

Le rôle de la densité de plantation dans l'élaboration du rendement du manioc

Jean-Pierre Raffailac

Introduction

Le manioc est cultivé pour ses racines qui accumulent de l'amidon dès les premières semaines de croissance, avec des durées de cycle variant de 6 à 36 mois. Il est rencontré dans différentes régions à une ou deux saisons des pluies de la zone inter-tropicale (Cock, 1985). Calculée sur une base énergétique, la production se place au quatrième rang mondial derrière le riz, le blé et le maïs (Bruijn et Fresco, 1989).

Les objectifs de production du manioc sont variés : autoconsommation dominante ou secondaire (aliment de soudure), commercialisation en frais ou après plusieurs étapes de transformation (artisanales ou mécanisées) en de nombreux produits pour l'alimentation humaine (gari, attiéké, fufou, tapioca...) ou animale (cossettes, farine...), parfois pour l'industrie (amidon, colles, dextrines...). Dans certaines zones où il constitue l'aliment de base, la qualité des tubercules reste souvent un critère déterminant de la production, primant parfois l'aspect quantitatif. Les caractéristiques prises en considération pour une variété donnée n'ont pas toujours la même importance selon les objectifs et les lieux de production. Pour une commercialisation en frais, il importe en premier lieu de disposer de gros tubercules aux dimensions régulières. Lorsqu'il s'agit de transformation, une faible teneur en eau est souvent exigée pour à la fois faciliter certaines étapes et obtenir une qualité gustative satisfaisante du produit fini. Dans le cas de l'approvisionnement d'une unité de transformation mécanisée, un poste tel que l'épluchage nécessite une grande homogénéité autour du calibre moyen défini et adapté aux machines afin de

limiter les pertes. Des petits tubercules diminuent le rendement à l'épluchage, manuel comme mécanique, tout en augmentant sa durée.

Le rendement du manioc à l'unité de surface se décompose en un nombre de plants, un nombre de racines tubérisées par plant et un poids sec moyen d'une racine. Son élaboration passe schématiquement par trois étapes après installation d'une bouture de tige :

- la mise en place des tiges principales et des racines primaires : chaque racine constitue un site potentiel pour le stockage des réserves amylacées ;
- l'initiation de la tubérisation des racines ; la fonction du cambium est modifiée sur une partie de l'axe racinaire ; cette assise va générer des cellules surnuméraires de parenchyme de stockage des grains d'amidon ; le nombre de racines concernées et le délai pour identifier la tubérisation sont modifiés par les états du milieu. Ce stade est difficile à préciser dans le temps car chaque racine primaire peut tubériser, sur un secteur de longueur variable ; il se situe généralement entre 4 et 10 semaines ;
- la phase de remplissage des sites réels de stockage après leur initiation. Elle est rythmée par de nombreux facteurs intervenant au cours de la croissance et se prolonge jusqu'à la récolte pour aboutir à des tubercules « utiles », qualificatif très subjectif. La durée du cycle dépend de la variété et des facteurs du milieu. Dans la majorité des cas, les tiges à la récolte servent de source pour constituer le matériel de plantation du cycle cultural suivant.

La phase d'installation de la culture du manioc dans un milieu donné est sous la dépendance de deux groupes de facteurs :

- les caractéristiques de la bouture ; c'est de la qualité de la bouture que dépendent à la fois l'enracinement, qui doit assurer le stockage en plus des fonctions racinaires classiques, et le nombre de tiges, dont une partie servira au bouturage du prochain cycle ;
- les techniques culturales appliquées pour installer la bouture et gérer la parcelle (Raffaillac, 1992). Parmi celles-ci, la densité de plantation a le plus de répercussions sur les caractéristiques du peuplement végétal.

En milieu paysan, les densités de plantation rencontrées varient considérablement selon les systèmes de culture, les objectifs de production et le milieu. En culture associée dans le sud-est de la Côte d'Ivoire, elles se situent entre 2 500 et 3 600 plants à l'hectare en association avec l'igname, et atteignent 6 800 plants à l'hectare avec du maïs. Au sud du Togo, une densité de 10 000 plants à l'hectare en culture associée avec du maïs est fréquente. En culture pure, avec des objectifs de commercialisation d'attiéké, la densité rencontrée se situe entre 6 000 et 14 500 plants par hectare (moyenne de

8 250) dans la grande périphérie d'Abidjan. Au sud du Togo, des densités dépassant 27 000 plants par hectare ont été mesurées en culture pure, la moyenne se situant vers 13 000.

Généraliser les effets de la densité de plantation en culture pure paraît difficile tant les résultats disponibles sont variables et parfois contradictoires. Le rendement de la culture reste souvent le seul critère retenu pour analyser les conséquences. Selon G. Cours (1951), une plantation serrée avantage la production. Une densité proche de 10 000 plants à l'hectare semble préférable pour obtenir des hauts rendements d'après M. Tardieu et Fauche (1961). Cette augmentation du rendement avec la densité est également enregistrée par B. Enyi (1972, 1973) et C. Williams (1972). J. Cock *et al.* (1977) observent que pour obtenir des rendements élevés, la densité optimale change avec l'époque de la récolte selon les variétés. Ces auteurs constatent des baisses de rendement frais avec l'augmentation de la densité : mais les pertes en matière fraîche sont parfois compensées par un accroissement du taux de matière sèche des racines. D. Wholey et R. Booth (1979) observent aussi une augmentation des teneurs en matière sèche et en amidon liées à des écartements faibles. J. Toro et C. Atlee (1985) soulignent l'importance du rôle de la variété, de la fertilité du milieu et des pratiques culturales afin de définir une densité optimale pour augmenter le rendement. Sur deux cycles culturaux en Côte d'Ivoire, J. Dizès (1978) observe soit une perte, soit un gain de rendement suivant la variété en augmentant la densité ; cependant la teneur en matière sèche des tubercules n'est jamais modifiée. W. Godfrey Sam Agrey (1978) enregistre une baisse du rendement de l'ordre de 50 % en doublant la densité.

J. Cock *et al.* (1977) détaillent les effets provoqués par des variations de densité : ils constatent une diminution du poids moyen d'un tubercule et du nombre de tubercules par plant à densité forte. La ramification secondaire devient plus abondante pour certaines variétés cultivées à densité faible. La chute des feuilles augmente avec une forte densité de plantation, réduisant ainsi l'Indice de Surface Foliaire (LAI) ; ils en concluent que la liaison recherchée pour la sélection variétale entre un LAI élevé et un rendement fort n'est pas valable.

Comparés à d'autres plantes qui tubérisent, les problèmes de culture et la phénologie du manioc se rapprochent en plusieurs points de ceux de la betterave sucrière (Caneill *et al.*, 1993) :

- il existe un important problème d'installation du peuplement à partir du matériel de plantation ;
- il n'y a pas de stade morphologique net identifiable en cours de cycle ;
- la phase de maturité des tubercules n'est pas évidente à déterminer ;

- le problème de la qualité de la récolte est prépondérant.

Un « Plan manioc ivoirien » a été défini en Côte d'Ivoire pour augmenter la production et pour fournir différents produits alimentaires ou industriels (CICE, 1983). Face à la diversité des réponses à la densité de plantation, une étude de ce facteur a été entreprise dans le sud du pays qui concentre la majeure partie de la production nationale, dans le cadre d'un programme de recherche sur l'élaboration du rendement du manioc. L'objectif était double : 1/ approfondir les connaissances de base sur le manioc, 2/ donner des éléments de référence technique pouvant contribuer à améliorer les rendements. Les répercussions de trois écartements entre plants sont examinées à travers la structuration du peuplement végétal, sa dynamique au cours du cycle cultural, la mise en place des composantes du rendement et leur évolution. Les conséquences sur la qualité de la production sont alors discutées en rapport avec les différents objectifs pouvant être assignés à la culture du manioc.



Matériel et méthodes

L'étude est réalisée sous la forme d'une expérimentation dans le sud de la Côte d'Ivoire sur un cycle cultural de 12 mois qui débute avec la grande saison des pluies.

Le climat

Le régime des pluies est bi-modal. La figure 1 présente la pluviométrie reçue au cours du cycle cultural. Sur l'année, la température minimale est de 22 °C et la température maximale de 32,5 °C.

Le sol

Il est sableux à 88 %, avec 8 % d'argile et 3 % de limon. Sa préparation consiste en un labour sur 25 centimètres suivi d'un hersage. La fertilisation à l'hectare est de 50 Kg d'azote à la plantation (urée à 46 %) et 200 Kg de K₂O à 2 mois (KCl à 60 %). Le désherbage est chimique en prélevée (trifuraline) puis manuel après 3 mois.

La plante

La variété appelée « CB » est à port dressé. Elle a été retenue pour le « Plan manioc ivoirien » en raison de sa productivité et de sa bonne tolérance aux problèmes phytosanitaires.

En moyenne, les boutures pèsent 87 grammes, mesurent 23 centimètres et portent 7 noeuds. Elles sont prélevées (4 à 6 par tige) à la base de tiges saines de plants âgés de 17 mois. Elles sont enfoncées à l'oblique au 2/3 sur sol plat.

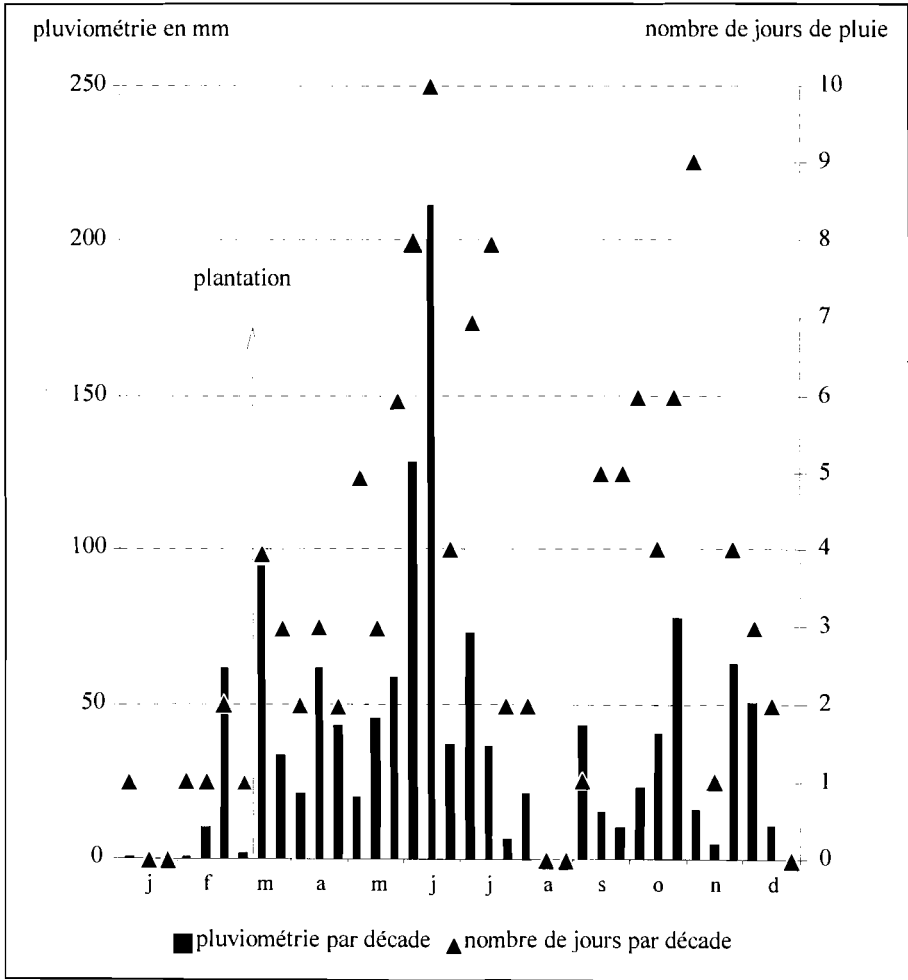


Figure 1 — Pluviométrie et nombre de jours de pluie par décennie au cours du cycle cultural.

Dispositif expérimental et traitements

Il comporte quatre blocs de Fisher, un cinquième étant réservé à des arrachages en cours de cycle. Trois densités de plantation sont comparées (tabl. 1).

Les contrôles

Entre 40 et 150 jours après plantation (JAP), huit (pour D2) et neuf (pour D1 et D3) contrôles de croissance et développement sont régulièrement effectués sur 12 plants arrachés par traitement. Les mesures concernent les nombres de tiges, d'apex, de ramifications secondaires, de floraisons et de racines en distinguant le raccordement sur la bouture : origines nodale (noeuds) et basale (base). La répartition de la biomasse entre les différents compartiments est contrôlée par pesées individuelles en frais ; la teneur en matière sèche est estimée sur 3 plants par traitement (72 heures à l'étuve à 105 °C).

Tableau 1
Dispositif expérimental

Traitements	Ecartements	N plants/hectare	Dimensions parcelles
D1	1,3 x 1,3 m	5 917	7,8 x 44,2 m
D2	1,0 x 1,0 m	10 000	8,0 x 24,0 m
D3	0,8 x 0,8 m	15 625	8,0 x 16,0 m

L'évolution de la tubérisation est suivie par la mesure individuelle du diamètre maximum de chaque racine en distinguant l'origine. Une racine est considérée comme un futur tubercule lorsque son diamètre dépasse 10 millimètres. Par ailleurs, on procède :

- à une estimation de la surface foliaire de 6 plants à 2 tiges (2 répétitions) tous les 10 jours entre 1,5 et 8 mois ; la longueur du lobe médian du limbe de chaque feuille est mesurée puis convertie en surface par la relation entre L (cm) et S (cm²) : $S = aLb$, avec $a = 0,0067$ et $b = 2,042$ ($r = + 0,97$; $n = 75$) ; la somme des surfaces individuelles est ramenée au taux d'occupation de la surface unitaire du sol pour calculer l'Indice de surface foliaire (ISF = LAI, Leaf area index) ;
- à une appréciation de la fermeture du couvert entre 35 et 70 JAP par photos (objectif de 28 mm) exécutées à la verticale à 5 mètres au-dessus de plants à 2 tiges (5 répétitions par traitement) ; le pourcentage d'occupation d'1 m² de sol par les feuilles est calculé à partir des pesées de la découpe de la silhouette des plants sur photos 18 x 24 cm ; les rameaux secondaires sont comptés sur les plants de chaque parcelle ;
- à une récolte détaillée sur 33, 23 et 18 plants par parcelle respectivement pour D1, D2 et D3, avec mesures des poids frais des tiges + feuilles, de la

bouture et de chaque tubercule selon l'origine sur la bouture ; la teneur en matière sèche de la partie aérienne est évaluée sur 3 répétitions et celle des tubercules sur 20 répétitions par parcelle ;

– à une récolte globale sur le reste des plants observables : ces résultats ne sont pas reportés ici car ils sont en tout point similaires à ceux de la récolte détaillée.

Résultats

La partie aérienne

Le nombre de tiges par plant est indépendant de la densité de plantation et l'équilibre entre plants monocauls et multicaules n'est pas modifié. On dénombre 2,2 tiges par plant sur l'ensemble des traitements, avec 20 % de plants monocauls, 52 % de plants à 2 tiges, 23 % à 3 tiges et 5 % à 4 tiges ou plus.

Au 51^e jour après la plantation, les trois traitements se différencient : les tiges développent plus de rameaux latéraux lorsque la densité est faible (tabl. 2). Par ailleurs à densité égale, ils sont plus nombreux sur les plants monocauls que sur les plants multicaules. Ces rameaux secondaires, appelées ramifications proleptiques (Médard *et al.*, 1992), diffèrent des axes sylleptiques qui apparaissent chaque fois que le méristème végétatif terminal de la tige se transforme en méristème floral. Ils se situent à la base des tiges principales. A densité faible, 6,9 ramifications latérales se développent sur un plant monocaul, contre 3,5 par tige sur un plant à 2 tiges et 1,5 par tige sur un plant à 3 tiges. Lorsque la densité de plantation augmente, le nombre de rameaux latéraux d'un plant à 2 tiges passe de 7,0 à 4,2 et 2,8.

Tableau 2
Nombre de rameaux secondaires par tige (R2-t) et par plant (R2-p),
51 jours après plantation pour trois écartements entre plants

Plants à	D1 (1,3 x 1,3 m)			D2 (1,0 x 1,0 m)			D3 (0,8 x 0,8 m)		
	(n)	R2-t	R2-p	(n)	R2-t	R2-p	(n)	R2-t	R2-p
1 tige	(33)	6,9	6,9	(9)	6,2	6,2	(21)	3,8	3,8
2 tiges	(71)	3,5	7,0	(61)	2,1	4,2	(38)	1,4	2,8
3 tiges	(29)	1,5	4,5	(26)	1,5	4,5	(20)	1,1	3,3

(n) : nombre d'observations

La variété « CB » adapte donc la morphologie générale de sa partie aérienne à l'écartement entre plants ; pour un même écartement, la réaction individuelle est fonction du nombre de tiges principales portées. Au début, la croissance de ces rameaux diffère de celle de la tige principale. Entre 42 et 70 JAP, le rythme moyen d'émission foliaire journalière pour D1 est de 0,98 sur le rameau secondaire et 0,64 sur la tige principale. La longueur moyenne entre 2 noeuds est de 5,2 centimètres sur les rameaux secondaires contre 3,3 centimètres sur la tige principale. La combinaison entre vitesse d'émission et élongation des entre-noeuds permet ainsi à l'apex de ces rameaux de se situer vers 4-5 mois à la même hauteur que l'apex de la tige. De plus, l'allongement des entre-noeuds des rameaux secondaires est amplifié lorsque la densité est forte : sur une longueur de 50 centimètres, on dénombre seulement 14,9 noeuds sur D2 et 19,4 noeuds sur D1.

Ces rameaux secondaires ne fournissent pas des boutures de bonne qualité : sur la partie la plus lignifiée, le nombre de noeuds par unité de longueur est faible et le diamètre est inférieur à celui de la tige principale. Par ailleurs, l'existence de plusieurs rameaux gêne la constitution de boutures le long de la tige principale. Une densité faible n'offre donc pas des tiges intéressantes pour produire du matériel de plantation.

Le nombre total d'apex par plant augmente au cours du temps : pour D1, il est de 9 à 2 mois, 11 à 4 mois puis 15 à 6 mois. Sept mois après plantation, on dénombre 17 apex par plant sur D1 contre 10 sur D2 et 8 sur D3. Ces valeurs prennent en compte à la fois les ramifications latérales et les tiges principales qui ont éventuellement ramifié par floraison. Cependant rapporté à la surface unitaire, le nombre d'apex est peu différent entre les 3 densités : à 7 mois, il est de 10 par m² sur D1 et D2 contre 13 sur D3.

La vitesse de couverture du sol des trois traitements diffère significativement à partir de 1,5 mois après plantation (tabl. 3). La fermeture est totale pour D3 dès le deuxième mois ; il faut un dizaine de jours supplémentaires pour que les plants à densité D1 couvrent le sol à 100 %.

Le déclenchement de la floraison du méristème terminal de la tige a toujours pour conséquence une ramification simultanée en deux ou trois branches, donnant une apparence di- ou trichotomique. La floraison varie en précocité et en fréquence au cours du cycle cultural selon de nombreux facteurs internes et externes. Ces axes sylleptiques concourent à la fermeture de la couverture du sol. La variation de densité de plantation ne modifie pas le nombre d'apex issu de ce type de ramification. La première floraison s'étale au même rythme pour les trois traitements au cours des sept premiers mois. Elle développe à 80 %

deux axes et à 20 % trois axes, là encore sans différence entre traitements. Par ailleurs, le stade foliaire des tiges n'est pas modifié.

La surface foliaire d'un plant à 2 tiges suit la même évolution pour les trois traitements. Elle augmente jusqu'à 100 JAP, diminue ensuite pendant un mois en fin de grande saison des pluies, période pendant laquelle le rayonnement global reçu est le plus faible, et présente un nouvel accroissement jusqu'à 160 JAP (fig. 2a). Elle est à son maximum au 205e jour du cycle en début de seconde saison des pluies, pour ensuite diminuer rapidement. Les plants à faible densité ont la surface foliaire la plus élevée, liée au développement des rameaux latéraux. Le traitement D2 se situe en position intermédiaire dès que la couverture du sol est assurée à 100 %.

Tableau 3

Evolution du pourcentage de fermeture du couvert estimé par photos à la verticale de plants à 2 tiges pour trois écartements

JAP	D1 (1,3 x 1,3 m)		D2 (1,0 x 1,0 m)		D3 (0,8 x 0,8 m)	
35	34 %	a	37 %	a	43 %	a
44	52 %	b	60 %	bc	69 %	c
58	77 %	c	92 %	d	100 %	d
70	100 %	d	100 %	d	100 %	d

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles.

La densité D3 présente le LAI le plus élevé pendant les sept premiers mois, excepté entre 114 et 143 JAP où les trois traitements possèdent le même indice en fin de grande saison des pluies (fig. 2b). La forte diminution observée pour D3 entre 98 et 129 JAP est à mettre en relation avec un taux de défoliation accéléré : à 114 JAP, il est de 78 % contre 70 % pour D1 et D2.

Le système racinaire

La potentialité d'émission racinaire a été évaluée sur 20 boutures plantées à l'oblique, au 2/3, en sacs de végétation de 25 dm³ contenant le même type de sol, arrosés quotidiennement. Cinq semaines après plantation, on dénombre en moyenne 6,8 racines nodales et 20,2 racines basales. Ce potentiel n'est modifié ni par les bonnes conditions édapho-climatiques de l'essai, ni par la densité de plantation.

Le nombre total de racines tend à diminuer au-delà de 86 JAP (fig. 3). Les premières racines en tubérisation sont visibles entre 49 et 60 JAP pour les

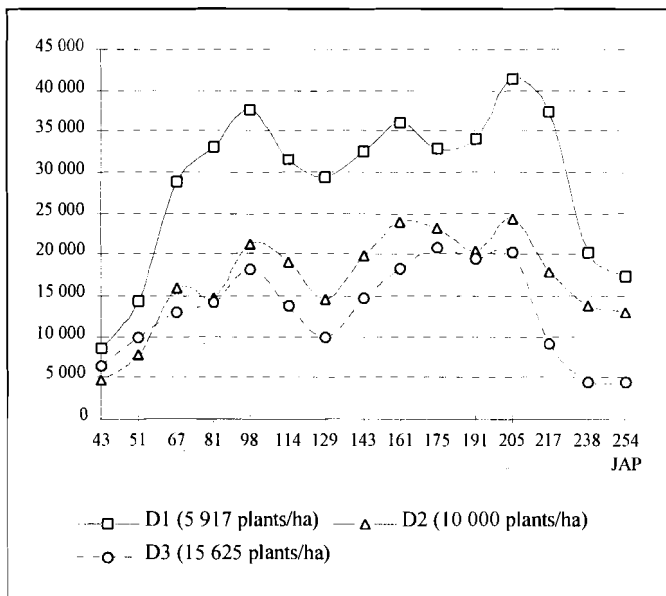


Figure 2a.

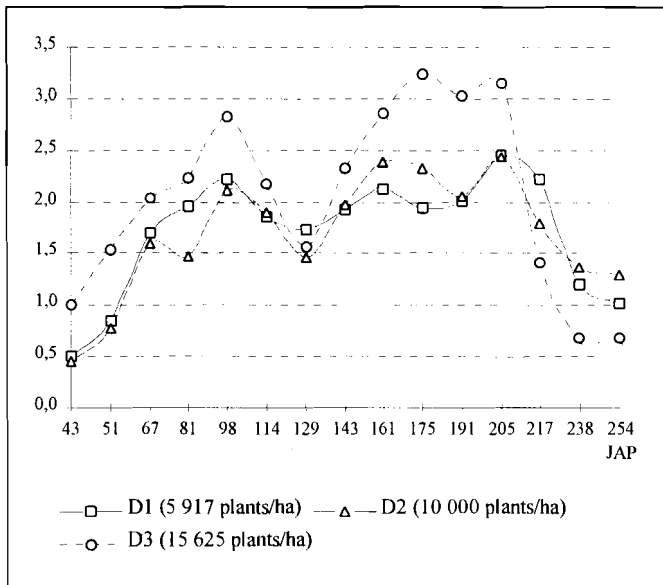


Figure 2b.

Figures 2 — Evolution de la surface totale des feuilles (en cm²) d'un plant à 2 tiges pour trois densités de plantation (a) et de l'Indice de surface foliaire (LAI) correspondant (b), entre 43 et 254 jours après plantation.

trois traitements ; leur nombre se stabilise dès 71 JAP sur densité élevée tandis qu'il continue d'évoluer sur trois à quatre semaines supplémentaires pour les deux autres traitements.

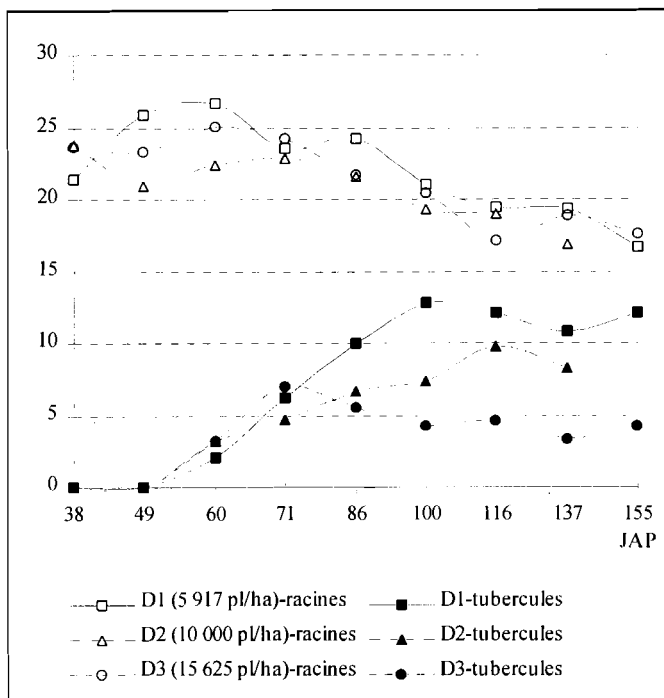


Figure 3 — Evolution du nombre total de racines et du nombre de tubercules (racines de diamètre > 10 mm) d'un plant de manioc pour trois densités de plantation.

La densité de plantation modifie la proportion de racines en tubérisation selon l'origine sur la bouture. En regroupant les données des contrôles au-delà de 116 JAP, 48 % des racines nodales tubérisent, contre 71 % des racines basales pour le traitement D1. Ces proportions diminuent lorsque la densité de plantation augmente : les racines nodales tubérisent à 29 % et 16 % et les racines basales à 59 % et 26 % respectivement pour D2 et D3.

A densité égale, les racines basales augmentent leur diamètre proportionnellement plus vite que les racines nodales (tabl. 4). Ainsi pour D1 à 100 JAP, 11 % des racines basales ont dépassé 30 millimètres contre 1 % des racines nodales. Pour une même origine, le passage dans la classe de diamètre supérieure est en proportion plus élevée si la densité est faible : à 137 JAP, 20 % des racines basales ont un diamètre supérieur à 30 millimètres, contre 5 % et 2 %

respectivement pour D2 et D3. Pour les racines nodales, ces proportions sont de 16 %, 2 % et 0 % respectivement sur D1, D2 et D3.

Une forte densité diminue donc à la fois la proportion de racines qui tubérisent et la vitesse de tubérisation d'un plant. Les racines basales sont plus aptes au remplissage à la fois en proportion et en quantité, et ceci, bien que les racines des deux origines possèdent la même anatomie et qu'elles soient toutes susceptibles de tubériser (Lowe *et al.*, 1982).

Tableau 4
Pourcentage de racines par classe de diamètre à deux dates de contrôle selon l'origine sur la bouture pour trois densités de plantation

Racines basales

Classes		0-10 mm	11-20 mm	21-30 mm	31-40 mm	> 41 mm
D1	100 JAP	35 %	23 %	31 %	10 %	1 %
	137 JAP	36 %	17 %	27 %	18 %	2 %
D2	100 JAP	56 %	25 %	16 %	2 %	1 %
	137 JAP	45 %	24 %	26 %	5 %	-
D3	100 JAP	75 %	13 %	12 %	-	-
	137 JAP	80 %	10 %	8 %	2 %	-

Racines nodales

Classes		0-10 mm	11-20 mm	21-30 mm	31-40 mm	> 41 mm
D1	100 JAP	51 %	29 %	19 %	1 %	-
	137 JAP	54 %	14 %	16 %	15 %	1 %
D2	100 JAP	76 %	10 %	12 %	2 %	-
	137 JAP	66 %	20 %	12 %	2 %	-
D3	100 JAP	86 %	9 %	5 %	-	-
	137 JAP	87 %	7 %	6 %	-	-

Evolution pondérale

Le poids sec des différents organes d'un plant de manioc n'est pas modifié par la densité de peuplement au cours des deux premiers mois (fig. 4). Au-delà, les plants développent plus de rameaux secondaires sur D1, entraînant une augmentation du poids sec de la partie aérienne. Corrélativement, le plant accumule une plus grande quantité de matière sèche dans les racines.

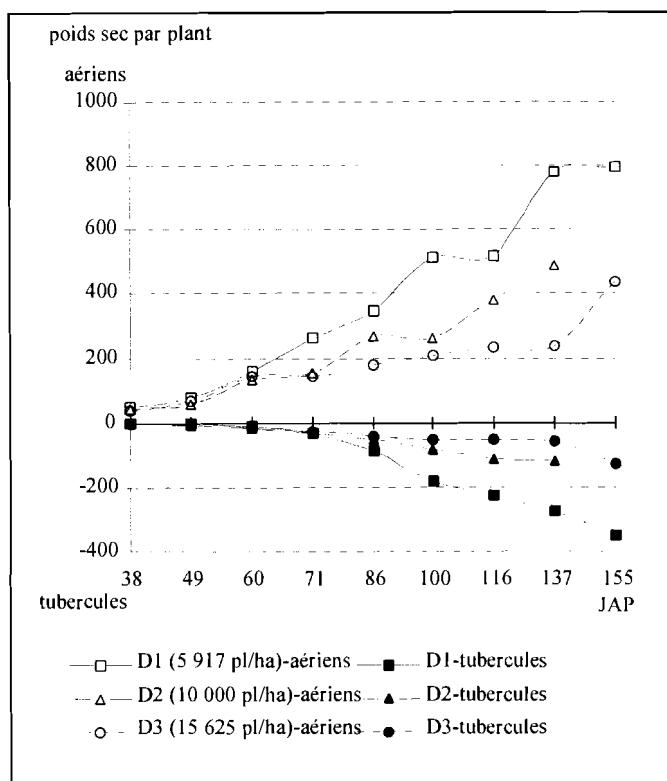


Figure 4 — Evolution des poids secs (en grammes) de la partie aérienne et des tubercules pour un plant de manioc cultivé selon trois densités de plantation.

Du point de vue de la production utile, le plant à faible densité de plantation valorise mieux et plus rapidement les facteurs naturels de production du milieu : à quatre mois, l'indice de récolte (rapport entre la biomasse utile et la biomasse totale) est de 0,30 pour D1 contre 0,23 et 0,18 pour D2 et D3 (tabl. 5).

Récolte : la partie aérienne

A 12 mois, un plant situé en conditions de faible densité de peuplement présente 23 apex sur une tige, contre 12 pour D2 et 10 pour D3. Rapportées à la surface, ces valeurs donnent 29 apex par m^2 pour D1, 28 pour D2 et 31 pour D3. La différence de comportement entre les plants monocaules et les plants multicaules pour une même densité établie en cours de cycle se retrouve : les

tiges sur des plants monocaules ont plus d'apex. Cependant, ces valeurs rapportées au plant entier sont les mêmes (tabl. 6).

Tableau 5
Evolution de l'indice de récolte (rapport entre poids sec des tubercules et poids sec total du plant) en début de cycle pour trois densités de plantation

JAP	D1 (1,3 x 1,3 m)	D2 (1,0 x 1,0 m)	D3 (0,8 x 0,8 m)
86	0,20	0,16	0,19
100	0,26	0,24	0,21
116	0,30	0,23	0,18
137	0,26	0,19	0,19
155	0,31	-	0,23

Les teneurs en matière sèche ne sont pas modifiées par la densité : elles sont de 32 % pour la bouture et 25 % pour les tiges + feuilles sur l'ensemble de l'essai. Pour chacun des trois traitements, le poids sec en fin de cycle de la bouture d'origine est bien corrélé à celui de la partie aérienne : la relation est linéaire avec un coefficient de corrélation de +0,76 pour D3. La bouture constitue un puits pour accumuler des réserves au même titre que les racines.

Tableau 6
Nombre d'apex sur une tige de manioc à 12 mois pour la densité D3 (écartements 1,3 x 1,3 m)

Plants à	Nbre d'apex / tige	Nbre d'apex / plant	Nbre de plants observés
1 tige	37,8	37,8	14
2 tiges	21,8	43,6	29
3 tiges	14,5	43,5	21

Récolte : les racines tubérisées

La teneur en matière sèche des racines tubérisées n'est pas modifiée par la densité de plantation : elle est en moyenne de 33,7 % (tabl. 7). L'indice de récolte est plus élevé à densité faible : 0,41 pour D1 contre 0,35 pour D3. Ces valeurs diminuent en éliminant les petits tubercules. Un plant cultivé à densité faible valorise mieux la biomasse produite à la récolte.

La distribution du nombre et du poids de tubercules sur un plant dans des classes de poids frais est modifiée par la densité de plantation (tabl. 8). Pour le

nombre, 11 % des tubercules produits pèsent plus de 1 000 grammes à densité faible D1, contre 5 % pour D2 et 3 % pour D3. En poids frais par plant, cela représente 28 % pour D1, 16 % pour D2 et 9 % pour D3. A l'inverse, l'élimination des petits tubercules de poids inférieur à 200 grammes correspond à 29 % du nombre sur un plant pour D1, contre 42 % pour D2 et 43 % pour D3. En poids frais par plant, cela représente 7, 11 et 13 % respectivement pour D1, D2 et D3.

Tableau 7
Caractéristiques des différents compartiments d'un plant à la récolte pour trois densités de plantation et rendements correspondants

	PF des aériens	PF de la bouture	N tubercules par plant	PF tuber par plant	%MS d'1 tubercule
D1	7 982 a	718 a	9,7 a	4 836 a	33,5 a
D2	4 584 b	525 b	6,3 b	2 241 b	34,2 a
D3	3 578 c	422 b	4,9 c	1 710 b	33,4 a
Moyenne	5 381	555	6,9	2 920	33,7
ETr	507,7	74,7	0,6	397,1	1,5

	IR	RS (t/ha)	% N (-200)	% P (-200)	RS utile
D1	0,41 a	9,6 a	30 b	7 b	8,9 a
D2	0,36 b	7,6 a	42 a	11 a	6,8 b
D3	0,35 b	8,9 a	43 a	13 a	7,8 ab
moyenne	0,37	8,7	38	10	7,8
ETr	0,02	1,1	5,1	1,6	0,9

PF : Poids frais (en grammes), RS : Rendement sec, % MS : teneur en Matière sèche, IR : Indice de récolte, % N (-200) : % du Nombre de tubercules de moins de 200 g., % P (-200) : % du Poids frais des tubercules représenté par les moins de 200 g. Les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5 % (test de Newman et Keuls). ETr : Ecart-type résiduel.

Le nombre et le poids de tubercules par plant ont été rapportés à l'unité de surface (tabl. 9) : sur la base d'un poids minimum de 200 grammes, on rejette deux fois plus de tubercules sur densité élevée D3 que sur densité faible D1. La prise en compte du refus pour le calcul du rendement sec à l'hectare entraîne alors une différence significative entre les traitements D1 et D2 (tabl. 7).

Tableau 8
Distribution (en %) du nombre et du poids frais de tubercules
par classe de poids (en grammes) sur un plant moyen cultivé
selon trois densités de plantation

Classes de poids		0 à 200 g	201 à 400	401 à 600	601 à 800	801 à 1000	1001 à 1200	1201 et +
D1	Nombre	29	27	15	10	8	4	7
	Poids	7	18	17	15	15	9	19
D2	Nombre	42	26	14	8	5	2	3
	Poids	11	22	22	15	14	6	10
D3	Nombre	43	24	16	7	6	2	1
	Poids	13	24	23	16	15	4	5

Tableau 9
Production à l'hectare du nombre et du poids sec de tubercules
de manioc cultivé avec 3 densités de plantation

Densités de plantation	Nbre total tuber/ha	Nbre tuber. éliminés	Nbre tuber. utiles	Poids Sec éliminé (t/ha)
D1 : 5 917 pl/ha	57 395	16 645	40 750	2,0
D2 : 10 000 pl/ha	63 000	26 460	36 540	2,4
D3 : 15 625 pl/ha	76 563	33 687	42 875	3,5

Discussion et conclusions

Les trois densités de plantation déterminent une structure du peuplement très différente : une parcelle d'un hectare avec 5 917 plants dispose de 12 425 tiges principales, contre 22 300 tiges avec 10 000 plants et 33 750 tiges avec 15 625 plants. Ces tiges se comportent différemment et la couverture du sol devient totale vers deux mois quelle que soit la densité, avec cependant un retard d'une dizaine de jours pour D1. Ce délai supplémentaire peut favoriser l'enherbement de la parcelle, impliquant alors une intervention supplémentaire, ou faciliter l'érosion du sol par les pluies. C'est le développement de rameaux latéraux plus nombreux sur les tiges à faible densité qui assure la fermeture du couvert : la dominance apicale sur des bourgeons éloignés de l'apex a pu être levée grâce à une meilleure pénétration de la lumière.

Un plant monocaule ne se comporte pas comme un plant multicaule : à densité égale, il développe plus de rameaux secondaires. Une seule tige permet un meilleur éclairage des couches inférieures de la couverture aérienne et favorise ainsi le débouillage de bourgeons ; un plant à plusieurs tiges crée un auto-ombrage plus intense qui limite ce type de ramifications. Cette différence de comportement entre plants monocauls et multicaules au sein d'un peuplement n'est pas évoquée dans la littérature. B. Enyi (1972) rapporte que des parcelles homogènes de plants monocauls ont des rendements supérieurs à des parcelles de plants multicaules à densités faibles ; cependant, J. Dizès (1978) obtient le contraire.

La densité de plantation ne modifie pas le nombre de racines émises par la bouture : le potentiel de sites de stockage d'un plant est au départ le même. La concurrence entre plants à densité élevée va limiter le nombre de sites réels. Les conditions hydriques et nutritionnelles de l'essai n'étant pas limitantes, la cause en reviendrait au facteur rayonnement. Le quart des racines évolue en tubercules pour 15 625 plants/hectare ; la moitié des racines sont concernées à 10 000 plants/ha et près de trois sur quatre à 5 917 plants/ha : pour cette densité de plantation, la totalité des racines de certains plants multicaules dépassait 20 millimètres de diamètre vers cinq mois.

Chez la patate douce, un mouvement préférentiel des hydrates de carbone vers un puits plutôt qu'un autre a été décrit (Chva *et al.*, 1981). Ces auteurs évoquent quatre causes : l'ordre chronologique de création du puits, l'amplification du déplacement des réserves une fois qu'un gradient de concentration est établi, la position du puits par rapport à la source et la qualité des liaisons vasculaires. Nos observations montrent que chez le manioc, les racines basales sont privilégiées par la tubérisation, en proportion comme en quantité. Les racines nodales, issues de proméristèmes néoformés au niveau des noeuds, apparaissent pourtant cinq à huit jours avant les racines basales (Cours, 1951). Elles sont cependant plus superficielles et une température élevée dans les premiers centimètres du sol pourrait gêner l'accumulation de réserves (Menzel, 1985). Mais la supériorité des racines basales peut s'expliquer surtout par la meilleure qualité des connexions des vaisseaux libéro-ligneux entre racines et bouture, facilitant le transport des réserves amyliacées. Le cal cicatriciel qui se forme après la coupe de la bouture et d'où sortent les racines basales se constitue en effet autour de la zone cambiale (Médard, 1973).

Les rendements bruts à l'hectare des trois densités ne sont pas statistiquement différents. La teneur en matière sèche des tubercules n'est pas modifiée. La

décomposition au niveau du plant fait apparaître un écart dans les deux composantes Nombre de tubercules et Poids moyen d'un tubercule :

- D1 (5 917 plants/hectare) : 9,6 tubercules x 498 grammes ;
- D2 (10 000 plants/hectare) : 6,3 tubercules x 355 grammes ;
- D3 (15 625 plants/hectare) : 4,9 tubercules x 349 grammes.

Sur un plan pratique, les résultats de cette expérimentation sont importants à considérer. Selon la finalité de la culture du manioc, la densité de plantation apparait en effet comme un bon moyen d'ajuster pour partie la qualité du rendement utile en jouant sur ces composantes du rendement.

La densité faible est la mieux adaptée à une production destinée à l'approvisionnement d'un marché où la préférence va à la commercialisation de gros tubercules. Ainsi sur un hectare, 6 313 tubercules de poids supérieur à 1 kilogramme sont produits avec un écartement entre plants de 1,3 mètre, ce qui représente un total de 8,0 tonnes. Dans les mêmes conditions, on dispose seulement de 3 150 tubercules, soit 3,5 tonnes, avec un écartement de 1,0 mètre et 2 297 tubercules, soit 2,4 tonnes, avec un écartement de 0,8 mètre.

Avec des objectifs de production impliquant une transformation mécanisée, la dispersion plus grande des poids frais des tubercules utiles supérieurs à 200 grammes à faible densité de plantation peut constituer un inconvénient pour des postes tel que l'épluchage mécanique : en effet, des appareils conçus pour une taille moyenne standard et avec de faibles écarts autour de cette moyenne pourront constituer une part élevée de tubercules rejetés.

Une autre conséquence de la densité de plantation sur le manioc touche la qualité et la quantité du matériel de plantation pour un cycle suivant si, cas le plus fréquent, le système de culture dans lequel est insérée la parcelle productrice de tubercules n'inclut pas spécifiquement une parcelle strictement destinée à la production de boutures. Pour la variété CB cultivée à faible densité de plantation, le développement de plusieurs rameaux secondaires diminue la qualité de la partie la plus lignifiée des tiges principales qui sert à constituer les boutures, qui de plus sont moins nombreuses. Dans les conditions de l'essai, la densité de plantation élevée convient mieux pour créer des parcelles à vocation de parc à bois tout en assurant un rendement satisfaisant.

Références bibliographiques

- BRUIJN G. H. DE, FRESCO L. O., 1989 – The importance of cassava in world food production. *Netherl. JI Agric. Sci.*, 37 : 21-34.
- CANEILL J., FLEURY A., FERRE F., 1993 – L'élaboration du rendement de la betterave sucrière. In : L. Combes et Picard D. (Coord) : *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Paris, éditions Inra, pp. 143-167.
- CHVA L. K., GOESCHL J. D., KAYS S. J., MAGNUSON C. E., FARES Y., 1981 – Les modes d'assimilation du carbone des patates douces en formation avec utilisation de ^{11}C et ^{14}C . In : *Actes du 1er symposium international sur la patate douce*. Taiwan, ACCT and CTA (eds), pp. 105-128.
- CICE, 1983 – Le Plan manioc ivoirien. *L'Exportateur Ivoirien* (revue du Centre ivoirien du commerce extérieur), 34 : 11-29.
- COCK J. H., 1985 – Cassava. *New potential for a neglected crop*. Boulder and London, IADS serie, Westview Press, 191 pages.
- COCK J. H., WHOLEY D., DE LAS CASAS O. G., 1977 – Effects on spacing on cassava (*Manihot esculenta*). *Expl Agric.*, 13 : 289-299.
- COURS G., 1951 – Le manioc à Madagascar. *Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar*, B, III, 2 : 203-400.
- DIZES J., 1978 – Influence de la densité de plantation et de la taille des plants à une tige sur le rendement de deux variétés de manioc. Rapport Orstom, Adiopodoumé, Côte-d'Ivoire, 12 pages.
- ENYI B. A. C., 1972 – The effects of spacing on growth, development and yield of single and multi-shoot plants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). 1/ Root tuber yield and attributes. 2/ Physiological factors. *East Afr. Agric. and Forest. JI*, (7-8) : 23-34.
- ENYI B. A. C., 1973 – Growth rates of three cassava varieties (*Manihot esculenta* Crantz) under varying population densities. *Jl agric. Sci., Camb.*, 81 : 15-28.
- GODFREY SAM AGREY W., 1978 – Effects of plant population on sole-crop cassava in Sierra Leone. *Expl. Agric.*, 14 : 239-244.
- LOWE S. B., MAHON J. D., HUNT L. A., 1982 – Early development of cassava (*Manihot esculenta*). *Can. JI. Bot.*, 60 : 3040-3048.
- MEDARD R., 1973 – Morphogénèse du manioc, *Manihot esculenta* Crantz : étude descriptive. *Adansonia*, 2, 13 (4) : 483-494.
- MEDARD R., SELL Y., BARNOLA P., 1992 – Le développement du bourgeon axillaire du *Manihot esculenta*. *Can. JI. Bot.*, 70 : 2041-2052.
- MENZEL C. M., 1985 – The control of storage organ formation in potato and other species : a review. Part I & II. *Field Crop Abstracts*, 38, 9 : 527-537 et 38, 10 : 581-606.
- RAFFAILLAC J.-P., 1992 – Enracinement de la bouture de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au cours des première semaines de croissance. *L'Agronomie Tropicale*, 46, (4) : 273-281.
- TARDIEU M., FAUCHE J., 1961 – Contribution à l'étude des techniques culturales chez le manioc. *L'Agronomie Tropicale*, 16, (4) : 375-386.
- TORO J. C., ATLEE C. B., 1985 – Agronomic practices for cassava production : a literature review. In : Cock J. H. and Reyes (éd.) : *Cassava : research, production and utilization, Cassava Program*. CIAT, Colombia, pp. 207-237.
- WHOLEY D. W., BOOTH R. H., 1979 – Influence of variety and planting density on starch accumulation in cassava roots. *J. Sci. Food Agric.*, 30 : 165-170.
- WILLIAMS C. N., 1972 – Growth and productivity of tapioca (*Manihot utilisima*). III. Crop ratio, spacing and yield. *Expl Agric.*, 8 : 15-23.