

Enracinement de la bouture de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au cours des premières semaines de croissance

J.-P. RAFFAILLAC (1)

RÉSUMÉ — Chez le manioc, la tubérisation est liée au système racinaire. Il faut donc assurer à la plante un enracinement susceptible de remplir au mieux l'une de ses fonctions : le stockage des hydrates de carbone sous la forme de tubercules. Une bouture de base sur la tige mère assure un meilleur enracinement. Une bouture plus grande permet la sortie d'un plus grand nombre d'axes racinaires d'origine nodale. Le mode de plantation oblique combiné avec une coupe en biseau de la base a pour conséquence une localisation préférentielle des racines dans un secteur du sol. Le travail du sol favorise l'orientation en profondeur des axes racinaires mais le mode de plantation n'intervient pas. Les variations liées à la constitution des boutures et au mode de plantation observées dans la mise en place de l'enracinement du plant en début de cycle sont discutées en relation avec la nutrition et la tubérisation.

Mots-clés : manioc, bouture, racines nodales, racines basales, mode de plantation.

La multiplication du manioc se fait par bouturage d'une portion de tige suffisamment lignifiée. L'enracinement de cette bouture revêt un caractère important : d'une part, les racines émises assureront les fonctions classiques d'un système racinaire (ancrage du plant dans le sol, absorption hydrique et alimentation minérale) ; d'autre part, certaines d'entre elles accumuleront dès les premières semaines, et tout au long du cycle cultural, les hydrates de carbone élaborés par les parties aériennes, sous la forme de tubercules amyliacés (MIEGE, 1957 ; INDIRA et SINHA, 1970). Le système racinaire du manioc peut conditionner ainsi en partie le nombre de tubercules à la récolte par le nombre de racines primaires émises au départ.

L'enracinement de la bouture se fait à la fois à partir des nœuds (racines nodales) et à partir de la base (racines basales), du côté de l'extrémité distale (COURS, 1951). Le nombre total de racines est fixé généralement 4 à 6 semaines après la plantation. Toutes les racines émises par la bouture sont identiques d'un point de vue anatomique. Chacune d'entre elles est susceptible d'accumuler par la suite des grains d'amidon au niveau d'un parenchyme développé à partir du cambium, qui initie un grand nombre de cellules parenchymateuses après modification de son fonctionnement normal (LOWE *et al.*, 1982). L'enracinement installé par la bouture au cours des premières semaines constitue la première étape du schéma général d'élaboration du rendement du manioc (nombre total de racines primaires), suivie de la mise en place des sites effectifs de stockage (nombre de racines en tubérisation) et de la phase de remplissage jusqu'à la récolte (nombre de racines tubérisées utiles).

Il convient donc d'assurer lors de la plantation de la bouture un enracinement capable de répondre aux exigences de ces différentes fonctions. Dans cette étude, on examine un certain nombre de facteurs techniques susceptibles de jouer un rôle dans l'installation du système racinaire du manioc ; quelques-unes des conséquences possibles sur la nutrition et la tubérisation sont discutées.

Matériel et méthode

Les différentes expérimentations sont conduites à Adiopodoumé, en basse Côte-d'Ivoire. Elles utilisent la variété CB, manioc à port dressé dont les tiges ne fleurissent généralement pas au cours d'un cycle cultural d'une durée de 11 à 16 mois. Les tiges sur lesquelles sont prélevées les boutures proviennent de parcelles âgées de 11 à 16 mois, cultivées avec les mêmes techniques. Elles n'ont pas été stockées et sont indemnes du virus de la mosaïque africaine du manioc. Le sol est constitué sur sable tertiaire, chimiquement pauvre, meuble et profond. Ses caractéristiques moyennes (0-35 cm) sont les suivantes :

(1) Centre ORSTOM, laboratoire d'agronomie, BP 375, Lomé, Togo.

87 % de sable, 8 % d'argile, 4 % de limon et 1 % de matière organique. Toutes les expérimentations sont conduites en début de saison des pluies, en conditions hydriques non limitantes (irrigation de complément), sur des parcelles physiquement et chimiquement très homogènes.

Expérimentation 1

Deux origines de bouture (longueur : 20 cm), constituées sur la moitié inférieure de tiges de 3 m de longueur totale, âgées de 16 mois, sont comparées :

- origine au sommet de cette partie de tige, côté apex (A) ;
- origine à la base (B).

Pour chaque origine A et B, deux boutures contiguës sont constituées. Les boutures sont implantées sur une parcelle labourée (dimensions : 24,8 x 12,8 m) en 5 lignes de 20 plants pour chaque origine, en randomisation totale. La plantation des boutures à base oblique, enfoncées aux deux tiers, se fait inclinée à 45°, avec un écartement de 1,2 x 1,2 m.

Chaque bouture est pesée individuellement et le nombre de nœuds est compté. La teneur en matière sèche (à 85° C) est évaluée sur 20 boutures supplémentaires par origine. Les contrôles sont faits sur 5 lignes de 20 plants par origine A et B à la cinquième semaine ; ils portent sur le nombre de tiges par plant, le nombre de nœuds en contact avec le sol, le nombre de racines d'origine nodale et basale. Afin de quantifier la masse racinaire, une expérimentation en pots de végétation de 25 dm³ complète cette comparaison. Chaque origine A et B fait l'objet de 20 répétitions. A la cinquième semaine, la totalité du système racinaire est récupérée sur un tamis à mailles de 2 mm, par lavage du sol, et pesée individuellement après séchage pendant 2 jours à 85° C.

Expérimentation 2

Trois longueurs de bouture (12, 20 et 40 cm) sont comparées pour deux modes de plantation : enterré à l'horizontale à 3 cm de profondeur ou incliné à 45° et enfoncé aux deux tiers dans le sol. Les boutures sont issues du quart inférieur de tiges âgées de 11 mois. Chacun des six traitements est installé sur une parcelle labourée de 48 m² sans répétition, comprenant 5 lignes de 7 plants (écartement : 1,0 x 1,0 m). Les racines nodales et basales sont comptées sur les 35 plants après 5 semaines de cycle.

Expérimentation 3

Trois types de bouture de 20 cm de longueur, issus de la partie basse de la tige mère âgée de 13 mois (trois boutures par tige), sont comparés (figure 1). Ils se différencient par la nature de la coupe de la base :

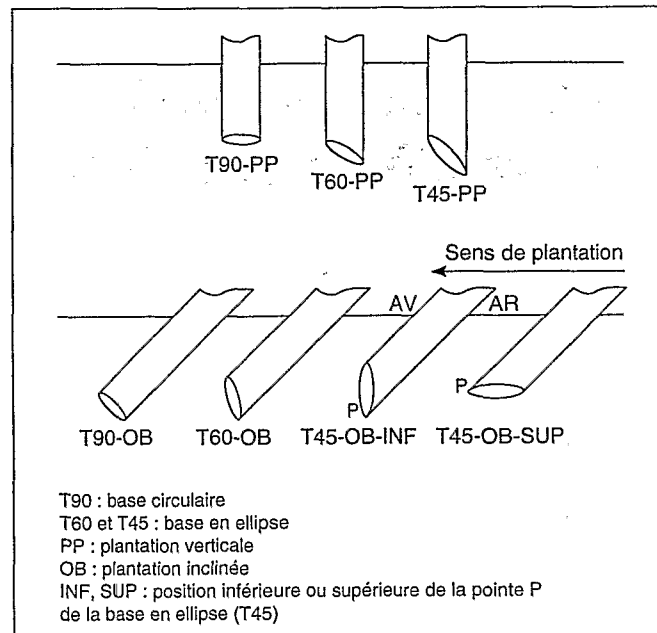


Figure 1. Schéma de l'expérimentation 3 : nature de la coupe à la base et mode de plantation.

- coupe perpendiculaire à l'axe de la bouture : la section de la base est circulaire (T90) ;
- coupe oblique avec un angle de 45° par rapport à l'axe de la bouture (le plan de section fait un angle de 45° avec l'axe) : la section de la base est en ellipse (T45) ;
- coupe oblique avec un angle de 60° par rapport à l'axe de la bouture : la section de la base est en ellipse (T60).

Pour chaque type de coupe, la plantation est faite par enfoncement des deux tiers de la bouture selon deux modes : perpendiculairement à la surface plane du sol (PP) ou à l'oblique avec un angle de 45° par rapport à la surface plane du sol (OB). Dans ce mode, la pointe (P) du biseau est toujours située en avant dans le sens de la plantation sur les lignes. Deux cas sont distingués pour les boutures à bases coupées à 45° : la pointe que forme l'extrémité est positionnée au plus bas dans le sol (INF) ou bien au plus haut (SUP). Ces diverses modalités sont schématisées dans la figure 1.

Chacun des sept traitements est installé sur des parcelles de 77 m² avec 60 boutures (6 lignes de 10 plants), sans répétition. L'écartement entre les plants est de 1,0 x 1,0 m.

Avant plantation, chaque bouture est pesée et le nombre de nœuds est compté. Quatre semaines après plantation, les contrôles sur 20 plants portent sur le nombre de tiges, le nombre de nœuds en contact avec le sol et le nombre de racines en position nodale et basale. La localisation du point d'insertion sur le pourtour de la section de base est précisée (figure 2). Pour cela, le périmètre est divisé en quatre parties égales (cercle) ou six secteurs (ellipse).

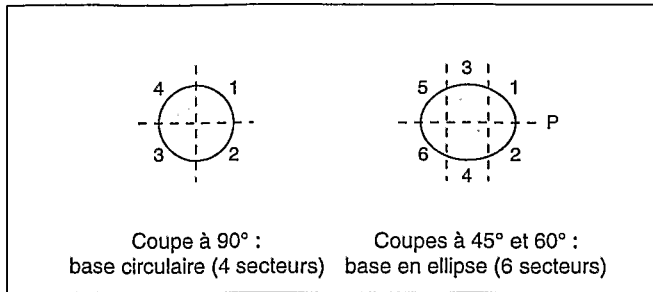


Figure 2. Localisation du point d'insertion des racines sur le pourtour de la section de base.

Une fosse (longueur 5 m, largeur 0,5 m, profondeur 0,4 m) est creusée à 20 cm des plants, orientée parallèlement au sens de l'enfoncement des boutures plantées à l'oblique, le long d'une ligne de chaque traitement, 5 semaines après plantation. Le comptage des racines issues de la base de la bouture dans deux secteurs de 180° en avant (AV) et en arrière (AR) du plant est réalisé sur cinq boutures par traitement après avoir dégagé au couteau les racines jusqu'à la base.

Des sondages racinaires à l'aide de sondes tubulaires (diamètre : 9 cm) sont effectués en arrière et en avant, à 25 cm des plants (figure 1) sur deux horizons : 0-15 et 15-35 cm. Les sondages sont effectués pour 18 plants et regroupés par lots de 3 plants contigus avec 3 carottages adjacents par position et par horizon, soit 6 répétitions. Le sol, préalablement séché et pesé, est tamisé sous jet d'eau sur un tamis à mailles de 2 mm ; les racines sont récupérées, séchées à 80 °C et pesées.

Expérimentation 4

L'essai met en comparaison le comportement en début de cycle des boutures de deux variétés, pour deux densités de sol et deux modes de plantation. Deux qualités du sol avant plantation sont constituées : non-travail (T0) pendant les cinq années précédentes ; un passage de rotovator sur 15 cm suivi d'un labour profond sur 40 cm (T1) dans le mois précédant la mise en place. La variété CB est comparée à la variété B25XB50. Les boutures à base en biseau sont constituées sur le quart inférieur de tiges de 12 mois. Elles sont installées dans le sol selon deux modes : à l'horizontale à environ 3-5 cm de la surface (HO) et à l'oblique par enfoncement des deux tiers de la longueur (OB). L'écartement entre les plants est de 1,0 x 1,0 m. La parcelle élémentaire de 60 m² se compose de 5 lignes de 9 plants pour chacun des huit traitements.

A la plantation des boutures, la densité apparente sèche est évaluée sur les parcelles T0 et T1 (trois sites chacune) par la méthode du cylindre (volume : 250 cm³) dans l'horizon 5-12 cm ; 38 jours après plantation, une fosse identique à celle de l'expérimentation 3 est réalisée à 20 cm le long d'une ligne de chaque traitement. Pour 5 plants, une racine basale, représentative de l'ensemble du système racinaire basal par

son orientation générale dans le profil, est dégagée au couteau le long de la paroi de la fosse sur 40 à 60 cm à partir du point d'insertion.

La distance D d'un point Pi de cette racine au point Pr de raccordement à la base sur la bouture est mesurée précisément (entre 30 et 35 cm). La profondeur de ces deux points, d (Pi) et d (Pr), est mesurée par rapport à la surface du sol (figure 3).

L'angle α que fait la racine avec l'horizontale est évalué selon la formule :

$$\sin \alpha = \frac{d(Pi) - d(Pr)}{D}$$

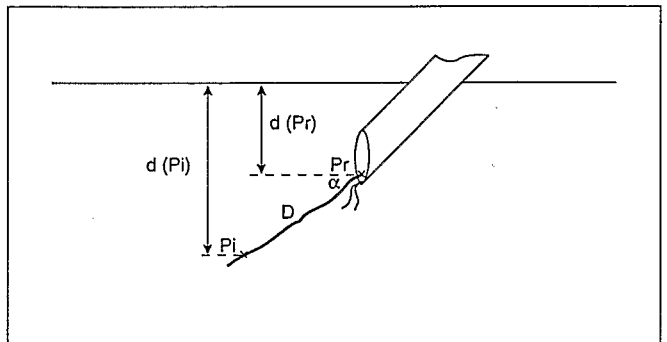


Figure 3. Mesures sur le profil du sol pour l'estimation de l'angle de pénétration des racines (expérimentation 4).

Résultats et discussion

Les taux de reprise ont été de 100 % pour toutes les expérimentations dans la mesure où les conditions hydriques n'étaient pas limitantes.

Qualité de la bouture et enracinement

La position d'origine de la bouture sur la tige mère entraîne des différences significatives quant à son poids frais et sa teneur en matière sèche, alors que le nombre de nœuds n'est pas significativement affecté (tableau I). Les plants issus des boutures de base présentent un nombre significativement plus élevé de tiges principales. Le système racinaire, évalué en poids sec total ou en nombre de racines nodales et basales, est plus développé chez des plants issus de boutures constituées sur la partie la plus âgée de la tige (tableau I).

Dans la pratique, il est recommandé d'utiliser les parties les plus basses des tiges principales pour assurer une reprise à 100 % des boutures (LEIHNER, 1986 a et b). On observe cependant un gradient décroissant dans les potentialités des boutures constituées sur des portions de tiges bien aoûtées entre les parties les plus distales et les plus proches de l'apex. Ces potentialités concernent aussi bien le nombre de tiges principales que le nombre de racines, qui sont plus

Tableau I. Caractéristiques moyennes d'une bouture constituée à la base et au sommet de la tige principale de manioc. Conséquences sur la plante à 35 jours.

	Origine base	Origine sommet	Moyenne, CV (%), ETM
Bouture			
Poids frais (g)*	107,9 a	80,9 b	94,43 CV : 2,1 ETM : 0,89
% de matière sèche**	33,9 a	30,2 b	32,05 CV : 3,9 ETM : 0,28
Nombre de nœuds*	11,7 a	9,4 a	10,55 CV : 17,4 ETM : 0,82
Plant de manioc			
Nombre de tiges par plant*	2,95 a	2,06 b	2,51 CV : 2,5 ETM : 0,03
Nombre de racines nodales*	7,8 a	5,3 b	6,55 CV : 6,7 ETM : 0,20
Nombre de racines basales*	21,3 a	13,5 b	17,41 CV : 6,1 ETM : 0,48
Poids sec total des racines (g)**	0,71 a	0,47b	0,59 CV : 9,8 ETM : 0,01

* 5 répétitions de 20 individus chacune ; ** 20 répétitions. Sur chaque ligne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test de comparaison de deux moyennes de Student).

élevées pour des boutures issues de la base de la tige. Ces différences, que MIEGE (1957) a également observées sur le nombre de tiges par plant, expliquent pour partie la variabilité rencontrée dans une parcelle de manioc sous le double aspect de la couverture aérienne et de l'enracinement des plants. Pour homogénéiser au maximum une parcelle de manioc, il convient donc de procéder à un choix rigoureux du matériel de plantation.

La figure 4 indique que le nombre de racines basales est peu modifié sur des boutures de 12 et 20 cm de longueur quel que soit le mode de plantation. Le nombre de racines nodales augmente avec la longueur et lorsque l'on passe du mode oblique au mode horizontal. Il est donc possible d'assurer un plus grand nombre de racines au jeune plant en jouant sur la longueur et le mode de plantation. Il disposera ainsi d'un potentiel racinaire plus important au départ, susceptible de prendre rapidement le relais des réserves de la bouture pour assurer la nutrition minérale et l'alimentation hydrique, et par la suite le stockage dans un plus grand nombre de sites.

La répartition des racines basales est régulière dans le cas d'une coupe à 90°, laquelle donne une section circulaire à la

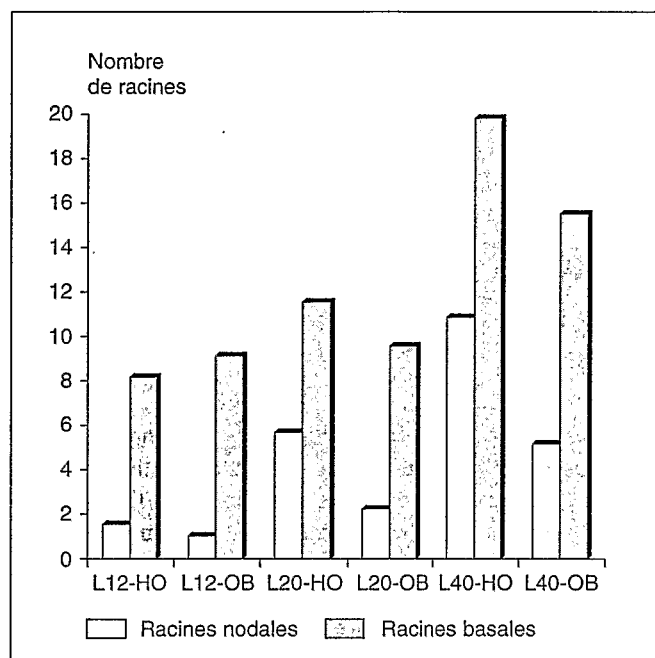


Figure 4. Nombre moyen de racines sur des plants de manioc issus de boutures de 12, 20 et 40 cm de longueur, plantées à l'horizontale (HO) et à l'oblique (OB).

base de la bouture (tableau II) : les racines sont en nombre égal dans les quatre secteurs. Dans le cas d'une bouture coupée à 45° ou à 60°, l'angle aigu (P) que présente la base en ellipse (ensemble des secteurs 1 et 2) regroupe respectivement 54 et 50 % de la totalité du système racinaire basal alors que l'angle opposé (ensemble des secteurs 5 et 6) réunit seulement 21 et 27 % des axes racinaires (figures 5, 6, 7).

Tableau II. Localisation des racines basales à la périphérie de la base de la bouture, en fonction de la nature de la coupe (exprimée en % du total), et nombre de racines nodales.

Nature de la coupe	T45	T60	T90
Forme de la base	Ellipse	Ellipse	Cercle
% de racines basales selon les secteurs (figure 2)			
Secteur 1	28 a	26 a	24 a
Secteur 2	26 a	24 a	26 a
Secteur 3	12 b	10 b	26 a
Secteur 4	13 b	14 b	24 a
Secteur 5	10 b	13 b	-
Secteur 6	11 b	14 b	-
Moyenne	17	17	25
CV (%)	42	25	32
ETM	1,56	0,89	1,79
Nombre de racines basales	14,6	13,5	14,4
Nombre de racines nodales	6,4	7,1	6,8

Dans les colonnes, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (comparaisons multiples par la méthode de Newman-Keuls). T90 : base circulaire. T60 et T45 : base en ellipse.

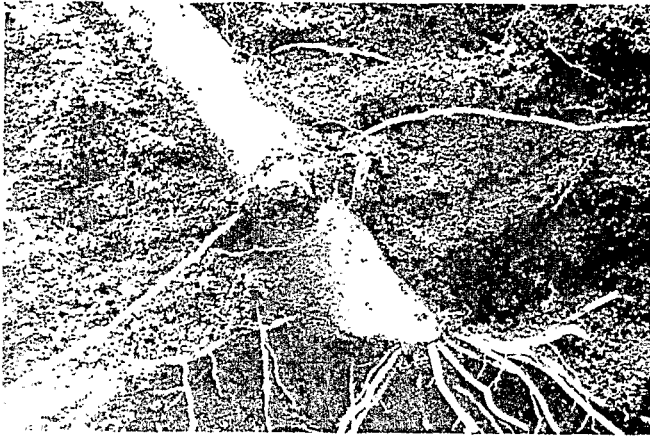


Figure 5. Racines nodales et basales sur la bouture dans le profil du sol (noter la concentration des racines de base sur la pointe).

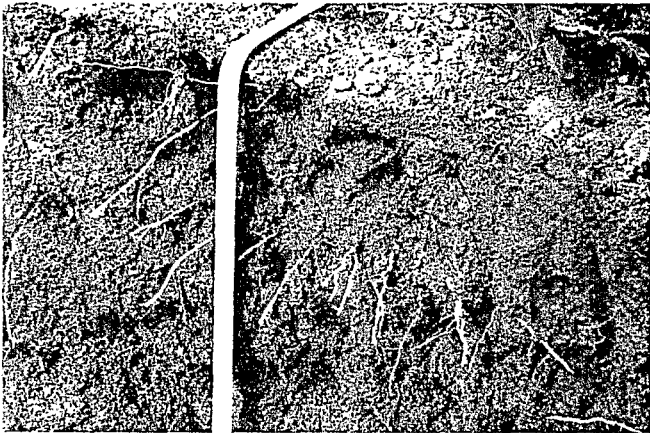


Figure 6. Regroupement des racines en avant du plant pour une bouture inclinée à base en ellipse.



Figure 7. Conséquence de la localisation observée en figure 6 sur la situation des racines tubérisées à la récolte (noter sur la gauche un axe racinaire qui s'enfonce verticalement).

Si la distribution des racines basales est hétérogène sur le périmètre de la section pour les deux coupes obliques, le nombre total n'est cependant pas modifié par rapport à une coupe à 90°. Par ailleurs, le nombre de racines nodales est en moyenne de 6,8 pour l'ensemble des traitements.

Localisation des racines dans le sol

La distribution dans le sol des axes racinaires primaires originaires de la base de la bouture est modifiée par le mode de plantation, en relation avec la nature de la coupe de la base (tableau III). La plantation perpendiculaire (PP) avec une coupe à 90° de la base de la bouture permet la répartition la plus homogène des racines dans le sol de part et d'autre du plant : le nombre de racines comptées en avant et en arrière du plant est sensiblement le même. La base coupée à l'oblique modifie légèrement cette répartition dans les deux secteurs : 64 % et 58 % des racines primaires basales se retrouvent en avant du plant pour T45-PP et T60-PP.

L'enfoncement à l'oblique de la bouture dans le sol (traitements OB) provoque une concentration plus forte des axes racinaires en avant du plant, l'effet étant accru avec la nature de la coupe : jusqu'à 80 % des racines primaires d'origine basale se trouvent dans le secteur en avant du plant lorsque la base de la bouture est coupée à 45°, avec la pointe P en position basse dans le profil de sol.

Les sondages racinaires effectués en avant et en arrière des plants sur la ligne donnent des résultats très hétérogènes, la présence de racines n'ayant pas toujours été détectée sur certains échantillons dans les deux profils étudiés. Ils permettent cependant de situer globalement les concentrations racinaires autour du plant, en regroupant les origines basale et nodale de tous les axes (tableau IV). Les quantités de racines prélevées et le nombre d'échantillons avec présence de racines sont plus élevés en avant du plant

Tableau III. Nombre d'axes racinaires d'origine basale de part et d'autre du plant selon le mode de plantation et de coupe de la bouture.

Situation des racines sur la ligne de plantation	En avant du plant	%	En arrière du plant	%
Bouture verticale				
T90-PP	7,4	48	8,1	52
T45-PP	9,5	64	5,4	36
T60-PP	10,3	58	7,4	42
Bouture inclinée				
T90-OB	8,4	63	4,9	37
T45-OB-INF	12,9	80	3,3	20
T45-OB-SUP	11,9	66	6,1	34

T90 : base circulaire. T60 et T45 : base en ellipse. PP : plantation verticale. OB : plantation inclinée. INF et SUP : position inférieure et supérieure dans le sol de la pointe P de la base en ellipse.

pour une plantation oblique, surtout dans l'horizon 15-35 cm. Cette technique d'évaluation de l'enracinement confirme ainsi les résultats du tableau III.

Il existe une polarité très forte sur la bouture pour la localisation des racines dans la zone du cal cicatriciel : les racines sortent régulièrement autour de la base lorsqu'elle est circulaire, alors qu'elles sont en plus grand nombre sur le secteur pointu P si elle est en ellipse. Cette dominance du point le plus inférieur de la bouture de tige montre que l'aptitude plus forte des bases à former des racines, qu'observe FAVRES (1970) chez la vigne, n'est pas homogène chez le manioc. L'explication doit avant tout être recherchée dans les facteurs hormonaux et/ou trophiques qui migrent vers la base lors du déséquilibre physiologique provoqué par la coupe de la bouture : ils se concentrent préférentiellement sur le point le plus distal, et l'orientation de la bouture lors de la plantation ne modifie pas cette répartition.

Les différences observées dans la répartition des racines dans le profil du sol font que les conditions de nutrition du plant dans les toutes premières semaines de croissance ne seront pas les mêmes. En effet, le mode et l'importance de la colonisation du sol par le système racinaire règlent en partie l'absorption hydrique et minérale (CALLOT *et al.*, 1982). Dans le cas du manioc, le regroupement des axes racinaires principaux sur une zone particulière de la périphérie de la base par une coupe oblique, combiné avec un mode de plantation incliné, favorise une localisation préférentielle des racines dans un secteur du sol (tableau III ; figures 5, 6, 7). Il en découle une prospection très hétérogène du sol par le plant, que suggèrent également les profils racinaires obtenus par sondage (tableau IV). Dans les premières semaines qui suivent la plantation de la bouture, les prélèvements d'eau et d'éléments minéraux par les racines basales ne seront pas réalisés aussi efficacement que dans le cas d'une coupe droite combinée avec une plantation

verticale. Cette combinaison assure la distribution la plus homogène du système racinaire basal, qui domine : il représente en moyenne pour toutes les boutures 73 % du système racinaire total.

La combinaison d'une coupe en biseau et d'une plantation inclinée de la bouture peut être exploitée avec profit : les racines qui sont tubérisées se trouvent regroupées dans le même secteur prolongeant la bouture. Cela peut représenter un avantage certain pour l'arrachage des plants à la récolte, dans le cas d'un sol sec et compact, en raison de la moindre résistance à l'extraction offerte par les tubercules. De même, la mécanisation de la récolte d'une parcelle de manioc présentant de grosses pertes à l'arrachage (POUZET, 1983) peut en partie être améliorée par un meilleur regroupement des tubercules dans un secteur déterminé du sol, grâce à un choix adéquat des modes de plantation et de coupe de la base des boutures (figures 5, 6, 7). D'un autre côté, la coupe à 90°, donnant une base circulaire, combinée avec une plantation verticale, peut constituer un avantage lorsque les plants sont sensibles à la verse en raison d'une partie aérienne très développée : l'ancrage du plant est alors assuré de façon plus efficace.

Un autre intérêt de la coupe en biseau combinée avec le mode de plantation oblique peut trouver une application dans l'association culturale du manioc avec une autre espèce, en cas de contraintes hydriques fortes. Il est en effet possible de limiter la concentration des racines de manioc dans un interrang sur deux en enfonçant à l'oblique, dans un sens opposé, les boutures sur deux lignes contiguës ; la plante cultivée en association entre ces deux lignes rencontrera une moindre concurrence racinaire pour l'absorption hydrique et minérale.

Les comptages du nombre de nœuds en contact avec le sol et du nombre de racines selon leur origine sur les plants

Tableau IV. Quantité de racines dans le sol en avant et en arrière des plants de manioc le long de la ligne, pour deux horizons.

	Position avant				Position arrière			
	0-15 cm		15-35 cm		0-15 cm		15-35 cm	
	Q	n	Q	n	Q	n	Q	n
T45-PP	39	2	38	6	10	2	10	4
T45-OB-SUP	20	3	63	5	11	3	12	4
T45-OB-INF	18	2	31	5	1	1	21	4
T90-PD	18	3	15	3	5	4	20	3
T90-OB	16	4	28	5	6	1	8	2
T60-PP	11	1	42	4	15	3	9	4
T60-OB	11	2	14	4	7	1	9	5

Q : quantité de racines exprimée en mg par kg de sol (poids sec) ; moyenne des 6 répétitions (avec 3 prélèvements par répétition).
n : nombre de cas où des racines sont présentes sur les 6 répétitions par position et par horizon.

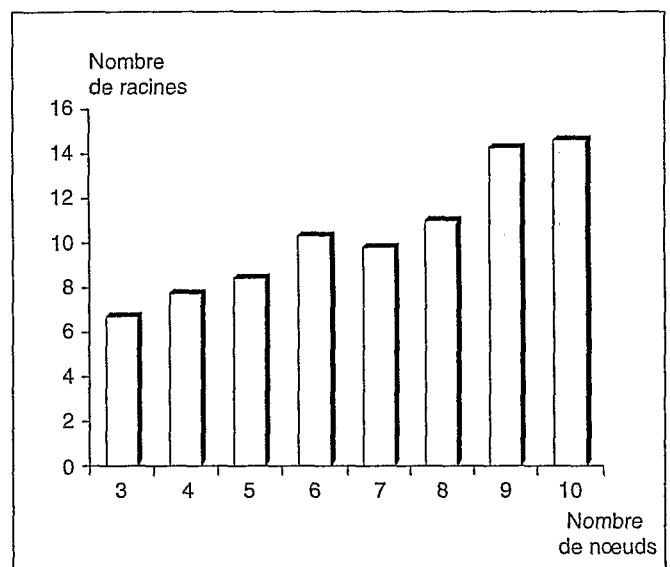


Figure 8. Nombre moyen de racines nodales sur la bouture en fonction du nombre de nœuds en contact avec le sol.

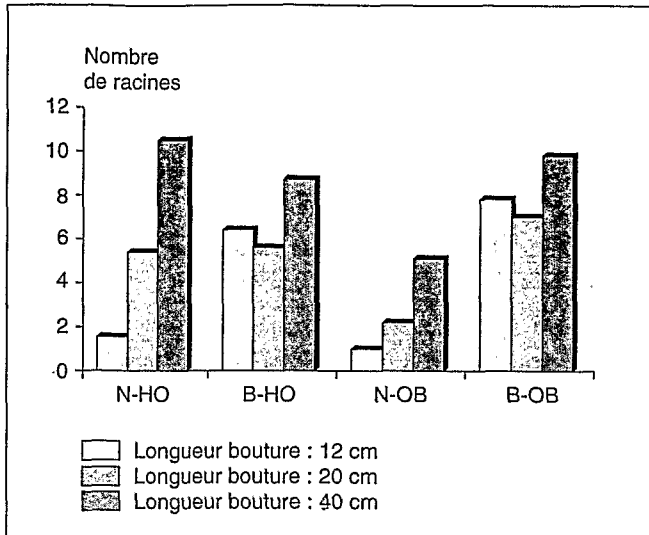


Figure 9. Nombre de racines nodales (N) et basales (B) sur des boutures de longueurs différentes plantées à l'horizontale (HO) et à l'oblique (OB).

issus des boutures pesées individuellement (expérimentation 3) montrent que, tous traitements confondus, le nombre de racines nodales augmente avec le nombre de nœuds en contact avec le sol (figure 8) et que le nombre de racines basales est corrélé positivement avec le poids de la bouture (figure 9). Cet effet positif du poids de la bouture sur le nombre de racines nodales observé pour une même longueur et pour une même origine des tiges mères est à mettre en relation avec la notion de réserve. Il peut être rapproché de l'observation que l'on peut faire sur la figure 4, montrant que les boutures de 40 cm portent un plus grand nombre d'axes racinaires à la base.

Orientation des racines dans le profil de sol

Le tableau V regroupe les angles moyens de pénétration des axes racinaires primaires d'origine basale en début de croissance sur sol meuble et tassé (expérimentation 4). L'évaluation de la densité apparente sèche donne une valeur moyenne de $1,38 \text{ g cm}^{-3}$ pour le sol non travaillé (T0) et de $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ pour le sol travaillé (T1). Si le mode de plantation ne modifie pas cet angle pour les deux variétés, le travail du sol favorise la pénétration en profondeur de la racine primaire dans les premiers stades de sa croissance. Par ailleurs, il existe un effet variétal sur l'angle de pénétration des axes racinaires dans le sol : la variété B25XB50 présente dans les deux types de sol un géotropisme plus élevé que la variété CB.

L'angle moyen de pénétration de la racine de manioc dans le profil en début de croissance reste faible. Les valeurs observées sont peu éloignées de celles que l'on peut estimer à partir des données de ONWUEME (1978) sur la longueur, la profondeur de la base et du sommet des tubercules de

Tableau V. Angle moyen entre la direction générale des axes racinaires principaux d'origine basale et horizontale, pour deux variétés plantées selon les modes horizontal et oblique, sur sol non travaillé (T0) et sur sol travaillé (T1).

Variété	Sol	Plantation horizontale (coefficient de variation)	Plantation oblique (coefficient de variation)
CB	T0	8° (14 %)	5° (19 %)
	T1	22° (21 %)	20° (17 %)
B25XB50	T0	19° (17 %)	17° (20 %)
	T1	38° (18 %)	34° (16 %)

manioc : en moyenne, 21°. Le travail du sol favorise la pénétration en profondeur de la racine basale, alors que les deux modes de plantation de la bouture n'interviennent pas.

Les conséquences d'un non-travail du sol, lequel, dans les conditions de l'expérimentation, induit une localisation des racines dans les couches supérieures du sol, pourront être tout d'abord un retard dans le relais qu'assure le système racinaire, après la bouture, pour l'alimentation hydrique et minérale des jeunes tiges : par exemple, en cas de stress hydrique passager en début de cycle, le fonctionnement de la racine pourra être ralenti, voire stoppé. Par ailleurs, la tubérisation se faisant sur les premières dizaines de centimètres de l'axe racinaire principal, un effet négatif de fortes températures sur l'accumulation des réserves (MENZEL, 1985) est possible, dû à l'échauffement des premiers centimètres du sol qui contiennent ces parties de racines. Les températures maximales enregistrées au niveau du sol nu à Adiopodoumé atteignent en effet des valeurs parfois limitantes. Les relevés à 1 cm de profondeur indiquent 36 à 38 °C en mars et avril, qui sont les périodes de plantation et de début de tubérisation, contre 29 à 31 °C en juillet et août, et 32 à 34 °C contre 29 à 30 °C à 20 cm de profondeur, pour les mêmes périodes.

Cette localisation superficielle des racines, donc des futurs tubercules, peut être préjudiciable pour le niveau du rendement, en raison de l'effet négatif de la température mais aussi des risques d'attaques diverses (rongeurs, champignons, insectes...). Elle sera cependant bénéfique d'un point de vue technique lors de la récolte : la force nécessaire pour l'arrachage du plant sera plus faible, entraînant un gain de temps, et le pourcentage de tubercules restant dans le sol sera plus faible.

Conclusion

De cette étude, il ressort qu'il n'existe pas une façon idéale de couper et d'implanter une bouture de manioc, dans la mesure où, à qualité égale, aux différentes possibilités correspondent des variations importantes du nombre et de la

répartition des racines dans le profil du sol, qui ont des répercussions sur la tubérisation. Ces modifications peuvent être un avantage ou un inconvénient selon le milieu (sol, pluie), et les techniques employées à la récolte régleront pour partie les choix. Les objectifs de production peuvent aussi intervenir dans l'adoption d'une technique plutôt qu'une autre. A niveau de rendement égal, produire de gros tubercules exige que l'on dispose au départ d'un petit nombre de racines primaires sur la bouture : pour une même offre du milieu, cela aura pour effet de limiter la distribution des hydrates de carbone, élaborés par la suite, entre un trop grand nombre de racines, qui sont toutes des sites potentiels de remplissage.

D'autres facteurs doivent cependant être pris en compte : la nature du sol, combinée au régime pluviométrique, peut imposer un mode de plantation. Ainsi, un sol argileux soumis à une forte pluviométrie nécessitera l'emploi d'une plantation horizontale superficielle pour limiter les inconvénients de l'engorgement et des pourritures, alors qu'un sol sableux avec des risques de sécheresse demandera une plantation verticale ou à l'oblique de boutures plus longues. Toutefois, quel que soit le type de sol, la coupe de la base de la bouture pourra être adaptée pour faciliter une récolte manuelle ou mécanique. De plus, certains facteurs internes à la bouture interviennent dans l'enracinement : le stockage pendant quelques semaines des tiges mères entre coupe et bouturage assure un meilleur départ de l'enracinement (RAFFAILLAC et NEDELEC, 1988 a) ; la présence du virus de la mosaïque africaine du manioc limite le développement racinaire du jeune plant (RAFFAILLAC et NEDELEC, 1988 b).

Les variations que l'on enregistre dans l'enracinement du manioc suivant la technique de bouturage et le mode de plantation montrent qu'il importe de prendre en compte les conditions qui ont prévalu lors de la mise en place des parcelles si l'on veut établir valablement des comparaisons entre des informations provenant de différentes origines. Ainsi, dans le cas d'une étude sur le comportement de plusieurs variétés conduite en plusieurs lieux, des différences relevées sur le nombre de tubercules, qui dépend en partie du nombre de racines émises au départ par la bouture, pourraient être faussées en raison de l'emploi de techniques différentes pour le bouturage et le mode de plantation.

Reçu le 22 juillet 1991.
Accepté le 2 octobre 1992.

Références bibliographiques

- CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982. Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. Paris, INRA, 325 p.
- COURS G., 1951. Le manioc à Madagascar. Mémoire de l'Institut scientifique de Madagascar, série B, 3, 2 : 203-400.
- FAVRES J.M., 1970. Influence de facteurs internes sur la cinétique d'enracinement de la vigne cultivée *in vitro*. Rev. Générale Bot., 77 : 519-562.
- INDIRA P., SINHA S.K., 1970. Studies on the initiation and development of tubers in *Manihot esculenta* Crantz. Indian Plant Physiol., 13 : 24-39.
- LEIHNER D.H., 1986 a. Current practices in the production of cassava planting material. In : Global workshop on root and tuber crops propagation : proceedings of a regional workshop held in Cali, Colombia. Cali, CIAT, p. 41-46.
- LEIHNER D.H., 1986 b. Physiological problems in the production of cassava planting material. In : Global workshop on root and tuber crops propagation : proceedings of a regional workshop held in Cali, Colombia. Cali, CIAT, p. 57-72.
- LOWE S.B., MAHON J.D., HUNT L.A., 1982. Early development of cassava (*Manihot esculenta*). Can. J. Bot., 60 : 3040-3048.
- MENZEL C.M., 1985. The control of storage organ formation in potato and other species : a review. Field Crop Abstr., 38 (9) : 527-537 ; 38 (10) : 581-606.
- MIEGE J., 1957. Essais culturaux sur le manioc. J. Agric. Trop. Bot. Appl., 4 (9-10) : 402-441.
- ONWUEME I.C., 1978. Evaluation of the performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) when grown from inverted stem cuttings. J. Agric. Sci., Camb., 90 : 140-156.
- POUZET D., 1983. Recherches d'accompagnement manioc. Programme d'agronomie. Bouaké, IDESSA, 79 p. (Rapport n° 9)
- RAFFAILLAC J.-P., NEDELEC G., 1988 a. Comportement du manioc en début de cycle en fonction de la durée de stockage de la bouture. In : VII^e symposium de la Société internationale pour les plantes à tubercules tropicales, Gosier, Guadeloupe, 1-6 juillet 1985. Paris, INRA, p. 675-685
- RAFFAILLAC J.-P., NEDELEC G., 1988 b. Quelques effets de la mosaïque africaine du manioc sur les premiers stades de croissance du manioc. In : La mosaïque africaine du manioc et son contrôle. Actes du séminaire, Yamoussoukro, Côte-d'Ivoire, 4-8 mai 1987. Paris, ORSTOM-CTA, p. 267-275 (Colloques et séminaires).

Summary

J.-P. RAFFAILLAC – Rooting of cuttings of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) during the first weeks of growth of the plant.

The root system in cassava tuberises. Satisfactory rooting must therefore be ensured so that the storage function is enhanced over and above the role in uptake of water and minerals. The best rooting is achieved with basic cuttings from mother stems. A larger cutting allows growth of a larger number of nodal root axes. The slanting plantation method combined with a bevelled cut at the base results in preferential location of roots in a certain soil area. Soil management enhances the deep running of root axes from the start but the planting method is not involved here. The variations observed during rooting at the start of the cycle and related to the making of cuttings and the planting method are discussed in relation to nutrition and tuberisation.

Key words: cassava, cutting, nodal roots, basal roots, planting method.

Resumen

J.-P. RAFFAILLAC – Enraizamiento del esqueje de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) durante las primeras semanas de crecimiento de la planta.

En la mandioca, la tuberización concierne el sistema radicular. Es necesario por lo tanto garantizar a la planta un enraizamiento capaz de desempeñar óptimamente la función de almacenamiento además de su papel en materia de absorción hídrica y mineral. Un esqueje de base en el tallo matriz garantiza un enraizamiento mejor. Un esqueje más grande permite el desarrollo de mayor número de ejes radiculares de origen nodal. La forma de plantación oblícua combinada con un corte en bisel de la base proporciona una localización preferencial de las raíces en un sector del suelo. El laboreo del suelo favorece desde el principio la orientación en profundidad de los ejes radiculares, pero la forma de plantación no interviene. Las variaciones relacionadas con la constitución de los esquejes y con la forma de plantación, observadas en la disposición del enraizamiento del plantón al principio del ciclo, son objeto de discusión con relación a la nutrición y a la tuberización.

Palabras-clave : mandioca, esqueje, raíces nodales, raíces basales, forma de plantación.