

11

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES RELATIONS HÔTE-PARASITE ENTRE LA ROUILLE FARINEUSE (*HEMILEIA COFFEICOLA*) ET LE CAFÉIER (*COFFEA CANEPHORA* VAR. *ROBUSTA*) AU CAMEROUN

F. MASSAUX, C. MISSE, C. TCHIENDJI, M. LACROIX

Laboratoire d'applications des radio-isotopes à l'agriculture, ENSA
Université de Yaoundé

M. TARJOT

Maître de recherches de l'ORSTOM
Phytopathologiste IFCC
IRAF, ONAREST, Yaoundé

Hemileia coffeicola Maublanc et Roger, agent de la « rouille farineuse » du caféier, est encore peu connu en dehors de son aire géographique limitée. Décrit pour la première fois au Cameroun en 1932, il gagna progressivement les pays voisins et n'était connu, jusqu'à sa récente découverte en Côte d'Ivoire en 1976 et au Togo en 1977, qu'en Afrique centrale (Empire Centrafricain, Gabon, Zaïre, Angola, São Tomé, Ouganda, Nigeria Oriental, Fernando Po).

La discrétion de ses symptômes — présence des fructifications sur des tissus d'apparence saine, absence de nécrose, décoloration discrète dans les stades avancés — et la difficulté d'apprécier avec précision la gravité de ses attaques du fait de l'interférence de phénomènes divers dans le processus de foliation-défoliation (chutes par sénescence, poussées foliaires fortement influencées par la nutrition minérale, influence de l'importance des récoltes, etc.) conduisent souvent à une sous-estimation des effets de ce parasite sur la plante.

Ayant observé que les conséquences des attaques pouvaient être, à la limite, l'absence de floraison, il nous apparut qu'une étude approfondie devait être faite pour définir avec précision la nature de l'action pathogène exercée par ce champignon sur le caféier, et en mesurer le poids réel sur la production en place et à venir, l'effet direct de l'infection n'étant pas, d'évidence, l'abscission foliaire, mais bien plutôt une réduction de l'activité physiologique des feuilles malades longtemps avant la chute.

Cette étude de physiopathologie, énoncée dans son principe dès 1972 par l'IFCC, a été abordée dans le cadre des programmes de l'Office national de la recherche scientifique et technique du Cameroun (ONAREST) en collaboration avec l'École nationale supérieure d'agronomie de Yaoundé, qui dispose d'un laboratoire de radio-isotopes. L'article ci-dessous en est la première relation. Il est éminemment souhaitable qu'elle soit poursuivie afin d'approfondir la nécessaire connaissance de cette rouille qui doit être considérée comme un grave danger pour la caféiculture mondiale.

R. A. MULLER,
Chef de la Division de phytopathologie
de l'IFCC

INTRODUCTION

La connaissance des relations hôte-parasite constitue un des volets importants de l'étude des maladies des plantes cultivées. Elle permet, outre une meilleure compréhension des phénomènes complexes se produisant aux différents stades de l'infection, d'avoir des données plus précises sur les processus qui conditionnent la résistance aux

parasites. Il est évident que l'obtention et la diffusion de variétés résistantes est d'une importance considérable dans le développement d'une culture, particulièrement en Afrique, où les paysans ne disposent pas de ressources élevées et ne peuvent que difficilement mettre en œuvre des traitements chimiques onéreux.

- 8 DEC. 1983

Café Cacao Thé, vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 4111
Cote : B

30 JUN 1979

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence
n° 9274 P. 2. A.

HISTORIQUE

L'utilisation des radio-isotopes en phytopathologie a connu un essor particulier depuis une quinzaine d'années. Le champ d'action de cette technique est très varié. Dans le domaine des relations hôte-parasite qui nous intéresse plus particulièrement, de nombreuses maladies ont été étudiées ; cependant les recherches ont porté principalement sur les rouilles.

Un certain nombre d'éléments marqués ont été utilisés, en particulier le phosphore 32 et le carbone 14.

Les recherches effectuées avec le phosphore 32 ont permis de montrer une accumulation de cet élément dans les feuilles parasitées (11, 13, 21, 22, 31). De même, il a été possible d'étudier le métabolisme du phosphore, l'activité de différents enzymes dans la phosphorylation et de constater un potentiel synthétique plus élevé dans les tissus de la plante atteinte par un parasite (8, 18, 28, 34, 45) que dans ceux d'une plante saine.

En outre, on a pu constater une accumulation d'amidon près des sites d'infection, ce qui traduit également une augmentation de l'activité métabolique (11, 12, 28, 44).

Les travaux entrepris avec le carbone 14 ont essentiellement porté sur la photosynthèse et sur la fixation du carbone dans les produits du métabolisme en fonction de l'infection.

En ce qui concerne la photosynthèse, celle-ci est réduite dans les feuilles parasitées. On constate

des variations dans la teneur en chlorophylles et dans la structure des chloroplastes (16, 29). A l'obscurité, on observe une fixation notable du ^{14}C dans les produits du métabolisme ; il y a une rétention du ^{14}C dans les feuilles atteintes, alors qu'il y a maintien de la migration chez les organes sains. Cette concentration se traduit par une élévation de la radio-activité dans les zones parasitées (5, 7, 11, 26, 27, 30, 51).

La respiration augmente considérablement dans les feuilles malades (36, 44, 51).

Différents travaux ont également été réalisés sur les variations pouvant survenir dans l'activité de certains enzymes (28, 35) et sur la biosynthèse de divers composants de la cellule (6, 19).

D'autres éléments radio-actifs ont également été utilisés dans l'étude des relations hôte-parasite.

Citons en particulier :

— le calcium 45 : on constate une augmentation de la teneur en Ca des tissus parasités, due à une accumulation dans les membranes cellulaires (15) ;

— l'iode 131 : là encore, on a une accumulation d'iode autour des lésions, mais bien moins importante que celle observée avec le ^{32}P (21, 22) ;

— le soufre 35 : on a une forte concentration aux points d'infection ; l'accumulation se poursuit au fur et à mesure du développement de la lésion chez les plantes sensibles, alors qu'elle n'a pas lieu chez les plantes résistantes (14, 20, 31, 33).

LA CULTURE DU CAFÉIER AU CAMEROUN SES MALADIES PRINCIPALES

La caféiculture au Cameroun

Deux espèces principales de caféiers sont cultivées dans le monde : le *Coffea arabica* et le *Coffea canephora* var. *robusta*.

De par la diversité de son climat et de son relief, le Cameroun permet la culture de ces deux espèces.

Dans l'ouest du pays, région montagneuse, est cultivé le *Coffea arabica*, que nous appellerons plus simplement l'Arabica.

Les principales maladies rencontrées chez cette espèce sont :

— l'anthracnose des baies due au *Colletotrichum coffeanum*,

— les rouilles :

rouille orangée due à l'*Hemileia vastatrix*,
rouille farineuse due à l'*Hemileia coffeicola*.

Le *Coffea canephora* var. *robusta*, que nous appellerons simplement Robusta, est cultivé principalement dans la région Ouest Sud-Ouest à une altitude inférieure à 1.000 m. 90 % des plantations y sont situées. Le reste est réparti entre les régions Est et Centre-Sud.

Nous nous sommes intéressés spécialement aux rouilles. Les rouilles susceptibles d'attaquer le caféier sont au nombre de deux : rouille orangée et rouille farineuse. Ces deux rouilles sont présentes au Cameroun.

La rouille orangée

Celle-ci a été signalée pour la première fois au Cameroun vers les années 1930-1935, dans la région de culture de l'Arabica. L'agent responsable est l'*Hemileia vastatrix*.

Sur Arabica

Le parasite peut causer des dégâts importants, principalement dans les zones de culture où l'altitude est la plus faible.

Ainsi, au cours d'enquêtes réalisées dans la région du Bamoun (1.100 m environ), nous avons pu noter, sur la variété Java qui y est surtout cultivée, une attaque échelonnée d'avril à décembre, avec un maximum situé en octobre.

L'*Hemileia vastatrix* est une rouille défoliante. Les feuilles atteintes chutent, l'arbre doit donc reconstituer son feuillage continuellement, ce qui provoque bien entendu son affaiblissement.

Sur Robusta

La rouille orangée ne cause que peu de dégâts.

Seuls quelques clones sont attaqués et ceux-ci sont à éliminer au cours des travaux de sélection.

La rouille farineuse

Mise en évidence pour la première fois dans la région de Dschang en 1932, cette rouille s'est étendue progressivement à toute l'Afrique centrale.

Le parasite responsable est l'*Hemileia coffeicola*. Les symptômes sont très différents de ceux provoqués par la rouille orangée. La face inférieure des feuilles parasitées se couvre d'une poussière pulvérulente orangée, mais sans qu'il y ait de taches délimitées.

Cette rouille se rencontre sur Arabica, où elle est souvent présente, conjointement avec l'*Hemileia vastatrix*.

Elle est également présente sur caféiers Robusta, qui sont fréquemment attaqués. L'altitude ne semble pas jouer de rôle déterminant dans les attaques.

OBJET DES RECHERCHES. ÉVALUATION DES ATTAQUES D'*HEMILEIA COFFEICOLA*

Contrairement à la rouille orangée, la rouille farineuse est peu défoliante. Des observations réalisées sur Arabica dans la région de Foubot ont montré qu'elle intervenait peu ou pas dans la chute des feuilles. Il en est de même sur Robusta. Cependant, les feuilles atteintes jaunissent progressivement et il est bien évident que de telles feuilles doivent être moins fonctionnelles.

Cependant cette rouille est intéressante, car elle pose le problème de savoir de quelle manière elle peut affaiblir l'arbre. De plus, son aspect diffus, sans lésion bien définie, lui confère un caractère original.

Nous avons donc entrepris son étude en axant nos recherches sur les relations hôte-parasite et en utilisant quand cela a été possible des éléments radio-actifs, qui permettent une approche plus facile du problème.

Le Laboratoire des radio-isotopes de l'Ecole nationale supérieure agronomique étant situé dans la zone de culture du Robusta (région Centre-Sud), nous avons choisi dans un premier stade de travailler sur cette espèce végétale. Elle présente en outre

l'avantage, du fait de sa faible sensibilité à l'*Hemileia vastatrix*, d'éviter les interférences entre les deux rouilles, qui risqueraient de fausser les résultats.

De façon à évaluer le degré d'attaque de la rouille farineuse sur un clone déterminé de Robusta, des observations ont été effectuées tout au long de la période favorable à la maladie (de mai à décembre).

Sur les arbres étudiés, un certain nombre de rameaux a été choisi ; chaque mois, on a comptabilisé le nombre de feuilles saines et le nombre de feuilles parasitées.

L'importance de l'attaque de rouille farineuse est définie par le pourcentage moyen d'attaque pendant la durée des observations (PMA). Ce PMA est calculé de la manière suivante :

si on appelle d'une part :

P_1 : le % de feuilles atteintes lors du 1^{er} mois d'observation,

P_2 : le % de feuilles atteintes lors du 2^e mois d'observation,

P_3 : le % de feuilles atteintes lors du 3^e mois d'observation,

TABLEAU I
Pourcentage
moyen d'attaque (PMA) de clones Robusta
pour les années 1975 et 1976

Clone	PMA		
	1975	1976	Moyenne 1975/76
B1	68,5	82,5	75,5
B2	1,2	0,0	0,6
B3	0,0	0,0	0,0
B4	66,9	57,1	62,0
B5	76,2	74,9	75,6
*B9	0,0	44,0	21,0
B11	70,7	55,8	63,3
B16	35,3	29,9	32,6
B22	0,0	4,5	2,2
B27	15,0	18,7	16,9
B29	53,8	84,6	69,2
B30	0,0	7,7	3,9
B32	0,0	0,0	0,0
B37	22,1	4,2	13,2
B39	61,2	61,9	61,6
B44	13,0	1,8	7,4

(*) On note que le clone B9 indemne en 1975 s'est trouvé assez fortement atteint en 1976. Nous l'avons utilisé dans nos analyses avant que les résultats des deux années d'observation ne soient connus.

P_n : le % de feuilles atteintes lors du n° mois d'observation,
et d'autre part :

N_1 : le nombre de feuilles étudiées lors du 1^{er} mois d'observation,

N_2 : le nombre de feuilles étudiées lors du 2^e mois d'observation,

N_3 : le nombre de feuilles étudiées lors du 3^e mois d'observation,

N_n : le nombre de feuilles étudiées lors du n° mois d'observation,

$$PMA = \frac{(P_1 \times N_1) + (P_2 \times N_2) + (P_3 \times N_3) \dots + (P_n \times N_n)}{N_1 + N_2 + N_3 \dots + N_n}$$

Dans le tableau I, nous présentons le PMA d'un certain nombre de clones de Robusta qui seront utilisés ultérieurement (observations effectuées à Nkolbissou en 1975 et 1976).

Au cours de certaines analyses, nous avons établi la distinction, pour un même clone, du degré d'attaque de la feuille. Nous avons défini l'échelle de sensibilité suivante :

O = feuille d'apparence saine,

+ = feuille très peu atteinte, seules quelques rares urédospores sont visibles à la face inférieure du limbe,

++ = feuille moyennement atteinte, les urédospores ne sont présentes que sur un quart à un tiers du limbe,

+++ = feuille fortement atteinte, les urédospores recouvrent de la moitié à la totalité du limbe.

Lors des analyses ultérieures, nous avons établi la distinction entre :

feuilles adultes = feuilles ayant atteint leur taille définitive et ayant une texture caractéristique,

feuilles jeunes = feuilles n'ayant pas ces caractéristiques.

Enfin l'analyse statistique des données a été effectuée. Nous avons adopté la présentation suivante :

* : significatif à $P = 0,05$,

** : significatif à $P = 0,01$.

ÉVOLUTION DE LA TENEUR EN EAU DES FEUILLES

Techniques de dosage

Immédiatement après le prélèvement, les feuilles sont traitées de la façon suivante :

1^o découpage de vingt rondelles au perce-bouillon de 2,50 cm de diamètre au niveau du limbe,

2^o pesée de la matière fraîche,

3^o chauffage à l'étuve à 105°C pendant 24 h,

4^o mise en dessiccateur en présence de silicagel et détermination du poids sec.

Analyses effectuées

Variations de la teneur en eau au cours de la journée

L'essai a été effectué en saison sèche (janvier 1977). Les prélèvements ont lieu à six périodes différentes de la journée : 8 h, 10 h, 12 h, 14 h, 16 h et 18 h.

Trois clones sont étudiés :

- un clone sensible : B 29,
- un clone peu sensible : B30,
- un clone apparemment résistant : B32.

Les feuilles sont analysées au stade adulte ; elles sont d'apparence saine.

Variations suivant la position de la feuille sur le rameau

En fait, nous recherchons les différences pouvant survenir en fonction de l'âge de la feuille.

Sur le rameau de caféier sont prises en compte uniquement les feuilles adultes (les feuilles jeunes ne sont pas prélevées). Les paires de feuilles sont numérotées de :

- 1 : les plus proches du bourgeon terminal, donc les plus jeunes,
- à 6 : les plus éloignées, donc les plus âgées.

Ces feuilles sont prélevées sur le clone B2 peu sensible, à 15 h, en saison sèche (janvier 1977).

Variations selon le degré d'attaque de la feuille

Les feuilles sont prélevées sur trois clones sensibles : B4, B16 et B29. Trois degrés d'attaques sont pris en ligne de compte : 0, +, + + +.

Variations selon la sensibilité du clone

Nous avons choisi douze clones répartis tout au long de l'échelle de sensibilité. Ce sont, par ordre de sensibilité décroissante : B5, B29, B11, B4, B16, B9, B27, B44, B30, B22, B2, B3.

Les feuilles sont prélevées au stade adulte, à la fin de la deuxième saison des pluies (novembre 1976), entre 9 h et 12 h.

Résultats

Les résultats sont présentés dans les tableaux II, III, IV et V.

TABLEAU II

Evolution de la teneur en eau des feuilles au cours de la journée (moyenne de cinq répétitions)

Heure	Eau (% du poids frais)		
	B29*	B30*	B32**
8 h	63,52	56,88	59,67
10 h	62,34	55,64	57,47
12 h	60,43	55,07	56,77
14 h	60,35	53,09	56,88
16 h	60,28	54,26	57,00
18 h	61,59	55,84	57,71
Moyenne	61,42	55,13	57,58

TABLEAU III

Teneur en eau et en matière sèche des feuilles en fonction de leur position sur le rameau. Clone B2 (moyenne de cinq répétitions)

Rang de la feuille	Poids sec mg/cm ² de limbe	% eau
1 ^{er}	9,021	60,07
2 ^e	9,136	60,13
3 ^e	9,556	59,87
4 ^e	9,765	59,73
5 ^e	10,399	58,94
6 ^e	10,938	57,71

En ce qui concerne le degré d'attaque de la feuille, aucune conclusion ne peut être tirée des analyses. Il n'en est pas de même en ce qui concerne la sensibilité clonale.

Les corrélations entre les PMA, d'une part, et les trois séries de données présentées dans le tableau V, d'autre part, ont été recherchées :

TABLEAU IV

Teneur en eau et en matière sèche des feuilles à des degrés différents d'attaque (moyenne de cinq répétitions)

Degré d'attaque	Clone					
	B4		B29		B16	
	mg MS/cm ² limbe	% eau	mg MS/cm ² limbe	% eau	mg MS/cm ² limbe	% eau
0	9,520	60,01	8,820	62,01	9,421	57,63
+	9,575	59,42	10,489	58,24	8,934	59,72
+ + +	9,164	60,60	10,746	59,57	8,532	60,88

- PMA/MF $r = -0,1738$,
- PAM/MS $r = -0,7303$ **
- PMA/% eau $r = +0,7807$ **

TABLEAU V

Teneur en eau, matière fraîche et matière sèche
par unité de surface
Clones de sensibilité différente
(moyenne de cinq répétitions)

Clone	PMA	mg MF/cm ² limbe	mg MS/cm ² limbe	eau % PF
B5	75,6	21,826	8,519	60,96
B29	69,2	21,744	8,455	61,16
B11	63,3	18,897	8,041	57,44
B4	62,0	22,145	8,936	59,64
B16	32,6	20,160	8,549	57,64
B9	21,0	20,517	8,954	56,34
B27	16,9	21,291	8,917	58,13
B44	7,4	24,074	10,135	57,89
B30	3,9	21,720	9,754	55,09
B22	2,2	20,764	8,992	56,66
B2	0,6	22,682	9,578	58,06
B3	0,0	20,300	9,084	55,24

Discussion

Les résultats que nous venons d'obtenir présentent un intérêt :

Sur le plan méthodologique, les feuilles de caféier subissent des variations dans leur teneur en eau au cours de la journée et d'une façon moins nette selon leur position sur le rameau, donc selon leur âge. Les prélèvements d'échantillons devront tenir compte de ces résultats et être effectués dans des conditions bien déterminées.

Plus intéressantes sont les données recueillies à propos de la sensibilité des clones. Nous avons obtenu des corrélations significatives entre le PMA d'une part, la teneur en matière sèche et le pourcentage d'eau dans le limbe d'autre part. Les clones présentant la plus grande sensibilité à la rouille farineuse sont ceux dont le limbe est le plus riche en eau.

Notons enfin que le degré d'attaque de la feuille ne semble pas influencer la teneur en eau des tissus.

ÉTUDE DE LA TENEUR EN CHLOROPHYLLES DES FEUILLES

Techniques de dosage

Les chlorophylles sont extraites et dosées suivant la technique décrite par Mac Kinney (52).

Environ 2 g de matière fraîche du limbe sont broyés à l'ultraturmix en présence d'acétone-eau (80/20) dans un bain de glace. Après filtration sur creuset filtrant et lavage à l'acétone-eau, l'extrait est porté au volume et les extinctions sont mesurées au spectrophotomètre à 6.630 et 6.450 Å (E).

Les teneurs en chlorophylles a et b, exprimées en g/l sont données par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} Ca &= 0,01272 E_{6630} \text{ Å} - 0,00259 E_{6450} \text{ Å} \\ Cb &= 0,02288 E_{6450} \text{ Å} - 0,00467 E_{6630} \text{ Å} \end{aligned}$$

Analyses effectuées

— Teneur en chlorophylles des feuilles suivant le degré d'attaque

Trois clones sensibles à la rouille farineuse sont étudiés.

Pour deux d'entre eux (B4 et B29), les feuilles

sont prélevées au champ sur des arbres adultes ; pour le troisième (B39), les feuilles sont prélevées sur de jeunes plants cultivés sous ombrière, en sacs en polyéthylène, et âgés d'un an environ. Les feuilles étudiées sont au stade adulte et on a pris en considération trois degrés d'attaque : 0, +, + + +.

— Teneur en chlorophylles des feuilles suivant la sensibilité du clone

Les feuilles d'apparence saines sont prélevées sur des arbres adultes.

Résultats

Les résultats sont présentés dans les tableaux VI et VII.

Discussion

L'examen des données permet donc de montrer que la teneur en chlorophylles des feuilles diminue

TABLEAU VI

Teneur en chlorophylles des feuilles selon le degré d'attaque (moyenne de quatre répétitions)

Clone	Degré d'attaque	PF g	Chlorophylles PF			µg/cm ² a + b
			mg/g a	b	a + b	
B29	0	1,1258	1,257	0,684	1,941	45,39
	+	1,1892	1,230	0,537	1,767	42,72
	+++	1,1745	1,149	0,537	1,686	40,35
Niveau de signification	NS	NS	NS	*	*	NS
B4	0	1,1824	1,596	0,735	2,331	56,52
	+	1,1928	1,479	0,672	2,142	52,44
	+++	1,1979	0,999	0,438	1,437	34,96
Niveau de signification		**	**	**	**	**
B39	0	0,8657	0,978	0,381	1,359	23,75
	+	0,8915	0,759	0,330	1,089	19,83
	+++	0,9559	0,480	0,237	0,717	13,92
Niveau de signification		**	**	**	**	**

TABLEAU VII

Teneur en chlorophylles des feuilles suivant la sensibilité du clone
(Moyenne de quatre répétitions)

Clone	PMA %	PF g	Chlorophylles mg/g PF			Chlorophylles µg/cm ²	Ca/Cb
			a	b	a + b	a + b	
B1	75,5	1,1550	1,648	0,578	2,226	52,38	2,88
B4	62,0	1,1641	1,681	0,750	2,431	57,65	2,27
B5	75,6	1,2554	1,623	0,647	2,269	56,23	2,54
B9	21,0	1,1320	1,487	0,637	2,124	48,95	2,33
B29	69,2	1,1314	1,699	0,657	2,357	54,04	2,61
B37	13,2	1,0960	1,616	0,714	2,330	52,00	2,27
B46	61,2	1,1433	1,4103	0,604	2,014	48,49	2,33
B49	48,8	1,1532	1,375	0,612	1,987	46,66	2,25
B55	26,6	1,2291	1,393	0,652	2,044	51,27	2,14
\bar{M}		1,1580	1,549	0,650	2,198	51,96	2,40
B2	0,6	1,1271	1,303	0,493	1,795	41,12	2,66
B3	0,0	1,0228	1,305	0,533	1,838	38,28	2,47
B7	8,1	1,1403	1,490	0,555	2,046	47,53	2,71
B8	0,9	1,1636	1,291	0,560	1,850	44,18	2,30
B30	3,9	1,1143	1,436	0,532	1,968	44,47	2,75
B32	0,0	1,0712	1,755	0,758	2,513	54,75	2,27
\bar{M}		1,1065 **	1,419 **	0,572 **	2,002 **	45,06 **	2,55 NS

de plus en plus au fur et à mesure que se développe l'infestation par l'*Hemileia coffeicola*, ce qui va se traduire par une diminution du pouvoir assimilateur. La présence de l'agent pathogène doit

certainement nuire à la nutrition des caféiers fortement atteints de rouille farineuse.

Il est noté également que les clones les plus sensibles sont les plus riches en chlorophylles.

TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES FEUILLES

Techniques d'analyse

Les échantillons d'environ 2 g de matière sèche sont minéralisés par voie humide (HNO_3 — HClO_4 ... vol 3/1), filtrés pour éliminer la silice et portés au volume de 100 ml.

Les phosphates sont dosés au spectrophotomètre par la méthode au vanadomolybdate ammonique.

Le calcium et le magnésium sont dosés par complexométrie (EDTA) et le potassium par spectrophotométrie de flamme.

L'azote total et le carbone total sont déterminés, à partir de la matière sèche, respectivement par la méthode de Kjeldahl et de Walkley.

Recherches effectuées

Les analyses ont porté sur :

— l'influence du degré d'attaque de la feuille sur sa composition ; des feuilles adultes sont prélevées sur trois clones sensibles : B4, B16, B29 ;

— la teneur en éléments minéraux de feuilles adultes prélevées sur des clones de sensibilité différente : les douze clones utilisés lors des dosages de la teneur en eau sont de nouveau mis à l'essai.

Résultats

Les résultats sont présentés dans les tableaux VIII et IX.

TABLEAU VIII

Teneur en éléments minéraux de la matière sèche des feuilles à différents degrés d'attaque, en ppm (moyenne de cinq répétitions)

Clone	Degré d'attaque	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	$\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$
B4	0	3.100	15.426	13.115	7.612	1,40
	+	2.738	14.625	17.469	4.124	1,51
	+++	2.661	16.085	14.904	3.335	1,14
B16	0	3.446	7.197	19.781	4.412	3,37
	+	3.002	7.106	13.209	4.301	2,54
	+++	2.734	7.316	11.385	5.321	2,38
B29	0	3.315	18.989	14.395	4.492	1,00
	+	2.831	16.161	14.179	4.599	1,18
	+++	2.625	17.243	14.175	3.550	1,03

L'analyse des données relatives à K, Ca et Mg ne permet de dégager aucune conclusion intéressante.

En ce qui concerne P₂O₅ par contre, les différences sont significatives :

B4 : *, B16 : *, B29 : **.

Les corrélations entre le PMA d'une part et chacune des autres données d'autre part ont été recherchées :

— PMA/P ₂ O ₅	r = + 0,7505 **
— PMA/K	r = + 0,1296 N.S.
— PMA/Ca	r = — 0,2441 N.S.
— PMA/Mg	r = + 0,0574 N.S.
— PMA/ $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$	r = — 0,2442 N.S.

TABLEAU IX

Teneur en éléments minéraux de la matière sèche des feuilles de clones de sensibilité différente, en ppm (moyenne de cinq répétitions)

Clone	PMA	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	$\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$	N ‰	C ‰	$\frac{\text{C}}{\text{N}}$
B5	75,6	3.120	14.034	13.483	5.351	1,34	21,95	215,0	9,80
B29	69,2	3.325	17.042	14.417	4.588	1,16	24,20	233,0	9,60
B11	63,3	3.039	8.755	17.813	4.085	2,52	22,75	305,5	13,45
B4	62,0	2.852	14.833	12.322	5.485	1,20	27,80	302,0	10,85
B16	32,6	2.742	7.294	12.759	4.678	2,40	25,60	342,0	13,35
B9	21,0	2.702	14.249	16.043	5.257	1,54	—	—	—
B27	16,9	2.998	13.267	15.216	4.763	1,51	25,55	318,0	12,45
B44	7,4	2.672	18.383	14.336	5.750	1,11	26,05	342,0	13,10
B30	3,9	2.609	6.947	10.140	5.684	2,28	23,20	264,0	11,35
B22	2,2	2.955	13.110	15.063	4.448	1,50	23,60	269,0	11,40
B2	0,6	2.641	17.887	17.202	4.078	1,19	25,55	337,5	13,20
B3	0,0	2.413	16.521	19.948	4.350	1,50	22,75	345,0	15,15

— PMA/N	$r = -0,0827$ N.S.
— PMA/C	$r = -0,5570$ significatif à $P = 0,10$
— PMA/C/N	$r = -0,5785$ significatif à $P = 0,10$

Discussion

Les résultats obtenus sont positifs pour la teneur en P_2O_5 d'une part et pour la teneur en carbone d'autre part.

Teneur en phosphore

La teneur en phosphore diminue en fonction du degré d'attaque de la feuille : pour un clone déterminé, plus la feuille est parasitée par *Hemileia coffeicola*, plus la quantité de P_2O_5 qu'elle contient

est faible. En ce qui concerne la sensibilité des clones, des corrélations positives peuvent être dégagées entre la teneur en P_2O_5 et la sensibilité à la rouille farineuse. Les clones les plus sensibles sont ceux dont les feuilles ont la teneur en P_2O_5 la plus élevée.

Teneur en carbone

Des corrélations négatives ont été mises en évidence entre la sensibilité et la teneur en carbone. Plus un clone est sensible à la rouille farineuse, plus sa teneur en carbone est faible.

Cela se traduit également par l'augmentation du rapport C/N lorsque la sensibilité diminue ; étant donné que la teneur en azote ne varie pas d'une façon significative, les variations du rapport C/N sont uniquement dues à la variation de la teneur en carbone.

MISE EN PLACE DE L'EXPÉRIMENTATION AVEC LES RADIO-ISOTOPES

Culture des caféiers sur solution nutritive synthétique

Lors des essais qui vont suivre, nous avons utilisé des radio-éléments pour étudier les relations hôte-parasite. Il fallait donc mettre au point une méthode qui permette de cultiver les caféiers de telle sorte que l'on puisse apporter les éléments marqués sans risque de contamination.

Les caféiers utilisés sont :

— soit des caféiers du clone sensible B39, âgés d'environ un an et cultivés dans des sacs en polyéthylène contenant de la terre,

— soit une descendance libre du clone B30. Les jeunes plants sont issus de graines. Ils ont été mis en germe dans de la sciure de bois, puis en solution nutritive après trois mois. Ils sont utilisés pour l'expérimentation à l'âge de neuf mois.

Les caféiers sont cultivés dans une solution nutritive dont la composition est la suivante (pour 1 l de solution) :

Eléments majeurs :

— $Ca(NO_3)_2, 4 H_2O$	708,24 mg
— $MgSO_4, 7 H_2O$	493,00 mg
— KNO_3	202,20 mg
— KH_2PO_4	136,10 mg

Oligo-éléments :

— $MnCl_2, 4 H_2O$	1,98 mg
— H_3BO_3	2,85 mg
— $ZnCl_2$	0,13 mg
— $CuSO_4, 5 H_2O$	0,12 mg
— $Mo_7 O_{24} (NH_4)_6, 4 H_2O$	0,01 mg
— Séquestrène de fer (Séq. 38-Fe EDDHA)	20,00 mg

La mise en solution nutritive des jeunes caféiers s'effectue de façon progressive.

Les plants sont prélevés avec précaution de façon à léser le moins de racines possible ; celles-ci sont lavées soigneusement à l'eau pour les débarrasser de toutes les particules de terre. Les caféiers sont placés dans la solution nutritive en les laissant une journée dans l'eau, puis une journée, successivement dans une solution diluée à 2/10, 4/10, 6/10, 8/10, et dans la solution définitive.

Les arbres sont installés dans des récipients de polyéthylène contenant 5 l de solution nutritive. Le récipient est fermé par une plaque percée de trous par où passent les arbres. Un niveau constant est assuré en complétant périodiquement, avec de l'eau distillée, la quantité perdue par évaporation.

L'aération des solutions est assurée par des aérateurs d'aquarium.

Les récipients contenant les caféiers sont placés dans une enceinte à l'intérieur de laquelle un degré

hygrométrique élevé est maintenu au moyen de saturateurs, et en répandant de l'eau sur le plancher.

Inoculation avec l'*Hemileia coffeicola*

Lors de la première série d'essais avec le clone B39, nous avons utilisé des caféiers contaminés naturellement par la rouille farineuse.

Pour la deuxième série, avec la descendance libre du clone B30, nous avons procédé à des inoculations expérimentales.

Notons que ce clone ne présente pas une sensibilité élevée. Mais il a justement été choisi pour étudier, dans cette première partie, ce qui se passe lorsque le caféier présente des caractères de résistance.

Dans un deuxième temps, l'expérimentation sera reprise avec un clone sensible.

Les inoculations expérimentales sont réalisées de la manière suivante :

- prélèvement des urédospores d'*Hemileia coffeicola* sur des caféiers contaminés au champ,
- dépôt des spores à sec, au moyen d'un pinceau sur la face inférieure du limbe en évitant d'en mettre une trop grande quantité,
- pulvérisation d'eau distillée sur l'ensemble du jeune plant,
- mise en chambre humide, à l'obscurité pendant 48 h.

Apport des radio-éléments

Marquage des solutions nutritives

Pour l'expérience sur le clone B39, le radiophosphore sans entraîneur a été introduit dans la solu-

tion nutritive à raison de 0,12 mc par 5 l (activité spécifique de la solution au jour 0 : 17,4 cn/s/ μg P_2O_5).

Pour l'expérience sur le clone B30, les radio-activités introduites ont été respectivement de 1,12 mc par 5 l pour le ^{32}P et 0,5 mc par 5 l pour le ^{45}Ca (activités spécifiques : 162,4 cn/s/ μg P_2O_5 et 3,2 cn/s/ μg Ca).

Marquage des feuilles

Le radiophosphore sans entraîneur (0,20 mc) a été déposé sur la face supérieure du limbe de la feuille dans un anneau en paraffine. La feuille marquée appartenant au deuxième niveau est maintenue horizontalement dans une boîte en Plexiglass transparente semi-étanche. L'anneau est rechargé régulièrement en eau distillée. Pour maintenir en permanence une atmosphère proche de la saturation, le fond de la boîte est garni d'eau (voir figure 5, p. 62). L'inoculation des feuilles marquées est réalisée 48 h avant le marquage.

Mesures de radio-activité

Les mesures de radio-activité *in situ* sont réalisées avec un tube Geiger blindé prospectant une surface de 6 cm^2 de limbe pour l'expérience d'absorption radiculaire et 2,27 cm^2 pour l'essai d'absorption foliaire.

Les mesures de radio-activité après minéralisation des échantillons par voie humide sont faites en coupelles métalliques avec un tube Geiger Muller de rendement 13,3 % pour le ^{32}P et 8 % pour le ^{45}Ca .

Les corrections de bruit de fond, de décroissance et d'auto-absorption sont appliquées. Dans le cas des mesures *in situ*, le bruit de fond moyen est calculé périodiquement.

ABSORPTION DE L'ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE MARQUÉ AU ^{32}P SUIVANT LE DEGRÉ D'ATTAQUE DE LA FEUILLE

Les caféiers utilisés (clone B39) sont âgés d'un an environ. Ils ont été contaminés naturellement par le parasite. Douze plants sont prélevés et mis en solu-

tion nutritive comme décrit précédemment. Au début, les feuilles sont numérotées et leur degré d'attaque est relevé.

TABLEAU X

Absorption du ^{32}P des feuilles jeunes et adultes en fonction du degré d'attaque
 cn/100 s/6 cm² de limbe (mesure *in situ*)*

Feuille	1 j	3 j	6 j	8 j	10 j	13 j	15 j	17 j	20 j	22 j	24 j	27 j	29 j	34 j
FJ	11	56	144	297	466	1.017	1.381	1.881	2.523	2.757	3.072	3.348	3.467	3.861
FAO	31	159	408	653	902	1.579	2.075	2.624	3.179	3.402	3.801	4.132	4.511	5.412
FAT	29	168	510	823	1.115	1.498	1.792	2.189	2.500	2.669	2.853	3.029	3.205	3.622
FA+	38	206	437	683	819	1.327	1.694	2.183	2.625	2.801	3.044	3.324	3.524	3.791
FA++	38	164	381	560	767	1.238	1.624	1.878	2.188	2.365	2.585	2.864	2.922	3.306
FA+++	32	174	412	592	740	1.202	1.428	1.724	1.944	2.032	2.230	2.334	2.636	3.049

* Radio-activité ramenée à la date de mise en œuvre du ^{32}P (J = 0).

FJ = feuilles jeunes.

FA+ = feuilles adultes peu atteintes.

FAO = feuilles adultes apparemment saines.

FA++ = feuilles adultes moyennement atteintes.

FAT = feuilles adultes avec trace de rouille.

FA+++ = feuilles adultes fortement atteintes.

Au cours de l'expérimentation qui a duré plus d'un mois, certaines feuilles ont subi une évolution dans leur degré d'attaque, mais dans l'expression des résultats, nous nous baserons sur les observations faites au début.

Par ailleurs, les jeunes arbres ont émis des feuilles nouvelles en cours d'expérience.

Au jour J₀, le ^{32}P est apporté dans les solutions nutritives : les mesures de radio-activité, effectuées *in situ*, ont été poursuivies jusqu'au jour J₃₄.

Les résultats sont présentés dans le tableau X et exprimés graphiquement par la figure 1.

L'examen des résultats permet de montrer que plus les feuilles adultes sont attaquées par l'*Hemileia coffeicola*, moins l'absorption du phosphore par les tissus de la feuille est bonne. On retrouve donc ici des données comparables à celles obtenues dans l'analyse de la teneur en P₂O₅ des feuilles prélevées au champ sur des caféiers adultes, (tableau VIII).

On notera également (figure 1) que si les feuilles adultes ont des courbes d'absorption de forme semblable, il n'en est pas de même pour les feuilles jeunes, qui ont un mode d'absorption différent.

Il se confirme donc que l'*Hemileia coffeicola* joue certainement un rôle négatif sur le pouvoir de synthèse des feuilles de caféier : plus celles-ci sont contaminées, moins elles sont fonctionnelles.

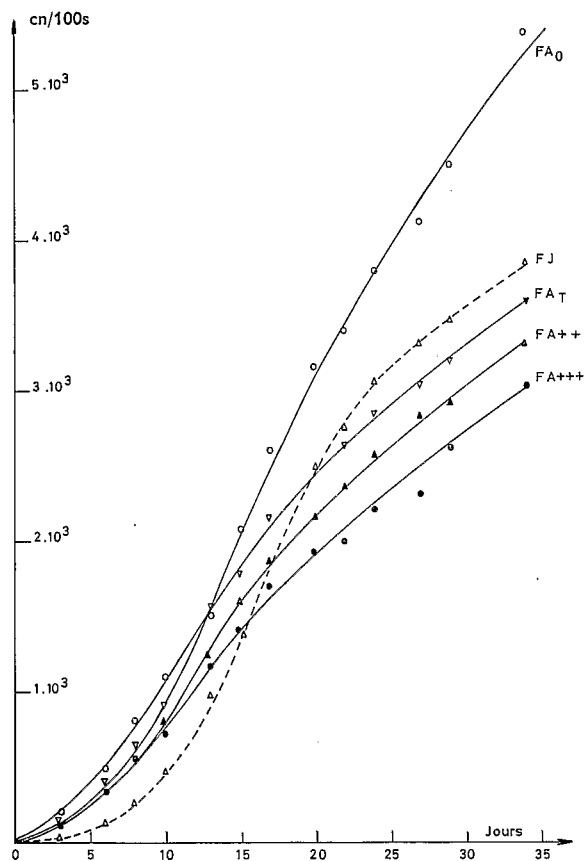


Fig. 1. — Absorption du ^{32}P des feuilles jeunes et adultes en fonction du degré d'attaque

ABSORPTION DE L'ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE (^{32}P) ET DU CALCIUM (^{45}Ca) SUIVANT LES DATES D'INOCULATION

Nous avons utilisé une descendance libre du clone B30, peu sensible à la rouille farineuse, de façon à voir les réactions de l'hôte, lorsque celui-ci est peu attaqué par le parasite.

Techniques utilisées

Apport des éléments marqués aux racines

En ce qui concerne l'essai avec l'anhydride phosphorique, les inoculations expérimentales ont été effectuées aux jours J_0 , J_7 , J_{15} . Nous avons utilisé douze caféiers pour chacune de ces conditions, plus douze caféiers témoins non inoculés.

En ce qui concerne l'essai avec le calcium, une seule inoculation a été effectuée au jour J_0 . Nous avons utilisé seize caféiers inoculés et seize caféiers témoins.

Les radio-isotopes sont apportés dans les solutions nutritives au jour J_1 .

Apport de l'anhydride phosphorique marqué au ^{32}P sur les feuilles

Douze caféiers sont utilisés.

Pour six d'entre eux, la feuille enfermée dans la boîte en Plexiglass est inoculée au jour J_0 . Les six autres ne subissent aucune inoculation.

Résultats

Apport des éléments marqués aux racines

Le tableau XI et les figures 2 et 3 expriment les résultats obtenus.

La consommation en phosphore des feuilles adultes est d'autant plus élevée que la date d'inoculation est proche de celle du marquage de la solution nutritive, alors qu'aucun symptôme extérieur ne permet d'identifier la présence de la rouille.

Il a été établi que la sensibilité des clones était liée à une teneur plus élevée en phosphore des feuilles adultes apparemment saines (tableau IX); à la lumière des résultats obtenus avec le ^{32}P , on peut se poser la question de savoir si cette teneur en phosphore est un facteur génétique lié au clone

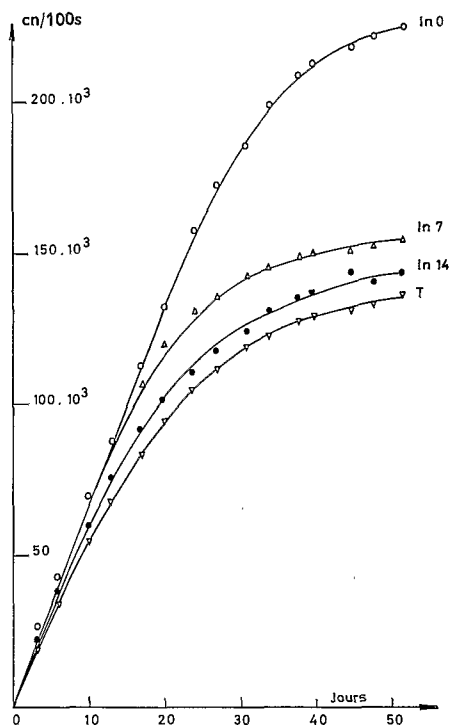


Fig. 2. — Absorption du ^{32}P des feuilles adultes en fonction de la date d'inoculation

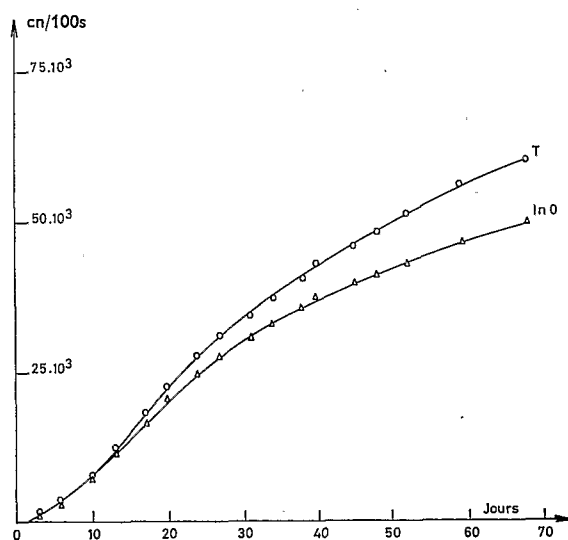


Fig. 3. — Absorption du ^{45}Ca des feuilles adultes saines et inoculées

TABLEAU XI

Absorption du ^{32}P et du ^{45}Ca en fonction de la date d'inoculation

Jour	3	6	10	13	17	20	cn/100 s/6 cm ² de limbe (mesure <i>in situ</i>)*				38	40	45	48	52	59	68
							24	27	31	34							
^{32}P																	
I	27.735	44.174	70.470	88.072	114.180	132.570	158.171	173.758	187.065	199.948	210.208	213.730	218.750	222.559	225.600	—	—
I ₇	23.083	48.250	70.572	86.918	107.925	121.191	131.092	136.089	142.992	145.763	150.294	150.638	150.131	151.244	154.917	—	—
I ₁₄	21.957	44.224	60.725	77.330	93.743	102.466	110.346	118.000	124.886	131.887	136.305	137.861	145.178	141.339	144.169	—	—
T	17.277	33.987	54.312	68.528	82.614	94.686	105.805	112.265	119.287	123.311	128.703	129.574	130.963	134.204	137.824	—	—
^{45}Ca																	
I	1.580	3.917	8.356	11.453	16.701	20.615	24.871	27.531	30.504	33.067	35.638	37.571	39.598	40.844	42.806	46.206	49.596
T	1.264	3.420	8.392	12.727	18.628	22.804	27.858	31.059	34.260	37.156	40.665	43.274	46.033	47.917	50.871	55.659	59.828

* Radio-activité ramenée à la date de mise en œuvre des éléments marqués $j = 0$.

I : inoculé au jour 0.

I₁₄ : inoculé quatorze jours après le marquage.I₇ : inoculé sept jours après le marquage.

T : témoin.

TABLEAU XII

Radio-activité et teneurs en anhydride phosphorique des caféiers après minéralisation*

Echantillon	Témoin				Inoculé après 15 jours				Inoculé après 7 jours				Inoculé après 0 jour			
	cn/100 s		µg P ₂ O ₅ /g MS		cn/100 s		µg P ₂ O ₅ /g MS		cn/100 s		µg P ₂ O ₅ /g MS		cn/100 s		µg P ₂ O ₅ /g MS	
	/g MS	Marqué	Non marqué	Total	/g MS	Marqué	Non marqué	Total	/g MS	Marqué	Non marqué	Total	/g MS	Marqué	Non marqué	Total
F.V.	12.899	1.668	4.049	5.717	13.346	1.726	4.186	5.912	16.128	2.086	4.282	6.368	21.376	2.765	4.070	6.835
F.J.	20.297	2.625	3.495	6.120	19.035	2.462	3.553	6.015	22.133	2.863	3.107	5.970	21.388	2.766	3.056	5.822
T.V.	7.826	1.012	1.216	2.228	8.064	1.043	1.271	2.314	7.937	1.026	1.380	2.405	9.936	1.285	1.158	2.443
T.J.	19.942	2.578	2.571	5.149	19.592	2.534	1.721	4.255	21.197	2.742	2.196	4.938	21.255	2.749	1.696	4.445

* Radio-activité ramenée au jour J = 110.

F.V. = feuilles vieilles. T.V. = tige vieille.

F.J. = feuilles jeunes. T.J. = tige jeune.

TABLEAU XIII

Radio-activité et teneur en calcium des organes du caféier après minéralisation

Organe	Témoin				Inoculé			
	cn/100 s/g MS	mg Ca total/g MS	mg Ca marqué/g MS	mg Ca non marqué/g MS	cn/100 s/g MS	mg Ca total/g MS	mg Ca marqué/g MS	mg Ca non marqué/g MS
F.V.	1.101.521	21,534	5,541	15,993	844.074	20,011	4,246	15,765
F.J.	1.471.960	10,708	7,404	3,304	1.338.277	8,851	6,732	2,119
T.V.	590.722	5,354	2,971	2,383	376.141	5,270	1,892	3,378
T.J.	1.902.929	10,106	9,572	0,534	1.226.766	8,201	6,171	2,030

F.V. = feuilles vieilles T.V. = tiges vieilles
 F.J. = feuilles jeunes T.J. = tiges jeunes

ou une conséquence de la présence latente de la rouille dans les tissus foliaires.

A l'opposé du phosphore, l'absorption du calcium par les feuilles adultes est plus élevée chez les plantes saines que chez les plantes inoculées.

Les données obtenues en fin d'expérience après minéralisation des divers organes des caféiers (tableaux XII et XIII) confirment ces résultats. Elles montrent en outre que la teneur en phosphore total des organes jeunes a tendance à diminuer avec la précocité de l'inoculation, ce qui fait supposer une mauvaise migration des composés phosphorés des feuilles adultes vers les organes jeunes.

Par contre, tous les organes des plants témoins ont une teneur en calcium total et radio-actif supérieure à celle des plants inoculés.

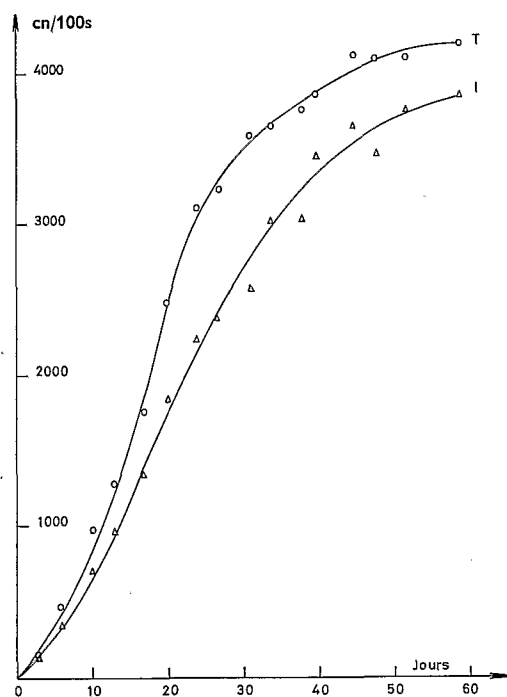


Fig. 4. — Migration du ^{32}P à partir d'une feuille témoin (T) et inoculée (I)

Apport de l'anhydride phosphorique marqué au ^{32}P sur les feuilles

L'examen des résultats du tableau XIV, illustré par la figure 4, montre que le phosphore absorbé au niveau d'une feuille inoculée est nettement moins bien véhiculé vers les autres feuilles adultes. Ce résultat est confirmé et généralisé à tous les organes après la mesure de la radio-activité sur les divers échantillons minéralisés (tableau XV).

Il apparaît donc que le phosphore accumulé au niveau des feuilles inoculées est moins mobile, fait confirmant les résultats obtenus à partir du tableau XII.

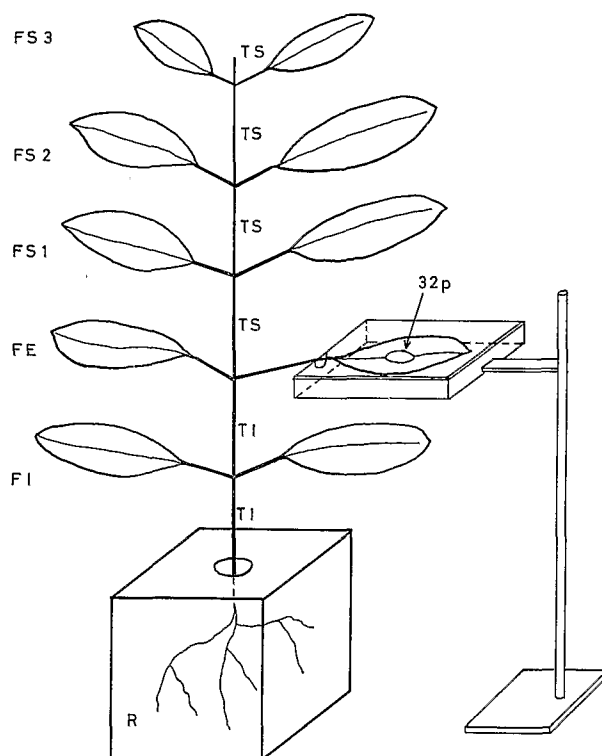


Fig. 5. — Dispositif expérimental pour l'étude de la migration

TABLEAU XIV
Migration du ³²P

Jour	cn/100 s/2,27 cm ² de limbe (mesure <i>in-situ</i>)*															
	3	6	10	13	17	20	24	27	31	34	38	40	45	48	52	59
Témoin	136	485	996	1.295	1.786	2.534	3.135	3.247	3.600	3.661	3.774	3.876	4.159	4.121	4.120	4.203
Inoculé	180	386	709	968	1.343	1.838	2.228	2.382	2.571	3.028	3.030	3.469	3.670	3.455	3.778	3.825

* Radio-activité ramenée à la date de mise en œuvre du ³²P (j = 0).

TABLEAU XV
Radio-activité des divers organes des caféiers marqués au niveau de la feuille après minéralisation

Organe	Témoin		Inoculé		Augmentation %	
	cn/100 s /organe	cn/100 s /g MS	cn/100 s /organe	cn/100 s /g MS	/organe	/g MS
Racine	55.878	62.120	47.723	53.389	+ 14,6	+ 14,1
Tige inf.	16.636	73.230	12.247	63.207	+ 26,4	+ 13,7
Feuilles inf.	3.836	42.635	2.676	32.860	+ 29,9	+ 22,9
F =	3.608	58.538	4.329	41.994	- 19,9	+ 28,3
Tige sup.	9.440	80.925	5.400	56.663	+ 42,8	+ 30,0
F. Sup. 1	16.194	83.058	11.701	53.263	+ 27,7	+ 35,0
F. Sup. 2	13.886	79.920	11.266	69.092	+ 18,9	+ 13,6
F. Sup. 3	28.856	137.016	19.427	102.739	+ 32,7	+ 25,0
\bar{X}	18.542	77.180	14.346	59.150	+ 21,6	+ 22,9

Radio-activité ramenée au jour J = 74. Voir schéma n° 5.

TAUX D'INCORPORATION DE L'ANHYDRIDE PHOSPHORIQUE DANS LES DIVERSES FRACTIONS PHOSPHORÉES

Méthode

La technique de Schmidt-Thannhauser (53 et 54) a été utilisée pour séparer les différentes fractions phosphorées. Les feuilles fraîches sont découpées et broyées à froid dans un broyeur d'organe en présence d'acide perchlorique à 4,5 %, puis centrifugée. La pulpe est lavée deux fois à l'acide perchlorique, puis une fois à l'eau distillée à 0°.

La fraction acido-soluble renferme de nombreux composés de bas poids moléculaire (acides aminés, intermédiaires du métabolisme des sucres, composés à structure purique ou pyrimidique, certains composés phosphatés et des phosphates minéraux). Le résidu de lavage est extrait quatre fois à l'alcool à 95° à la température ambiante, quatre fois à l'alcool à 95° au bain-marie à 60° et enfin deux fois à l'éther à 30°, ce qui donne la **fraction lipidique**.

La poudre sèche est traitée au NaOH 0,5N pen-

dant dix-huit heures à 37 °C, refroidie à 0 °C et acidifiée par l'acide perchlorique à 65 %. Après centrifugation, le culot est lavé avec l'acide perchlorique 0,5N à 0 °C. La phase liquide constitue la **fraction ARN**.

Le culot est hydrolysé par l'acide perchlorique 0,5N à 70 °C pendant vingt minutes. L'opération est répétée avec rinçage. Tous les surnageants récupérés après centrifugation constituent la **fraction ADN**.

Les volumes de chaque fraction sont mesurés et une partie aliquote est prélevée en vue de mesurer la radio-activité ou d'effectuer le dosage chimique du P₂O₅.

Résultats

Comme le montre le tableau XVI, la présence du champignon dans les feuilles ne présentant pas

de symptômes extérieurs augmente le taux d'incorporation du ^{32}P dans la fraction des produits phosphorés solubles et le diminue dans les fractions organo-phosphorées.

Lorsque les symptômes extérieurs de la rouille deviennent apparents, la teneur en phosphore dans les fractions acido-soluble et ARN diminue (tableau XVII).

Sur des plantes apparemment saines, la teneur en phosphore acido-soluble augmente avec la sensibilité du clone (tableau XVIII).

TABLEAU XVI
Répartition du ^{32}P
dans les différentes fractions phosphoriques (%)

Fraction	Témoin (%)	Inoculé J ₀ (%)
Soluble**	81,36	91,09
Lipides*	6,74	3,65
ARN**	10,29	4,45
ADN (N.S.)	0,87	0,40
Résidu (N.S.)	0,74	0,41

TABLEAU XVII

Répartition du phosphore dans les différentes fractions phosphorées suivant le degré d'attaque (quatre répétitions)

Clone	Degré d'attaque	Culot		Acido-soluble		Lipides		ARN		ADN	
		P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS
B1	0	2,1	106	43,2	1.145	27,5	588	26,9	702	3,5	92
	++	3,8	87	35,4	810	29,0	664	27,7	633	4,1	94
	+++	4,4	119	39,6	1.096	25,5	686	27,4	745	3,2	86
B4	0	3,7	107	39,9	1.159	24,0	695	29,1	747	3,4	98
	+	2,1	50	40,9	993	30,3	735	24,0	582	2,7	64
	+++	4,1	108	38,5	916	29,0	688	24,0	570	4,0	96
B5	0	3,6	99	38,8	1.088	25,2	705	29,7	829	2,9	79
	+	2,9	63	39,2	882	30,5	670	22,9	503	4,7	102
	+++	3,1	69	40,0	897	31,7	712	21,2	476	4,0	90
B29	0	3,3	94	45,7	1.306	22,6	643	26,8	762	1,8	52
	+	1,7	74	44,4	1.087	27,1	664	21,6	528	3,9	96
	+++	3,7	81	41,4	971	30,6	716	21,6	504	3,0	69
\bar{M}	0	3,2	101	41,9	1.174	24,8	658	28,1	760	2,9	80
	+	2,6	68	40,0	943 *	29,2 **	683	24,1 **	562 **	3,9 *	89
	+++	3,8	94	39,9	970 *	29,2 **	700	23,6 **	574 **	3,6 *	85

TABLEAU XVIII

Répartition du phosphore dans les différentes fractions phosphorées suivant la sensibilité des clones (quatre répétitions)

Clone	Culot		Acido-soluble		Lipides		ARN		ADN	
	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS	P %	$\mu\text{g P}_2\text{O}_5$ /g MS
B1	2,1	106	43,2	1.145	27,5	588	26,9	702	3,5	92
B4	3,7	107	39,9	1.159	24,0	695	29,1	747	3,4	98
B5	3,6	99	38,8	1.088	25,2	705	29,7	829	2,9	79
B29	3,3	94	45,7	1.306	22,6	643	26,8	762	1,8	52
\bar{M}	3,2	101	41,9	1.174	24,8	658	28,1	760	2,9	80
B3	4,3	88	33,9	686	26,4	536	32,5	659	3,0	60
B7	3,2	79	35,8	908	26,5	671	30,0	785	3,7	92
B30	3,5	104	39,0	1.177	23,9	720	31,1	938	2,5	76
B32	3,5	76	33,6	741	25,7	568	32,6	718	4,8	99
\bar{M}	3,6	87	35,6 **	878 **	25,6	624	31,8 *	775	3,5	82

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les travaux qui viennent d'être effectués ont permis d'apporter quelques précisions sur les rapports hôte-parasite entre le caféier Robusta et l'*Hemileia coffeicola*.

Passons en revue les principaux résultats obtenus :

La teneur en eau des tissus du limbe est liée à la sensibilité des clones à l'infection. Les clones les moins sensibles sont ceux chez lesquels cette teneur est la plus faible, autrement dit ceux chez lesquels la teneur en matière sèche par unité de surface est la plus élevée.

L'infection des tissus par le parasite se traduit, par ailleurs, par une diminution de la teneur en chlorophylles. Cette diminution est d'autant plus importante que l'infection est plus étendue.

La teneur en carbone du limbe est également liée à la sensibilité des clones. Plus cette teneur est faible et plus ceux-ci sont sensibles.

Quant au phosphore, il joue certainement un rôle très important.

Ainsi l'analyse de la teneur en P_2O_5 du limbe a montré une diminution notable au fur et à mesure que les symptômes visibles de l'infection sont plus accusés (fractions acido-soluble et ARN).

Par ailleurs, la teneur en P_2O_5 est également liée à la sensibilité des clones. Ceux présentant la sensibilité la plus forte sont également ceux chez lesquels la quantité de P_2O_5 présente dans les tissus du limbe est la plus élevée (fraction acido-soluble).

L'utilisation des radio-isotopes a permis de pré-

ciser davantage le rôle du parasite dans la teneur en phosphore des feuilles.

Ainsi chez un clone sensible, l'accumulation du phosphore dans les tissus du limbe en fonction du temps est d'autant plus faible que les symptômes visibles de la maladie sont plus accentués, ce qui confirme les résultats des analyses chimiques.

En outre, en travaillant sur un clone peu sensible, nous avons montré que la feuille réagit à la pénétration des urédospores par une accumulation de phosphore dans les tissus du limbe.

De plus, le phosphore apporté à une feuille parasitée se déplace moins facilement vers les autres parties de la plante.

Enfin, le champignon joue un rôle dans le taux d'incorporation du ^{32}P dans les diverses fractions phosphorées : augmentation de la fraction soluble TCA et diminution des fractions lipidiques, ARN et ADN.

En ce qui concerne le calcium, son accumulation dans les feuilles d'un clone peu sensible est ralentie par la présence du parasite. Notons que les chercheurs ayant travaillé sur des rouilles présentant des lésions bien délimitées avaient constaté une accumulation de calcium autour des sites d'infection.

Les résultats qui viennent d'être présentés ne sont qu'une première approche dans l'étude du mode d'action de l'*Hemileia coffeicola* sur son hôte. L'utilisation des radio-isotopes s'est révélée un outil efficace dans ces travaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. BASHAM, 1975. — Killing of plant cells by pectic enzymes : the lack of direct injurious interaction between pectic enzymes or their soluble reaction products and plant cells. *Phytopath.* (Saint-Paul), 65, 2, p. 141-153.
2. BEUTE (M. K.), 1969. — Mechanism of increased root rot in virus infected peas. *Phytopath.* (Saint-Paul), 58, 12, p. 1643-1651.
3. COFFEY (M. D.), 1971. — The translocation of ^{14}C labelled assimilates in tomato plants infected with *Alternaria solani*. *Ann. Bot.* (Oxford), 34, 136, p. 605-615.
4. COHEN (Y.), 1974. — Ultrastructural and physiological changes in sporangia of *Pseudoperonospora cubensis* and *Phytophthora infestans* exposed to water stress. *Canad. J. Bot.* (Ottawa), 52, 3, p. 447-450.
5. DALY (J. M.), 1966. — Dark fixation of carbon dioxide by healthy and rust infected leaves of wheat and bean. *Phytopath.* (Saint-Paul), 56, 2, p. 164-169.
6. DANCS (Z.), 1968. — Inhibition of CO_2 fixation and protein synthesis in apple leaves infected by *Venturia inaequalis*. *Acta agron. Acad. Sci. Hungar.* (Budapest), 17, 3-4, p. 405-410.
7. EDWARDS (H. H.), 1966. — Distribution of the products of photosynthesis between powdery mildew and barley. *Plant Physiol.* (Washington), 41, 4, p. 683-688.
8. ESANU (V.), 1969. — Contribution to the study of TMV influence on phosphorus metabolism-energetic metabolism relationship. *Phytopath. Z.* (Hambourg), 64, 3, p. 221-241.
9. FARKAS (G. L.), 1966. — The effect of rusts on the physiology of the host plant. Isotopes and radiation in plant pathology. Intern. Atomic Energy Agency, Technical reports series 66, p. 39-46.
10. FAVALI (M. A.), 1973. — Electron microscope autoradiography of rust affected bean leaves labelled with tritiated glycine. *Phytopath. Z.* (Hambourg), 76, 4, p. 343-347.
11. FUCIKOVSKY (L. A.), 1966. — Changes in pigment, phosphorus 32 and starch in unifoliate leaves of soybeans infected by *Cercospora sojae*. *Phytopath.* (Saint-Paul), 56, 8, p. 987.
12. GARRAWAY (M. O.), 1966. — Distribution of ^{14}C in the potato plant in relation to leaf infection by *Phytophthora infestans*. *Phytopath.* (Saint-Paul), 56, 10, p. 1184-1189.

13. GERWITZ (D. L.), 1965. — The influence of rust on the distribution of ^{32}P in the bean plant. *Phytopath.* (Saint-Paul), **55**, 1, p. 57-61.
14. GOODE (M. J.), 1967. — Radioautographic evidence for induced resistance to anthracnosis in cucumber. *Phytopath.* (Saint-Paul), **57**, 10, p. 1028-1030.
15. HANCOCK (J. G.), 1968. — Calcium localization in *Hyphomyces* infected squash hypocotyls and effect of calcium on pectate lyase activity and tissue maceration. *Canad. J. Bot.* (Ottawa), **46**, 4, p. 405-409.
16. HARDING (H.), 1968. — Chlorophyll changes, photosynthesis and ultrastructure of chloroplasts in *Albugo candida* induced « green » islands on detached *Brassica juncea* cotyledons. *Canad. J. Bot.* (Ottawa), **46**, 10, p. 1229-1234.
17. HOPKINS (D. L.), 1969. — Effects of tobacco etch virus infection upon the light reactions of photosynthesis in tobacco leaf tissue. *Phytopath.* (Saint-Paul), **59**, 5, p. 677-679.
18. HOPKINS (D. L.), 1970. — Effects of tobacco etch virus infection upon the dark reactions of photosynthesis in tobacco leaf tissue. *Phytopath.* (Saint-Paul), **59**, 8, p. 1136-1140.
19. IBRAHIM (R. K.), 1970. — Changes in phenolic constituents of mildew infected *Hydrangea* leaves. *Phytochemistry* (Oxford), **9**, 6, p. 1211-1213.
20. JONES (J. P.), 1966. — Absorption and translocation of ^{35}S in oat plants inoculated with labelled crown rust uredospores. *Phytopath.* (Saint-Paul), **56**, 3, p. 272-275.
21. JOHNSON (L. B.), 1964. — Nutrient mobilization by *Puccinia recondita*. *Diss. Abstr.* (Ann Arbor), **25**, 4, p. 2156-2157.
22. JOHNSON (L. B.), 1966. — Nutrient mobilization in leaves by *Puccinia recondita*. *Phytopath.* (Saint-Paul), **56**, 7, p. 799-803.
23. KUO (M. S.), 1970. — Comparative effects of host specific toxins and *Helminthosporium* infections and carboxylation by host tissues. *Phytopath.* (Saint-Paul), **60**, 9, p. 1391-1394.
24. KYBAL (J.), 1968. — Phosphorus content during development of *Claviceps purpurea*. *Phytopath.* (Saint-Paul), **58**, 5, p. 647-650.
25. LIN (F. K.), 1974. — Cellular basis of growth rate differences in isolates of *Rhizoctonia solani*; metabolites processes and growth rates. *Phytopath.* (Saint-Paul), **64**, 9, p. 1220-1228.
26. LIVNE (A.), 1964. — Photosynthesis of healthy and rust affected bean and wheat plants. *Diss. Abstr.* (Ann Arbor), **24**, 8, p. 3047.
27. LIVNE (A.), 1966. — Translocation in healthy and rust affected beans. *Phytopath.* (Saint-Paul), **56**, 2, p. 170-175.
28. MC DONALD (P. W.), 1970. — Adenosine diphosphate glucose pyrophosphorylase control of starch accumulation in rust infected wheat leaves. *Plant physiol.* (Washington), **46**, 1, p. 126-135.
29. MATHRE (D. E.), 1968. — Photosynthetic activities of cotton plants infected with *Verticillium albo-atrum*. *Phytopath.* (Saint-Paul), **58**, 2, p. 137-141.
30. MIROCHA (C. J.), 1965. — Fixation of $^{14}\text{CO}_2$ in the dark by fungus infected bean, beet, barley and oat plants. *Phytopath.* (Saint-Paul), **55**, 8, p. 940-941.
31. MOUNT (M. S.), 1969. — ^{32}P and ^{35}S transfer from susceptible wheat to *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* during primary infection. *Phytopath.* (Saint-Paul), **59**, 2, p. 235.
32. NICHOLS (R.), 1965. — Translocation of phosphorus 32 into wilting and healthy fruits of cacao (*Theobroma cacao*). *Plant Soil* (La Haye), **23**, 2, p. 149-160.
33. PANAPOULOS, 1975. — Sulfate uptake and translocation in curly top infected tomatoes. *Phytopath.* (Saint-Paul), **65**, 1, p. 77-80.
34. PLESNICAR (M.), 1968. — Untersuchungen über die Bedeutung einiger Stoffwechselformen für die Resistenz des Weizens gegenüber *Erysiphe graminis tritici*. *Pflanzensch. Ber.* (Vienne), **38**, 12, p. 203-209.
35. RICK (P. D.), 1968. — Fixation of carbon dioxide in the dark by the malic enzyme of bean and oat stem rust uredospores. *Plant physiol.* (Washington), **43**, 2, p. 201-207.
36. RODRIGUES (C. J. Jr), 1966. — Role of oxidative enzymes in the physiology of the leaf spot of coffee caused by *Mycena citricolor*. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **57**, 4, p. 375-384.
37. SCALLA (R.), 1967. — Quelques effets d'une infection par le virus de la mosaïque du tabac sur le mécanisme du phosphore chez *Nicotiana xanthi*. *Ann. physiol. vég.* (Paris), **9**, 383-396.
38. SIVAK Bela, 1970. — Microautoradiography of potato leaves inoculated with ^3H labelled conidia of *Phytophthora infestans*. *Canad. J. Bot.* (Ottawa), **48**, 3, p. 613-615.
39. STALLKNECHT (G. F.), 1970. — Carbon dioxide fixation by uredospores of *Uromyces phaseoli* and its incorporation into cellular metabolites. *Phytopath.* (Saint-Paul), **60**, 9, p. 1338-1342.
40. SUTTON (J. C.), 1970. — Relation of xylem plugging to black rot lesion development in cabbage. *Canad. J. Bot.* (Ottawa), **48**, 2, p. 391-401.
41. SYDOW (B. V.), 1966. — Über den Einbau von $^{14}\text{CO}_2$ in Weizenblätter nach Infektion mit *Puccinia graminis tritici* I. Histochemische Untersuchungen. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **56**, 1, p. 78-96.
42. SYDOW (B. V.), 1966. — Über den Einbau von $^{14}\text{CO}_2$ in Weizenblätter nach Infektion mit *Puccinia graminis tritici* II. Analytische Untersuchungen. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **56**, 2, p. 105-116.
43. SZOKO (G.), 1968. — Utilisation du ^{32}P pour l'étude de la propagation du mildiou *Plasmopora halstedii*. *Mosonmag. Agrar. Foisk Kozl.* (Hongrie), **11**, 2, p. 129-133.
44. THROWER (L. B.), 1964. — Photophosphorylation and starch metabolism in association with infection by obligate parasites. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **51**, 5, p. 425-436.
45. THROWER (L. B.), 1965. — On the host parasite relationship of *Trifolium subterraneum* and *Uromyces trifolii*. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **52**, 3, p. 269-294.
46. THROWER (L. B.), 1965. — Host physiology and obligate fungal parasites. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **52**, 4, p. 319-334.
47. THROWER (L. B.), 1966. — The effect of infection with *Uromyces fabae* on translocation in broad bean. *Phytopath. Z.* (Hambourg), **57**, 3, p. 267-276.
48. WILLIAMS (P. H.), 1966. — A cytochemical study of hypertrophy in clubroot of cabbage. *Phytopath.* (Saint-Paul), **56**, 5, 521-524.
49. YANIN (Z.), 1974. — Ribosomal activity in uredospores germinated on membranes. *Phytopath.* (Saint-Paul), **64**, 8, p. 1111-1114.
50. ZAKI (A. I.), 1965. — The effect of bean rust on the translocation of photosynthetic products from diseased leaves. *Phytopath.* (Saint-Paul), **55**, 5, p. 528-529.
51. ZAKI (A. I.), 1965. — Carbon dioxide fixation by rust infected bean plants in the dark. *Phytopath.* (Saint-Paul), **55**, 12, p. 1303-1308.
52. MAC KINNEY (G.), 1941. — *J. Biol. Chem.* (Baltimore), **140**, p. 315.
53. SCHMIDT (G.), THANNHAUSER (S. J.), 1945. — A method for the determination of ARN, ADN and phosphoproteins in animal tissues. *J. Biol. Chem.* (Baltimore), p. 161-183.
54. PAOLETTI (C.), TRUHAUT (R.), 1963. — VIII. Nucléoprotéines, acides nucléiques et nucléases des tissus animaux. *Techniques de laboratoire*, Tome 1, Fascicule 2. Chimie physique, chimie biologique par J. Loiseleur, Ed. Masson et Cie (Paris).

MASSAUX (F.), TARJOT (M.), MISSE (C.), TCHIENDJI (C.), LACROIX (M.). — Contribution à l'étude des relations hôte-parasite entre la rouille farineuse (*Hemileia coffeicola*) et le caféier (*Coffea canephora* var. *robusta*) au Cameroun. *Café Cacao, Thé* (Paris), vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978, p. 37-56, fig., tabl., réf.

Une étude a été menée au Cameroun de mai à décembre afin de connaître les relations hôte-parasite entre le caféier Robusta et l'agent de la rouille farineuse *Hemileia coffeicola*, rouille peu défoliante qui provoque l'appauvrissement de l'arbre par jaunissement des feuilles.

L'observation de l'évolution de la teneur en eau des feuilles au cours de la journée, en fonction de leur position sur le rameau et en fonction de la sensibilité du clone, révèle que les clones les plus sensibles à *Hemileia coffeicola* sont ceux dont le limbe est le plus riche en eau.

On note également que les teneurs en chlorophylle des feuilles diminuent quand l'infestation par *Hemileia coffeicola* croît et que les clones les plus sensibles sont ceux dont la teneur en P_2O_5 est la plus élevée et celle en C la plus faible.

Le marquage des tissus du caféier à l'aide de solutions nutritives au ^{32}P et au ^{45}Ca montre que :

plus les feuilles adultes d'un clone sensible sont attaquées par *Hemileia coffeicola*, moins est bonne l'absorption du P par la feuille ;

chez un clone peu sensible, la feuille réagit à la pénétration des uredospores par une accumulation de P dans les tissus du limbe et un phénomène inverse est noté pour le Ca ;

le P accumulé au niveau des feuilles inoculées est moins mobile ;

la présence du champignon dans les feuilles augmente le taux d'incorporation du ^{32}P dans la fraction des produits phosphorés solubles, et le diminue dans les fractions des organo-phosphorés.

MASSAUX (F.), TARJOT (M.), MISSE (C.), TCHIENDJI (C.), LACROIX (M.). — Beitrag zur Untersuchung der Wirt/Schädling-Beziehungen zwischen dem mehligem Rost (*Hemileia coffeicola*) und dem Kaffeebaum (*Coffea canephora* var. *robusta*) in Kamerun. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978, p. 37-56, fig., tabl., réf.

Um die Wirt/Schädling-Beziehungen zwischen dem Kaffeebaum (Robusta) und dem Krankheitserreger des mehligem Rostes (*Hemileia coffeicola*) — gering entlaubender Rost, der zum Eingehen des Baumes, durch Gelbwerden der Blätter, führt —, zu untersuchen wurde von Mai bis Dezember eine Studie in Kamerun durchgeführt.

Eine Beobachtung des Wassergehaltsveränderung der Blätter im Tagesverlauf in Bezug zu ihrer Lage am Zweig und in Bezug zur Klonenempfindlichkeit, zeigt, dass die für *Hemileia coffeicola* anfälligsten Klone, diejenigen sind, deren Limbus am meisten Wasser enthält.

Gleichzeitig kann man feststellen, dass der Chlorophyll-Gehalt der Blätter bei zunehmendem Befall durch *Hemileia coffeicola* abnimmt, und dass die empfindlichsten Klone diejenigen sind, deren P_2O_5 -Gehalt am höchsten und der C-Gehalt am niedrigsten ist.

MASSAUX (F.), TARJOT (M.), MISSE (C.), TCHIENDJI (C.), LACROIX (M.). — Contribution to the study of the host-parasite relationship between grey rust (*Hemileia coffeicola*) and the coffee tree (*Coffea canephora* var. *robusta*) in Cameroon. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978, p. 37-56, fig., tabl., réf.

A study was carried out in Cameroon from May to December in order to determine the host-parasite relationship between the Robusta coffee tree and the agent causing grey rust, *Hemileia coffeicola*, which leads to little defoliation, but results in the impoverishment of the tree by a yellowing of its leaves.

Observations of the changes in the water content of the leaves during the day, depending on their position on a branch and the susceptibility of the clone, revealed that the clones that are the most susceptible to *Hemileia coffeicola* are those whose limb contains the greatest amount of water.

It was also noted that the chlorophyll contents of the leaves diminished as the *Hemileia coffeicola* increased, and that the most susceptible clones were those whose P_2O_5 content was the highest, and C content the lowest.

Marking the coffee tree tissues with nutrient solutions containing ^{32}P and ^{45}Ca showed that :

the more the adult leaves of a susceptible clone are attacked by *Hemileia coffeicola*, the lesser is the absorption of P by the leaf ;

with not very susceptible clones, the leaf reacts to the penetration of the uredospores by accumulating P in the tissues of the limb, but a reverse process is noted in regard to Ca ;

the P accumulated in the inoculated leaves is less mobile ;

the presence of the fungus in the leaves increases the intake rate of ^{32}P in the soluble phosphorus products portion, and diminishes it in the organo-phosphorus portions.

MASSAUX (F.), TARJOT (M.), MISSE (C.), TCHIENDJI (C.), LACROIX (M.). — Contribución al estudio de las relaciones planta huésped-parásito entre la roya harinosa (*Hemileia coffeicola*) y el café (*Coffea canephora* var. *robusta*) en Camerún. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXII, n° 1, janv.-mars 1978, p. 37-56, fig., tabl., réf.

Ha sido llevado a cabo un estudio en Camerún, de mayo a diciembre, con objeto de conocer las relaciones planta huésped-parásito, entre el café Robusta y el agente de la roya harinosa *Hemileia coffeicola*, roya poco defoliante que provoca el empobrecimiento del árbol por amarilleo de las hojas.

La observación de la evolución del contenido de agua de las hojas durante el transcurso de la jornada, en función de su posición en el ramo y en función de la sensibilidad del clon, pone de manifiesto que los clones más vulnerables a la acción de *Hemileia coffeicola* son aquellos cuyo limbo contiene mayor abundancia de agua.

Se advierte también, que los contenidos en cuanto a clorofila de las hojas disminuyen cuando la infestación por *Hemileia coffeicola* se incrementa y que los clones más vulnerables son aquellos cuyo contenido en P_2O_5 es el más elevado y aquel de C más reducido.

Die Markierung der Gewebe des Kaffeebaums mit Nährlösungen von ^{32}P und ^{45}Ca zeigt, dass :

Je mehr die ausgewachsenen Blätter eines empfindlichen Klons von *Hemileia coffeicola* befallen werden, je geringer die gute P-Absorption durch das Blatt ist. Bei einem wenig empfindlichen Klon, reagiert das Blatt auf das Eindringen von Uredosporen mit einer P-Anhäufung in den Limbusgeweben ; ein umgekehrtes Phänomen wird bei Ca festgestellt.

Der von den geimpften Blättern angesammelte P weniger mobil ist.

Das Vorhandensein des Pilzes in den Blättern, den Beimischungsgrad von ^{32}P im Anteil der löslichen Phosphorstoffe erhöht und in den phosphor-organischen Bestandteilen verringert.

El marcado de los tejidos del café por medio de soluciones nutritivas, al ^{32}P y al ^{45}Ca ha demostrado que :

cuando más atacadas por *Hemileia coffeicola* son las hojas adultas de un clon vulnerable, menos correcta es la absorción del P por la hoja ;

al tratarse de un clon poco vulnerable, la hoja reacciona a la penetración de los uredoesporos por una acumulación de P en los tejidos del limbo, apreciándose un fenómeno inverso para el Ca ;

el P acumulado al nivel de las hojas inoculadas es menos móvil ;

la presencia del hongo en las hojas aumenta el coeficiente de incorporación del ^{32}P en la fracción de los productos fosforados solubles, y una disminución en las fracciones organo-fosforadas.