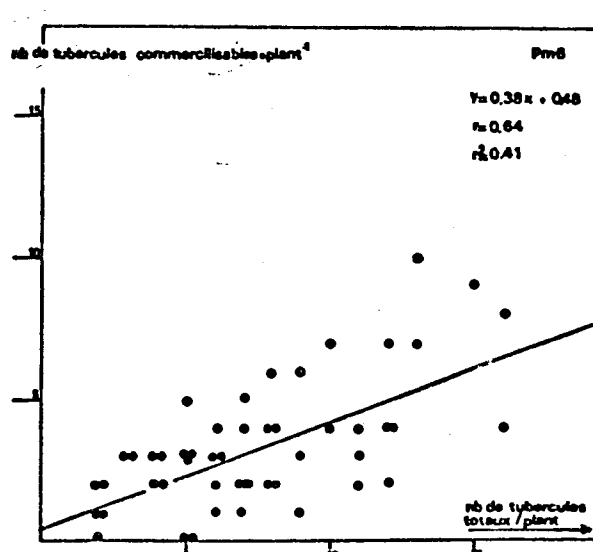
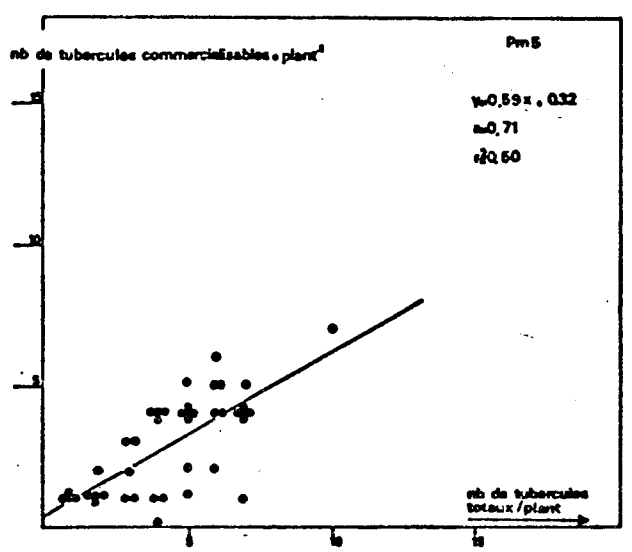
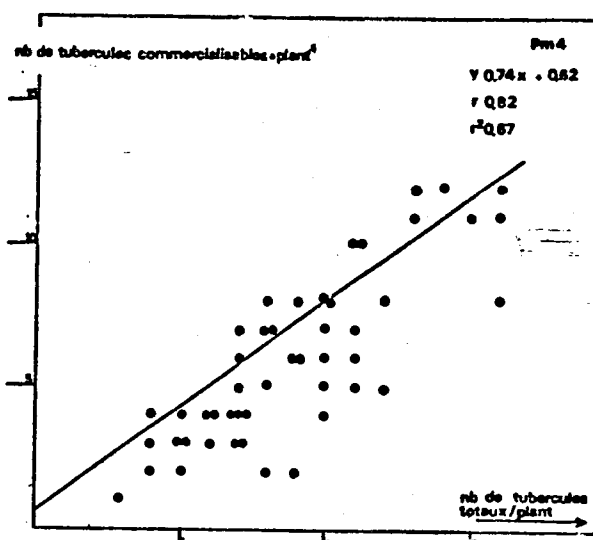
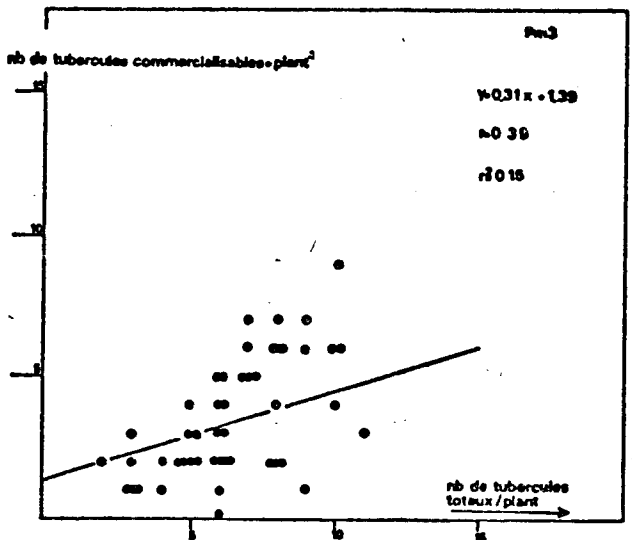
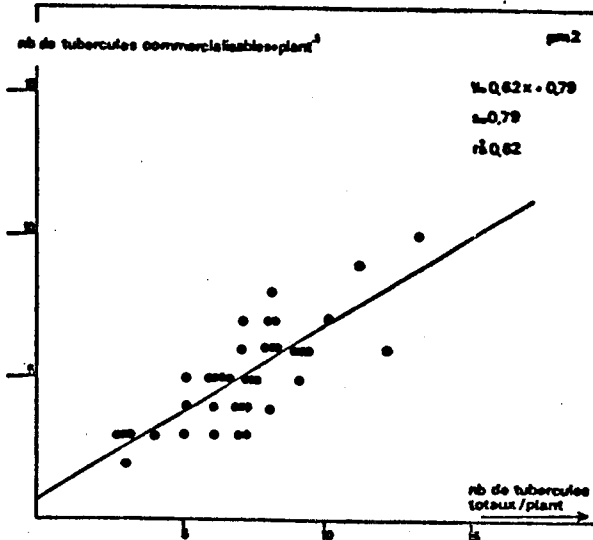
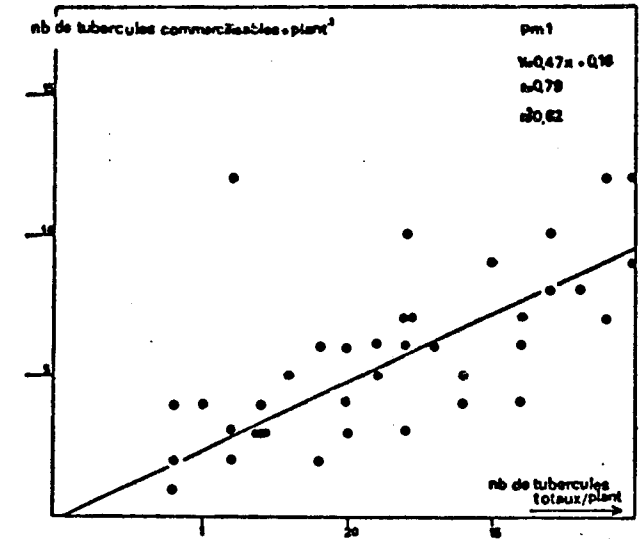


figure 11 • Régression linéaire entre le nombre de tubercules commercialisables et totaux .

Plantation mensuelle	% de tubercules utiles (en nombre)	% de tubercules utiles (en poids)
PM1	48	77
PM2	75	84
PM3	50	70
PM4	69	85
PM5	51	90
PM6	45	61

Tableau n° 6 : Comparaisons des pourcentages de tubercules utiles entre chaque plantation mensuelle en nombre et en poids.

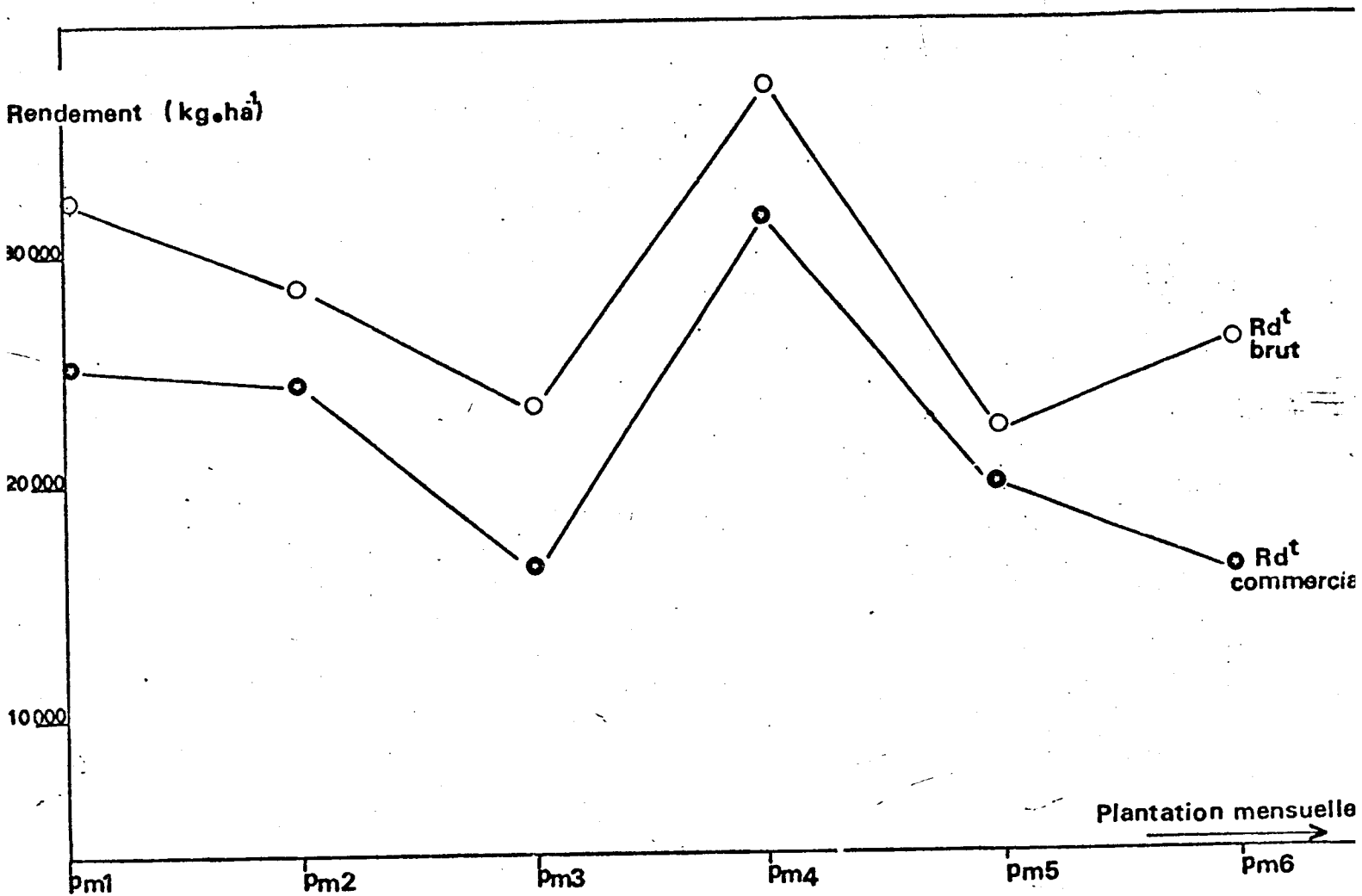


figure 12 • Courbes comparatives du rendement brut et commercial.

L'ampleur du sujet est telle, que nous nous limiterons ici aux interactions relatives au rendement racinaire.

- Poids en tubercules et poids du système aérien.
- " " " " et nombre de tiges émises.
- " " " " et nombre d'apex du plant.
- " " " " et diamètre moyen des tiges.
- " " " " et diamètre cumulé des tiges.
- Calculs de certains paramètres de productivité.

1.2.3.2. Interaction entre poids en tubercules et poids du système aérien (254 individus étudiés).

Les résultats sont résumés sur le tableau 7 et la figure 13. Le poids en tubercules s'accroît avec celui des parties aériennes et inversement.

Les coefficients de corrélation "r" sont toujours très élevés : 0,79 à 0,96 (significatifs au seuil de probabilité 0,001). L'excellente netteté des liaisons entre les 2 séries d'observations se retrouve aussi bien pour la récolte à 12 qu'à 14 mois.

1.2.3.3. Interaction entre poids en tubercules et nombre de tiges émises (221 individus étudiés).

Afin de préciser les résultats ci-dessus, le système aérien a été analysé par fractions. Seul le nombre de tiges a été pris en considération pour PM1, PM2, PM3 récoltées à 12 et 14 mois.

Le coefficient de corrélation est significatif, mais moins élevé que précédemment (figure 14).

L'élément nombre de tiges est une condition déterminante du rendement. Cela se conçoit aisément vu qu'il constitue l'armature de base du système aérien et donc sa masse.

Pour l'agriculteur, l'appréciation de ce paramètre a l'avantage d'être rapide, réalisable sur le champ sans exiger d'arrachage. Le jugement est par ailleurs très précoce : l'émission de la totalité des tiges est achevée dès le 4^e mois du cycle.

Plantation mensuelle	Coef de corrélation	Coef de détermination	Degrés de liberté
PM1	0,96 * * *	0,92	38
PM2	0,95 * * *	0,90	42
PM3	0,79 * * *	0,62	49
PM4	0,81 * * *	0,66	48
PM5	0,90 * * *	0,81	44
PM6	0,95 * * *	0,48	49
Total	5,36	4,39	270
Moyenne	0,89	0,73	45
Seuils de signification			
	0,05 *		
	0,01 **		
	0,001 ***		

Tableau n° 7 : Coefficients de corrélations et de significations entre poids du système aérien et racinaire.

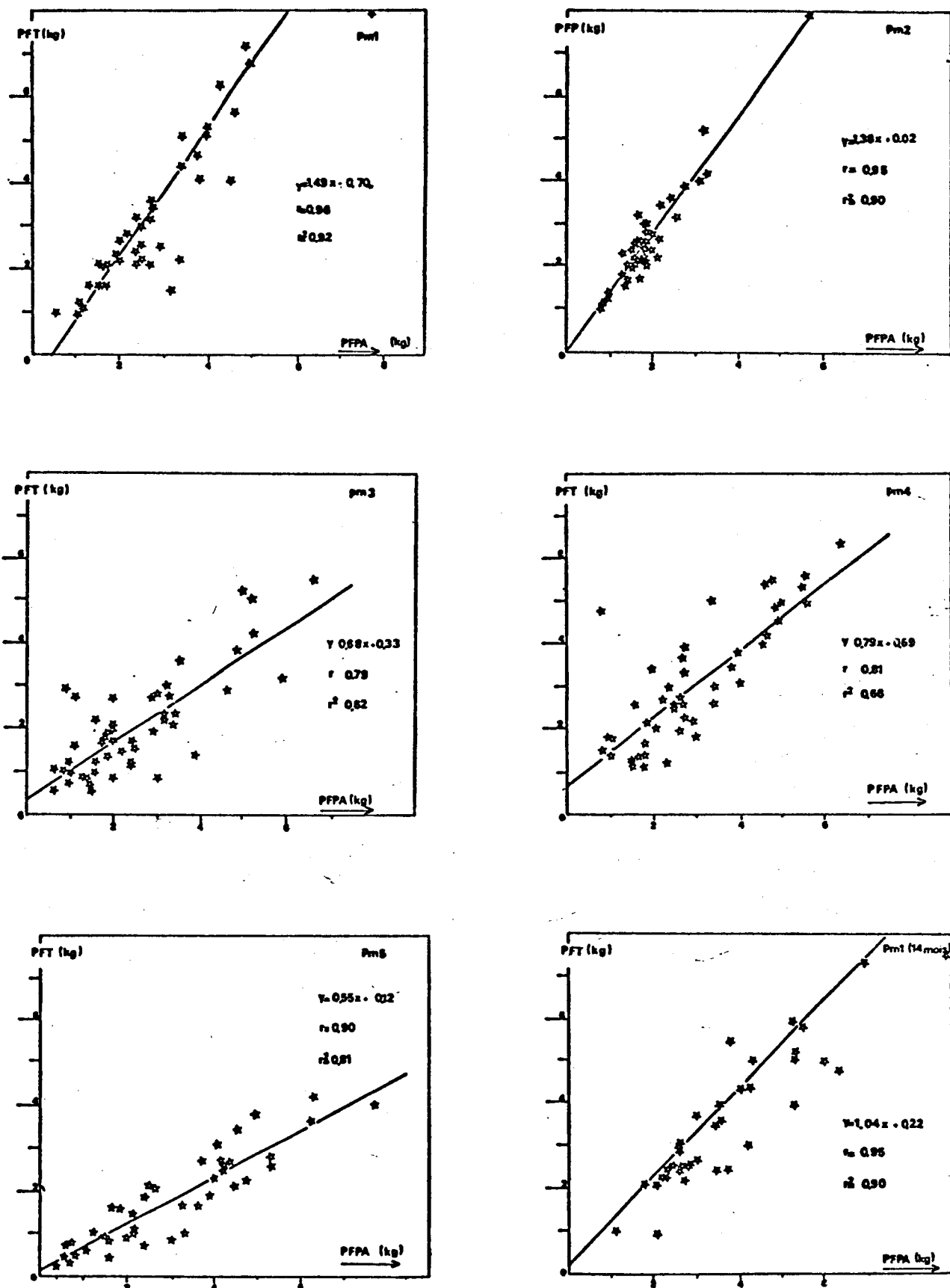


figure 13 ● Régression linéaire entre le poids frais en tubercules et celui du système aérien.

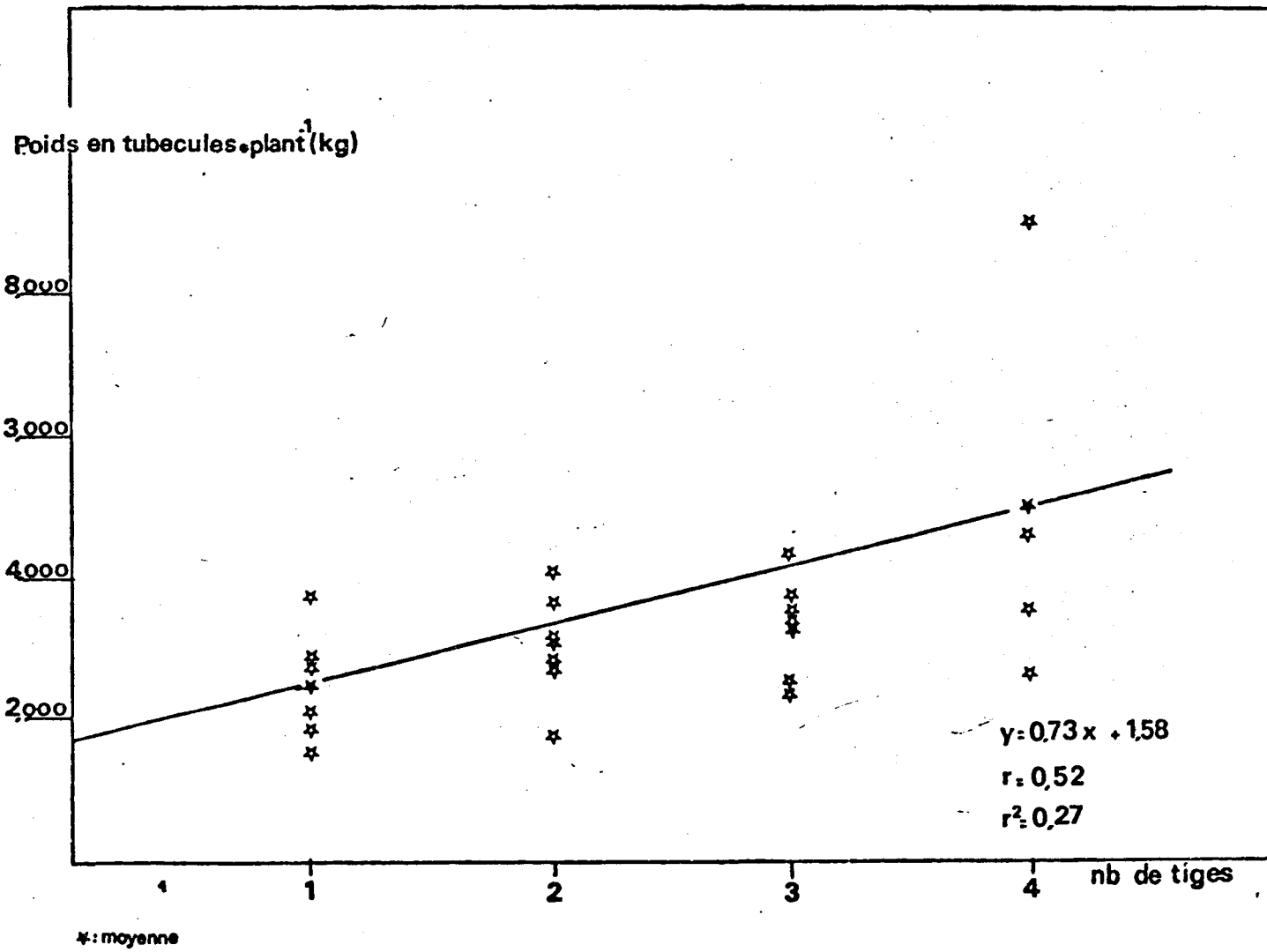


figure 14 ● Régression linéaire du poids en tubercules en fonction du nombre de tiges.

1.2.3.4. Interaction entre poids en tubercules et nombre d'apex (125 individus étudiés).

L'étude porte sur trois plantations mensuelles choisies au hasard : PM1, PM3, PM4 récoltées à 12 mois.

A l'exception de la PM2 ($r=0,73$, significatif au seuil de probabilité 0,001) l'ensemble des régressions linéaires ne sont pas significatives (figure 15).

1.2.3.5. Interaction entre poids en tubercules et diamètre des tiges (204 individus étudiés).

- Diamètre moyen à 12 mois.

Il s'accroît nettement avec le poids en tubercules et inversement (tableau n°8, figure 16).

L'ensembles des coefficients de corrélation sont significatifs au seuil de probabilité 0,001 (exception faite de la PM4 : seuil= 0,05).

- Diamètre cumulé à 12 mois.

Les résultats sont résumés sur le tableau 8 et la figure 17.

Le diamètre cumulé s'accroît également avec le poids en tubercules.

Les coefficients de corrélations sont plus élevés de 6 unités par rapport aux diamètres moyens. Les régressions sont toutes significatives au seuil de probabilité 0,001.

Le diamètre cumulé est donc l'un des meilleurs critères d'appréciation du rendement du manioc.

1.2.3.6. Paramètre de productivité : l'indice de récolte (360 individus étudiés).

L'étude des corrélations entre rendement biologique et appareil aérien, a été globalisée par le calcul de l'indice de récolte pour toutes les plantations mensuelles récoltées à 12 mois et pour PM1, PM2, PM3 CB 14 mois.

$$IR = \frac{\text{Rendement en tubercules (biologique)} \cdot 100}{\text{Rendement intégral du plant}}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau n°9.

CB 12 mois : $PM2 \approx PM1 > PM4 \approx PM3 > PM6 \approx PM5$

CB 14 mois : $PM1 \approx PM2 > PM3$

L'IR moyen est relativement élevé : 43,23% mais avec une amplitude de 18,60% entre les extrêmes.

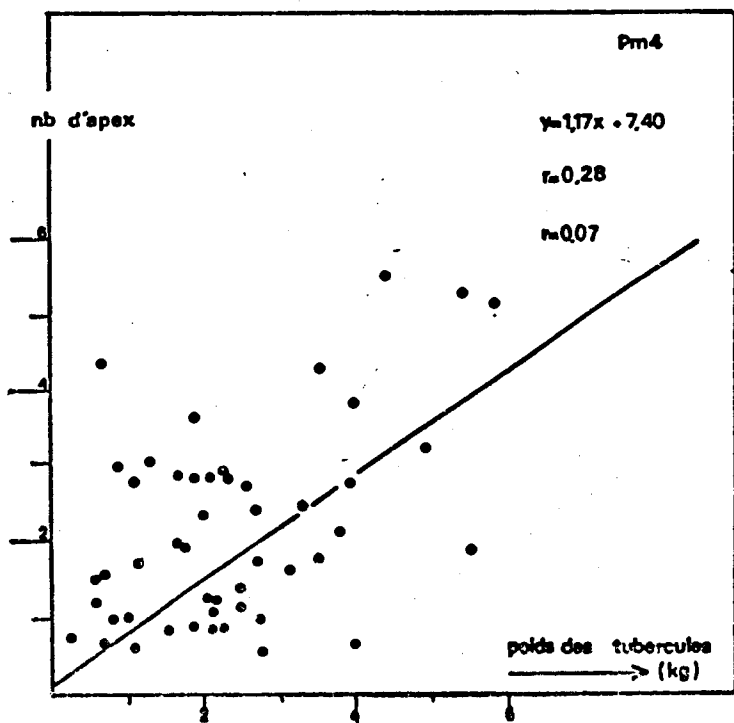
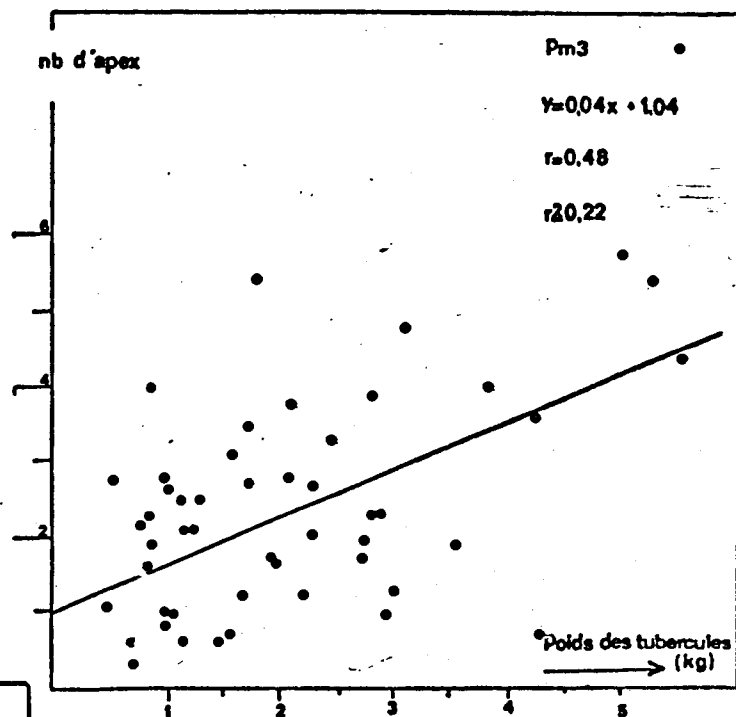
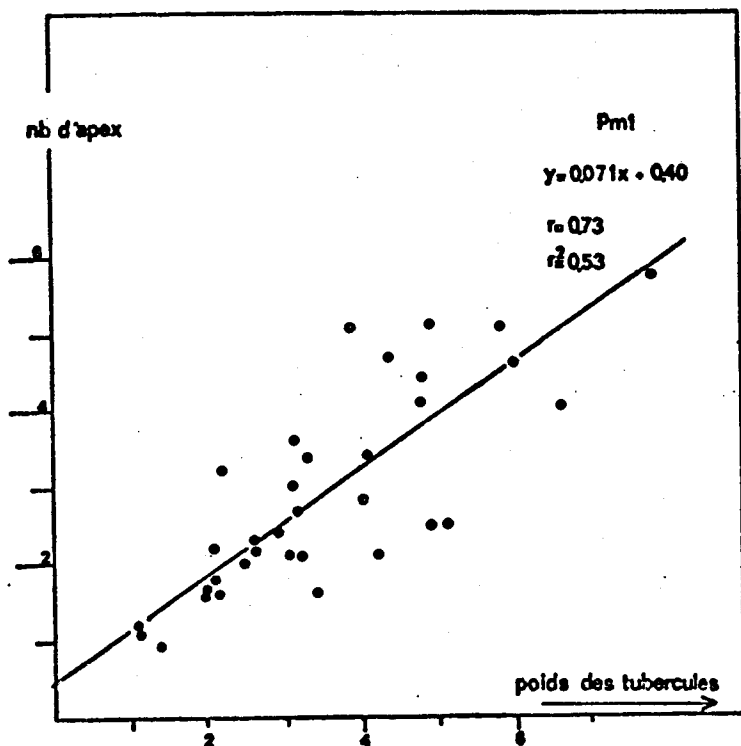


figure 15 • Régression linéaire entre le nombre d'apex et le poids

Plantation mensuelle	Données stat.entre poids des tubercules et diamètre moyen des tiges			Données stat.entre poids des tubercules et diamètre cumulé des tiges		
	Coef corrélation	Coef détermination	Degrés de liberté	Coef corrélation	Coef détermination	Degrés de liberté
PM1	0,66● ● ●	0,44	38	0,61● ● ●	0,37	38
PM2	0,61● ● ●	0,37	42	0,46● ● ●	0,27	42
PM3	0,55● ● ●	0,30	49	0,58● ● ●	0,34	49
PM4	0,28●	0,08	48	0,70● ● ●	0,49	48
PM5	0,65● ● ●	0,42	44	0,69● ● ●	0,48	44
Total	2,75	1,61	221	3,05	1,95	221
Moyenne	0,55	0,32	45	0,61	0,39	45

Seuils de signification	0,05 ●
	0,01 ● ●
	0,001 ● ● ●

Tableau n°8 : Données statistiques entre le poids en tubercules et le diamètre moyen et cumulé des tiges.

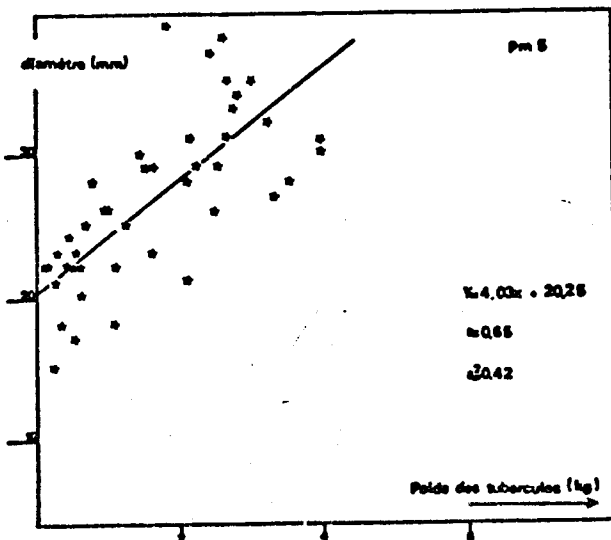
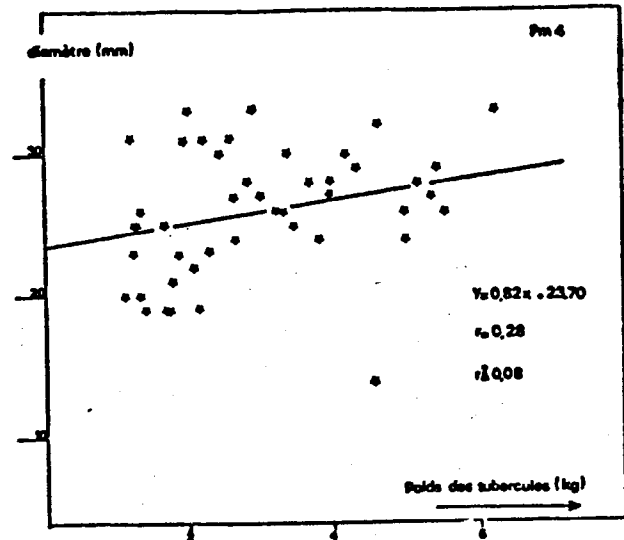
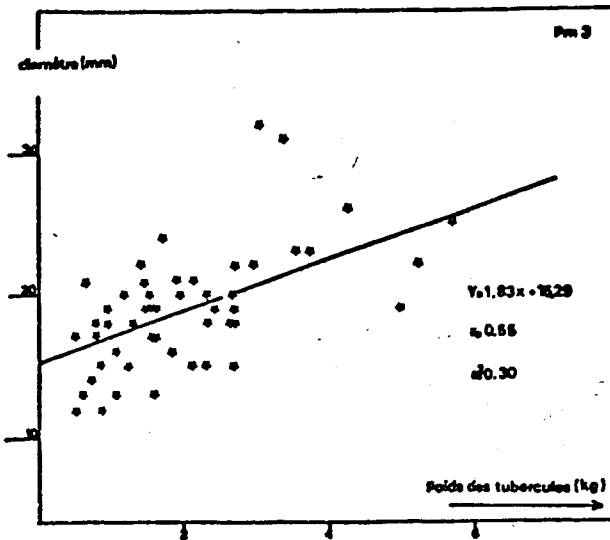
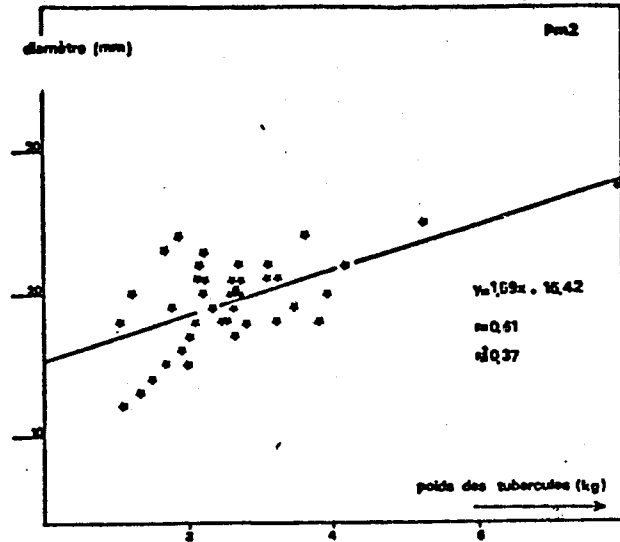
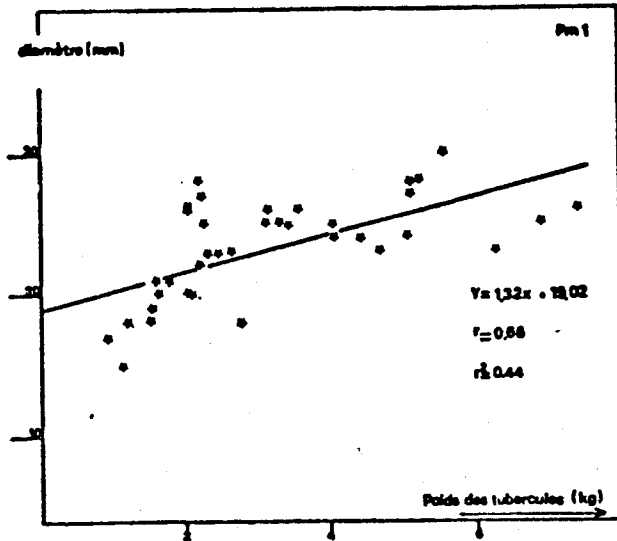


figure 16 ● Régression linéaire entre le diamètre moyen des tiges et le poids en tubercules.

Plantation mensuelle	Indice de récolte en %
PM1 CB 12 mois	50,8
PM2 " "	53,6
PM3 " "	41,0
PM4 " "	43,4
PM5 " "	34,7
PM6 " "	35,0
PM1 CB 14 mois	48,2
PM2 " "	46,5
PM3 " "	35,9

Tableau n° 9 : Indices de récoltes à 12 et 14 mois.

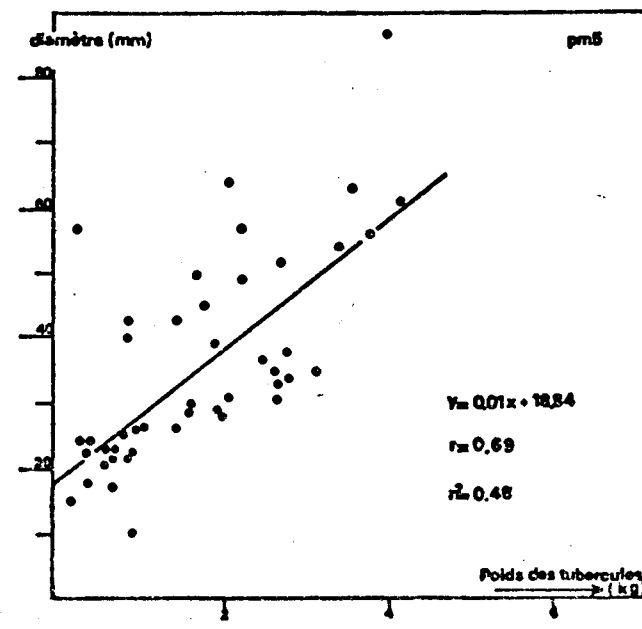
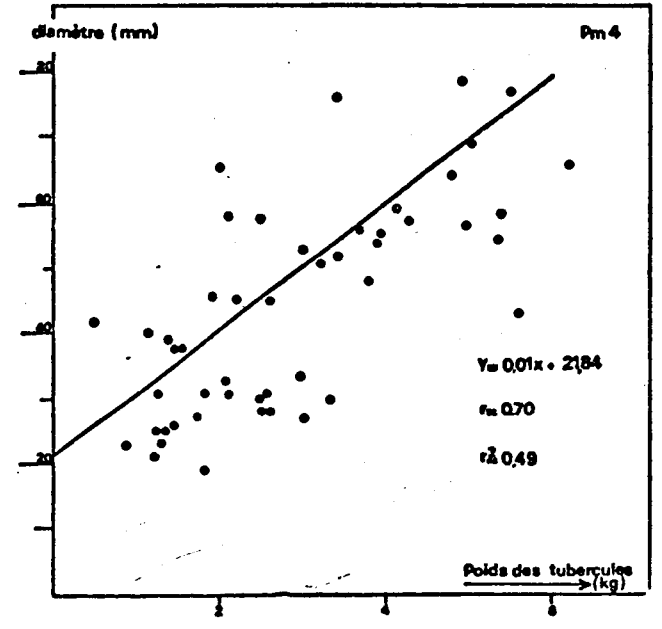
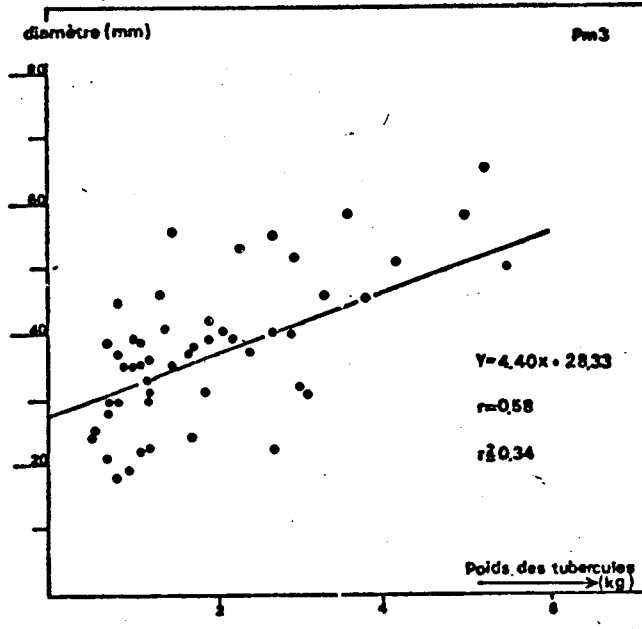
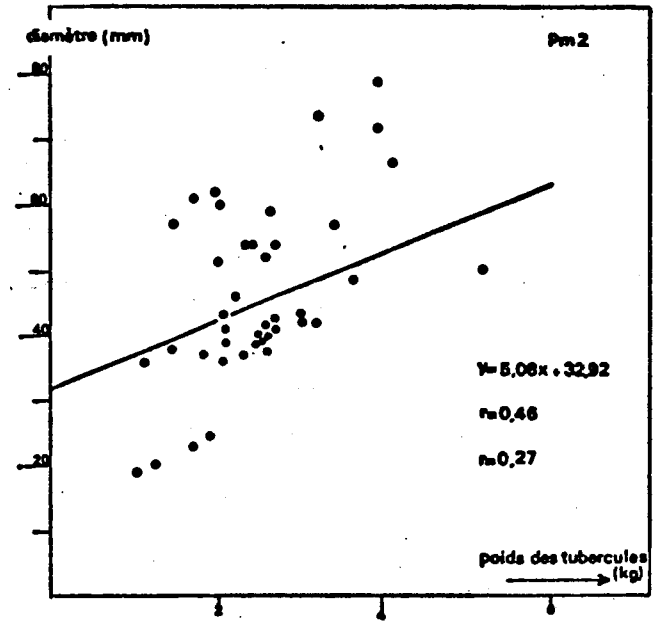
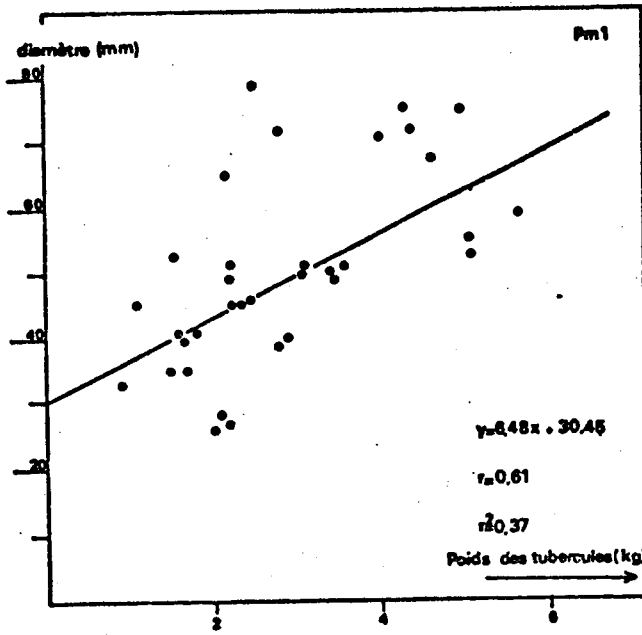


figure 17. Régression linéaire entre le diamètre cumulé des tiges et le poids en tubercules/plant.

L'ensemble des régressions entre IR et phénomènes climatiques se sont révélées non significatives.

1.3 INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS.

1.3.1. LA MATIERE VEGETATIVE AERIENNE.

- Etablissement d'une relation explicative sur la variation du nombre de tiges en fonction du rayonnement global.

Pendant la reprise, il y a débourrement de l'ensemble des bourgeons appelés à donner des tiges.

Si la valeur de l'éclairement est importante, les photosynthétats dégagés sont suffisants pour assurer le développement de chaque future tige (manioc : héliophile).

A l'inverse, si l'éclairement est trop faible, les produits issus de la photosynthèse sont insuffisants pour l'entretien de tous les bourgeons. La désassimilation l'emporte alors sur l'assimilation, et l'organisme vit sur ses seules réserves d'existence nécessairement limitées. La vie et à fortiori la croissance ne sont possibles qu'en cas d'avortement d'un certain nombre de bourgeons. Le système parviendrait ainsi à un équilibre entre masse nutritive disponible et besoins de croissance du système aérien.

1.3.2. LE RENDEMENT RACINAIRE ET SES COMPOSANTES.

- Hypothèse sur l'apparition de 2 populations distinctes lors des régressions entre rendement biologique et pluviométrie cumulée du 1^o tiers du cycle.

Elle s'explique en partie, par des hauteurs de précipitations extrêmement différentes entre les deux groupes : 1525mm en moyenne pour la PM1, PM2, et PM3 contre seulement 230mm pour la PM4, PM5, et PM6.

- On peut penser pour interpréter la corrélation étroite entre le nombre de racines fonctionnelles émises à 21 jours et le rendement final, que la surface absorbante du plant s'accroît avec l'émission racinaire. La nutrition est donc plus intense et, en corollaire la mise en réserve par le biais de la tubérisation, donc le rendement final.

La baisse considérable de la rizogenèse de la PM5 et PM6 (14 racines à 21 jour au lieu de 50 dénombrées en PM1) pourrait s'expliquer par la date de mise en place : août et septembre qui

correspondent à la floraison de Manihot esculenta Grantz var CB.

Selon FAVRE, l'évolution vers un état floral ou préfloral, se traduit chez certains végétaux, par une modification de l'équilibre entre les composantes de l'influence du bourgeon en privilégiant les facteurs négatifs à la néoformation des racines. Il y aurait disparition d'une bonne aptitude à l'enracinement lors de la mise à fleur.

Cette hypothèse pourrait faire l'objet d'une étude intéressante sur manioc où aucun travail de ce genre n'a jamais été mené.

- D'après nos résultats expérimentaux le rendement utile est une fonction constante du rendement biologique (en nombre ou en poids de tubercules).
L'historique climatique n'affecte pas le rapport : $\frac{\text{Rendement utile}}{\text{Rendement biologique}}$

La PM5 est un 1° cas aberrant ($R_u=90\%$ de R_b) qui s'explique par une réduction très importante du nombre de racines émises. L'accumulation des photosynthétats s'est faite sur 2 ou 3 tubercules au lieu de 5 ou 6. Ces derniers ont donc connu une très forte tubérisation et, ont rapidement présenté les normes du tubercule utile.

La PM2 constitue un second cas aberrant ($R_u=75\%$ de R_b) pour lequel nous n'avons malheureusement pas été en mesure de trouver une explication satisfaisante.

- Concernant l'analyse du rendement biologique il apparaît que la forte productivité d'un plant de manioc passe :
- par un nombre accru de tubercules nodaux.
- par un poids plus important de ces mêmes tubercules.
L'étude des figures 9 et 10, permet d'envisager un rôle spécifique et déterminant des tubercules nodaux dans le supplément de rendement d'un pied de manioc.

MODELE THEORIQUE SUR L'ELABORATION DU RENDEMENT DU MANIOC.
(base : relation entre 300 faits isolés).

Les tubercules basaux constituerait au départ, les sites d'accumulation préférentiels des photosynthétats jusqu'à un point de saturation que nous avons qualifié de "mécanique". Phénomène purement physique : les tubercules basaux parviennent à une limite de développement (accroissement considérable de leurs dimensions) par manque de place disponible, car ils sont tous issus du cal cicatriciel de section nécessairement limitée.

En dépit de cet engorgement, la migration des assimilats du système aérien vers les organes de réserve se poursuit. Il y a alors établissement d'un nouvel équilibre par l'accumulation des

photosynthétats dans le système racinaire nodal qui absorbe le supplément de rendement dégagé. Ce type de racine étant issu des noeuds, le problème de la "saturation mécanique" n'apparaît pas avec la même intensité (figure 18).

Cas particulier : Le faible développement du système nodal des plants peu productifs s'explique par la non "saturation mécanique" des racines basales due à la faiblesse des flux d'assimilats.

Cas aberrant : Le système nodal de la PM5 ne joue pas le rôle observé sur les autres plantations mensuelles (coef corrélation 0,20, non significatif). Un prélèvement racinaire à 21 jours à montre une extrême dégradation du système basal, et donc une modification des proportions normales entre les 2 types de racines (pourcentage des nodales=63% en PM5 ; moyenne des autres PM=37%).

L'ensemble des mécanismes de stockage a été faussé, les racines basales très peu nombreuses ont rapidement été saturées. En conséquence le système nodal a constitué dès le départ le site d'accumulation préférentiel.

La variation des précipitations permet en partie d'expliquer l'altération du système racinaire de la PM5.

Chaque plantation mensuelle a reçu en moyenne 342mm au cours du 1^{er} mois. On observe 2 cas particuliers :

-PM5 = 10,4mm

-PM6 = 3,4mm (sans altération).

La répartition des pluies est homogène lors de l'initiation des nodales de la PM5 (1^{er} décade du mois). Au cours des 10 jours suivants (initiation des basales) seuls 2 jours successifs de pluies inutiles ont été enregistrés (0,5mm pour chacune) expliquant la dégradation.

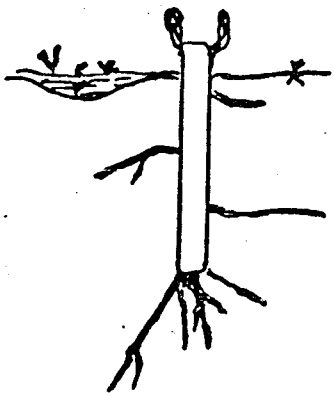
A l'inverse la répartition des pluies est beaucoup plus homogène et régulière lors de l'initiation des basales de la PM6.

1.3.3. INTERACTION ENTRE SYSTEME AERIEN ET RACINAIRE DU MANIOC.

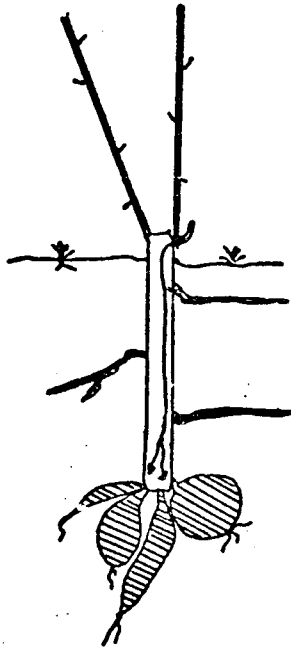
- Hypothèse sur le caractère constant des corrélations entre poids en tubercules et poids du système aérien. Il serait attribuable à une activité proportionnelle des 2 ensembles, qui peut être formalisée ainsi :

$$\text{Masse racinaire} \cdot \text{Activité racinaire spécifique} = \text{Masse aérienne} \cdot \text{Activité aérienne spécifique}$$

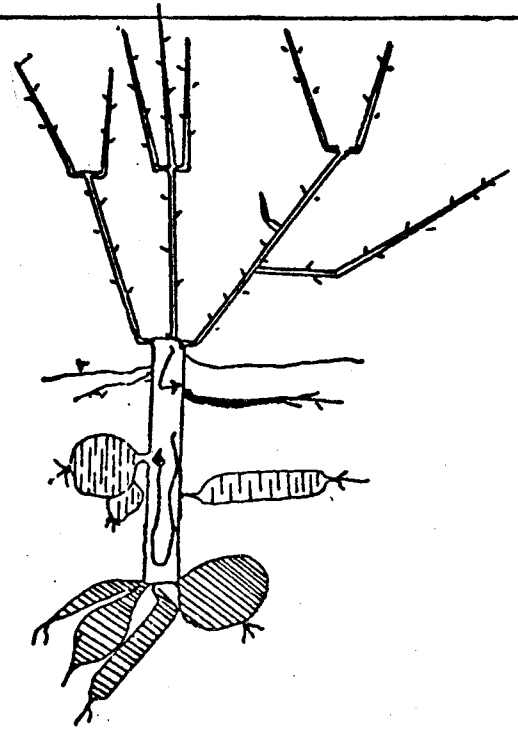
Les produits spécifiques du métabolisme racinaire montent vers les parties aériennes dont dépend le développement. A l'inverse, les produits de l'assimilation et des synthèses foliaires descendent dans le système souterrain pour y être stockés. Plus la masse du



initiation racinaire



saturation mécanique



puit d'accumulation nodal

figure 18 e Saturation mécanique et stockage

système aérien sera développée, plus les flux des produits d'assimilation vers les racines sera important et donc la masse des tubercules.

Le facteur "activité" de l'équation n'intervient pas directement dans notre étude (il est essentiellement dépendant des événements climatiques). Notre travail portant sur les individus de chaque PM indépendamment des autres, l'historique climatique est identique pour chaque plant, et donc l'activité.

- Le rendement racinaire est en relation étroite avec le diamètre cumulé des tiges.

L'une des causes permettant d'interpréter ces résultats, se rattache aux proportions respectives des différents organes d'un végétal. Plus la masse du système aérien sera importante, plus le diamètre des tiges sera gros, plus le rendement racinaire sera élevé et inversement.

On conçoit alors qu'il n'y ait rien de surprenant à ce que les corrélations apparaissent plus fortes, dans le cas du diamètre cumulé par rapport au diamètre moyen, qui, en éclipsant le nombre de tiges perd beaucoup de sa signification.

- Hypothèse sur l'absence de corrélations entre Indice de récolte et phénomènes climatiques :

Ce résultat est peu étonnant car l'IR intègre des variables phénologiques, physiologiques et de l'environnement (MOORBY, 1981). A moins d'être en mesure d'explicitier les relations avec chacune de ces 3 catégories d'éléments, l'IR par son effet globalisant ne peut contribuer à la compréhension des performances de la récolte. Par le nombre de relations qu'il intègre, les manipulations de ce paramètre de productivité peuvent mener à des conclusions incertaines, voire artificielles.

Il nous a semblé plus réaliste, de ne pas chercher à expliquer les variations observées au prix de simplifications outrancières ou de corrélations artificielles, mais d'en rester aux résultats bruts.

PM2 12mois > PM1 12mois > PM1 14 mois > PM2 14 mois > PM4 12 mois
PM3 12 mois > PM3 14 mois > PM6 12 mois > PM5 12 mois.

SECTION II .

**ESSAI FERTILISATION :
ETUDE PARTICULIERE DE LA MOSAIQUE AFRICAINE DU MANIOC.**

2.1 MATERIEL ET METHODES.

2.1.1. Protocole expérimental "in situ", essai fertilisation.

- Date de mise en place : 23 mars 1983.
- Superficie du terrain : 0,5 hectare.
- Dispositif : carré latin à 5 traitements, 5 répétitions, 25 parcelles à 144 plants (total : 3600 individus).
- Précédent cultural : manioc, de juillet 1981 à janvier 1983.
- Travail du sol : broyage et enfouissement des tiges de la récolte précédente. Travail de la terre sur 10-15cm au rotavator.
- Boutures : Manihot esculenta Grantz var Bonoua, indemne de mosaïque. Prélèvement sur plants âgés de 9 mois.
- Densité : 1x1m
- Traitements :

	N	P	K	
D1	0	- 40	- 0	
D2	0	- 40	-200	: 335kg KCL 60%.ha ¹
D3	100	- 40	- 0	: 218 kg Urée 46%.ha ¹
D4	100	- 40	-200	: 218 kg Urée + 335 kg KCL.ha ⁻¹
D5	200	- 40	- 400	: 218 kg Urée + 670 kg KCL.ha ⁻¹

NB : D1-5 = doses.

	1	2	3	4	5
A	D3	D1	D2	D5	D4
B	D5	D3	D4	D2	D1
C	D1	D4	D5	D3	D2
D	D4	D2	D3	D1	D5
E	D2	D5	D1	D4	D3

Parcelle élémentaire : 16.9 plants.
 Les observations portent sur la 4^e ligne de chaque parcelle (400 individus).

- Calendrier cultural :
- 23/3/83 : Plantation
- 29/3/83 : Apport Urée
- 9/5/83 : 1° apport KCL
- 8/7/83 : 2° apport KCL
- 24/3/83 et 28/3/83 : Irrigation
- 15/4/83 et 6/5/83 : Sarclage
- 13/4/83 et 29/4/83 : Remplacements

- Mesures : 18/5/83 : Diamètre de la base des tiges, nombre de tiges.
- 30/6/83 : Diamètre de la base des tiges.
- 10/7/83 : Mesure des indices de gravité des symptômes foliaires, de l'abscission foliaire, dénombrement des feuilles, étude de l'architecture de chaque plant (400).
- 19/8/83 : Mesure des diamètres de la base des tiges.

Les plants abîmés par le sarclage ou remplacés ne sont pas pris en considération.

Ce protocole expérimental a été relatif à l'étude des indices d'intensités de la mosaïque, en fonction de l'application de 5 fumures différentes.

2.1.2. Le matériel végétal.

Pour cet essai, le laboratoire utilise uniquement des boutures de Manihot esculenta Grantz var Bonoua Rouge (BR). C'est une variété locale, très douce, répandue dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. Elle est beaucoup moins productive que la variété CB, et notoirement plus sensible à la mosaïque.

La teneur en matière sèche des tubercules est moyenne (DIZES) 35%.

2.1.3. Méthode d'appréciation de l'intensité de la mosaïque Africaine du manioc.

La définition des symptômes de la mosaïque du manioc a pratiquement toujours été très incomplète et confuse (manifestations classiques de la mosaïque doublées de syndromes plus complexes : déformation, frisolée, nanisme et rabougrissement).

Il y eut plusieurs tentatives pour la création d'une échelle de gravité des lésions.

- Classification hiérarchique de STOREY et NICHOLS (1938) basée sur les caractères présumés importants.

- 1- La chlorose : Les taches sont vertes, ou de couleur jaune pâle ou presque blanches.
- 2- Taille des taches chlorotiques : Elles sont bien distinctes des zones vertes, variant du petit spot jusqu'à la foliole entière.
- 3- Fréquence des taches chlorotiques : En général elles se limitent à la base du foliole, elles peuvent aussi envahir une partie de la feuille, ou se généraliser à

toutes les folioles de façon uniforme.

- 4- Distorsions : C'est une réduction sensible de la taille des parties chlorosées (1 à 5 fois). Du fait de leur répartition inégale sur les feuilles, celles-ci sont tordues cloquées ou enroulées.
- 5- Réduction de la taille des folioles.
- 6- Rabougrissement général.

Les 3 derniers caractères apparaissent comme secondaires, leur extension sur la feuille étant liée aux trois premiers.

- Classification hiérarchique de COURS (1951) basée sur les caractéristiques du port du plant, des altérations foliaires et de l'écorce.
 - Intensité 0 : Aucun symptôme.
 - Intensité 1 : Développement normal du plant, mais feuillage portant des panachures ne modifiant pas la forme du lobe (le 5° du lobe est affecté en moyenne). Une partie du végétal peut être indemne.
 - Intensité 3 : Le port habituel est conservé, mais il est plus réduit que chez l'individu normal. Les feuilles sont toutes atteintes ainsi que presque tous les lobes, qui sont déformés (2/3 du lobe atteint).
 - Intensité 4 : Les bois se contournent. Le plant rabougri prend un port érigé car il y a absence de ramifications. Presque tous les lobes sont recroquevillés.
 - Intensité 5 : Les rameaux cornués sont à peine développés. Les feuilles sont réduites au 10° de leur surface et ne fonctionnent quasiment plus. Dans certains cas il y a inexistence du limbe.

- L'ensemble de nos travaux reposent uniquement sur une échelle qui nous est propre car mieux adaptée à nos recherches (classification simple, claire et surtout rapide).

L'estimation de la fréquence des taches de chlorose, la distinction de leur coloration (vert, jaune, blanc) prônée par STOREY et NICHOLS représente une méthode très précise mais trop fastidieuse pour l'étude de nos 400 individus.

L'échelle de COURS a l'avantage d'associer une notation aux symptômes, mais exige l'appréciation simultanée, du port, de la déformation des rameaux et de l'altération foliaire.

L'approche que nous avons mis en place conserve les 5 degrés d'intensité de COURS, mais ne prend en considération que le paramètre foliaire. Fait remarquable : les modifications foliaires sont les plus caractéristiques d'un degré de virulence

à l'autre alors que le port et l'écorce ne sont altérés qu'à partir de l'intensité 3.

2.1.4. Définition des indices de gravité des symptômes (FAUQUET et a

- Au niveau d'un plant.

Une note, suivant l'échelle de COURS est donnée pour chaque feuille à un instant t. L'indice de gravité des symptômes (IGS) par plant est calculé en faisant la moyenne des notations par feuille et en multipliant par 1000.

$$\text{IGS} = \frac{\sum_0^n \text{IF} \cdot 1000}{N}$$

avec N : nombre de feuilles
IF : Indice foliaire
moyen.
IGS variera de 0 à 5000.

- Au niveau d'une culture.

Le calcul au niveau d'un champs à un instant t, est réalisé en effectuant la somme de tous les IGS et en divisant par le nombre de plants présentés dans le champs.

$$\text{IGST} = \frac{\sum_0^x \text{IGS}_x}{P}$$

avec x = nombre de plants
malades.
P = Nombre de plants
présentés dans le
champs

2.1.5. Test immuno-enzymatique ELISA pour la détection du virus de la mosaïque du manioc par voie sérologique.(FARGETTE).

La détection de la teneur en géminivirus des différents tissus du manioc, n'a pu être réalisé que grâce au test ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay), où les anticorps sont couplés à la phosphatase alcaline à l'aide de la glutaraldéhyde.

Transmission mécanique.

De jeunes feuilles de manioc sont broyées au mortier dans différents milieux (phosphate de sodium ; phosphate de potassium) en présence de différents anti-oxydants : chlorhydrate de cystéine (M/100), sodium diethyldithiocarbamate (M/100),

2 mercapto éthanol (M/100). Les extraits obtenus sont inoculés sur feuilles de plants de Nicotiana benthamiana préalablement saupoudrées de carborundum.

Purification.

Elle est proche de la méthode de Walter (1981). 100g de jeunes feuilles de N. benthamiana sont broyées 3 à 4 semaines après inoculation en présence de 400ml de borate de potassium (0,2M ; pH : 8,2), acide thioglycolique 1%, EDTA, polyvinhyl pyrrolidone 0,5%. L'homogénat est clarifié par l'addition de 200 ml de chlorophorme, puis centrifugé 10mm à 10000g. On ajoute 30g de sulfate d'ammonium pour 100ml de la phase aqueuse. Après 30 minutes à 4°C, le précipité est recueilli par centrifugation de 10 minutes à 10000g, puis est repris dans 200 ml du tampon de broyage dilué 5 fois. Après une centrifugation à basse vitesse le surnageant est ultra centrifugé pendant 4 heures à 100000g, à travers un coussin de saccharose à 20%. Le culot est repris dans 2 ml de tampon de borate de potassium 0,05 M, pH : 8,2. Après une centrifugation basse vitesse le surnageant est déposé sur un gradient de saccharose borate 0,05 M pH : 8,2 10-40%. On recueille la bande opalescente contenant les particules infectieuses au fractionneur de gradient isco-modèle 640.

Sérologie.

Deux lapins reçoivent chacun une série de 8 injections d'une suspension de virus purifié. Le virus était formolé (0,2%), et mélangé à égal volume d'adjuvant incomplet de FREUND pour les injections intra-musculaires.

Purification et concentration des immunoglobulines à partir de sérums de lapin.

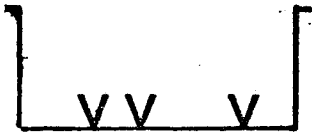
Les immunoglobulines g sont préparées par demi saturation au sulfate d'ammonium, suivie par une resuspension dans le tampon phosphate (PBS), pH : 7,4 Les immunoglobulines g ajustées à un mg de protéines par ml sont conjuguées avec de la phosphatase alcaline (type VII, sigma Chemical Co, St Louis) par traitement avec 0,06% de glutaraldéhyde. Après dialyse, on ajoute de la sérum albumine de boeuf 15 mg/ml et on stocke à 5° celcius.

Test ELISA (figure 19).

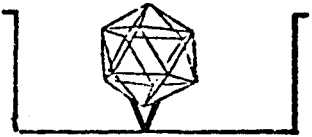
200 ml d'immunoglobulines g à une concentration A de 10 mg/ml sont diluées dans du tampon couverture (carbonate de sodium 0,05 M ; pH : 9,6) et sont laissé à incuber dans chaque cupule des plaques de polystyrène micro ELISA Titertek. L'incubation se fait à 30-37°C de 2 à 4 heures. Les cupules de bordure ne sont pas utilisées mais remplies d'eau distillée pour stabiliser la température.

Après incubation, les plaques sont rincées 3 fois au tampon PBS contenant 0,05% de Tween. A chaque rinçage le tampon est laissé 3 minutes. On ajoute 200 ml par micro plaque d'extrait de plante ou de solution purifiée dilué dans du tampon antigène (PBS Tween contenant 5% de PVP). ON laisse incuber 4 à 6 heures à 37°C.

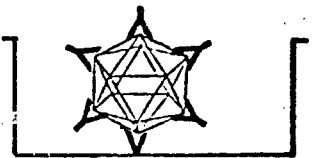
Après une nouvelle série de rinçages les globulines



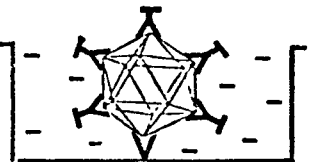
1_ fixation de l'anticorps spécifique



2_ apport virus



3_ apport anticorps couplé à l'enzyme



4_ apport du substrat enzyme

figure 19 • Principe du test immuno-enzymatique ELISA.

couplées à l'enzyme sont ajoutées et laissées à incuber pendant une nuit à 6°C pour réagir avec l'antigène fixé. Le conjugué est dilué (1/400) dans du PBS Tween PVP contenant 0,2% d'ovalbumine

Finalelement, après une nouvelle série de rinçages, la réaction spécifique antigènes - anticorps est mesurée en ajoutant 200 µl de P nitrophényl phosphate à 1mg/ml dans 10% de tampon diethanolamine à pH 9,8. L'absorbance à 405 nm de chaque cupule est mesurée grâce à un spectrophotomètre Titertek Multiskan. La réaction de coloration ayant été bloquée au moment jugé opportun par l'apport de 50 µl de 3 MNaOH.

2.1.5. Centrifugation à basse vitesse.

Dans le but de séparer le géminivirus des tanins et autres grosses protéines soupçonnées de jouer le rôle d'inhibiteur du virus, le broyat de feuilles de manioc est centrifugé dans les conditions suivantes :

- Dilution d'un gramme de feuilles broyées dans 5 ml de tampon antigène.
- Prélèvement de 3 ml du mélange et apport de 1 ml de chlorophorme (destruction de l'inhibiteur).
- Centrifugation dans rotor SORVALL superspeed RC2B à 5000 tours/mn pendant 10 mn.
- Seul le composant léger obtenu est récolté (figure 20).

2.1.6. Mesure de l'abscission foliaire.

Elle est réalisée par comptage des cicatrices foliaire, très nettement visibles sur l'écorce du manioc.

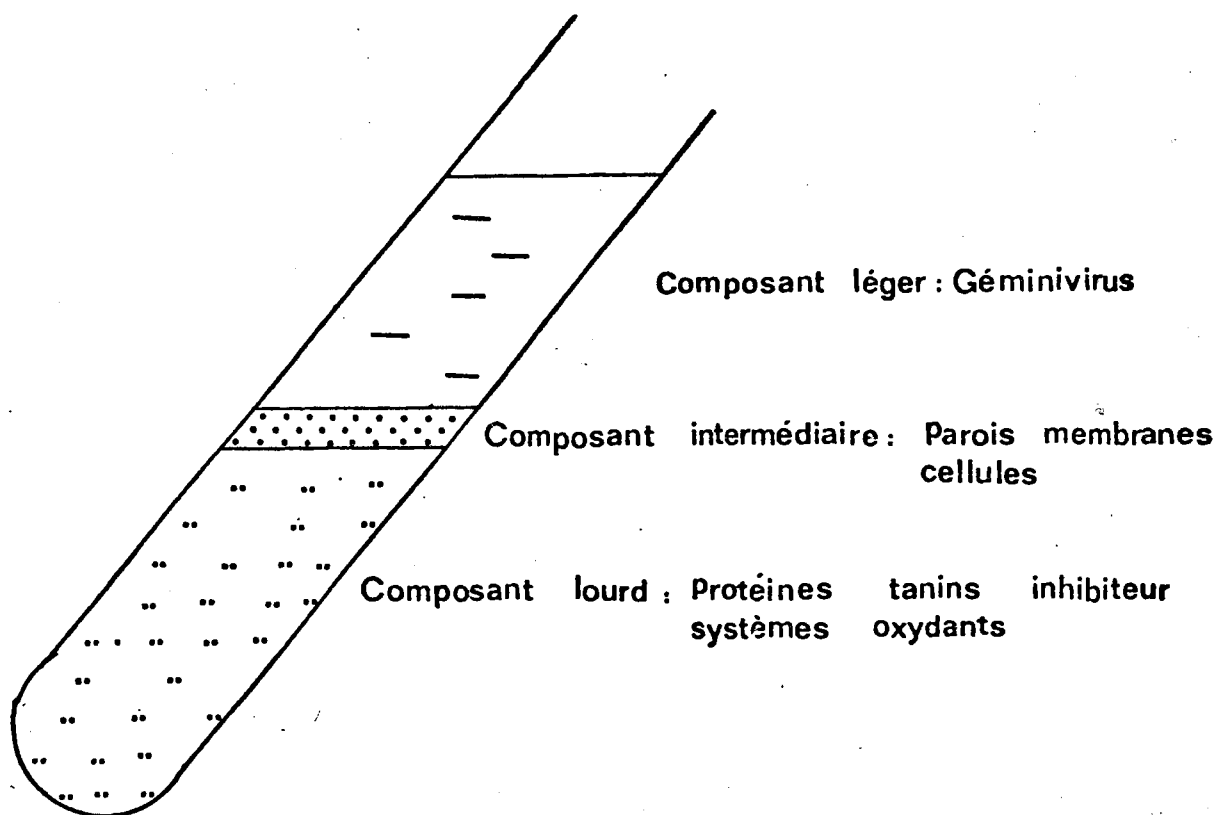


figure 20. Profil de résolution des composantes du broyat
Centrifugation 10 mn
5000 t/mn

2.2 RESULTATS.

Nous avons montré dans cette section, le rôle déterminant des façons culturales, et en particulier de la fertilisation sur la gravité de la virose :

- au 1° degré : pourcentage de plants atteints
- au 2° degré : intensité des symptômes.

L'étude des facteurs de gravité nous a conduit à celle des conséquences morphologiques d'une intensification de la maladie.

Dans chacune des parties nous avons corréler les observations "in situ" avec des travaux menés au laboratoire de phytovirologie, ce qui nous a permis d'avancer quelques hypothèses sur l'action de l'agent pathogène.

2.2.1. IMPACT DES FACTEURS CULTURAUX RESPONSABLES D'UNE AGRAVATION DE LA VIROSE.

2.2.1.1. Effet de la fertilisation minérale sur le pourcentage de plants virosés (400 individus étudiés).

Le taux de pieds infestés est légèrement plus élevé pour les doses D4 et D5. 4 des 5 parcelles les plus infestées sont des traitements D5 (tableau 10). Les parcelles témoins ne sont pas les moins atteintes. Leur taux de plants malades est quasiment la moyenne des extrêmes (D5 et D2).

Ces constatations ne sont que des tendances car les différences entre traitements sont trop faibles pour être significatives (tableau 11).

Un début de différenciation sérieuse n'a été observé qu'au dernier des 5 contrôles réalisés (15 avril, 27 avril, 3 mai, 16 mai et 1° juin). Précédemment D5 présentait le plus faible pourcentage de plants infestés, en 16 jours une contamination très intense a eu lieu (36 à 68%) faisant de ce traitement le plus susceptible à la virose. D4 a également connu une évolution analogue (figure 21).

2.2.1.2. Effet de la fertilisation minérale sur la gravité des symptômes (400 individus étudiés).

Les indices de gravité des symptômes (IGS) augmentent remarquablement avec la fumure minérale dans l'ordre suivant : Témoin (D1) ; N100 (D3) ; KCL200 (D2) ; N100 KCL200 (D4) ; N200 KCL400 (D5).; (tableau 10 et figure 22).

Les différences observées sont positives et significatives (tableau 12 et annexe III p90).

On observe, par le test de DUCAN, "méthode des ranges multiples" pour la comparaison de moyennes 2 à 2 que deux traitements immédiatement voisins ne sont pas significativement différents : D1 ne peut être comparé à D2, D2 à D3, D4 à D5.

Tableau 10 : Classification décroissante des taux de plants virosés, et des indices de gravité par répétition. -57-

Pourcentage de plants virosés	Fumure	Traitement	Résultat
79,8	N100	KCL200	D4
72,9	N200	KCL400	D5
70,8	N200	KCL400	D5
70,8	N200	KCL400	D5
67,3	N200	KCL400	D5
67,3	N100		D3
65,2	N200	KCL400	D5
65,2	N100	KCL200	D4
65,2	Témoin		D1
65,0		KCL200	D2
64,5	N100	KCL200	D4
63,8	Témoin		D1
60,4	N100		D3
58,3	N100		D3
50,0		KCL200	D2
50,0	Témoin		D1
48,6	Témoin		D1
48,6	N100	KCL200	D4
43,0	N100		D3
41,6		KCL200	D4
40,9	N100	KCL200	D1
39,5	Témoin		D1
36,8		KCL200	D2
35,4		KCL200	D2
31,0	N100		D3
Indices IGST			
1164	N100	KCL200	D4
1118	N200	KCL400	D5
1020	N200	KCL400	D5
970	N200	KCL400	D5
908	N200	KCL400	D5
907	Témoin		D1
865	N100	KCL200	D4
821	N100		D3
803	N100	KCL200	D4
789	N100		D3
785	N100		D3
783	N100		D3
781	N200	KCL400	D5
766	N100	KCL200	D4
752		KCL200	D2
752		KCL200	D2
748		KCL200	D2
740		KCL200	D2
710		KCL200	D2
638	N100	KCL200	D4
613	Témoin		D1
591	Témoin		D1
538	Témoin		D1
484	Témoin		D1
383	N100		D3

Variation	Somme des carrés des écarts	Degré de liberté	Variance	F calculé	Fo 0,95	Résultat
Totale	26469,5	24	1102,8			
Entre lignes	1815,5	4	453,8	0,29	3,26	NS
Entre colonnes	1659,5	4	414,8	0,26		NS
Entre traitements	4239,5	4	1059,8	0,67		NS
Résiduelle	18755	12	1562,9			

Tableau 11 : Analyse de variance des taux de plants virosés entre chaque traitement. Données du 5° contrôle (1° juin 1983).

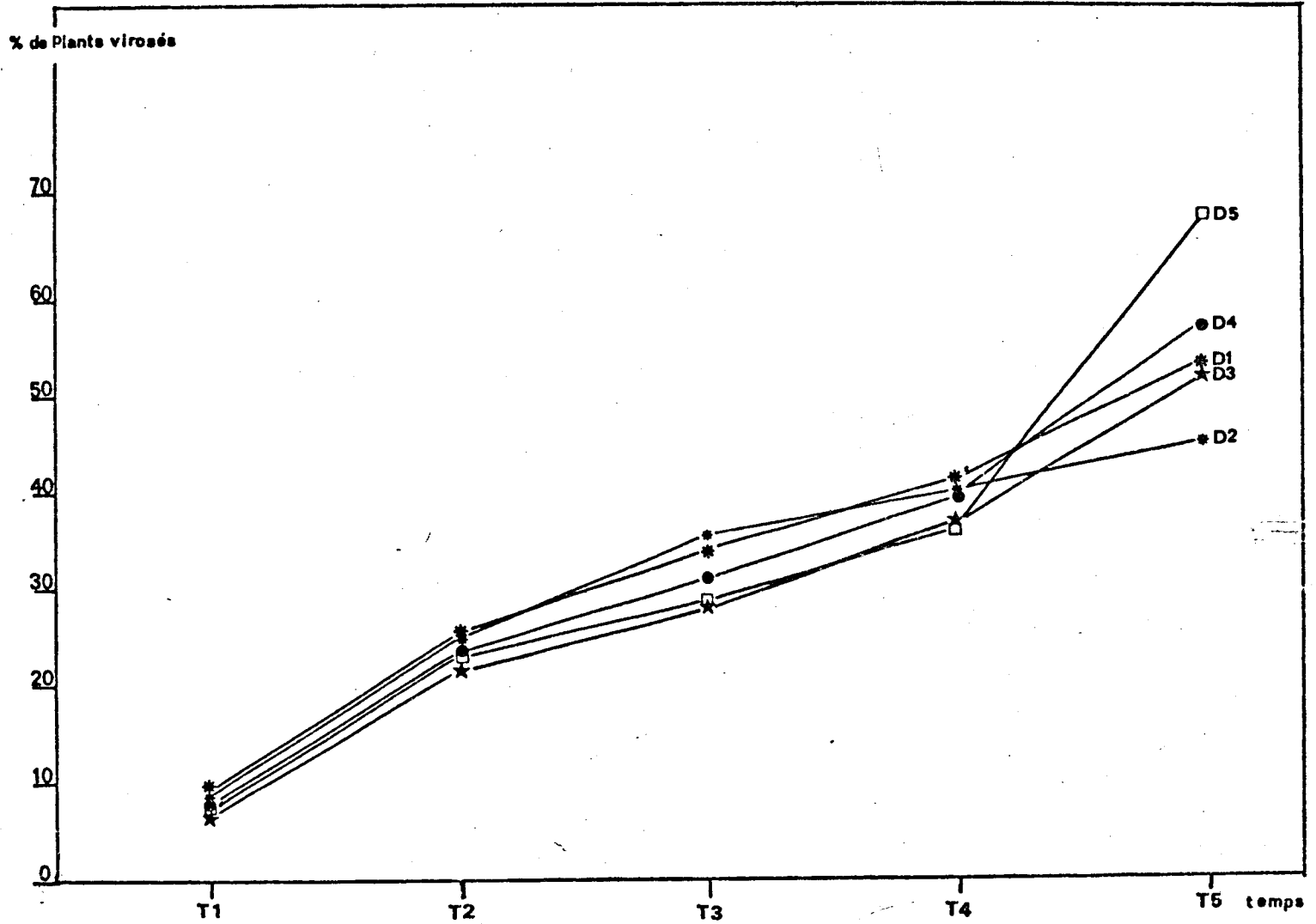


figure21 ● Evolution du Pourcentage de Plantes virosées.
Essai fertilisation.

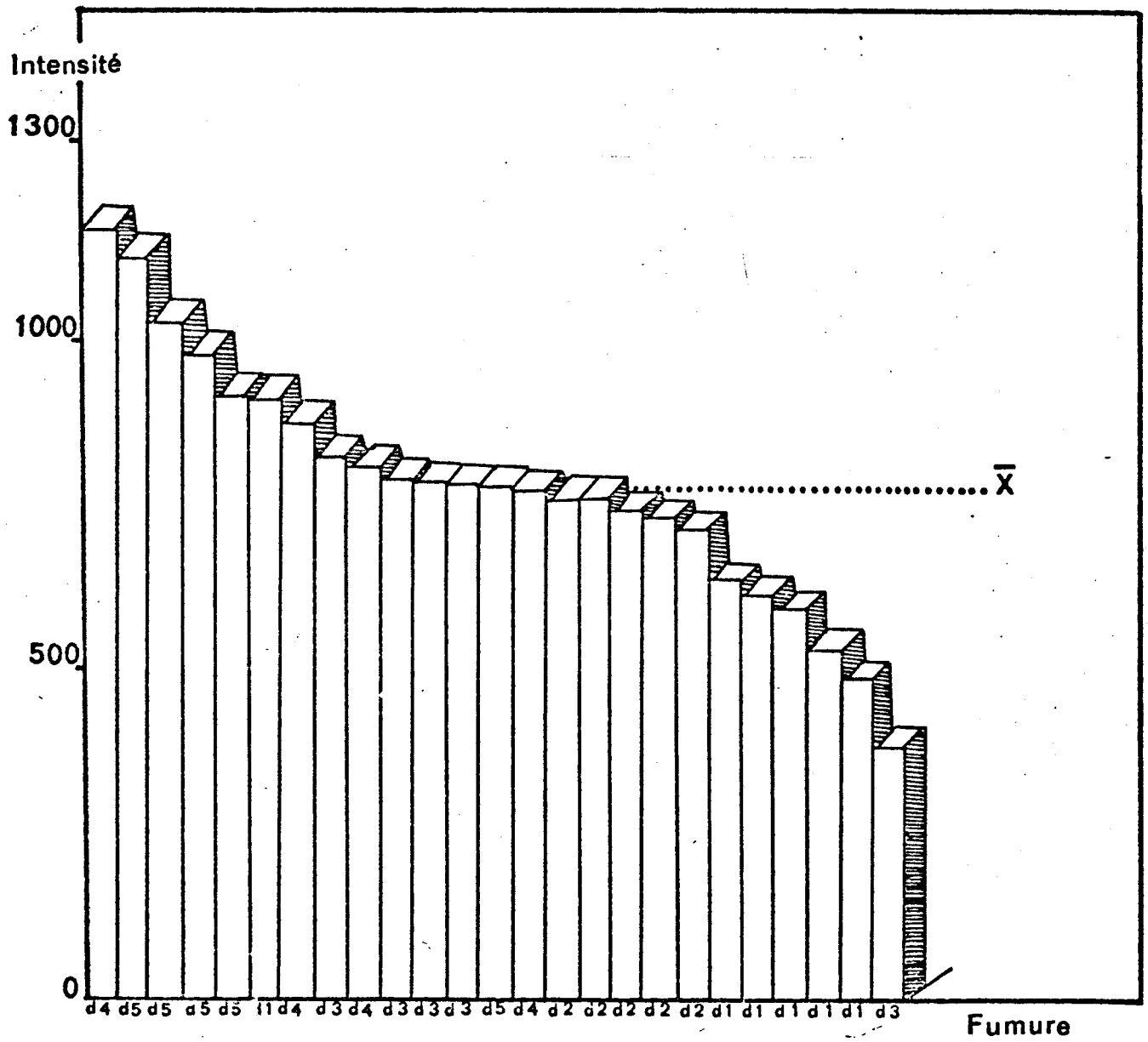


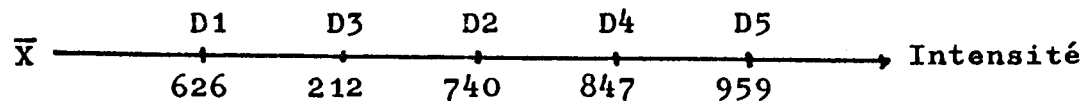
figure 22 • Classification décroissante des indices de gravités des 25 répétions.

Variation	Somme des carrés des écarts	degré de liberté	Variance	F calculé	Fo 0,95	Résultat
Totale	794114	24				
Entre lignes	124335	4	31083	1,64	3,26	NS
Entre colonnes	111795	4	27948	1,48		NS
Entre traitements	331782	4	82945	4,40		S
résiduelle	226202	12	18850			

Tableau 12 : Analyse de variance des indices d'intensité en fonction de la fumure.

Ordre (rang)	Range réduit	Terme constant	Plus petite différence significative
2	3,082	61,40	189,2
3	3,225		198,0
4	3,313		203,4
5	3,370		206,9

Tableau 13 : Comparaison de moyennes 2 à 2 : Test de DUCAN, méthode des "ranges multiples".



Classement des moyennes en ordre croissant.

D1 D3 D2 D4 D5

Les moyennes trop proches pour être significatives sont soulignées.

Ainsi des indices de gravité entre des fumures aussi différentes que N100 (D3) et KCL200 (D2) sont tout à fait analogues. (tableau 13).

2.2.2. IMPACT DE L'ACCROISSEMENT DES INDICES DE GRAVITE SUR LE PLANT.

2.2.2.1. Effet de l'aggravation des symptômes sur l'abscission foliaire (400 individus étudiés).

Les figures 23 et 24 montrent une diminution de l'abscission foliaire quand il y a intensification de la virose. On observe une faible variation du taux de chute pour des intensités allant de 0 à 750. Au-delà l'abscission baisse notablement.

Les plants indemnes de maladie n'ont pas été pris en considération car trop peu nombreux pour être représentatifs.

2.2.2.2. Effet de l'aggravation des symptômes sur le diamètre des tiges (400 individus étudiés).

L'étude menée à l'intérieur des 5 répétitions de témoins (80 plants) montre une absence de relation entre intensité et diamètre cumulé des tiges.

Pour préciser l'analyse, les pieds à 1, 2, 3, 4 tiges ont été étudiés séparément. Aucun des coefficients de corrélation obtenu n'a été significatif (0,40 ; 0,17 ; 0,41 ; 0,15).

2.2.2.3. Effet de l'aggravation des symptômes sur l'architecture du plant.

Les résultats portant sur une population de 120 individus à 2 tiges (plus grande fréquence) sont présentés sur la figure 25.

Il y a une modification rapide dans la hiérarchie des dimensions atteintes par les organes. On observe une diminution de la hauteur du plant avec l'intensité (extrêmes : classe 0-500 = 2,10 m ; classe 2000-3000 = 1,93).

Les "vagues de ramification" sont d'autant plus tardives que la mosaïque est plus intense. Elles s'élèvent donc progressivement avec les IGS (extrêmes : classe 0-500 = 0,76 m ; classe 2000-3000 = 1,15). Au-delà de 1500 IGS il y a disparition du second étage de ramification.

On remarque un retard remarquable dans la lignification des tiges de plants présentant de très fortes intensités.

abscission foliaire

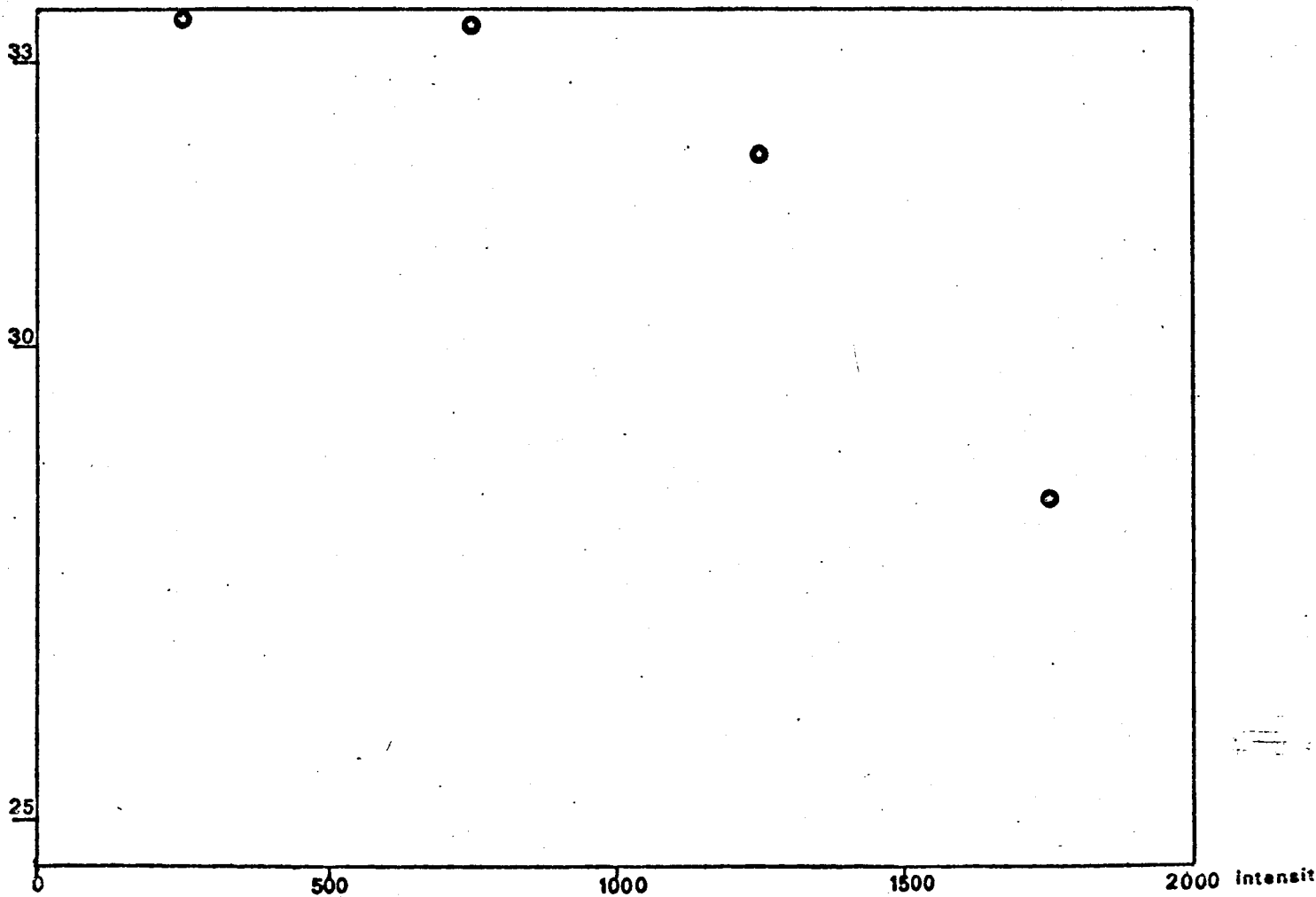


figure 23 • Regression linéaire de l'abscission foliaire en fonction de l'intensité.

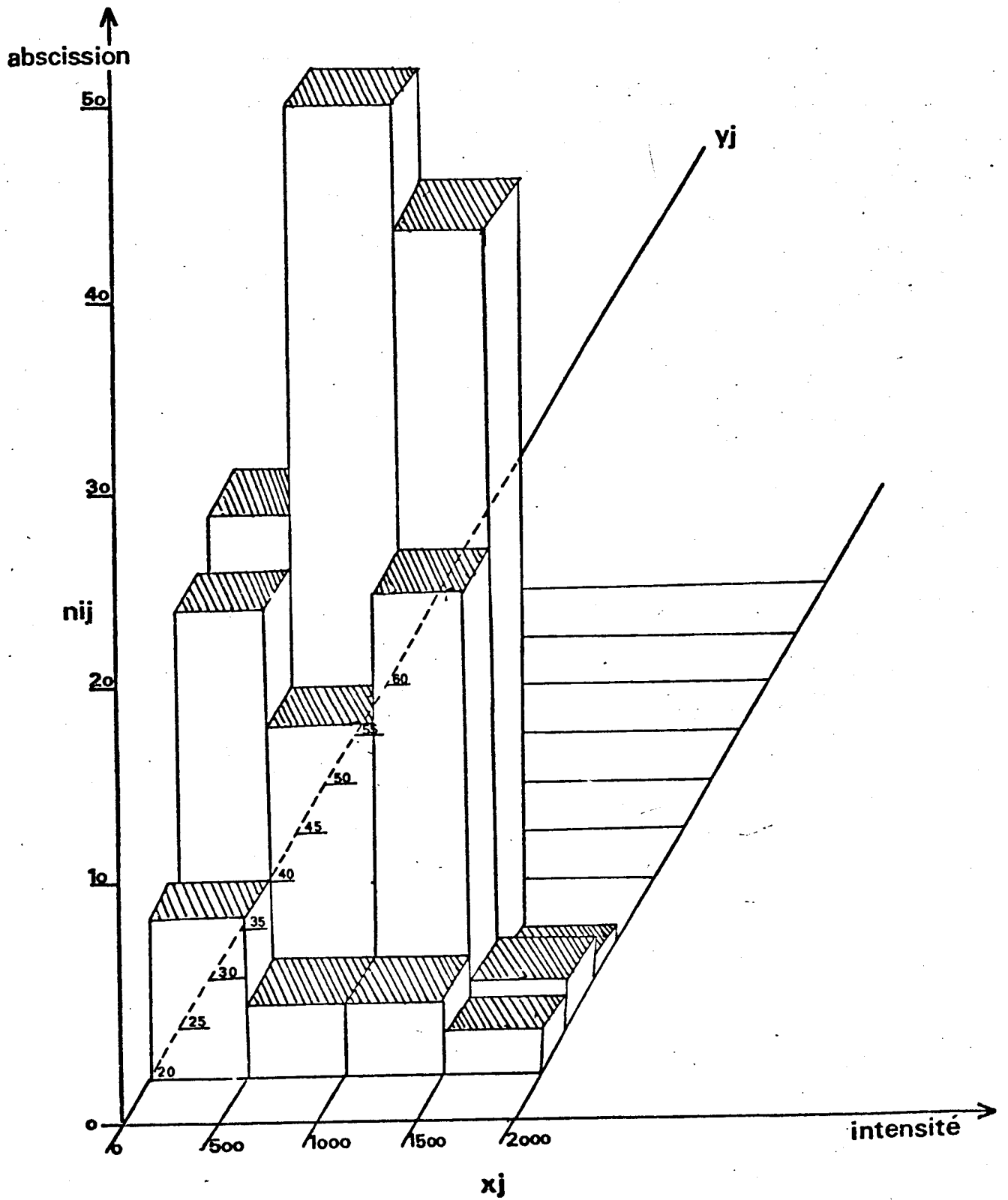


figure 24. Sstéréogramme : abscission foliaire et intensité de la virose.

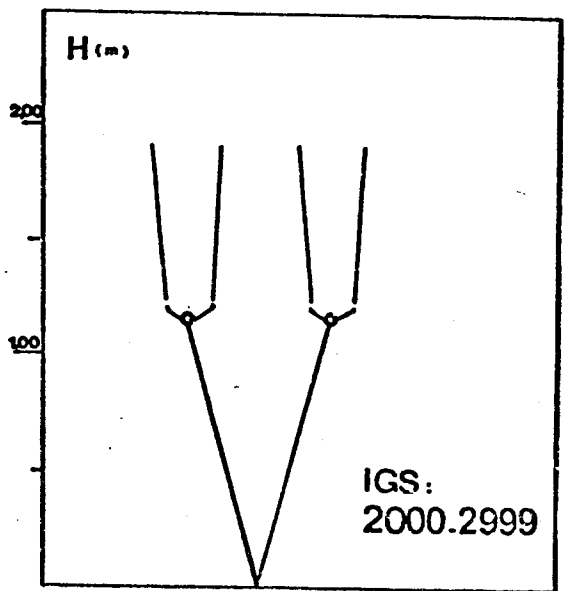
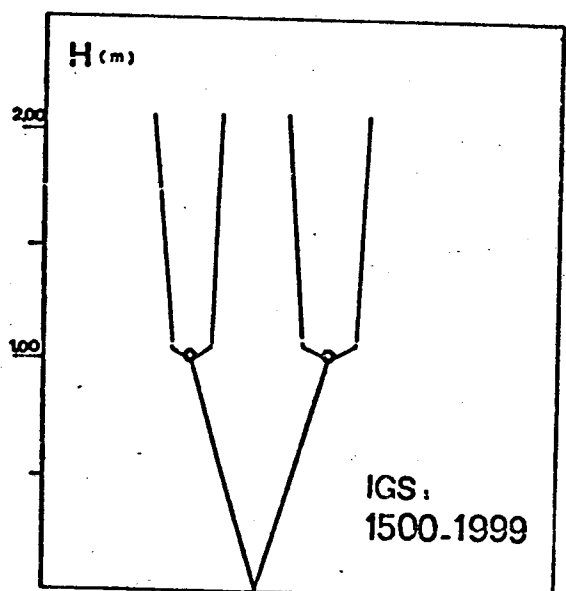
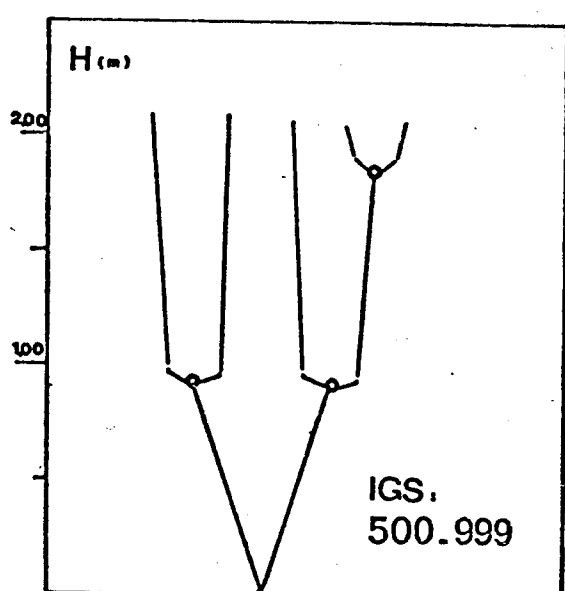
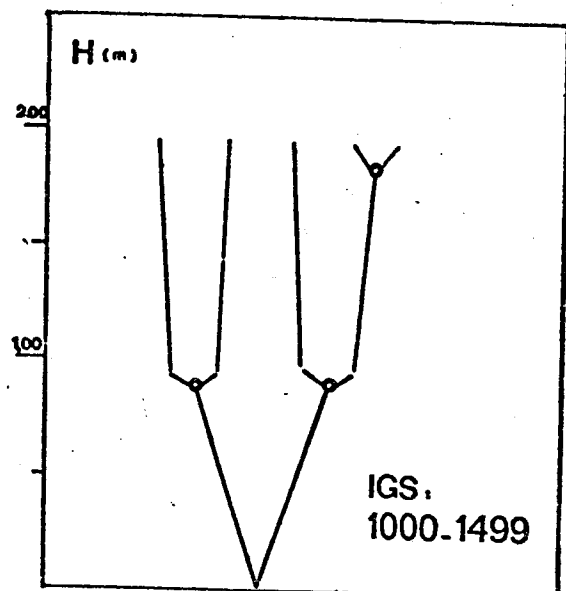
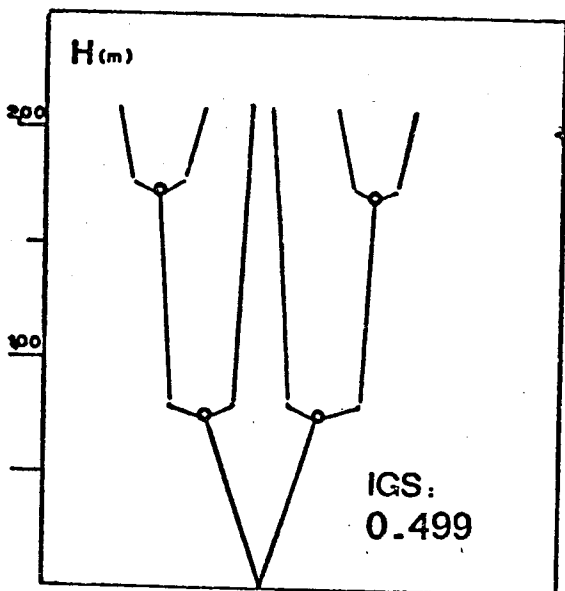


figure 25 Evolution du Port en fonction de l'intensité.

2.2.3. MISE EN EVIDENCE DE MECANISME DE RESISTANCE A LA MOSAÏQUE.

2.2.3.1. Effet du vieillissement de la feuille.

Le taux de virus décroît régulièrement avec le vieillissement de la feuille (figure 26). On observe de surcroît que le taux de virus d'une feuille âgée ayant une forte intensité est plus faible que celui d'une jeune feuille à basse intensité des symptômes. Il y a dégradation du géminivirus dans les feuilles âgées. L'agent pathogène n'est plus détectable par ELISA à partir de la 20^e feuille.

Il y a détection de fortes concentrations en virus sur certaines feuilles ne présentant aucun symptôme de la mosaïque. L'apparition de ces derniers n'est donc qu'un phénomène induit, secondaire à la réplication virale.

2.2.3.2. Essai préliminaire de détection d'inhibiteur.

Le chlorophorme est un solvant organique susceptible de dégrader un certain nombre d'inhibiteur. Les 12 premières feuilles d'un plant, présentant des intensités différentes ont été broyées et traitées par ELISA. Une partie de chaque échantillon a servi de témoin, l'autre d'essai au chlorophorme (1 ml pour 6 ml d'extrait).

Il y a une action très nette des traitements sur la sensibilité du test ELISA. Les valeurs obtenues sont plus que doubler en moyenne entre le témoin et le traitement au chlorophorme. (figure 27).

La présence d'une substance inhibitrice dans les cellules des feuilles de manioc semble être confirmée, tout particulièrement dans les feuilles âgées (8° à 13°). Elle s'opposerait à la détection de l'agent pathogène en le masquant, sans en débarrasser pour autant la plante.

Il est malheureusement difficile d'apprécier plus en détail le rôle spécifique de cette substance sans expérimentation complémentaire, d'autant plus que leur mode d'action, est d'une manière générale très mal connu.

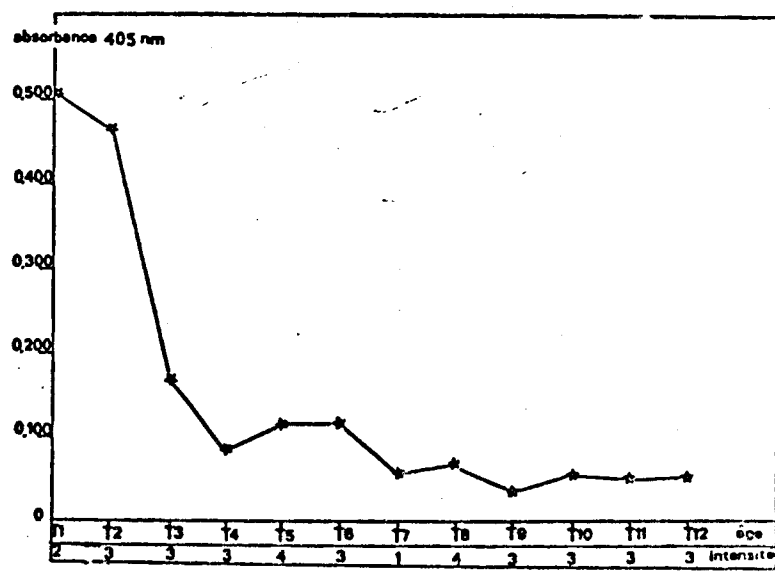
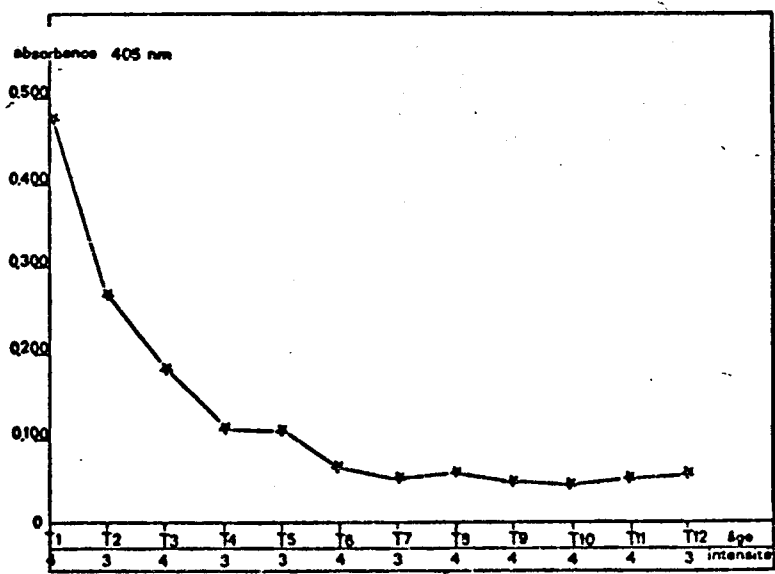
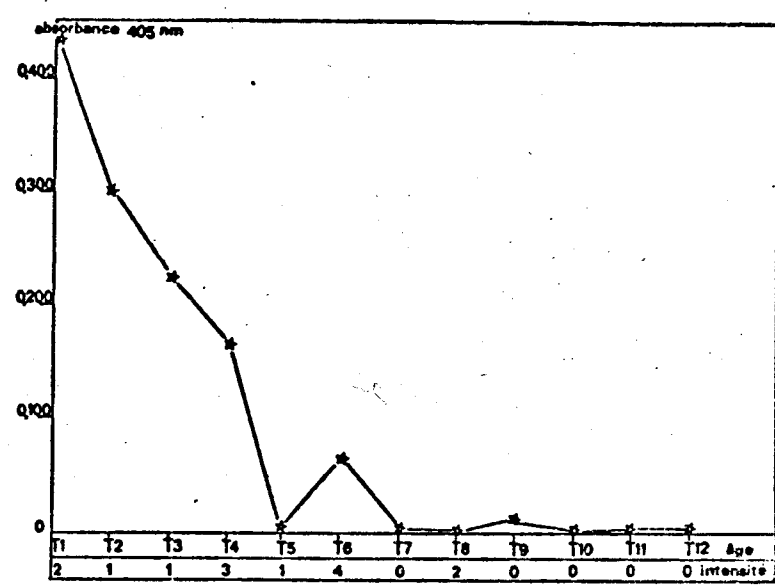
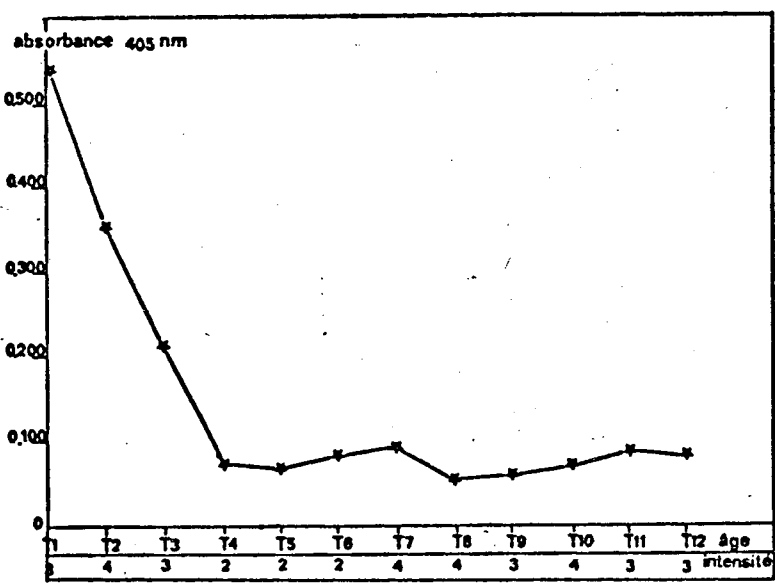
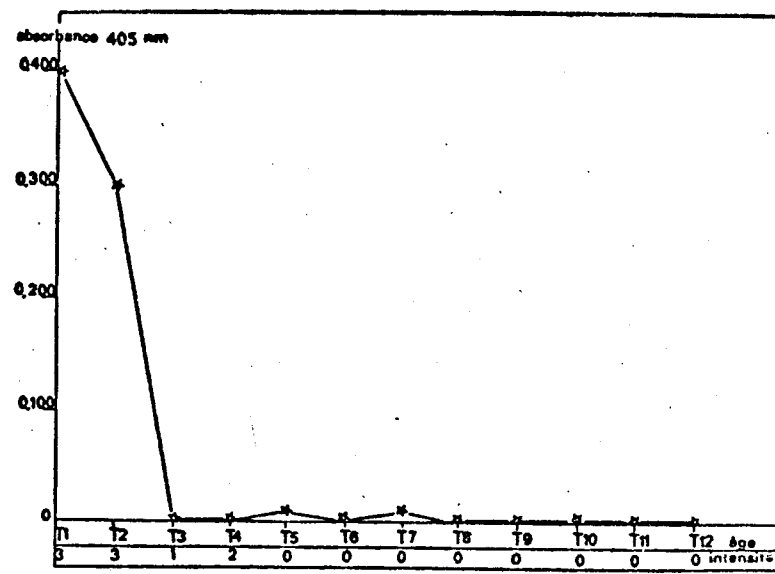
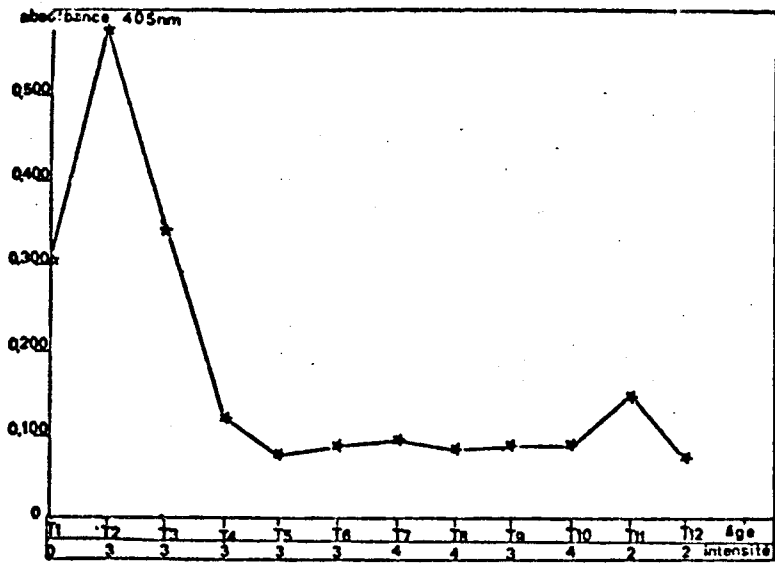


figure 26 • Evolution du taux de virus avec l'âge de la feuille.

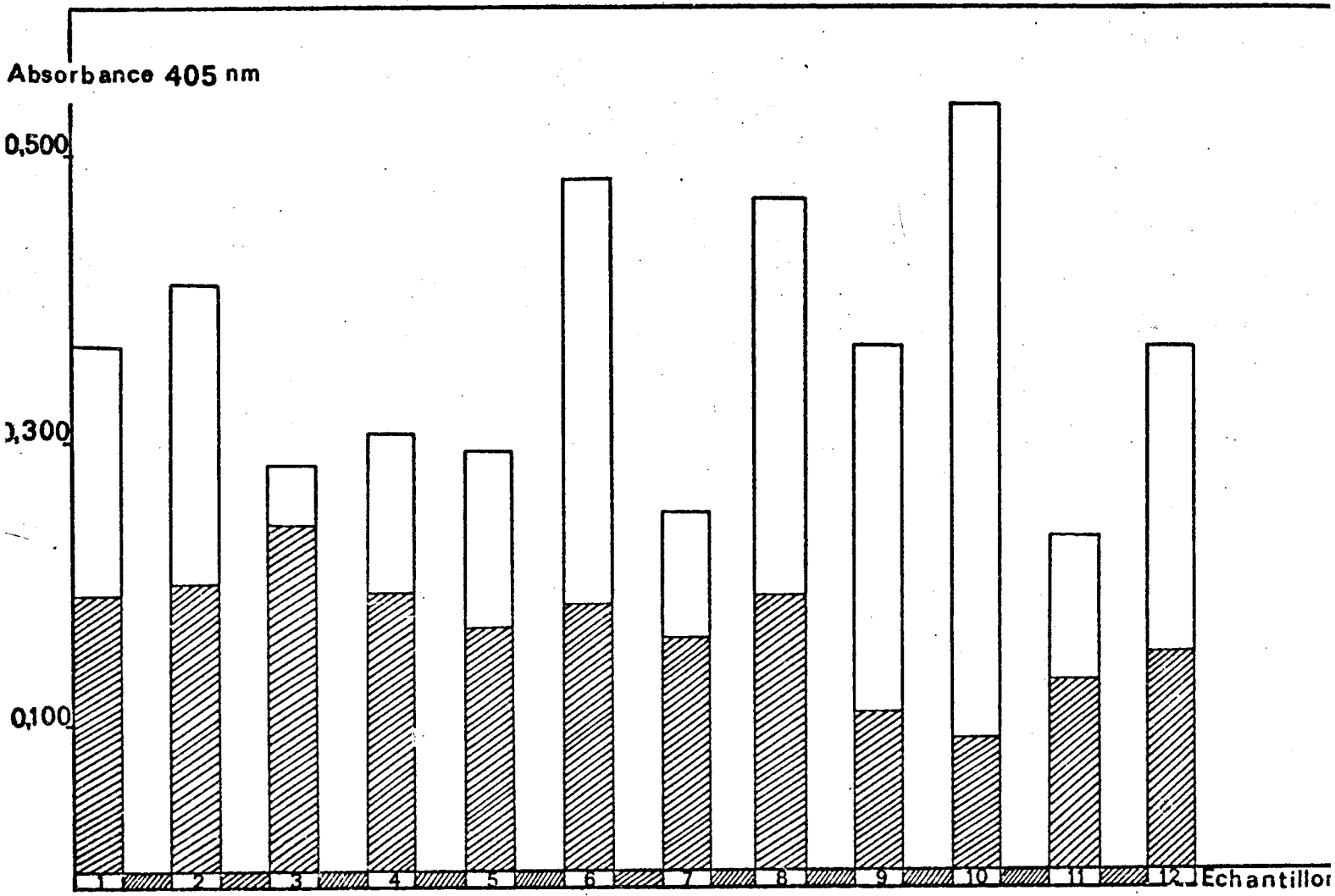


figure 27 • Variation du taux de virus détecté avec ou sans chloroforme

2.3 INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS.

2.3.1. Effet de la fertilisation minérale sur la gravité des symptômes.

Les conditions nutritionnelles les plus favorables au manioc sont également celles qui induisent une sensibilité maximale. Cette action défavorable de la fumure minérale apparaît nettement, elle est matérialisée par des valeurs élevées des IGST. Comme on pouvait le supposer, les interactions entre les différents éléments nutritifs sont complexes, et il n'est pas évident que l'un d'entre eux à lui seul provoque un accroissement notable de la sensibilité.

Parmi les causes nous permettant d'interpréter la variation des IGST nous distinguerons :

- Les facteurs liés à la croissance du manioc.
- Les facteurs propres à la biologie du virus.

2.3.1.1. Les facteurs liés à la croissance du manioc.

- La hauteur du plant.

Le problème est analysé sous l'angle de la relation : taille du plant, attraction du vecteur (Bémisia tabaci Genn).

Hypothèse : un plant plus haut que ses voisins, du fait des fortes doses de fertilisants dont il bénéficie, exercerait un rôle attractif sur la mouche blanche. En dominant le champs, la probabilité pour qu'il soit piqué par une mouche porteuse de virus devrait être plus grande. La quantité de géminivirus injecté à un tel plant serait nettement supérieure à celle reçue par un témoin (taille plus réduite) et donc les IGS plus intenses.

L'étude des corrélations ne confirme pas l'hypothèse. Ce résultat peut surprendre à priori, mais on a de fortes raisons de penser qu'il s'explique, entre autres, par une variation insuffisante des hauteurs.

- La surface foliaire.

Un raisonnement analogue au précédent a été tenu quant à la superficie des feuilles. La surface foliaire va en croissant avec les doses de fumure.

Une analyse de variance fait apparaître une différence significative des surfaces entre traitements (tableau 14, annexe III p90).

Les coefficients de corrélation entre la surface et l'intensité des symptômes ne sont pas significatifs (figure 28).

Doit-on considérer que la virose est indépendante du nombre de piqûres d'insectes porteurs, ou existe-il un facteur limitant annulant une susceptibilité plus grande des plants

Variation	Somme des carrés des écarts	degré de liberté	Variance	F calculé	Fo 0,95	Fo 0,975	Résultat
Totale	8314	24			3,26	4,12	
Entre lignes	886	4	221	0,95			NS
Entre colonnes	524	4	131	0,56			NS
Entre traitements	4118	4	1029	4,43			S
Résiduelle	2785	12	232				

Tableau 14 : Analyse de variance de la surface foliaire en fonction de la fumure.

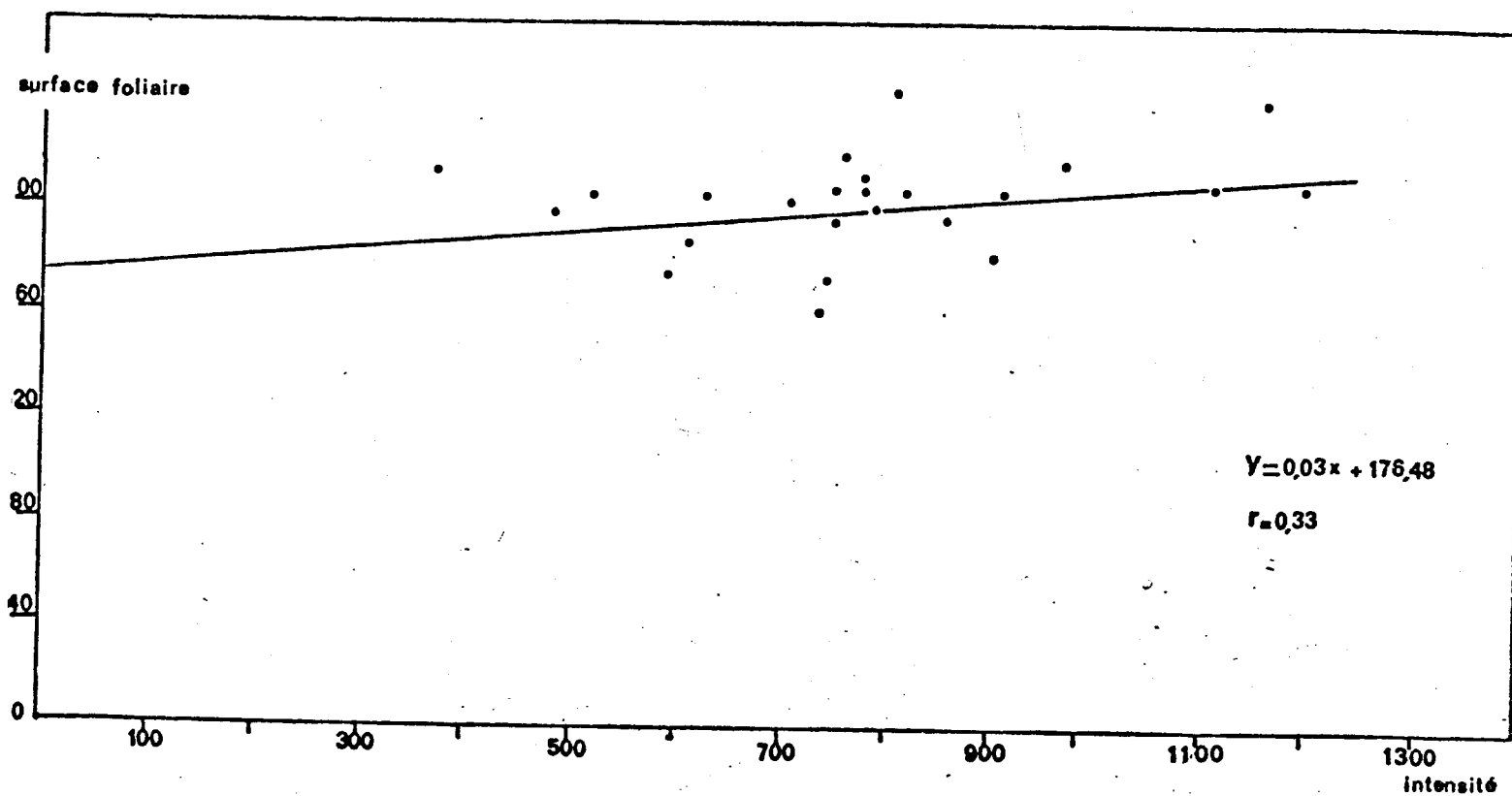


figure 28 Régression de la surface foliaire en fonction de l'intensité.

fertilisés ? (la surface foliaire entre les extrêmes D1 et D4 varie de 17,5%).

On a de fortes raisons de penser que le facteur limitant provient du comportement de Bémisia tabaci Genn qui ne se nourrit que sur les feuilles terminales du manioc, immatures et non développées. La surface perd alors toute son importance puisqu'elle n'intervient de façon significative que chez la feuille adulte.

2.3.1.2. Les facteurs liés à la biologie du virus.

Les virus sont doués d'un parasitisme intra-cellulaire obligatoire (ils sont en effet limités à une information génétique protégée par des structures périphériques, ne possédant aucun système enzymatique ou énergétique susceptible d'assurer leur réplication). Ils entrent donc en contact intime avec la substance cellulaire vivante, en détournent l'ensemble coordonné des macro-molécules pour leur propre biosynthèse (ribosomes, ARN, activités enzymatiques diverses).

Ainsi défini, le virus parasitant un système vivant (permissif), va être répliqué d'autant mieux que la cellule hôte connaît un meilleur développement (fumure), puisqu'il en détourne le métabolisme à son profit.

- Une fumure azotée correcte favorise la synthèse de protéines cellulaire (protéines de structure et d'assemblage). Ces dernières sous l'action du géminivirus seront détournées pour la synthèse du virion. La réplication de l'agent pathogène est d'autant plus intense, que l'on se rapproche de la dose d'azote optimale à la croissance du manioc.

- Des concentrations élevées en potassium vont de pair avec une croissance active des méristèmes, et des tissus végétaux jeunes, qui sont les sites cellulaires appropriés à la réplication du géminivirus. En inversant la proposition un sujet carencé en potassium aurait une croissance moins active de ses méristèmes, donc une réplication beaucoup plus lente et limitée du géminivirus, se manifestant par des IGS plus faibles.

-Ce type de relation entre intensité des IGS et fumure contribue à expliquer les comportements particuliers des traitements D4 et D5 sur l'étude du pourcentage de plants atteints.

Le taux viral de ces plants est notoirement plus élevé que celui des autres traitements. On peut supposer que la probabilité pour qu'une mouche blanche soit contaminée en venant s'y nourrir, est bien plus élevée que pour D1, D2 ou D3. Lorsqu'elle ira se nourrir sur un pied voisin qui appartiendra probablement à la même parcelle donc au même traitement (D4 ou D5) la contamination sera quasi systématique. Il y aurait donc une auto-contamination interne

au traitement très rapide, en relation directe, avec l'intensité.

- Vérification des hypothèses précédentes.

Nous avons associé gravité des symptômes manifestés avec le taux de virus. Les tests ELISA entre intensité et taux de virus ont confirmé notre hypothèse avec des coefficients de corrélation toujours élevés (0,87 à 0,60), une moyenne de 0,70 significative au seuil de probabilité 0,001 (figure 29).

Afin d'approfondir l'étude précédente, nous avons comparé le taux de virus entre plages vertes et jaunes des feuilles. Il triple en général dans les parties décolorées du limbe, dans quelques cas il quintuple (figure 30).

Ces lésions chlorotiques correspondent à une intense répllication virale, se traduisant par : une disparition du tissu palissadique, une réduction du phloème à de petits vaisseaux, une moindre coloration des chloroplastes, et un limbe beaucoup plus mince.

2.3.2. Impact de l'accroissement des indices de gravité sur le plant.

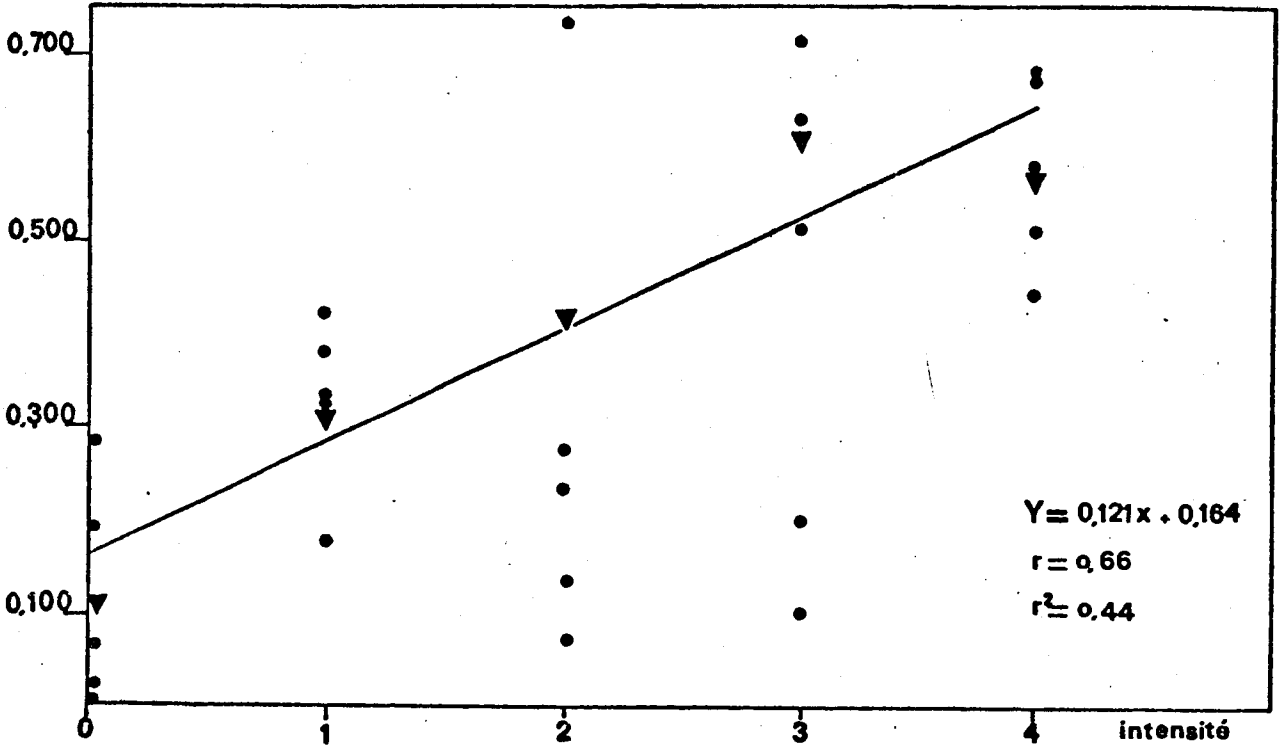
-Abcission foliaire

Elle diminue remarquablement quand il y a intensification de la virose. On observe que la défoliation ne survient qu'à la base des tiges.

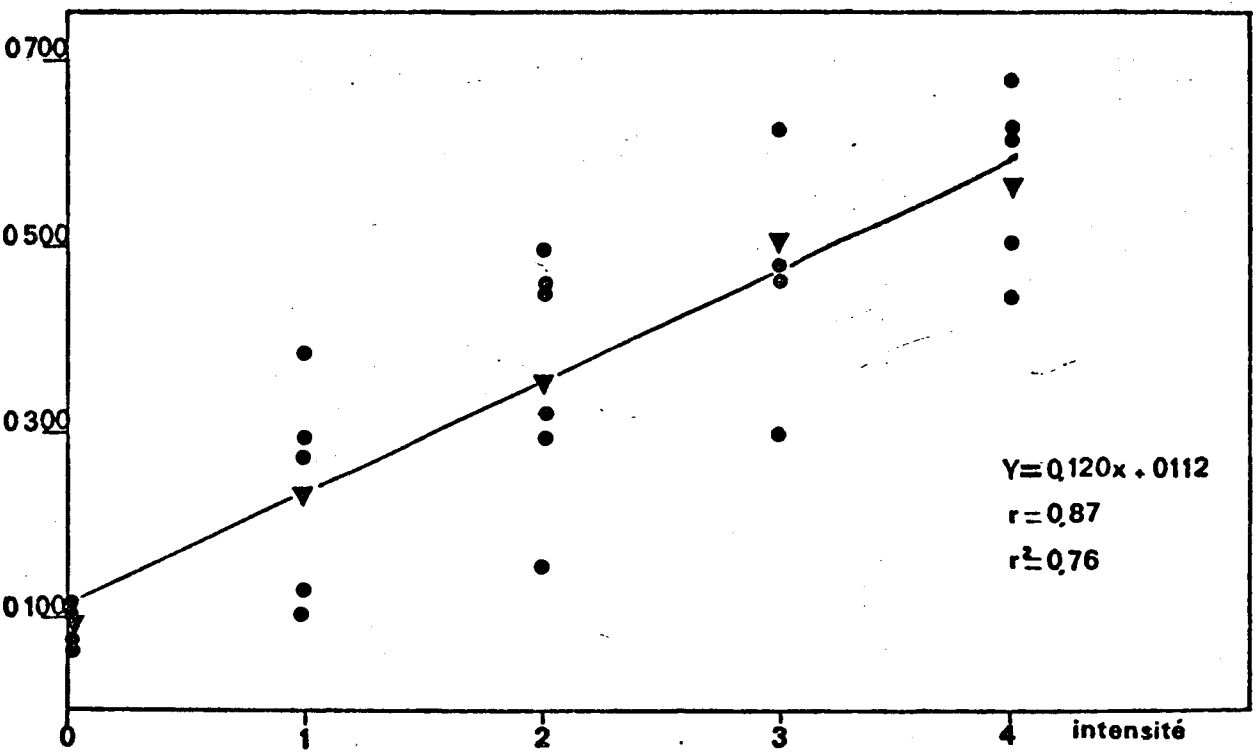
Sur un plant infesté, il y a réduction de la taille des feuilles (parfois jusqu'au 10°). Dans le cas d'IGS très élevés, l'ensemble du feuillage est affecté par ces distorsions morphologiques. Cela se traduirait par une valeur plus élevée de l'éclairement pour les feuilles de la base de la tige. Le point de compensation qui aurait dû être atteint chez un pied sain, ne l'est plus sur un plant malade, et il n'y a plus d'abcission foliaire à la base de la tige.

- L'absence de corrélation entre l'intensité de la virose et le diamètre des tiges, peut être attribué à la précocité du contrôle. Il a été réalisé au 4° mois après plantation, c'est-à-dire au moment de la croissance végétative la plus intense du manioc. On a de fortes raisons de penser, que les conséquences d'une virose intense aient pu être masqués par la vigueur végétative. Celle ci s'atténue dès le 4° mois, et il semble que la mosaïque puisse alors connaître une vigueur nouvelle

absorbance 405 nm



absorbance 405 nm



absorbance 405 nm

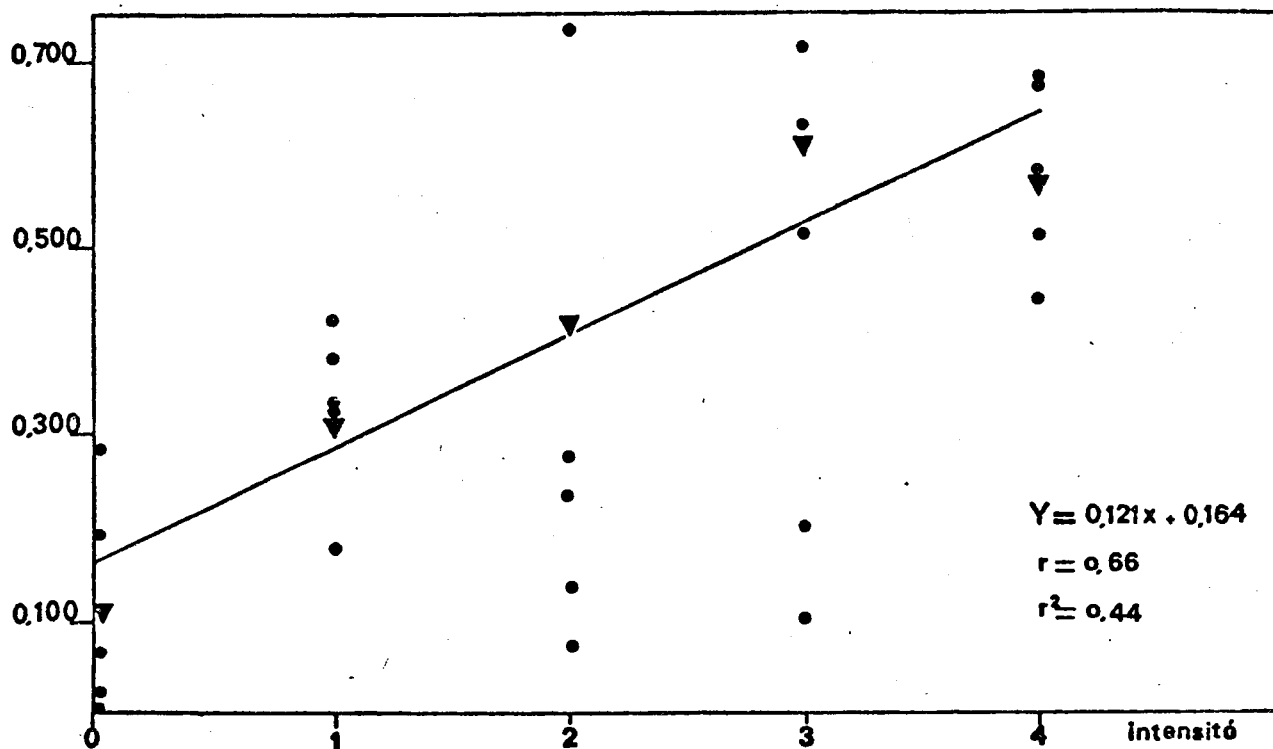


figure 29 • Régression linéaire du taux de virus en fonction de l'intensité.

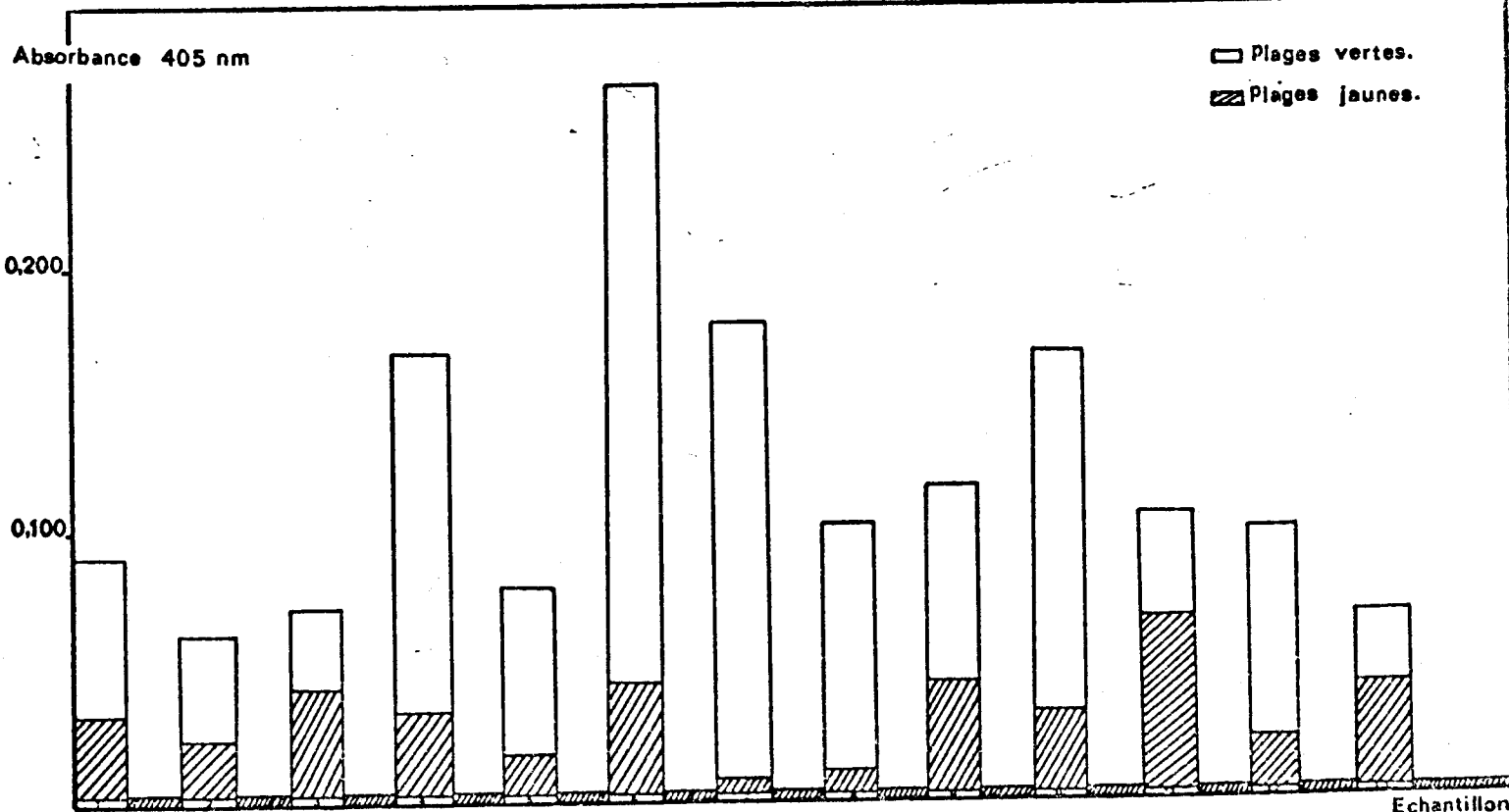


figure 30 • Variation du taux de virus entre Plages vertes et jaunes des feuilles.

se manifestant par des modifications morphologiques qui ne seraient remarquables qu'en milieu ou fin de cycle.

Il conviendrait donc de renouveler ce contrôle à 8 et 12 mois afin de vérifier cette hypothèse.

- Il semble que la baisse considérable du taux de virus dans les feuilles âgées du manioc soit un phénomène directement lié au ralentissement de l'activité méristématique. La réplication virale diminuant rapidement avec une prolifération cellulaire limitée.

CONCLUSION GENERALE.

Dans les conditions climatiques de la Côte d'Ivoire, caractérisées par un climat tropical à 2 saisons des pluies, et des températures moyennes élevées toute l'année (26°C) nous retiendrons :

-qu'une bonne productivité dépend de l'état hydrique du sol au moment de l'émission des racines nodales, du rayonnement global au cours du premier mois, qui semble conditionner l'émission des tiges, et de l'évapotranspiration standard sur le premier tiers du cycle (développement du système aérien).

-qu'en définitive les conditions climatiques en début de cycle semblent avoir un rôle prépondérant sur le rendement final.

- que la fertilisation minérale a l'inconvénient majeur de renforcer le développement de la mosaïque en région infestée, et cela à un double niveau :

- Pourcentage de plants infestés.
- Intensité des symptômes.

-qu'en ce qui concerne les méthodes d'appréciation du rendement racinaire à partir de l'observation du champ, 2 critères paraissent importants :

- Le dénombrement des tiges/plant.
- Mais surtout le diamètre cumulé des tiges ($r=0,61$).

-et qu'enfin il semble qu'il y ait existence d'une substance inhibitrice du virus dans les feuilles de la variété CB (tolérante).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

BREKELBAUM T. et al. 1977. Proceedings Cassava Protection Workshop - C.I.A.T ; Series CE14, 41-51.

BROUWER R. 1980. Structure and function of plant roots. Developments in plant and soil sciences, vol. 4 n°1, 119-259.

CHAMPAGNAT P., OZENDA P., BAILLAUD L. 1969. Biologie végétale. Croissance, morphogénèse et reproduction. Précis de sciences biologiques vol. 3, 152-179.

CHARLES - EDWARDS D.A. 1982. Physiological determinants of crop growth. Academic press. 87-106.

COURS G. 1951. Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar. Série B, vol. 3, fasc. 2, 283-384.

CRIME J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Unit of comparative plant ecology. University of Sheffield. 79-118.

DELANGE F. et al. 1982. Nutritional factors involved in the goitrogenic action of cassava. Ottawa, Ont ; I.D.C.R., 13-58.

DIZES J. 1975. Aperçus sur le manioc et sa culture. Rapport de recherche 48 pages.

DIZES J. 1978. Collection de manioc du centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé. Rapport de recherche 24 pages.

DIZES J. 1982. Comparaison de 5 variétés de manioc de la collection O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé. Rapport de recherche 7 pages.

DUBERN J. 1972. A contribution to the study of African cassava mosaic disease. Cassava mosaic workshop, Ibadan, Nigeria, I.I.T.A., 13-17.

DULONG R. 1971. Le manioc à Madagascar. L'Agronomie tropicale, vol. 26, n°8, 792-829.

ERMANS A.M et al. 1980. Role of cassava in the etiology of endemic goitre and cretinism. Ottawa, Ont., I.D.R.C., 11-68.

FARGETTE D. 1982. Mise au point d'un test immuno-enzymatique, ELISA pour la détection du virus de la mosaïque du manioc. Rapport d'élève 2° année O.R.S.T.O.M., 32 pages.

FAUQUET G et al. 1983. Etude de la mosaïque Africaine du manioc. Doc- O.R.S.T.O.M. 9-10.

FIELD M., BROESHART H. 1967. The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. Academic press. New-York and London. 54-108.

GODO G. 1981. Nouvelle approche agronomique dans la culture du manioc. Rapport de recherche 6 pages.

HELLER R. 1969. Biologie végétale. Nutrition et métabolisme. Précis de sciences biologiques, vol. 2, 235-374.

HUNT L.A. et al. 1977. Growth physiology of cassava (Manihot esculenta Grantz). Commonwealth Bureau of pastures and field crops.

KOUAME KOUAKOU F. 1982. Etude de l'influence de l'état hydrique du sol sur les composantes du rendement du manioc. Rapport de recherche 24 pages.

MATTHEWS R.E.F. 1981. Plant virology. Academic press.

MEDARD R. 1973. Morphogenèse du manioc (Manihot esculenta Grantz Euphorbiacées-Crotonoïdées). Etude descriptive.-(Abstract).

MONTENY B.A., LHOMME J.P. 1980. Elements de bioclimatologie. Doc. O.R.S.T.O.M. 90 pages.

MOORBY J. 1981. Transport systems in plants. Integrated themes in biology. 108-150.

NESTEL B., CAMPBELL M. 1978. Intercropping with cassava. Proceedings of an international workshop held in Trivandrum. India. 49-57.

PASCALET M. 1932. La mosaïque ou lèpre du manioc. Agron. Colon. 21, 117-131.

RARAMOROSCH K. 1977. The atlas of insect and plant virus. Academic press. New-York and San Francisco.

TALINEAU J.C. 1975. Contribution à l'élaboration d'une opération de recherche à caractère agronomique sur la manioc. Rapport de recherche 24 pages.

TIDBURY G.E. 1937. A note on the yield of mosaic diseased cassava. E. Afric. Agric. J., 120-124.

VARMA P.M. 1952. Studies on the relationship of the yellow-
vein mosaic virus and its vector, the whitefly (bemisia
tabaci Genn.). Indian J. Agric. Sci. 22, 50-100.

ANNEXE I

	P
- LES TROIS SEQUENCES DE DEVELOPPEMENT DU MANIOC	: 82
- LES CARACTERISTIQUES DE LA RACINE TUBERISEE	: 83
- LA TOXICITE CYANIDRIQUE	: 84

A1.1. LES TROIS SEQUENCES DE DEVELOPPEMENT DU MANIOC (COURS, 1951).

- La reprise.

L'émission des premières racines se produit entre le 3° et le 5° jour après la mise en place.

Elles sont d'abord issues des bourgeons axillaires des noeuds enterrés (racines nodales), puis du cal cicatriciel (racines basales).

Le développement aérien est peu rapide, le plant vit principalement sur les réserves de la bouture. Leur épuisement se traduit par une modification de l'activité du système aérien. Ce stade marque la fin de la phase de reprise, sa durée est d'un mois et demi à deux mois.

- Le développement aérien.

La croissance de la tige reprend de façon très vive car le système racinaire devient pleinement fonctionnel. La vitesse d'élongation des tiges peut atteindre 4 cm/jour.

La croissance des tubercules demeure faible. On considère que cette phase prend fin, dès que la surface foliaire atteint un maximum qui ne sera plus jamais dépassé au cours de la vie de la plante (vers l'âge de 4 mois). Cette séquence dure un mois et demi à deux mois.

- La tubérisation.

On observe un ralentissement des tiges et des rameaux. La matière sèche issue de la photosynthèse est davantage utilisée pour la croissance des tubercules que pour celle de l'appareil aérien.

Il y a une diminution de la vitesse de croissance des racines assimilatrices. Un petit nombre d'entre elles évoluent en tubercules (5 à 10). La croissance en poids des tubercules par plant résulte de l'accroissement des tubercules individuels (le rendement est plus lié au poids de chaque racine tubérisée qu'à leur nombre).

L'allure générale de la croissance pendant la tubérisation est une courbe en S. Ce modèle général est néanmoins altéré par des variations de vitesse de développement que l'on attribue à des alternances d'activité et de repos du cambium. Elles seraient induites par des alternances climatiques.

Cette séquence se produit du 4° au 8° mois, et se prolonge ensuite, mais moins activement.

A1.2. LES CARACTERISTIQUE DE LA RACINE TUBERISEE.

A1.2.1. Anatomie des tubercules (figures 32 , 33).

Une coupe transversale montre de l'intérieur vers l'extérieur :

- Une assise subéreuse ou écorce externe ligneuse, dont les cellules se desquament de façon variable selon les variétés.
- Un parenchyme cortical amylofère.
- Les cellules du liber.
- L'assise cambiale qui délimite le cylindre central de l'écorce.
- Un parenchyme cellulosique, principal tissu de stockage de l'amidon.
- Les vaisseaux du xylème entourés de cellules lignifiées.

Une coupe longitudinale permet de constater la présence d'un taux d'amidon variable le long de la racine. On note une richesse maximale dans les zones centrales.

En 1974 WILLIAMS a pu montrer que le nombre de cellules du xylème dans la zone lignifiée du pédoncule du tubercule et dans la zone non lignifiée tubérisée sont à peu près les mêmes. La différence de dimension est due à la plus grande taille des cellules, et non à leur multiplication comme c'est le cas pour d'autres tubercules, et en particulier la pomme de terre.

A1.2.2. Composition organo-minérale des tubercules (UFER, 1974).

L'élément principal est l'amidon. Il est pauvre en cellulose et quatre fois moins riche en protéines que l'igname.

Composition :

- Eau	: 600 à 700 g
- Hydrates de carbone	: 320 à 350 g
- Matières protéiques	: 7 à 12 g
- Matières grasses	: 0 à 3 g
- Matières minérales	: 6 à 8 g
- Phosphore	: 500 à 530 mg
- Calcium	: 250 à 330 mg
- Vitamine A	: Traces UI
- " " B1	: 0,2 à 0,7mg
- Riboflavine	: 0,3 à 1 mg
- Niacine	: 6 mg
- Vitamine C	: 300 à 400 mg

A1.2.3. La toxicité cyanidrique (DELANGE, ERMANS).

Les tissus du manioc ont la propriété d'émettre de l'acide cyanidrique. Cette propriété cyanogène est fréquente dans le règne végétal puisqu'elle a pu être observée chez plus de 900 espèces.

L'acide n'est pas à l'état libre dans les tissus du manioc mais sous forme d'un hétéroside susceptible par hydrolyse de se décomposer en donnant :

- un sucre
- une cétone
- de l'acide cyanidrique (figure 3I).

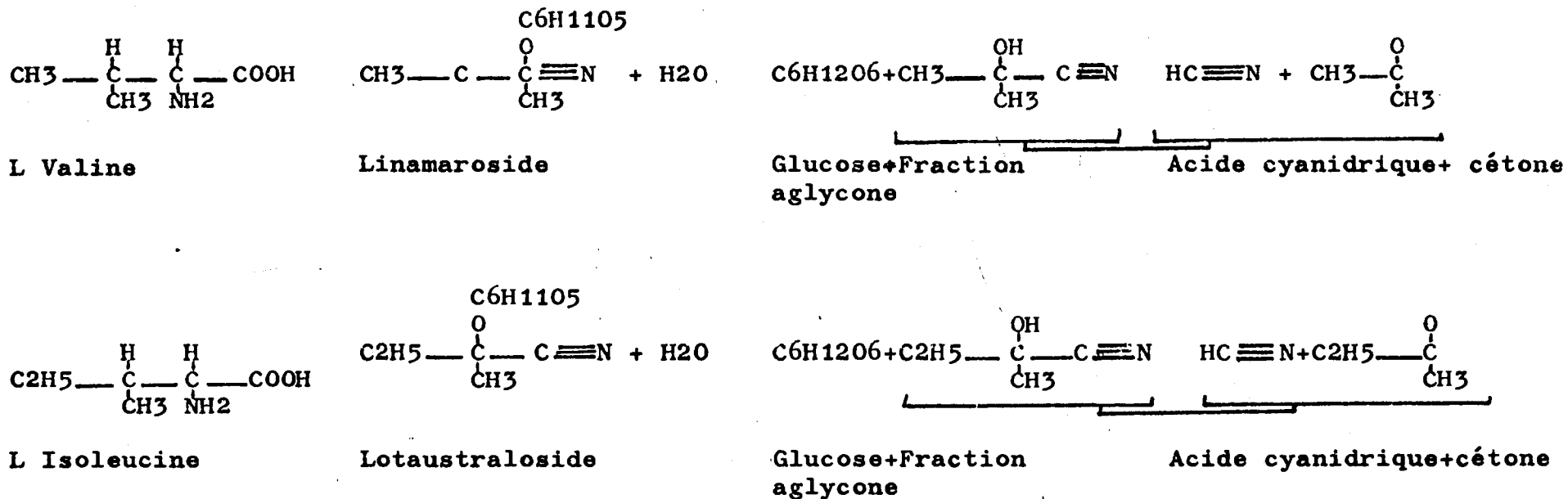
La linamaroside et la lotaustraloside (hétérosides) sont rencontrés chez le manioc dans les proportions respectives de :

- 93 à 96%
- 7 à 4%

Classification en fonction de la teneur en acide cyanidrique.

- variétés douces 30 à 130 PPM de HCN
- variétés non amères 30 à 180 " " "
- variétés amères 80 à 400 " " "
- variétés très amères 275 à 500 " " "

Ces éléments ont une importance prépondérante car ils interviennent sur le rendement utile. Si après préparation industrielle, le manioc dose plus de 0,015% d'HCN par rapport à la matière sèche, il est impérativement refusé pour l'alimentation du bétail de la CEE.



Biosynthèse des glucosides cyanogénétiques
réalisée à partir d'acides aminés.
Le Linamaroside dérive de la valine.
Le lotaustraloside provient de l'isoleucine.

Figure 31: Biosynthèse et décomposition des glucosides cyanogénétiques (NARTEY, 1973).

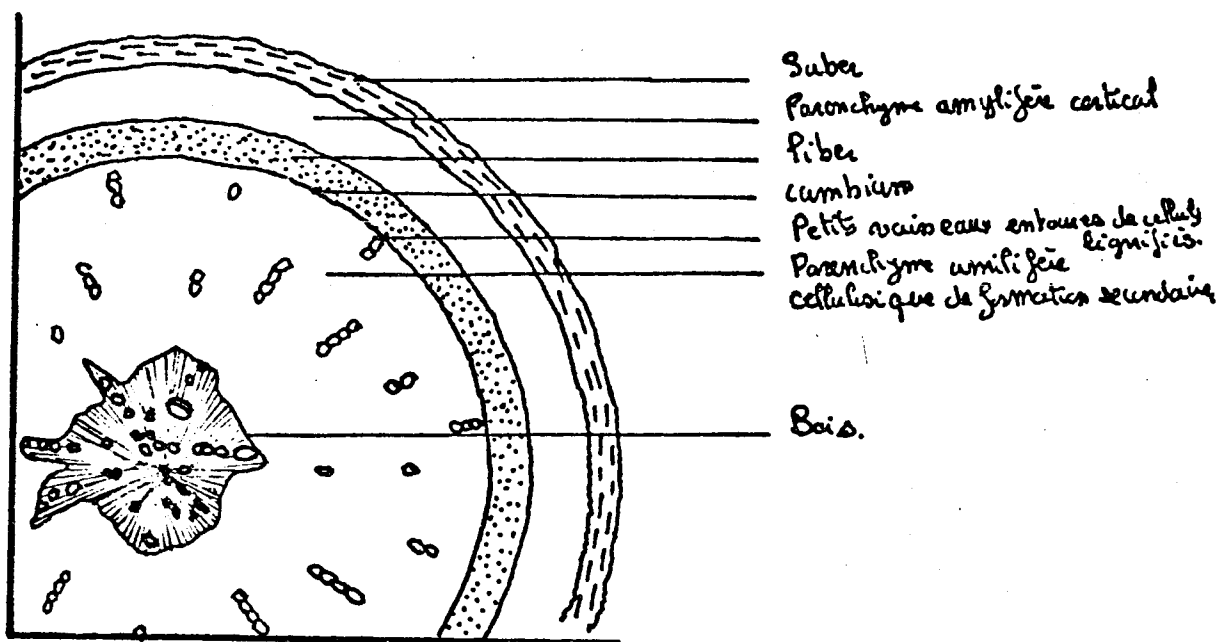


figure 32 • Coupe transversale d'un tubercule (Miège et Obaton 1954)



- 1 | Zones pauvres.
- 2 |
- 3 |
- 4 | Zones plus riches en amidon.
- 5 |
- 6 |
- 7 | Zones pauvres.

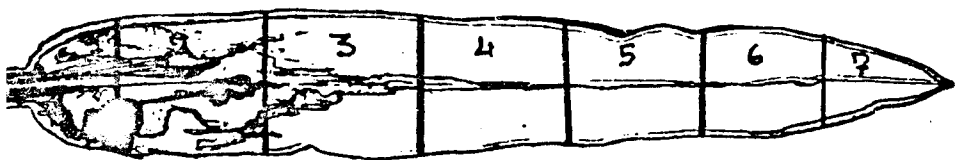


figure 33 • Coupe longitudinale d'un tubercule .

ANNEXE II

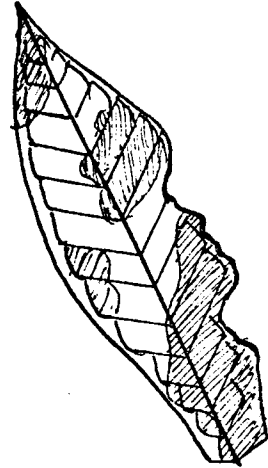
	P
- ECHELLE DE NOTATION DES SYMPTOMES FOLIAIRES	: 88
- COMPOSITION DES DIFFERENTS TAMPONS DU TEST ELISA	: 89

A.2.1. Echelle de notation des symptômes foliaires.

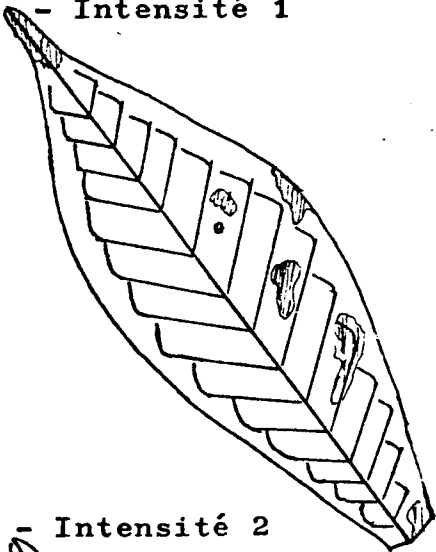
- Intensité 0



Intensité 3



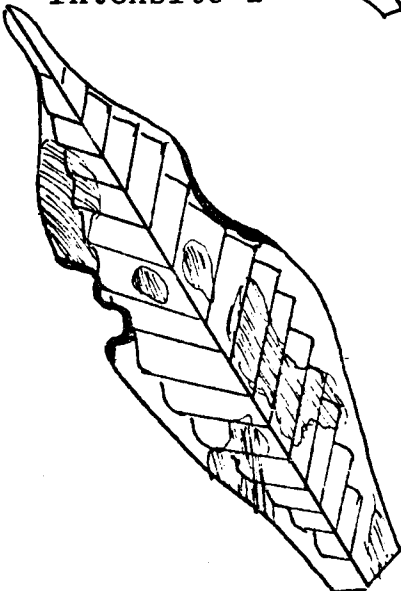
- Intensité 1



Intensité 4



- Intensité 2



Intensité 5



A.2.2. COMPOSITION DES DIFFERENTS TAMPONS DU TEST ELISA
(FARGETTE 1982).

- PBS : pH : 7,4
16g NaCl
0,4g KH₂PO₄
5,8g NA₂HPO₄ 12H₂O
0,4g KCL
Pour 2 litres.
- PBS Tween : PBS + 0,5 ml de Tween 20/litre.
- Tampon couverture : pH : 9,6
0,80g NA₂CO₃
1,47g NAHCO₃
0,5 g NAH₃
- Tampon antigène : PBS Tween + 2% de PVP.

ANNEXE III

- | | P |
|--|------|
| - ANALYSE DE VARIANCE DES INDICES D'INTENSITE EN FONCTION DE LA FUMURE. | : 91 |
| - METHODE DE DUCAN, APPLIQUEE A L'ETUDE DES INDICES D'INTENSITE EN FONCTION DE LA FUMURE | : 92 |
| - ANALYSE DE VARIANCE DE LA SURFACE FOLIAIRE EN FONCTION DE LA FUMURE | : 94 |

A.3.1. Analyse de variance des indices d'intensité en fonction de la fumure.

- Tableau de résultats n° 1 (total lignes, total colonnes).

	1	2	3	4	5	$\sum_1^r x_a$
A	821	484	748	1118	1164	4335
B	970	789	803	752	591	3905
C	907	766	908	783	752	4116
D	638	710	383	538	1020	3289
E	740	781	613	865	785	3784
$M_{1,x}^r$	4076	3530	3455	4056	4312	19429

$$\bar{X} = 777$$

- Tableau de résultats n° 2 (traitements).

		Traitements				
		D1	D2	D3	D4	D5
Blocs	I	484	748	821	1164	1118
	II	591	752	789	803	970
	III	907	752	783	766	908
	IV	538	710	383	638	1020
	V	613	740	785	865	781
Totaux traitements $\sum_1^T x_t$		3133	3702	3561	4236	4797
Moyenne traitements \bar{X}		626	740	712	847	959
Moyenne en % du témoin		100	118	113	135	153

- Calcul du terme correctif.

Somme des carrés des écarts généraux : 15893555
 Somme des carrés des écarts entre lignes : 15223776
 Somme des carrés des écarts entre colonnes : 15211236
 Somme des carrés des écarts entre traitements : 15431223
 Calcul du terme correctif : $TC = \frac{(\sum_i x_i)^2}{t_i} = 15099441,6$

SCE totaux : $\sum_i (x_i - \bar{X})^2 = 15893555 - 15099441,6 = 794114$
 SCE traitements : $\sum_i (x_i - \bar{X})^2 = 15431223 - 15099441,6 = 331782$
 SCE lignes : $\sum_i (x_i - \bar{X})^2 = 15223776 - 15099441,6 = 124335$
 SCE colonnes : $\sum_i (x_i - \bar{X})^2 = 15211236 - 15099441,6 = 111795$
 SCE résiduel : $794114 - (331782 + 124335 + 111795) = 226202$

- Tableau de résultats final.

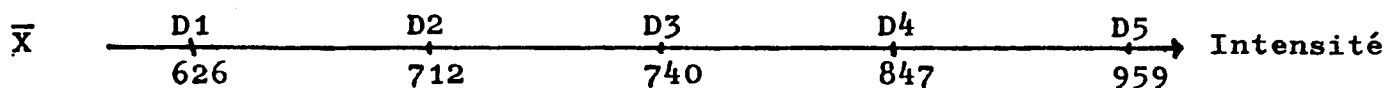
Variation	Sommes des carrés des écarts	degré de liberté	variance	F calculé	Fo 0,95	Résultats
Totale	794114	24				
Entre lignes	124335	4	31083	1,64	3,26	NS
Entre colonnes	111795	4	27948	1,48		NS
Entre traitements	331782	4	82945	4,40		S
Résiduelle	226202	12	18850			

- Calcul du coefficient de variation moyen.

$$\begin{aligned}
 \text{CMV} &: \sqrt{\frac{\text{variance résiduelle}}{\bar{X}}} \\
 &: \sqrt{\frac{18850}{777}} \\
 &: 0,17 \quad \text{soit } 17\%
 \end{aligned}$$

A.3.2. Méthode de DUCAN, méthode des "ranges multiples" appliquée à l'étude des indices d'intensité en fonction de la fumure.

- Classement des moyennes de chaque série en ordre croissant.



Avec : variance résiduelle = 18850
 : nombre de répétitions = 5
 : nombre de degrés de liberté de l'erreur résiduelle = 12

- Lecture du "range réduit" significatif ZK (table de DUCAN pour seuil 5%)

N° d'ordre du range :	2	3	4	5	6
RK :	3,082	3,225	3,313	3,370	3,410

- Calcul du range significatif RK

L'erreur type sur la moyenne est égale à :

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s_r^2}{n}} = \sqrt{\frac{18850}{5}} = 61,40$$

$$RK = ZK S_{\bar{x}} = ZK \sqrt{\frac{S_x^2}{n}}$$

N° d'ordre du range =	2	3	4	5
RK=ZK 61,40	= 189,2	198,0	203,4	206,9
	R2	R3	R4	R5

- Comparaison des moyennes 2 à 2.

D5-D1 = 959-626 = 333	>	R5 (206,9)
D5-D3 = 959-712 = 247	>	R4 (203,4)
D5-D2 = 959-740 = 219	>	R3 (198,0)
D4-D4 = 959-843 = 116	<	R2 (189,0)
D4-D1 = 847-626 = 221	>	R4 (203,9)
D4-D3 = 847-712 = 135	>	R3 (198,0)
D4-D2 = 847-740 = 107	<	R2 (189,2)
D2-D1 = 740-626 = 114	<	R3 (198,0)
D2-D3 = 740-712 = 28	<	R2 (189,2)
D3-D1 = 712-626 = 86	<	R2 (189,2)

- Expression graphique des résultats : les moyennes non significativement différentes sont soulignées.

D1 D3 D2 D4 D5

- Tableau récapitulatif.

Ordre (rang)	Range réduit	Terme constant	PPDS
2	3,082		189,2
3	3,225	61,40	198,0
4	3,315		203,4
5	3,370		206,9

A.3.3. Analyse de variance de la surface foliaire en fonction de la fumure.

- Tableau de résultats n° 1 (total lignes, total colonnes).

						$\sum_i^T x_a$
	207,30	198,16	171,90	209,27	240,27	1026,9
	219,56	200,08	244,07	207,30	174,17	1045,1
	181,36	220,72	207,30	212,95	195,71	1017,9
	205,62	203,67	212,10	204,50	209,55	1035,5
	160,29	206,46	186,60	198,10	207,30	959,2
$\sum_i^T x_b$	974,13	1029,13	1021,90	1032,20	1027,00	5084,8
						$\bar{X} = 203,39$

- Tableau de résultats N° 2 (traitements).

		Traitements				
		D1	D2	D3	D4	D5
Blocs	I	198,16	171,90	207,30	240,27	209,27
	II	174,17	207,30	200,08	244,07	219,56
	III	181,36	195,71	212,95	220,72	207,30
	IV	204,50	203,67	212,10	205,62	209,55
	V	186,60	160,29	207,30	198,16	206,46
Totaux traitements $\sum_i^T x_T$		944,79	938,87	1039,73	1108,84	1052,10
Moyenne traitements X		188,9	187,8	207,9	221,8	210,5
Moyenne en % du témoin		100	98,9	110,0	117,4	111,4

- Calcul du terme correctif.

$$TC = \left(\frac{\sum t x}{t} \right)^2 = \frac{(5084,8)^2}{2} = 1034207$$

SCE totaux = $\sum (x - \bar{X})^2 = 8314$
 SCE traitements = $t \sum (\bar{x} - \bar{X})^2 = 4118,1$
 SCE lignes = $\sum (\bar{x} - \bar{X})^2 = 886,2$
 SCE colonnes = $t \sum (\bar{x}_c - \bar{X})^2 = 524$
 SCE résiduelle = $8314 - (4118,1 + 886,2 + 524) = 2785,7$

- Tableau final.

Variation	Somme des carrés des écarts	degré de liberté	variance	F calculé	Fo 0,95	Fo 0,975	Res
Totale	8314	24					
Entre lignes	886,2	4	221,5	0,95	3,26	4,12	NS
Entre colonnes	524,0	4	131,0	0,56			NS
Entre traitements	4118,1	4	1029,5	4,43			S
Résiduelle	2785,7	12	232,1				

- Calcul du terme correctif.

$$TC = \left(\frac{\sum t_i x_i}{t} \right)^2 = \frac{(5084,8)^2}{2} = 1034207$$

SCE totaux = $\sum (x - \bar{X})^2 = 8314$
 SCE traitements = $t \sum (\bar{x} - \bar{X})^2 = 4118,1$
 SCE lignes = $\sum (\bar{x} - \bar{X})^2 = 886,2$
 SCE colonnes = $t \sum (\bar{x}_c - \bar{X})^2 = 524$
 SCE résiduelle = $8314 - (4118,1 + 886,2 + 524) = 2785,7$

- Tableau final.

Variation	Somme des carrés des écarts	degré de liberté	variance	F calculé	F _{0,95}	F _{0,975}	Res
Totale	8314	24					
Entre lignes	886,2	4	221,5	0,95	3,26	4,12	NS
Entre colonnes	524,0	4	131,0	0,56			NS
Entre traitements	4118,1	4	1029,5	4,43			S
Résiduelle	2785,7	12	232,1				