

CAHIERS O.R.S.T.O.M.
Physiologie des Plantes Tropicales Cultivées
Vol. II, N° 2 — 1964

O.R.S.T.O.M.
PARIS
1964

S O M M A I R E

PHYSIOLOGIE DE LA CROISSANCE

GENERALITES	9
1 - LA CROISSANCE DU SYSTEME RADICULAIRE	15
A - Méthodes d'études du système racinaire	15
B - Développement et croissance du système racinaire	17
a) Effets des facteurs externes	20
1. texture du sol	
2. aération du sol	
3. disponibilités en eau	
4. température	
5. compétition	
6. microflore et microfaune	
7. pratiques culturales	
8. blessures	
b) Effets des facteurs internes	28
interaction partie aérienne - racines	
CONCLUSIONS	30

N. B. *La deuxième partie de cette étude paraîtra dans un prochain n° des CAHIERS.*

LA PHYSIOLOGIE DU CAFÉIER

II

LA CROISSANCE

(système racinaire)

par

H. RABECHAULT
O. R. S. T. O. M. (★)

et

H. CAMBRONY
I. F. C. C. (★★)

Dans le numéro précédent de cette revue, nous avons étudié les premiers stades du développement et de la croissance qui, de la germination de la graine, de l'enracinement d'une bouture ou de la reprise d'une greffe, amènent par les effets de la morphogénèse propre à chaque espèce, à la forme adulte de l'arbre. Nous avons vu comment l'homme peut intervenir sur cette morphogénèse pour ralentir certains processus ou en accélérer d'autres, afin d'assurer un meilleur équilibre de la plante et prolonger ainsi sa phase de productivité.

Nous avons tenté de faire le bilan des connaissances actuelles touchant à la physiologie de ces diverses modalités de la croissance et du développement de la phase juvénile.

Nous nous attarderons plus particulièrement dans les numéros suivants de cette revue à l'étude de la physiologie de la croissance et de la floraison du caféier adulte qui caractérise la phase dite de "productivité", phase qui se déroule de la fin de la phase juvénile où le caféier atteint sa maturité de floraison, jusqu'au début de la phase dite de "déclin physiologique" marquée par le délabrement de l'arbre (défoliation accentuée, baisse du rendement etc...) et qui conduit le caféier invariablement à la mort.

Bien que dans la phase de productivité les périodes de croissance, de floraison et de fructification se superposent, il nous semble indispensable, pour plus de clarté, d'aborder l'étude de ces phénomènes dans des chapitres différents.

Enfin, nous ne reviendrons pas ici sur la description et la biologie du caféier et conseillons au lecteur non averti de se reporter pour cela soit au numéro précédent de cette revue (1), soit aux ouvrages généraux énumérés dans la liste ci-après.

★ Chargé de recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
★★ Ingénieur en Chef adjoint au Directeur Général de l'Institut français du Café et du Cacao

(1) Cahiers ORSTOM, physiologie des Plantes tropicales cultivées, vol I, 1 - 1964

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES GÉNÉRAUX SUR LE CAFÉIER

- 1 - ABEELE M. Van den, R. VANDEPUT (1951) - Plantes stimulantes - Publ. Minist. des Colonies, Bruxelles 1951.
- 2 - CHENEY R. H. (1925) - Coffee - A Monograph of the economic species of the Genus Coffea (University Press), New York, 1925.
- 3 - CHEVALIER A. (1929-1947) - Les Caféiers du globe.
Fasc. 1 - Généralités, 196 p., 1929
Fasc. 2 - Iconographie des caféiers sauvages et cultivés, 36 p., 158 pl., 1942.
Fasc. 3 - Systématique des caféiers et faux caféiers, 356 p., 1947.
(P. Le Chevalier Edit.). Paris, 1929 - 1947
- 4 - COSTE R. (1955) - Les caféiers et les cafés dans le monde - Tome I - Les caféiers, Tome II Vol. 1 et 2, Les cafés (Larose Edit.), Paris 1955 - 1960.
- 5 - CRAMER P. J. S. (1957) - A literature review of Coffee Research in Indonesia - Inter-Amer. Inst. Agric. Sci., Public. n° 15, Turrialba (Costa Rica) 1957.
- 6 - DI FULVIO A. (1947) - The world's Coffee - Intern. Inst. of Agric., Bureau FAO in Rome 526 p., 1947.
- 7 - DUBLIN P. (1961) - Quelques données sur la productivité du caféier Excelsa en République Centrafricaine- Café Cacao, Thé, Vol. V, N° 1, pp. 11-27, 1961.
- 8 - GARDNER V. R. (1950) - Estudio sobre la fructificacion irregular de los cafetos - Agr. Trop. Bogota, n° 11, pp. 53-60, Nov. 1950.
- 9 - HAARER A. E. (1956) - Modern coffee production, 467 p., Léonard Hill Ltd, London 1956.
- 10 - JACQUES-FELIX H. et coll. (1954) - Contributions à l'étude du caféier en Côte d'Ivoire - Trav. Centre Rech. Agron. Bingerville. Côte d'Ivoire - l'Agron. Trop., Bull. Scient. n° 5, 495 p., Nogent-sur-Marne, 1954.

- 11 - KRUG C.A. J.E.T. MENDES, A. CARVALHO (1938) - Taxonomia de l'Arabica L., descricao das variedades e formas encontradas no Estado do Sao Paulo -Inst. Agron. do Est. de Sao Paulo, Campinas (Bras.), 57 p., 1938.
- 12 - LEBRUN J. (1941) - Recherches morphologiques et systématiques sur les caféiers du Congo - Publ. INEAC, hors sér., n° 9, 1941.
- 13 - PERROT E. (1944) - Les Matières premières usuelles du Règne végétal, Vol. II, Le Café, pp. 2146-2194 (Masson et Cie Edt.) Paris 1944.
- 14 - MARTINEZ A., C.N. JAMES (1960) - Café : Bibliographia de las publicaciones que se encuentran en la biblioteca del Instituto interamericano de Ciencias Agrícolas - (I. I. C. A.), Turrialba (Costa Rica), 1 vol. 21 x 27, 637 pp., 1960.
- 15 - RABECHAULT H. et H. R. CAMBRONY (1964)-La Physiologie du caféier - De la germination à la morphogénèse - Physiologie des plantes tropicales - Vol. I, 1 - ORSTOM - Bondy - Paris 1964.
- 16 - SACKS B., P.G. SYLVAIN (1959) - Advance in Coffee production and Technology-Coffee and Tea Industry, New York, 1959
- 17 - SIBERT Ed. (1932) - Les Caféiers de la Côte d'Ivoire - I Botanique et culture (Centre d'Etudes Colon. Edit.) Paris 1932.
- 18 - UKERS W.H. (1942) - All about coffee (Sec. Edit. Tea and Coffee Trade Jnl. Co), 796 pp, New York, 1942.
- 19 - WELLMANN F. L. (1961) - Coffee : Botany, cultivation and utilisation - 1 vol. 16 x 25, 488 p. (Leonard. Hill Ltd Edit.) London 1961.
- 20 - WILDEMAN E. de (1941) Etudes sur le genre Coffea L. Classification, caractères morphologiques, biologiques et chimiques, sélection et normalisation - 1 vol., 496 p. Acad. Roy. de Belgique, Palais des Académies, Bruxelles 1941.
- 21 - INDIAN COFFEE BOARD (1951) - A review of the past exp. work on coffee in south India with suggestion for the future - Coffee Res. Stat. Bolehonnur - Indian Coffee Board, Mysore, India, 1951.

PHYSIOLOGIE DE LA CROISSANCE

GÉNÉRALITÉS

Nous avons précédemment rapporté comment le port pyramidal simple des jeunes plants se compliquait plus ou moins avec l'âge pour arriver, à la suite du développement de bourgeons axillaires situés à chaque noeud de la tige principale ou à la suite de la croissance plus ou moins accélérée de telle ou telle partie de la charpente, à un port définitif, caractéristique de l'espèce (buisson, arbuste fastigié, arbuste en palmette ou arbre).

Dans le sol, la structure du système racinaire, comportant au départ une racine principale pivotante et des racines secondaires, se complique également en fonction du milieu.

Lorsque le caféier se développe normalement, disons plutôt à l'état sauvage, il acquiert le port propre à l'espèce. Mais en culture, nous avons vu que grâce à l'écimage, la croissance en hauteur des arbres est limitée pratiquement à 2 m. : la taille, les élagages, contrarient la croissance normale. L'architecture des arbres n'est donc pas en général une architecture naturelle.

La taille laisse à l'arbre une tige principale (unicaulie chez les *Liberico-excelsoïdes*) ou plusieurs (multicaulie chez le *C. canephora* Pierre) ou indifféremment une ou plusieurs tiges selon les climats et les coutumes comme chez le *C. arabica* L.

La croissance des différentes parties de la charpente est donc soumise au choix de l'homme dont l'intérêt est de maintenir l'arbre dans le meilleur état d'équilibre physiologique possible, tout en favorisant la production régulière des rameaux fructifères (branches primaires chez le *C. canephora* Pierre ou branches secondaires chez le *C. arabica* L. par exemple).

A partir de l'apparition des premières fleurs entre les gaines stipulaires de chaque paire de feuilles des rameaux florifères, les périodes génératives se superposent aux périodes d'activité végétative. Les rythmes respectifs de ces périodes sont réglés par les variations des divers facteurs du climat.

Dans la nature, les caféiers qui vivent à l'état sauvage parmi les essences forestières ou en bordure des forêts, selon la nature plus ou moins héliophile des diverses espèces, ne fructifient que très tardivement et avec parcimonie.

Dans les plantations où l'on prend toutes les précautions nécessaires pour maintenir les arbres en parfaite santé par les soins culturaux, les fumures, la taille etc. un arbre arrive à l'état adulte vers l'âge de 6 ans. La fructification maximum s'échelonne sur 8 à 10 ans : ensuite, la production baisse. On peut donc estimer que la période rentable de la phase de productivité d'un caféier est de 15 à 20 ans.

La croissance globale du caféier ou augmentation des dimensions par rapport au temps peut se traduire, comme pour tous les végétaux, par une sigmoïde. Il y a une augmentation lente au départ, puis plus rapide, et enfin un ralentissement très net précédant la mort. Ces diverses allures de la courbe correspondent aux divers stades de la vie du caféier.

La croissance de chaque organe (feuille, fleur, fruit) peut être également représentée par une courbe analogue dans ses grandes lignes à la courbe de croissance globale.

La croissance ou augmentation des dimensions de l'arbre provoque une augmentation du poids global (Tableau I). Le poids sec, tout en présentant lui aussi une augmentation similaire à celle du poids global, est infiniment plus variable au cours de son évolution, car il est largement influencé par le taux d'assimilation et de biosynthèse de la plante (Photosynthèse, nutrition minérale, etc...)

T A B L E A U I

POIDS MOYEN des ORGANES du CAFEIER (*C. arabica* L.) en FONCTION de l'AGE

(Selon RAMOS - 85)

Age	Poids total en g.	Racines %	Tronc %	Rameaux %	Feuilles %
1 an	14,0	20,2	25,1		54,2
2 ans	69,6	20,1	23,6	16,1	28,2
3 -	827,5	24,9	20,1	20,8	33,5
4 -	2.079,0	13,9	27,6	20,6	37,7
6 -	8.114,5	14,2	37,1	20,4	28,4
8 -	14.137,3	14,7	50,6	19,7	15,0
10 -	20.160,0	14,9	56,0	19,4	9,7
15 -	24.775,0	15,9	52,5	24,2	7,4
20 -	29.390,0	16,7	50,0	27,6	5,7
25 -	34.005,0	17,2	48,2	30,0	4,6
30 -	38.620,0	17,6	47,4	31,8	3,2
35 -	43.235,0	17,9	45,8	33,3	3,0
40 -	47.850,0	18,2	45,0	34,4	2,4

Le poids sec des principaux organes varie selon leur stade de développement, c'est le cas en particulier des feuilles, chez lesquelles BOYER (45) a observé plusieurs phases de développement et un fort enrichissement en matière sèche au cours de la phase de croissance (Phase I) tandis que le rapport eau/poids sec était à peu près stable au cours des autres stades.

Le nombre de fleurs, et celui des fruits, augmentent également avec l'âge de l'arbre : il dépend de l'accroissement de la longueur de bois fructifère (POSKIN, voir 15). Les courbes qui traduisent les variations de ces divers phénomènes imitent dans leurs traces la courbe de croissance globale.

Il existe des corrélations positives entre l'accroissement du poids ou du pourcentage de matière sèche et la productivité du caféier. La pratique de la taille peut influencer ces deux facteurs, ainsi qu'il ressort d'une étude minutieuse de POSKIN (voir 15).

Des processus physiologiques qui régissent les phénomènes de la croissance du caféier, nous ne savons que très peu de choses.

Depuis que l'on s'intéresse à la culture du caféier, les investigations concernant la croissance et la floraison ont porté surtout sur les effets des facteurs externes : action des facteurs du climat (lumière, pluie, température, etc.), action de la nutrition minérale, de la nutrition carbonée, etc... sur la croissance et la floraison. Les publications relatives à l'influence du climat (écophysiologie) et des méthodes de culture (agronomie : influence de l'ombrage, influence des plantes de couverture, influence des cultures intercalaires) sont très nombreuses.

Il va sans dire que nous ne pouvons, dans le cadre de cet exposé, citer et analyser toutes les publications relatives à l'influence du climat sur la croissance et la floraison du caféier. L'un des principaux facteurs mis en cause par la majorité des auteurs est le bilan hydrique : c'est vraiment le facteur limitant de la production du caféier dans la majorité des régions de culture : le caféier est très sensible au manque d'eau. On a remarqué que l'apport d'eau au caféier, en région tropicale où les pluies sont pourtant suffisantes, était toujours suivi d'une augmentation de la croissance et de la fructification (SYLVAIN 93).

Cette question du bilan hydrique ou nutrition hydrique est si importante qu'elle justifie à elle seule la rédaction d'une mise au point ; aussi, croyons-nous de notre devoir de n'en signaler que les principaux aspects au risque de paraître incomplet, et de renvoyer à un numéro ultérieur qui pourra être consacré entièrement à cette question.

La même observation s'applique également à l'assimilation carbonée (photosynthèse) et à la nutrition minérale du caféier qui agissent également sur la croissance et la productivité, sujets que nous développerons plus tard.

Habituellement, quand on parle de croissance chez les végétaux cultivés, on entend par là presque toujours celle de la partie aérienne que l'on peut apprécier en suivant la vie, le développement des arbres d'une plantation. Mais il fut constaté très tôt que le problème de l'eau était d'une importance capitale pour le caféier : il fallut donc bien effectuer des recherches sur la croissance et le développement des organes souterrains responsables en grande partie de l'approvisionnement en eau de l'arbre. Aussi, ce sont surtout les auteurs qui ont étudié le bilan hydrique du caféier et l'influence des pluies sur la croissance qui ont, à cette occasion, contribué à une meilleure connaissance de la physiologie de la croissance et du développement du système racinaire.

Nous traiterons successivement de la croissance du système racinaire et de la croissance de la partie aérienne.*

* Les publications énumérées dans la liste placée à la fin de ce chapitre traitent de la physiologie générale du caféier et permettront au lecteur d'avoir une vue d'ensemble sur ce sujet.

BIBLIOGRAPHIE

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE DU CAFÉIER

- 22 - ALVIM P. de T. - Suelo Tico, 7, 29, pp. 58-62, 1953
- 23 - ALVIM P. de T. - Coffee and Tea Ind. (New York), Vol. 81, n° 11, pp. 17-8, 20, 22 et 24-25, 1958
- 24 - ALVIM P. de T. (1959) - Recientes progressos en nuestro conocimiento del arbol del café - I Fisiologia in "Progressos en la técnica de la produccion del café (Costa Rica) - Inst. Interameric. de Ciencias Agric., pp. 11-23, 1959.
- 25 - ALVIM P. de T. - Coffee (Turrialba), Vol. 2, n° 6, pp. 52-62, 1960.
- 26 - ALVIM P. de T. - A. HUERTA, J. VILLAPUERTE - Informe Ann. del. Inst. Interameric. de Ciencias Agric., Turrialba, prospecto n° 208, pp. 22-3, 1953.
- 27 - JACQUES-FELIX H. (1954) - Généralités sur la physiologie, la biologie, la génétique et l'écologie du caféier - in "JACQUES FELIX" (10).
- 28 - MOENS P. (1963) - Les bourgeons végétatifs et génératifs du *C. canephora* Pierre - Etude morphologique et morphogénétique - La Cellule, T. LXIII, Fasc. 2, pp. 165-244, Liège - Louvain 1963.
- 29 - MULLER L. E. - Primera Réunion tecnica Interameric. de Café, Doc. n° 5, 41 pp. Bogota 1960.
- 30 - RABECHAULT H. et H. R. CAMBRONY (1963) - La Physiologie du caféier - De la germination à la morphogénèse - Physiologie des plantes tropicales cultivées, Vol. I, 1 - ORSTOM Paris 1964.
- 31 - RAYNER R. W. (1951) - Annual report of the pathologist and physiologist Coffee Services - Coffee Board Kenya p. 265 - Nov. 1951.
- 32 - SCHWEIZER J. - De Bergcultures n° 35. 1953
- 33 - SYLVAIN P. J. - Fed. Cafetalera Centro americana El Caribo, Oct. 1950.
in "Bol. Inf. Centr. Nac. Inf. Caf. Chinchina, Colombie n° 15, p. 3, 1951

- 34- SYLVAIN P. G. (1960) - Algunos trastornos fisiologicos del café - Turrialba - Inst. Inter-amer. de Ciencias, Costa Rica, 24 pp. , 1960.
- 35- SYLVAIN P. G. - Turrialba, Costa Rica, 4, n 1, pp. 13-22, 1954.
- 36- SYLVAIN P. G. - Kaffee u. Tee Markt (Hambourg) n° 10, pp. 4-7; n° 11, pp. 11-14, pp. 14-15; n° 13, pp. 9-13; n° 14, pp. 10-12, 1955.
- 37- SYLVAIN P. G. - 1959 - Recomendaciones para el desarrollo de otros proyectos : Relaciones de agua - Informe sobre una visita de consulta al Instituto Salvadoreno de Investigaciones del Café con referencia especial a los problemas fisiologicos (n° 35 - E) - Inst. Interameric. Ciencias Agric. Turrialba, pp 19-21. Aout 1959.
- 38- SYLVAIN P. G. (1959) - Report on consultation to the "Instituto Salvadoreno del Café" with special reference to physiological problems - Report to USOM. /El Salvador, 21 p. Déc. 1959.

1^{re} Partie

LA CROISSANCE DU SYSTÈME RADICULAIRE

La physiologie du système racinaire a été moins bien étudiée que celle de la partie aérienne. Ceci est dû sans doute à ce que les racines ne sont souvent pas intéressées à la production végétale ou que leur développement dans les couches profondes du sol n'a pas attiré l'attention aussi souvent que les parties aériennes, développées de façon plus spectaculaire, en pleine lumière.

Les racines ne jouent pas un rôle passif et chaque nouvelle étude nous apporte la démonstration de leur active participation à la vie du végétal tout entier.

Il est maintenant connu par exemple que le seul organe capable de biosynthétiser la nicotine chez le tabac est la racine. Le rôle joué par les racines dans le métabolisme est très important (KURSANOV 65 à 67, PRISTUPA et KURSANOV 84). On sait même que certaines de leurs fonctions sont rythmiques (GUNAR, KRASTINA et PETROV - SPRIDONOV 58).

En ce qui concerne le caféier, la physiologie du système racinaire n'est pratiquement pas connue. Il faut dire que l'étude en est ardue car cette partie de la plante est difficilement accessible. On ne peut suivre le développement "in situ". On a proposé de faire des tranchées au pied des arbres et d'observer la croissance des racines derrière une plaque de verre placée le long de la paroi de cette tranchée ; mais les racines sont blessées par cette opération et leur croissance derrière le verre est contrariée.

C'est dire combien la méthode d'investigation peut influencer sur les conclusions de chaque expérimentateur. Aussi, nous croyons utile avant d'aborder l'étude des principaux résultats obtenus, de faire un bref examen critique des méthodes utilisées par les divers auteurs.

A - Méthodes d'étude du système racinaire

NUTMAN (77) a étudié la répartition des racines de caféiers de 6 à 8 ans dans divers sols du Kenya et du Tanganyka

Les racines furent dégagées à l'aide d'un jet d'eau. Lorsque le terrain était en pente, les racines étaient ainsi facilement mises à nu. Lorsque le terrain était plat, NUTMAN creusait une tranchée de 1,80 m à 5,40 m de long sur 1,20 m de large, et d'une profondeur de 3,60 m. La profondeur variait selon la nature du sol et la répartition des racines en profondeur. La même technique de dégagement des racines était utilisée.

Dans une seconde étude, NUTMAN a modifié légèrement sa première méthode et exploré le sol autour de caféiers de 3 ans dans les trois dimensions de l'espace. Le sol est tout d'abord quadrillé et lavé comme dans la première méthode par blocs élémentaires cubiques de 32 cm d'arête. Les racines de chaque bloc sont repérées, lavées et conservées dans le formol. Le volume total ainsi inspecté avait 1,50 m de profondeur et 1,05 m de large. Les racines, reprises dans un récipient rempli d'eau, étaient disposées ensuite sur un papier quadrillé représentant le volume inspecté. Plusieurs données étaient ainsi recueillies : le poids des racines dans les divers horizons du sol, leur nombre et leur longueur. Le volume de système racinaire ainsi observé représentait 20% du système racinaire global, car les régions proches du tronc n'ont pas fait l'objet d'observations, ni celles dépassant 1,50 m de profondeur, ni celles trop écartées du tronc.

Les autres auteurs ont copié la méthode de NUTMAN. GUISCAFRE-ARRILLAGA (59) à PORTO-RICO a étudié le système racinaire de caféiers de 7 ans et de 21 ans dans divers types de sol. Il a tout d'abord effectué un quadrillage tout autour des arbres de 2,40 m x 2,40 m chaque carré élémentaire ayant 32 cm de côté comme dans la méthode de NUTMAN. Puis il a exploré le sol suivant ce quadrillage en faisant des blocs cubiques élémentaires correspondant au quadrillage de 32 cm d'arête jusqu'à 1,20 m de profondeur. Les racines, séparées par tamisage, ont été pesées fraîches et sèches.

FRANCO et INFORZATO (54, 55) ont légèrement modifié la technique de GUISCAFRE-ARRILLAGA. Ils pratiquaient une tranchée le long de 4 arbres, à 15 cm du tronc, blocs de 30 cm au carré et variant en épaisseur (variable selon la profondeur à laquelle ils sont prélevés, et de façon à inclure la section des racines principales). La première des trois couches de blocs avait 10 cm d'épaisseur, les deux suivantes 20 cm, et les autres couches en nombre variable 30 cm.

Les racines de chaque bloc étaient triées grossièrement puis lavées, séchées à l'air et pesées. Les observations réalisées étaient ensuite portées sur une carte selon la place occupée par chaque bloc. La densité des racines (poids par bloc) était représentée par un point sur la carte pour chaque fraction de poids correspondant à 0,1 g. de racines. La densité des points sur la carte traduisait donc la densité des racines. La profondeur du sol exploré variait selon les 4 types de sols étudiés mais n'excédait pas 2,5 m.

Les auteurs ont établi une formule mathématique permettant d'estimer le poids du système racinaire entier à partir des données obtenues par leur méthode.

A juste titre, FRANCO et INFORZATO (54, 55) ont attaché plus d'attention à la distribution et à la longueur réelle des racines en fonction de leur diamètre, car les plus grosses racines et les plus lourdes sont celles qui jouent le rôle le moins important dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs du sol. Or, si l'on procède par le poids global, on tend à démontrer que les racines proches du tronc et du pivot sont les plus importantes et que de ce fait l'absorption dans cette région doit être la plus active. C'est faux, bien entendu, car ce sont les racines les plus fines, nombreuses dans les couches profondes et dans les couches superficielles à une certaine distance de l'arbre, qui sont les plus actives.

Ils ont donc établi des classes selon la grosseur des racines de chaque bloc, et ont tenu compte surtout de la longueur totale et de la position des racines de chaque classe.

SUAREZ de CASTRO (47, 48, 49) en COLOMBIE, avec des caféiers de 20 ans, a confirmé les vues de FRANCO et INFORZATO, et montré que les grosses racines de 10 mm de diamètre pèsent 400 fois plus qu'un mètre de chevelu de racine de moins de 1 mm de diamètre. Sa méthode tient compte de cette observation et consiste à diviser le système racinaire en

cinq catégories de racines selon leur grosseur. Le repérage est effectué comme dans la méthode de FRANCO et INFORZATO, mais les pesées portent sur chaque catégorie de racine, ce qui donne une meilleure idée de leurs proportions respectives dans toutes les régions du sol.

BERMUDEZ (42) a adopté la méthode de SUAREZ de CASTRO pour l'étude du système racinaire de caféiers dans 5 types de sols, au COSTA-RICA.

HATERT (61) pour le *C. canephora* var. *Robusta* a procédé à YANGAMBI par dégagement des racines à la main et au jet d'eau peu puissant en partant d'une distance assez éloignée du tronc. Les racines étaient dégagées à partir de leurs extrémités jusqu'au collet et posées au fur et à mesure de la progression sur des fils de fer tendus à différents niveaux.

D'autres méthodes ont été appliquées à l'étude du système racinaire. Celles utilisant les éléments marqués traduisent plus fidèlement les facultés d'absorption des racines en fonction des divers facteurs du milieu et de la variété. Une telle méthode a été utilisée récemment avec succès et a permis de confirmer les résultats des précédents auteurs qui tendaient à montrer une diminution graduelle de la quantité de racines au fur et à mesure que l'on s'éloigne du tronc, mais elle a apporté en outre la preuve d'une croissance de la quantité totale de racines actives dans le sens inverse, c'est-à-dire, du tronc vers les parties extérieures du système racinaire (SAIZ DEL RIO, FERNANDEZ et BELLAVITA 87). Il y a lieu semble-t-il d'être prudent dans la mise en oeuvre des radioisotopes et dans l'interprétation des résultats que l'on peut ainsi obtenir par leur intermédiaire. En effet, tout récemment (1962), FERNANDEZ (51) est arrivé à des conclusions tout à fait opposées aux précédentes à l'aide du Rubidium 86. Ayant enfoui dans le sol, à différentes profondeurs et à des distances plus ou moins grandes du tronc de caféiers *C. arabica* L. de 7 ans des quantités également actives de cet élément, la mesure, après une semaine, de la radioactivité d'échantillons de feuilles l'a conduit à conclure que l'absorption dépend de la proportion de racines absorbantes situées dans la zone où le ⁸⁶Ru a été placé, et il trouve aussi qu'il y a un maximum de racines absorbantes à 31 cm du tronc et à 5 cm de profondeur, tandis que l'absorption diminue graduellement à partir de cette zone jusqu'à 1 m. du tronc.

Si l'on ne peut faire appel aux méthodes utilisant des éléments marqués très précises mais difficiles à appliquer dans les contrées éloignées des centres scientifiques, d'autres méthodes comme celle mise au point par ALDRICH, WORK et LEWIS (39) pour les arbres fruitiers, pourraient donner des renseignements intéressants. Cette méthode est basée sur le fait que le sol s'appauvrit d'autant plus rapidement en eau que le pouvoir absorbant du système racinaire est développé. Il suffit donc, quelques jours après les chutes de pluies, de mesurer l'humidité du sol dans les différentes zones occupées par le système racinaire, et l'on peut établir ainsi facilement la carte de distribution des racines absorbantes, ou de l'efficacité du système racinaire dans l'absorption de l'eau.

B - Développement et croissance du système racinaire.

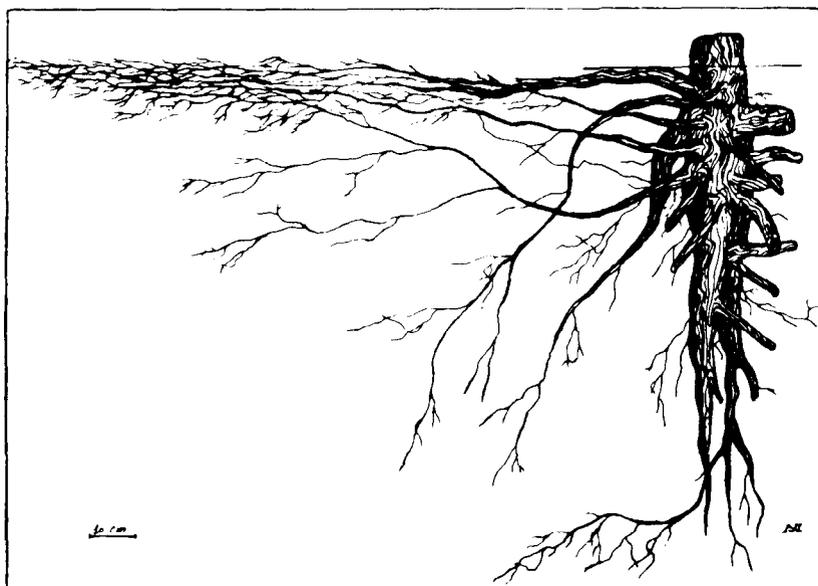
La description de la partie souterraine du caféier a déjà été donnée dans le chapitre des "Généralités". Rappelons cependant qu'elle comprend 3 parties.

Un pivot principal cylindro-conique, presque toujours bi ou multifide, qui prolonge le tronc dans le sol ; des racines secondaires ou latérales prenant naissance sur le pivot et qui s'enfoncent dans le sol en toutes directions, des racines (radicelles) plus fines, constituant ce que les praticiens appellent "le chevelu" et qui jouent un grand rôle dans l'absorption des liquides du sol (eau) et des éléments nutritifs.

Les données que l'on trouve dans la littérature montrent l'infinie variabilité du système racinaire mais aussi sa faculté d'adaptation au milieu (MAC DONALD 70). Ce développement est largement influencé par les facteurs du milieu, mais il est aussi différent selon l'âge et la variété considérée.

HATERT (61) a étudié par exemple l'évolution du système racinaire de *C. canephora* var. *Robusta* à YAMGAMBI (Congo ex Belge) en fonction de l'âge des arbres, du mode de plantation, de la couverture du sol, de l'écartement des plants et de la fumure. A 11 mois, le pivot atteint 78 cm. au maximum (moyenne 46 cm) et porte 5 à 20 racines latérales et 4 à 40 radicules dont 80 % sillonnent les horizons superficiels du sol. A 3 1/2 ans, le pivot mesure 54 à 92 cm (moyenne 80 cm) (Fig. 1, 2, 4) et il est droit mais bifide dans 60 % des cas : les racines latérales (moyenne 12) sont situées surtout entre les 2 et 15 premiers centimètres du sol. Elles explorent une surface de 8 m² environ avec un chevelu uniforme. Avec l'âge (7 ans - 14 ans), le pivot peut s'atrophier ou se nécroser. HATERT a observé chez un arbre de 7 ans une racine particulièrement longue : 6,80 mètres, un record. A 14 ans le pivot intact avait 80, 90, parfois 100 et même 120 cm. (observations sur un millier d'arbres) et les racines latérales 2,5 à 3 m. (parfois 4,20 m.). Ces dernières localisées dans les couches supérieures du sol peuvent être dénudées par l'érosion et blessées par les instruments de culture.

Récemment, BOYER (45) a fait, sur la même espèce, des observations identiques à celles de HATERT. En République de Côte d'Ivoire, le *C. Canephora Pierre* émet un tapis de racines de 20 à 30 cm d'épaisseur, proche de la surface du sol.



NEERMAN Del

Fig. 1 - Semenceau âgé de 3 1/2 ans. (profil) d'après HATERT (61)

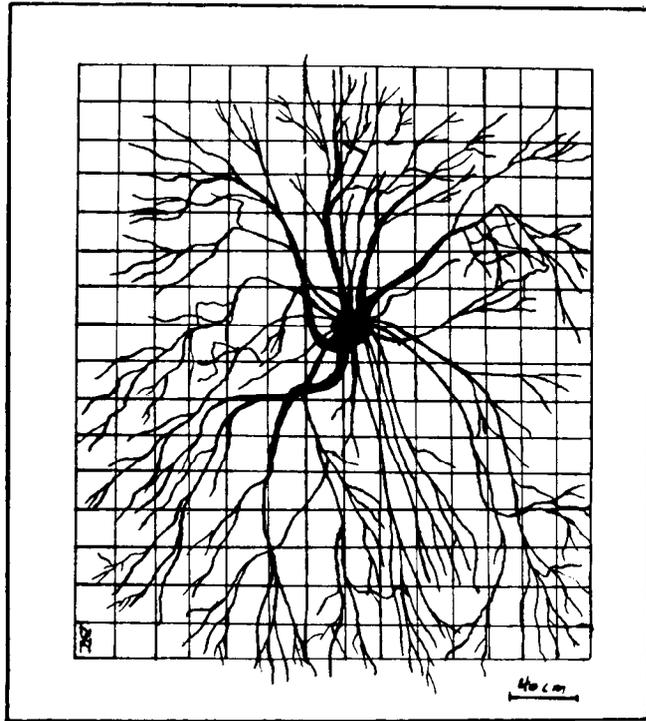


Fig. 2 - Semenceau de 3 1/2 (plan) d'après HATERT (61)

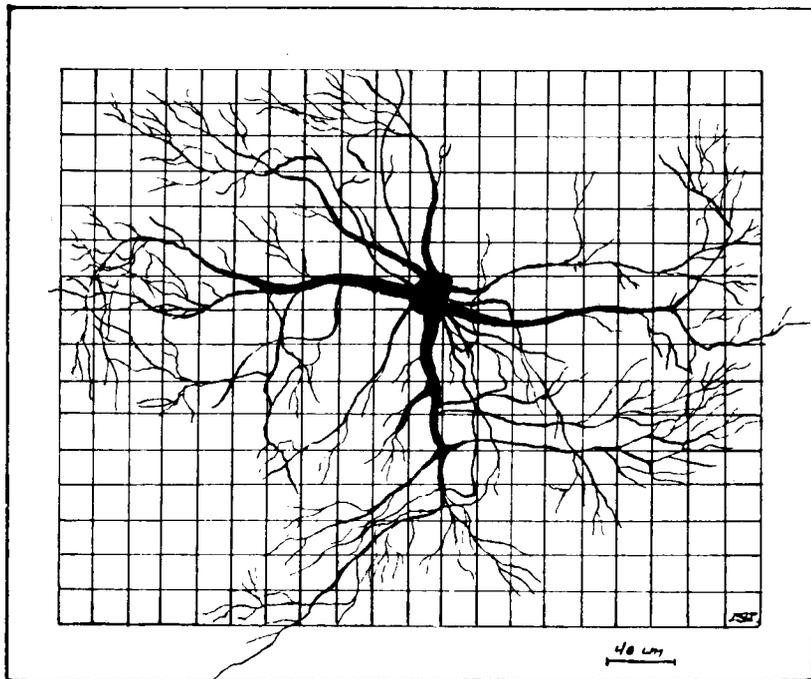


Fig. 3 - Caféier âgé de 14 ans (plan) d'après HATERT (61)

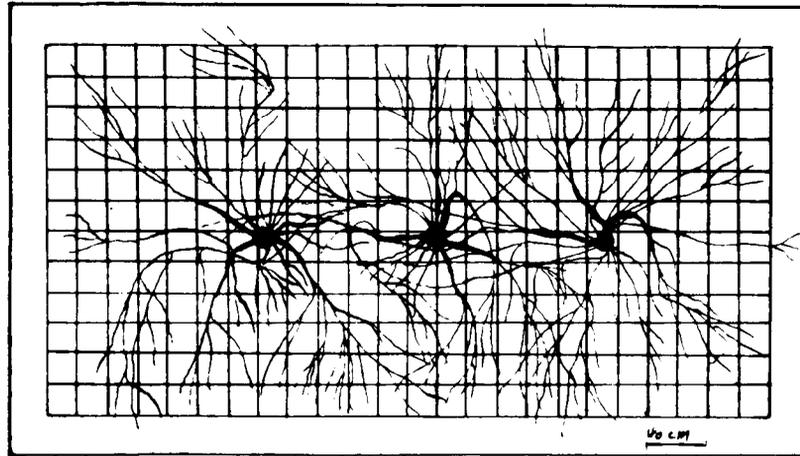


Fig. 4 - Cafés âgés de 3 ans distants d'environ 1,50 m.
(plan) d'après HATERT (61)

Ce tapis peut devenir plus dense avec l'âge de l'arbre et atteindre jusqu'à 80 cm. chez des cafés de 20 ans, dans certains sols. Cet auteur estime que l'importance du système racinaire du caféier varie non seulement avec l'âge de la plante : mais aussi avec la nature physique du sol et notamment la perméabilité, l'aération et le pouvoir de rétention de l'eau.

SYLVAIN (93) distingue deux groupes de facteurs susceptibles d'agir sur la croissance et le développement du système racinaire : les facteurs externes et les facteurs internes.

a) Effets des facteurs externes :

Les facteurs du milieu qui semblent avoir une action sur le développement du système racinaire sont :

- 1°) - La texture et la composition chimique du sol,
- 2°) - L'aération du sol et le drainage,
- 3°) - Les disponibilités en eau,
- 4°) - La température,
- 5°) - La compétition avec le système racinaire des plantes voisines (caféier, plantes d'ombrage, plantes de couverture, mauvaises herbes, etc...),
- 6°) - La microflore et la microfaune du sol,
- 7°) - Certaines pratiques culturales (MULCH),
- 8°) - Les blessures des racines par les façons aratoires ou par la taille.

Il semble bien difficile de dissocier ces facteurs, car leur action est le plus souvent combinée dans la nature. La difficulté de coordonner les divers renseignements vient de ce que le caféier a un système racinaire mal défini.

Cette hétérogénéité de développement est en général calquée sur l'hétérogénéité de la texture du sol et de ses disponibilités en eau et en éléments nutritifs.

VIERA da SILVA (90) a observé dans des sols homogènes à structure granulaire issus de basaltes de SAN THOME, dont le pH était à peu près identique dans tous les horizons, une

grande uniformité du développement du système racinaire. Mais ce phénomène est rare. L'anomalie principale consiste en un développement abondant des radicelles (chevelu) dans les couches supérieures du sol, ainsi qu'il a été décrit ci-dessus (HATERT 61, BOYER 45, THOMAS 94, TRENCH 95, etc. . .).

Aussi, NUTMAN (77) a pensé que le système racinaire normal se rapprochait de ce type de distribution, et se basant sur l'observation de caféiers dont la partie aérienne était normale, il a été amené à décrire ce qui lui semblait être "le système racinaire normal" correspondant. Selon cet auteur, le caféier présente un pivot de 0,30 à 0,40 m. de long prolongé par 4 à 8 grosses racines verticales, longues de 2,40 m à 2,70 m qui se ramifient ensuite en fines radicelles localisées dans les couches supérieures du sol (30 à 60 premiers centimètres). Exceptionnellement, ces radicelles peuvent être rencontrées jusqu'à une profondeur de 3 m. Le volume total occupé par le système racinaire normal du caféier aurait 2,40 m - 3,60 m de diamètre (autour du pivot) et atteindrait 1,80 m à 3,30 m de profondeur.

Ces observations ont été en partie confirmées par HATERT (61) puis par BCYER (45) qui, pour le *C. Canephora Pierre*, donne les longueurs suivantes selon la nature du sol : l :

- 1,20 m - 1,30 m en sols argilo-sableux meubles et profonds.
- 0,80 m - 1,00 m en sols argileux compacts latéritiques et gravillonneux.

Lorsque la roche ou les dalles latéritiques sont proches de la surface du sol, les caféiers ne peuvent développer convenablement leurs racines : ils restent chétifs et souvent meurent.

NUTMAN (77) puis BERMUDEZ (42) ont mis l'accent sur l'importance de la porosité du sol. Une couche durcie, située juste au-dessus de la nappe phréatique (alios) ou dans l'épaisseur du sol (latérite) peut arrêter la pénétration des racines et empêcher leur approvisionnement en eau.

Au TANGANYKA, NUTMAN (loc. cit.) a cependant observé que cette couche n'avait d'effet qu'au cours des périodes de grande sécheresse où elle se durcit et devient pratiquement impénétrable.

Dans les sols meubles, les racines absorbantes doivent se développer en principe aussi bien dans les couches profondes que dans les couches superficielles, ainsi que le remarque VIERA da SILVA (loc. cit.) mais il existe d'autres facteurs limitants qui empêchent cette distribution idéale.

C'est le cas de l'hétérogénéité du pH et de la distribution des éléments nutritifs.

Il a été établi depuis longtemps une relation entre la fertilité du sol et le développement de la plante entière. L'azote en particulier favoriserait non seulement la croissance de la partie aérienne, mais aussi celle des racines (SYLVAIN 93).

La texture et la fertilité du sol auraient plus d'action sur le développement des racines que le géotropisme dans les sols en pente selon SUAREZ de CASTRO (47 à 49).

L'hétérogénéité de la distribution du système racinaire serait ainsi due en partie à une mauvaise répartition de la fertilité du sol. C'est la raison pour laquelle on trouve le plus souvent une abondance de "chevelu" dans les couches supérieures riches en humus et en éléments nutritifs.

Par contre HATERT (61) au Congo (Léopoldville) n'a pas constaté d'augmentation signifi-

cative du nombre des radicelles à la suite de l'apport d'une fumure chez le *C. Canephora* var. *Robusta*. L'enfouissement des engrais et composts en trous ou fosses aveugles n'avait pas l'action que l'on aurait pu espérer car bon nombre des racines étaient sectionnées par l'opération.

Il existe peu d'observations sur les effets des équilibres ioniques du sol sur le développement du système racinaire. En comparant ce développement dans divers sols, NUTMAN (77) a constaté qu'il était optimum lorsque le pH était voisin de la neutralité ou que l'acidité était très faible (5,8-6,0), et, dans le cas où il existe un horizon à pH neutre au-dessus d'un sous-sol très acide, les racines puisent leurs éléments nutritifs seulement dans l'horizon neutre.

Le nombre et le développement des racines seraient inversement proportionnels à la diminution du pH.

La même régression du système racinaire est observée dans les sols rendus alcalins par les irrigations, lorsque le drainage est insuffisant. SUAREZ de CASTRO (47 à 49) et WAKEFIELD (99) ont observé dans ce cas une diminution des radicelles et de l'absorption des nitrates et de la potasse.

Il semble bien que dans ce domaine, il reste encore beaucoup à faire, et que les limites définies par NUTMAN ne soient pas aussi rigoureuses. CAMARGO et coll. (46) ont cultivé des caféiers sur des solutions nutritives à différents pH (7,2 à 4,2). Or, ces auteurs ont déterminé que le maximum de matière sèche était obtenu lorsque le pH était de 4,2 ce qui indique que le caféier peut développer ses racines dans des sols bien plus acides que ne l'indique NUTMAN ou tout au moins que l'absorption est bien plus importante lorsque le pH est faible. Cette opinion est partagée par HAARER (60) qui a constaté que les sols les plus propices à la culture du caféier étaient les sols d'origine volcanique de teinte rouge dont le pH est de 4,5 environ.

Les disponibilités du sol en eau sont liées aux chutes de pluies dans la région considérée, à la proximité de la nappe phréatique, aux possibilités de rétention du sol et à ses caractères structuraux (granulométrie) et physico-chimiques.

L'aération du sol ne peut être séparée des caractéristiques précédentes. Ainsi, dans un sol meuble envahi par l'eau, les racines ne peuvent se développer faute d'aération. La compacité comme l'excès d'eau agissent donc surtout en limitant la masse des gaz (air) du sol.

Pour une aération convenable dans un sol bien drainé, les possibilités de croissance du système racinaire et d'absorption d'eau pour le maintien du bilan hydrique de la plante dépendront donc des disponibilités en eau du sol.

L'approvisionnement en eau du caféier peut s'établir à partir de l'eau disponible du sol, maintenue par rétention ou par capillarité. On sait que la remontée de l'eau par capillarité à partir de la nappe phréatique est assez lente. Lorsque la nappe phréatique est trop proche de la surface du sol, il en va comme pour la proximité de la roche-mère, les racines ne peuvent se développer normalement.

En AFRIQUE Orientale, lorsque la nappe phréatique était à 85 cm de la surface du sol, on ne trouvait pas de racines à moins de 43,5 cm de l'eau, et de radicelles absorbantes à moins de 55 cm (NUTMAN 78).

Près de TURRIALBA, dans un sol bien drainé mais où la nappe phréatique n'était qu'à 50 cm de profondeur, la racine principale des arbres mesurait 40 cm de longueur seulement, tandis que les racines absorbantes étaient observées au niveau de la nappe. (BERMUDEZ 42.)

Très souvent, le système racinaire, le chevelu surtout, n'atteint pas la surface ou les premiers centimètres proches de la surface du sol qui sont soumis à la lumière et aux variations brusques ou saisonnières de l'humidité. La teneur en eau peut y descendre en effet très fréquemment au-dessous du point de fanaison (BOYER 45). Le système racinaire du *C. arabica* L. adapté au climat semi-aride en Israël (GINDEL 57) est profondément modifié. L'insolation intense de la surface du sol empêche le développement superficiel des racines.

La température agit sur le développement du système racinaire : c'est un point sur lequel tous les auteurs sont d'accord. La vitesse de croissance du système racinaire augmente en fonction d'une élévation de la température jusqu'à un optimum de 26° C., ainsi qu'il résulte des observations effectuées par M.G. MES sur des graines germées soumises à des températures de 17, 20, 23, 26, 28, 29, 31 et 32° C.

Nous avons, en ce qui concerne les effets de la température, une étude encore plus détaillée de C.M. FRANCO (53).

Lorsque la température des racines n'était pas contrôlée chez des caféiers *C. arabica* L. cultivés en serre, le meilleur développement était observé lorsque la température de l'atmosphère de la serre était réglée à 26° C pendant le jour, et 23° C pendant la nuit. Au-dessous de ces températures, la croissance était ralentie ; à 13°, elle était pratiquement nulle.

Lorsque FRANCO cultivait de jeunes caféiers dans une serre où étaient réalisées des températures optima, soit 26° pour le jour et 23° la nuit (26-23° C), le refroidissement des racines avait un effet spectaculaire sur le développement de la partie aérienne, et ceci d'autant plus que la température des racines était différente de la température de la partie aérienne. L'accroissement du poids ou de la longueur était très retardé lorsque l'écart température partie aérienne - température racine dépassait 5° C. La croissance cessait pratiquement avec les températures de 13 et 36° C aux racines. Les plantes sont d'ailleurs mortes avec des températures aux racines de 38 - 43 et 48° C. Le meilleur développement était atteint pour une température de racine identique à celle de la partie aérienne soit 26-23° C. (fig. 5)

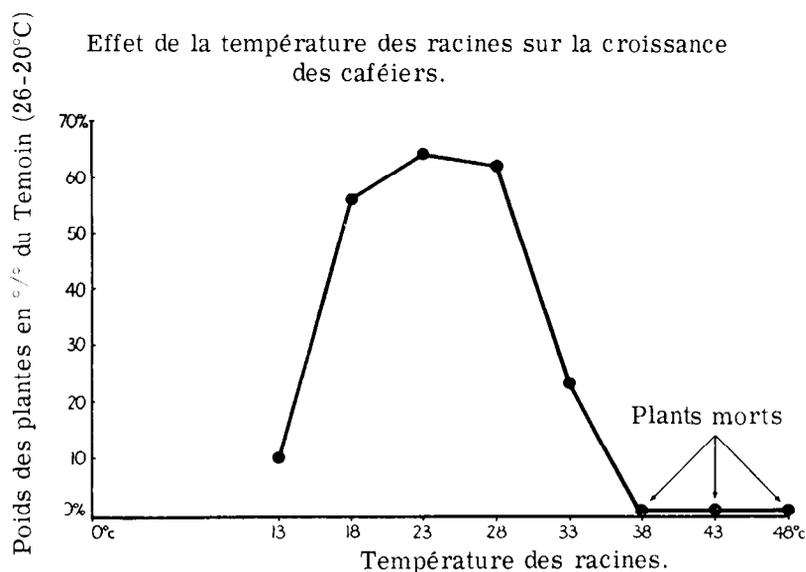


Figure 5 - Caféiers ayant été cultivés à des températures de racines différentes. Les plantes ayant poussé à de plus hautes températures (38°, 43° et 48° C) mouraient avant que l'expérience fût terminée. D'après FRANCO (53).

FRANCO a en outre observé une interaction entre la température du système racinaire et la transpiration du caféier. Lorsque les caféiers étaient cultivés dans une serre à 26-23° C, la transpiration augmentait graduellement pour des températures de racines allant de 13 à 28° C. On observait un optimum à 33° C., puis une baisse au-dessus de cette température. L'abaissement de la température du système racinaire agit donc très fortement sur la transpiration de la partie aérienne, et les basses températures exercent un effet dépressif marqué (taux de transpiration réduit de moitié à 18° C, des deux tiers à 13° par exemple) Fig. 6.

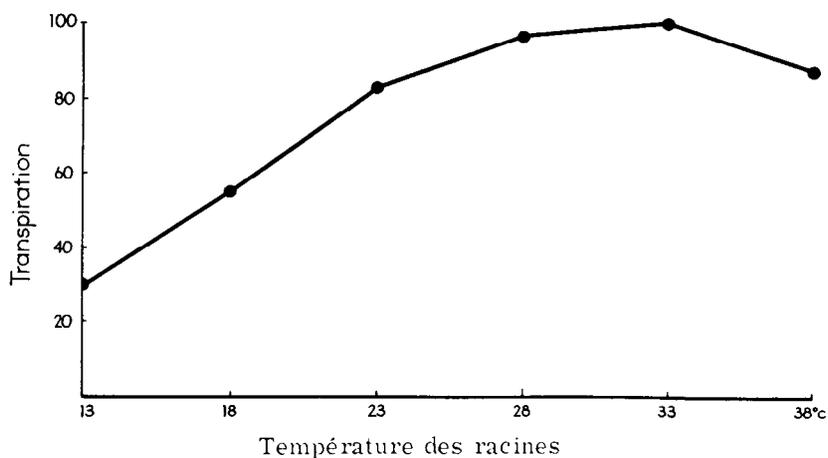


Figure 6 - Transpiration de jeunes caféiers à différentes températures de racines (La transpiration à 33° C est considérée égale à 100). (d'après Franco 53)

Malheureusement, FRANCO n'indique pas les variations de l'état hygrométrique de l'air de la serre et il ne donne de renseignements ni sur l'insolation ni sur le degré d'ouverture des stomates.

Le même auteur a montré enfin que la température pouvait agir sur les facultés d'absorption des éléments minéraux. Ainsi, les températures de racines de 33 et 38° chez des caféiers cultivés dans une serre à 26-23° C. réduisent l'absorption de tous les éléments minéraux (Tableau I.)

L'absorption du potassium était accrue aux basses températures des racines 13 et 18° C, tandis qu'au contraire, l'absorption du calcium et du magnésium était fortement réduite à une température des racines de 13°C. Ces résultats sont déduits de l'analyse des feuilles de jeunes caféiers soumis aux expériences (Tableau II).

TABLEAU II

Composition minérale des feuilles de caféiers ayant poussé à différentes températures de racines (d'après Franco 53).

	N	P	K	Ca	Mg
Control	3.23	.122	2.16	1.20	.44
13°	2.55	.115	3.04	.40	.25
18	3.58	.155	3.12	1.00	.45
23	3.57	.111	2.03	1.30	.47
28	4.08	.085	2.55	1.48	.46
33	2.72	.063	2.28	.96	.33
38	2.39	.079	1.99	.81	.31

Les expériences de FRANCO ont le mérite de mettre en lumière non seulement l'importance de la température sur le développement et les fonctions du système racinaire, mais aussi la possibilité d'une interaction entre les racines et la partie aérienne. Or, jusqu'à présent, l'accent était surtout porté sur la relation inverse partie aérienne racines, ainsi que nous le verrons plus loin. Il serait intéressant de reprendre ces essais de FRANCO dans des conditions de culture diverses et sur un grand nombre de plantes.

Les effets de compétition peuvent limiter le développement des racines : la compétition entre caféiers (espacement) et la compétition entre le caféier, les arbres d'ombrage et les plantes de couverture (THOMAS 94).

On ne possède pas de renseignements sur le mécanisme physiologique des interactions et compétitions. Il y a compétition sans doute sur le plan alimentaire, mais aussi et surtout quant à l'absorption de l'eau disponible du sol. Quant aux interactions d'ordre hormonal, émission de Telergones (BORNER 44; GELLER, TABENKY 56; KIRSHENBLAT 64) dans le sol par les plantes de couverture ou d'ombrage, substances pouvant affecter la croissance du système racinaire du caféier, il y a eu quelques tentatives d'étude, mais elles n'ont eu aucun résultat positif.

HATERT (61) travaillant au Congo (Léopoldville) a rapporté que lorsque les *C. canephora* var. *Robusta* étaient trop proches les uns des autres ils pouvaient se développer sans dommages réciproques mais que cet équilibre risquait d'être rompu vers la 4ème année.

Au Congo (Léopoldville) la couverture du sol, à l'aide de plantes dites de couverture, ne semblait pas influencer selon HATERT (61) la distribution et la densité des racines des *C. canephora* var. *Robusta* adultes. Cependant, certaines espèces peuvent nuire au développement des racines. Tel est le cas du *Stylosanthes gracilis* qui en entremêlant son puissant système racinaire à celui des caféiers, concurrence fortement ce dernier. Les feuilles des caféiers cultivés en présence de cette espèce présentaient fréquemment un jaunissement très net.

Certaines pratiques culturales comme la couverture du sol à l'aide de débris végétaux analogues à ce que nous appelons en France le "paillage" mais qui est plus connu

en caféiculture sous le nom de "mulch", agissent sur le développement et la distribution des racines dans le sol. La couverture du sol (mulch) agit à la fois en maintenant la fertilité et le sol. Le *C. canephora* Pierre en Ouganda a trois fois plus de racines dans les 15 premiers centimètres d'un sol sous "mulch" qu'à la même profondeur dans un sol désherbé (THOMAS 94).

L'enlèvement de la couverture du sol (mulch) dans une plantation n'a pas provoqué de sérieuse atteinte à la récolte effectuée ensuite, ce qui prouve, selon MEDCALF (74), que les caféiers ont pu développer, grâce à cette couverture, un système racinaire profond. Cet auteur indique que ce sont les variations de l'humidité, de la température et de la structure du sol, qui stimulent la croissance des racines dans les couches superficielles du sol.

On peut penser que l'influence de la couverture du sol (mulch) sur la croissance du système racinaire s'exerce alors non seulement en maintenant l'humidité et la fertilité des horizons supérieurs, mais aussi en préservant le sol des variations trop grandes de la température au cours des jours et des nuits. Au Brésil, MEDCALF (74) a constaté en effet, dans un sol nu, une température de 51° C. à 5 cm de profondeur pendant les mois d'été, tandis que dans un sol identique sous couverture, la température maximum ne s'élevait qu'à 31° C. Des observations identiques ont été effectuées dans d'autres régions du globe où l'on pratique la couverture du sol, et notamment en Afrique Orientale.

Lorsque pour les raisons précitées, il se forme un feutrage proche de la surface du sol et qu'ainsi la majorité du système racinaire s'y trouve concentré, les façons aratoires ont pour résultat de blesser et supprimer une forte proportion de racines. Les opinions sont partagées quant aux répercussions que cela peut avoir sur la physiologie du système racinaire.

Les ablations du chevelu ne troublent pas, semble-t-il, le développement du système racinaire et même en provoquent la régénération selon JACQUES-FELIX (10) à condition que la fertilité des zones explorées soit maintenue et que ces ablations soient effectuées en périodes favorables. La section des racines superficielles amènerait un renouvellement, tout en préservant les parties essentielles plus profondes du système racinaire.

Plusieurs auteurs ont mis l'accent sur le rôle du rapport C/N (hydrate de carbone soluble/azote) dans le déclenchement de la floraison ainsi que nous la verrons ultérieurement. Cette question est fort controversée depuis que KLEBS, vers 1918, l'a mise à la mode. Cependant chez le caféier, on a effectivement trouvé une corrélation très nette entre la valeur de ce rapport et la floraison. Or, on a pu impliquer le système racinaire dans les variations que subit le rapport C/N.

En effet, une forte teneur en hydrates de carbone serait due à une biosynthèse active de la part des organes aériens, tandis que l'azote n'augmenterait qu'en fonction de l'activité du système racinaire, organe qui joue un rôle important dans l'absorption des éléments minéraux.

Si l'absorption racinaire est plus active que la fonction chlorophyllienne, le rapport C/N est peu élevé, et le développement végétatif est favorisé.

La section des racines provoque une réduction de la surface d'absorption racinaire et de la nutrition minérale; le rapport C/N est augmenté et devient favorable par conséquent à la floraison. C'est l'une des raisons pour lesquelles certains auteurs comme HOEDT (63) en 1931, ont cru que la floraison pouvait être déclenchée pendant une période de sécheresse lorsque l'absorption racinaire est ralentie.

Il est à peu près certain que la section d'une partie des racines se répercute sur la nutrition minérale, et par cette voie et la voie hormonale, agit sur la physiologie générale du caféier. Malheureusement, nous n'avons pas trouvé dans la littérature, d'expérience permettant de détecter les perturbations apportées dans les processus physiologiques par l'ablation accidentelle ou non des racines. Bien que les répercussions ne soient pas évidentes parfois, cela ne signifie pas qu'elles n'aient pas lieu. En tous cas, on a pu constater des symptômes caractéristiques de carence en azote, à la suite de la section des racines superficielles par les façons aratoires : WAKEFIELD (99) les a attribués à une difficile assimilation des nitrates.

On a de fortes raisons de penser d'ailleurs, que l'ablation des racines provoque des perturbations importantes. N'avons-nous pas signalé précédemment que le développement défectueux de la partie aérienne de certains caféiers était dû à ce que leur racine principale avait été blessée ou tordue (en siphon) au moment de la plantation (15).

FERNIE (52) a pratiqué avec succès une nouvelle méthode qui consiste à tailler de temps en temps les racines des jeunes plants en pépinière en vue de les "habituer" au choc opératoire qui ne manque pas de troubler la physiologie des jeunes caféiers au moment du repiquage en champ.

Les divers points de vue énumérés ci-dessus, bien que parfois contradictoires, sont peut-être tous valables ? Il y a peut-être une époque plus favorable à l'ablation des racines ? Certains ne l'ont pas reconnu comme un accident dans ce cas, mais comme une méthode de régénération du système racinaire qui entraînerait celle de la partie aérienne.

BONDARENKO (53) a obtenu, grâce à la taille répétée des racines, un effet stimulateur sur la croissance. Il a observé que la taille des racines agit sur de nombreux processus vitaux qu'elle stimule (respiration, photosynthèse, etc...). Mais cet auteur a montré qu'en même temps, cette opération troublait la périodicité diurne de ces processus en accroissant la vitesse de consommation des éléments nutritifs du milieu ambiant, et la quantité totale de substances consommées par jour, ainsi que les coefficients de transpiration, de diffusion et d'absorption. L'accroissement de l'accumulation des substances avait pour effet, dans les expériences de BONDARENKO, de rendre plus rapide la formation des tissus près des sections.

On voit tout l'intérêt d'une étude de ce genre chez le caféier.

Le sol est autre chose qu'un support physique ou un réservoir d'éléments nutritifs. C'est également un milieu biologique en équilibre dans lequel se développent de nombreux micro-organismes. La racine qui pénètre dans le sol est ainsi amenée à vivre et à participer à l'équilibre biologique du sol.

De nombreux auteurs ont contribué à faire l'inventaire des parasites du caféier (agents: pathogènes, prédateurs, etc...), mais JACQUES-FELIX (10) est le premier à avoir mis l'accent sur l'incidence de la microflore du sol sur la vie du caféier. Il a tenté de faire le premier bilan des principaux organismes présents soit sur le caféier, soit dans le sol au voisinage des racines du caféier en Côte d'Ivoire. On a de bonne raison de penser que certains parasites comme les *Fusarium* procèdent de cette flore où ils sont représentés souvent sous une forme inoffensive d'attente et que leur parasitisme se manifeste à la suite d'un affaiblissement du caféier ou à la suite de la disparition d'un autre microorganisme antagoniste (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Streptomyces*, etc...) qui les tenaient en respect.

Nous ne voulons pas aborder ici cette question de la physiologie du parasitisme, ce qui nous entraînerait dans des développements trop importants. Signalons d'ailleurs que, à notre connaissance, ce problème n'a encore fait l'objet d'aucune étude sérieuse bien qu'il soit d'une importance capitale pour la phytopathologie du caféier.

Dans la liste des organismes de la microflore et la microfaune d'une caféière qui a été dressée par JACQUES-FELIX et ses collaborateurs (10), on remarque l'extrême diversité des organismes qui forment ce milieu biologique. Certaines phanérogames parasitent les racines du caféier dans le sol, tel est le curieux *Thonningia sanguinea* étudié récemment par MANGENOT (10, 73).

Parmi les espèces de la microflore, toutes ne sont pas nuisibles ou indifférentes, et certaines vivent très certainement en symbiose avec les racines du caféier.

On a trouvé des nodosités fixatrices d'azote sur les feuilles de quelques Rubiacées, mais non sur les feuilles du caféier ni sur ses racines.

Quant aux mycorhizes, aucune étude n'a permis de savoir si les racines du caféier en sont pourvues.

b) Effets des facteurs internes :

Les facteurs internes qui agissent sur le développement et la croissance du système racinaire sont en général de deux ordres : ceux relatifs à une inter-action partie aérienne/racines et ceux qui sont liés aux caractères propres à l'espèce considérée.

Les effets du développement de la partie aérienne sur le développement des racines ont, à plusieurs reprises, été signalés dans le précédent numéro de cette Revue, notamment dans le chapitre consacré au Bouturage et à la rhizogénèse où nous avons examiné l'influence du développement des bourgeons sur la néoformation des racines. La relation, au paragraphe "température", des expériences de FRANCO a soulevé l'hypothèse d'une action du développement des racines sur celui de la partie aérienne; la même observation découle du fait d'un développement défectueux de la partie aérienne chez les plantes qui ont eu des racines déformées au cours de la plantation. L'interdépendance entre le développement de la partie aérienne et celui des racines pourrait être réglée par des phénomènes hormonaux, de sorte que tous les facteurs qui stimulent le développement de la partie aérienne provoqueraient celui du système racinaire.

Ainsi, on a remarqué que l'activité photosynthétique des organes verts a un effet certain sur le développement des racines. GUISCAFRE-ARRILLAGA et GOMEZ (59) ont bien trouvé une relation entre le poids des racines et le poids de la partie aérienne et entre le poids des racines et le diamètre du tronc, mais non entre le poids des racines et la hauteur de l'arbre.

Les poids moyens des racines recueillies sur des caféiers cultivés à TURRIALBA, sous 4 intensités lumineuses différentes, étaient d'autant plus importants que l'intensité lumineuse reçue était plus forte (SYLVAIN 93). De plus, les racines étaient d'autant moins ramifiées que les plantes avaient reçu plus de lumière. Sans ombrage, la racine principale était très importante. Avec l'augmentation de l'ombrage, le nombre des racines latérales augmentait (SYLVAIN 93). Ces résultats ont été confirmés par HUERTA, à la même station.

En COLOMBIE, MACHADO (71) a constaté que le poids des racines de caféiers sous un ombrage était de 40 % supérieur à celui des caféiers du même âge cultivés au soleil.

L'effet du développement de la partie aérienne sur le développement des racines est illustré par les observations de NUTMAN sur le "Die Back" que nous étudierons ultérieurement dans un numéro consacré aux "maladies physiologiques".

Le "Die Back" ou mort descendante est, entre autres symptômes, caractérisé par la mort des bourgeons terminaux, puis des jeunes feuilles et, de proche en proche, de toutes

les feuilles et des rameaux. Cette maladie survient fréquemment après une forte récolte qui a épuisé l'arbre. Or, NUTMAN (77) a constaté que les caféiers atteints de "Die Back" avaient peu de racines absorbantes et des racines peu développées. SYLVAIN (93) suggère que les racines ou les parties des racines les plus éloignées des lieux de biosynthèse des hydrates de carbone sont ainsi appelées à mourir. Y-a-t-il une régression simultanée des racines correspondant à celui de la partie aérienne ?

ZEVALLOS (104) qui a étudié l'effet de l'acide gibberellique sur la croissance du caféier à la HUERTA près de TURRIALBA au COSTA RICA a observé que le pourcentage de matière sèche des racines augmentait dans de fortes proportions chez les caféiers cultivés au soleil ou sous ombrage, traités par pulvérisations sur les feuilles, de solutions d'acide gibberellique aux concentrations de 100 à 300 ppm.

Dans les expériences relatées par cet auteur, on ne peut dégager cependant l'influence propre au développement de la partie aérienne. Il se peut, en effet, que l'accroissement du pourcentage de matière sèche constaté soit dû à l'effet même de l'hormone diffusée dans toute la plante, sur la croissance des racines.

Enfin, on sait à présent avec certitude que les espèces n'ont pas le même système racinaire. Selon THOMAS (94), le *C. canephora* a des racines plus courtes que le *C. arabica* aux différentes profondeurs, lorsque ces deux espèces sont cultivées sur un même sol, sous un même climat, avec des façons culturales identiques.

CONCLUSIONS

La physiologie du système racinaire du caféier demandera encore de nombreuses et sérieuses études avant d'être bien connue. Il n'a certainement pas échappé au lecteur que les travaux dont les résultats sont rapportés ici, tiennent davantage à la morphologie, à l'agronomie et à l'écophysiologie, qu'à la physiologie proprement dite.

Nous avons vu les méthodes utilisées pour l'étude de la distribution des racines dans le sol et avons suggéré d'utiliser, comparativement aux méthodes classiques d'extraction, des méthodes plus récentes, mais avec prudence cependant, surtout en ce qui concerne l'interprétation des résultats obtenus à l'aide de celles qui procèdent par absorption d'éléments marqués.

Dans la majorité des cas, les racines absorbantes, les radicelles sont surtout concentrées dans les horizons supérieurs du sol. Cette hétérogénéité est due surtout à l'hétérogénéité du milieu dans lequel le système racinaire se développe. Ce dernier est doué d'une grande faculté d'adaptation au milieu.

On sait à présent que dans une certaine mesure, la texture du sol, sa porosité (son aération et son drainage), sa fertilité, son pH, son humidité, sa température, ont une action sur la croissance et le développement du système racinaire du caféier.

Le rôle des racines dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs n'a été ici qu'effleuré; ces recherches devraient prendre une place importante dans les études consacrées à la nutrition hydrique et minérale du caféier.

Ainsi que nous le verrons ultérieurement, FRANCO et INFORZATO (54 et 55) ont évalué à 7273 l, la quantité d'eau perdue par transpiration par le caféier en un an. Or, la faculté d'absorption de l'eau par les racines, selon NUTMAN (77 et 78) serait très faible et souvent en retard sur la transpiration par les feuilles. Cet auteur a évalué la vitesse maxima de l'eau dans les racines à 2,5 cm par mètre carré de surface racinaire et par heure. Cette fonction des racines est donc importante, aussi importante d'ailleurs que le rôle joué par les racines dans la résistance du caféier à la sécheresse.

Les études les plus précises ont porté sur l'influence de la température : elles peuvent avoir une grande importance pour les pratiques culturales (influence du mulch sur la température du sol).

Les modalités de la croissance sont pratiquement inconnues, nous n'avons rien trouvé dans la littérature consultée permettant de savoir si cette croissance est continue, ou bien si elle est périodique comme celle des rameaux. Les arbres d'ombrage et les plantes de couverture agissent en compétition en utilisant une partie des réserves disponibles du sol en eau et éléments nutritifs. On n'a aucune donnée concernant l'émission des Phytoncides et des télergomes par ces divers végétaux cultivés en présence du caféier, ni sur les sécrétions du système racinaire du caféier lui-même.

Les racines du caféier vivent dans un milieu biologique : le sol, qui renferme de nombreux microorganismes. Ceux-ci peuvent vivre en symbiose avec les racines du caféier ou inhiber leur développement par un parasitisme local. A ce sujet, JACQUES-FELIX et coll. ont donné une liste de plantes et de microorganismes constituant la macro et la microflore du sol des caféières en Côte d'Ivoire. Leur action sur les racines est très mal connue.

Enfin, on a de fortes raisons de penser qu'il existe une interaction entre le développement et la croissance des parties souterraines et aériennes, mais les processus physiologiques en sont inconnus.

Dans un prochain numéro de cette Revue, nous examinerons la Physiologie de la croissance de la partie aérienne du caféier.

BIBLIOGRAPHIE

- 39 - ALDRICH W.W. , WORK R.A. , LEWIS M.R. . - Jour. of Agric. Res. , Vol. 50, n° 12, pp. 975-88, 1935.
- 40 - BARROS E.S. . - Rev. Inst. de Café Estad. Sao Paulo, Brasil, ano 12, 22, 123, pp. 901-9, 1937.
- 41 - BECKLEY V.A. . - Emp. journ. Exp. Agric. , 3, pp. 203-209, 1935.
- 42 - BERMUDEZ, ESPINOSA (S.) 1954. - Distribution del sistema radicular del *Coffea arabica* var. *typica* en Cinco tipos de suelo. Photocopie thèse non publiée IICA, Turrialba, 60 p. , 20 x 24, 1954.
- 43 - BONDARENKO N.I. . - Vestnik Sel'skokhog. Nauk. , 10, pp. 42-4, 1962.
- 44 - BORNER H. . - Bot. rev. U.S.A. , 26, n 3, pp. 393-424, 1960.
- 45 - BOYER J. , 1960. - Recherches écophysiologicalues sur les caféiers *Canephora* en Côte d'Ivoire. Inst. Fr. Café Cacao. Rapport ronéotypé. 62 p. + 20 tabl. , Paris 1960.
- 46 - CAMARGO T.A. , BOLLIGER R. , MELLO P.C. . - Bol. téc. do Inst. Agron. , Campinas, 3, pp. 1-5, 1935 et C.R. Acad. Sci. , Paris, T. 188, p. 87-8, 1935.
- 47 - CASTRO, F. SUAREZ de . - Bol. Inform. Nac. Invest. de Café. Chinchina (Colombia) n°8, pp. 34-8, 1950.
- 48 - CASTRO, F. SUAREZ de - Agricultura tropical, Bogota, 7, n°3, pp. 41-7, 1951: 4, pp. 45-9, 1951.
- 49 - CASTRO, F. SUAREZ de - Bol. tecn. 1, Federacion Nac. de Cafeteros de Colombia, Chinchina (Colombia) 1, 12, pp. 1-28, 1953.
- 50 - DIAZ, R. SALCEDO - El café de Nicaragua (Managua) 11, n° 136-7, pp. 47-9, 1956.
- 51 - FERNANDEZ C.A. . - Extrait de "Revista Cafetalera Guatemala Juin 1962". Rev. "Café, Cacao, Thé", Vol. VI, n 4, pp. 313, 1962.
- 52 - FERNIE L.M. . - Kenya coffee, Nairobi, Vol. XXVI, n°310, pp. 379-83, 1961.
- 53 - FRANCO C.M. . 1958. - Influence of temperature on growth of coffee plant. I. B. E. C. Research Inst. , Bull. n°16, 21 p. , 1958.
- 54 - FRANCO C.M. , INFORZATO R. . - Bragantia, VI,n°9, pp. 443-78, 1946.
- 55 - FRANCO C.M. , INFORZATO R. . - Bol. Super. dos Serv. do Café, Sao Paulo, Bras. , 22, 295, pp. 480-97, Sept. 1947.

- 56 - GELLER I. A. , TABENCKY D. T. . - Dokl. Akad. Nauk. S. S. S. R. , 115, n°2, pp. 389-91, 1957.
- 57 - GINDEL I. . - *Qualitas Plantarium et Material vegetabilis* (Den Haag), Vol. VIII, n°3-4, pp. 329-62, Nov. 1961.
- 58 - GUNAR I. I. , KRASTINA E. E. , PRETROV-SPIRIDONOV A. E. . - *Izvest. Timiriaz. selskokh. Akad. S. S. S. R.* , n°4, pp. 181-206, 1957.
- 59 - GUISCAFRE-ARILLAGA J. , GOMEZ L. A. . - *Journ. Agric. Univ. Puerto Rico*, 22, 2, pp. 227-62, 1938 et 24, 3, pp. 109-117, 1940 et 26, 2, pp. 34-9, 1942.
- 60 - HAARER A. E. . - *A Fazenda, New-York*, 52° année, n° 12, pp. 30-2, 1957.
- 61 - HATERT J. . - *Bull. Agric. Congo Belge*, Vol. XLIX, n°2, pp. 461-82, 1958 et *Bull. Comptoir vente Cafés Congo (Léopoldville)*, n° 140, pp. 19-24, 1958.
- 62 - HENDRICKS F. L. (1935-36). - Liste annotée des organismes végétaux signalés sur le genre *Coffea*. Maladies physiologiques d'origine mal connue. *Ann. de Gembloux, Belg.* , 1935-36.
- 63 - HOEDT T. G. E. . - *Bergcultures*, V, 50, p. 1406-18, 1931.
- 64 - KIRSHENBLAT J. A. D. . - *Usp. Sovrem. Biol. S. S. S. R.* , 46, n°3 (6) pp. 322-36, 1958.
- 65 - KURSANOV A. L. . - The root system as an organ of metabolism in "Intern. Conf. Radio-isotopes in Sci. Res.", 24, 5 x 15, 5, fasc. 128, 12 p. (UNESCO) Paris 1957.
- 66 - KURSANOV A. L. . - *Izvest. Akad. Nauk. , S. S. S. R.* , ser. Biol. n°6, pp. 689-705, 1957.
- 67 - KURSANOV A. L. . - *Curr. Sci., India*, 27, n°3, pp. 87-8, 1958.
- 68 - LOUE A. 1953. - Etude biochimique de la croissance du caféier, 1ère partie - Etude du développement physique des plants. *Bull. trim. du C. R. A. Bingerville, Côte d'Ivoire*, n°6, 1953.
- 69 - MAAS O. . - *Bol. superint. dos serv. do café (Brasil)*, 29, 325, pp. 62-5, 1954.
- 70 - MAC DONALD J. H. 1937. - *Coffee in Kenya*, Depart. Agric. Kenya, pp. 72-9, Nairobi 1937.
- 71 - MACHADO A. S. . - *Supl. Agron., Colombia*, n° 3, pp. 5-32, 1946.
- 72 - MACHADO S. - *Cenicafé*, vol. 8, n° 9, p. 277-85, Sept. 1957.
- 73 - MANGENOT G. . - *Rev. Gen. de Bot., Fr.* , T. 54, pp. 326-335, 1947.
- 74 - MEDCALF J. C. 1956. - Preliminary study on mulching young in Brasil - I. B. E. C. Research Inst., *Bull.* n° 12, 1956.
- 75 - MEES G. C. , WEATHERLEY P. E. . - *Proc. roy. Soc., ser. B., G. B.* , 147, n° 316, pp. 367-80, 1957.

- 76 - MEES G. C. , WEATHERLEY P. E. . - Proc. roy. Soc., ser. B, G. B., 147, n° 316, pp. 381-91, 1957.
- 77 - NUTMAN F. J. . - Emp. journ. Exp. Agric., 1, 3, pp. 271-84, 1933; 1, 4, pp. 285-96, 1933; 2, 8, pp. 293-302, 1934.
- 78 - NUTMAN F. J. . - Agric. et Elev. au Congo Belge, pp. 40-3, 1934 (Extrait de 77).
- 79 - PIETTRE M. 1953. - Production industrielle du Café; terres vierges et sols fatigués. A la recherche de l'humus. Elevage, 1 vol., 341 p., Paris 1925.
- 80 - PORTERES R. . - Ann. Agr. Afrique Occident., n° 1, pp. 12-30, 1938.
- 81 - PORTERES R. . - Agron. trop., Fr., 3, 7/8, pp. 385-410, 1948.
- 82 - POSKIN J. H. . - VII° Congrès Intern. Agr. Trop., Tripoli 1939.
- 83 - POSKIN J. H. 1942. - La taille du caféier Robusta.. Publ. INEAC, série techn., n° 31, 59 p., 1942.
- 84 - PRISTUPA N. A. , KURSANOV A. L. . - Fisiol. rasten., S. S. S. R., 4, n° 5, pp. 417-24, 1957.
- 85 - RAMOS A. 1923. - O café no Brasil e no estrangeiro, p. 44, 1923 (Cf. R. COSTE 4).
- 86 - REYDON G. A. . - Bergcultures. I, 13, pp. 350-1, 1926.
- 87 - RIO, SAIZ DEL J. F. , FERNANDEZ C. E. . BEL LAVITA O. 1960. - Spatial distribution of absorbing roots in coffee. The application of nuclear energy to agriculture. Contract A T (30-1) 2043 - Ann. Report. Inst. Inter-Americ. de Ciencias Agricolas. Turrialba (Costa Rica). pp. 16-9, 1er Mars 1960.
- 88 - SAIZ DEL RIO. - (Voir RIO, J. F. SAIZ DEL).
- 89 - SALCEDO DIAZ. - (Voir DIAZ, R. SALCEDO).
- 90 - SILVA. VIERA DA J. B. - Rev. do café Portugues. Lisbonne, vol. VIII, n°30, pp. 61-82, 1961.
- 91 - SILVA. VIERA DA J. B. . - Garcia Orta. Rev. da junta de Investigacoes do Ultramar, Portug., Vol. 8, n° 3, pp. 703-35, 1960.
- 92 - SUAREZ DE CASTRO. - (Voir CASTRO F. SUAREZ de).
- 93 - SYLVAIN P. G. . - Turrialba. Inst. Interamer. de Ciencias Agricolas, Costa Rica. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao, n° 11, 46 p., 1959.
- 94 - THOMAS A. S. . - Emp. j. exp. agric., 12 (48), pp. 191-206, 1944.
- 95 - TRENCH A. D. . - Kenya Dept. Agric., Bull. n° 2, pp. 1-10, 1934.
- 96 - VAZ J. T. . - Rev. do Café Português. Vol. VIII, n° 29, pp. 101-116, 1961.
- 97 - VEEN, VAN DER R. . - Bergcultures 12, 9, pp. 256-60, 1938.

- 98 - VIERA DA SILVA. - (Voir SILVA, J. B. VIERA DA).
- 99 - WAKEFIELD A. J. . 1953. - Arabica Coffee, periods of growth and seasonal measures, Dept. of Agric. Tanganyika Territ. Pamphlet n° 9, 16 pp. , 1933.
- 100 - WEAVER J. S. 1929. - Root development (Mc Graw Hill Book Co). New-York 1929.
- 101 - WENT F. W. . - Ann. Rev. of Plant Physiol. , 4, pp. 347-62, 1963.
- 102 - WENT F. W. 1957. - Response of trees and shrubs. Coffee in "Experimental Control of plant growth" (Waltham, Mass. Edit.). Chronica Botanica, 17, pp. 164-8, 1957.
- 103 - WORMER T.M. 1959. - Water relations. Ann. Rep. of Plant physiologist. Coffee serv. 1959. Depart. of Agric. Kenya, Ann. Rep. Vol. II, p. 72, 1959.
- 104 - ZEVALLOS R. F. 1939. - Efecto de aspersiones con el acido giberelico y azucar en el desarrollo de plantas de Café Coffea arabica L.-Inst. Interamec. Cienc. Agric., 104 p. , Nov. 1939.