

EFFET DE LA RADIATION SOLAIRE ET DE L'ÂGE SUR LE
CONTENU EN CAFÉINE ET EN AZOTE DES FEUILLES
ET DES FRUITS DE TROIS ESPÈCES DE CAFÉIERS

Thèse de Magister Scientiae

Danielle Beaudin-Dufour

INSTITUT INTERAMERICAIN DES SCIENCES AGRICOLES
DE L'ORGANISATION DES ÉTATS AMÉRICAINS
CENTRE TROPICAL D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE
DÉPARTEMENT DES SOLS ET DES CULTURES TROPICALES
TURRIALBA, COSTA RICA
MAI, 1971

EFFET DE LA RADIATION SOLAIRE ET DE L'ÂGE SUR LE
CONTENU EN CAFÉINE ET EN AZOTE DES FEUILLES
ET DES FRUITS DE TROIS ESPÈCES DE CAFÉIERS

Thèse

Scumise au Conseil des Etudes Graduées en
tant que condition partielle pour obtenir
le grade de

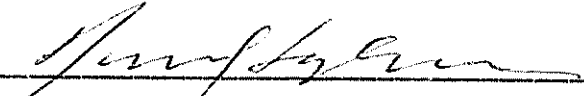
Magister Scientiae

à

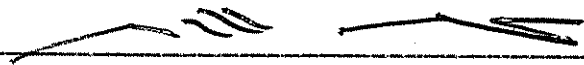
L'Institut Interaméricain des Sciences Agricoles

Approuvée: _____ Conseiller

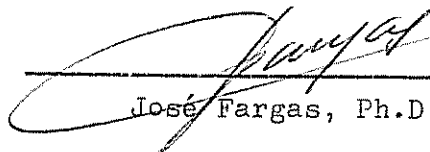
Ludwig Müller, Ph.D.



Comité
Pierre G. Sylvain, Ph.D.



Comité
J.M. Montoya Maquin, Dr.Sc.B.



Comité
José Fargas, Ph.D.

Mai 1971

DÉDICACE

A Jules, sans la compréhension et
les tendres encouragements duquel, je n'aurais pu
accomplir ce travail.

A notre fille, Monic.

REMERCIEMENTS

L'auteur veut exprimer sa plus profonde reconnaissance aux personnes suivantes:

A son conseiller principal, le Dr Ludwig Müller, pour le dévouement inlassable qu'il lui a apporté au cours de ses études à l'IICA/CTEI et en particulier au cours de la réalisation de cette thèse.

Au Dr Pierre G. Sylvain pour sa collaboration entière en tout temps et ses conseils judicieux.

Au Dr Michel J. Montoya Maquin pour sa précieuse coopération.

Au Dr José Fargas pour son soutien moral.

Au Dr Gilberto Páez pour son étroite collaboration au cours de l'interprétation statistique des résultats de cette thèse.

A l'Ingénieur agronome Oswaldo Sanabria dont les explications claires et les nombreuses discussions ont facilité une meilleure compréhension des sujets à l'étude.

Enfin, au personnel du laboratoire de physiologie végétale pour leur aide généreuse.

BIOGRAPHIE

L'auteur est née à Charlesbourg, Province de Québec, Canada, le 11 février 1948.

Elle réalisa ses études primaires à Brigham et ses études secondaires à Farnham.

En 1963, elle entrait à la faculté des Sciences Domestiques de l'Université de Sherbrooke, Province de Québec, Canada et obtenait son diplôme de bachelière en Sciences, option diététique (B.S.) en 1967, à la faculté d'Agriculture de l'Université Laval, Québec, Canada.

En septembre 1969, elle débutait à l'Institut Interaméricain des Sciences Agricoles en qualité d'étudiante post-graduée au Département des Sols et des Cultures Tropicales où elle terminait ses études en mai 1971.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
DÉDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
BIOGRAPHIE.....	v
TABLE DES MATIÈRES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	x
1. INTRODUCTION.....	1
2. OUVRAGES CONSULTÉS.....	3
2.1 Caféine	3
2.1.1 Facteurs internes.....	3
2.1.1.1 L'organe.....	4
2.1.1.2 L'âge de l'organe.....	4
2.1.1.3 L'espèce et la variété.....	4
2.1.2 Facteurs externes.....	6
2.1.2.1 L'époque de l'année.....	6
2.1.2.2 L'altitude et la température.....	6
2.1.2.3 La fertilité du sol.....	7
2.1.2.4 L'intensité de la radiation solaire..	7
2.2 Azote.....	7
2.2.1 Le régime pluviométrique.....	8
2.2.2 La fertilité du sol.....	8
2.2.3 Les étapes du cycle de croissance.....	8
2.2.4 L'intensité de la radiation solaire.....	10
3. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	11
3.1 Localisation du travail en plein champ.....	11
3.2 Espèces utilisées.....	12
3.3 Prélèvement des échantillons.....	12
3.3.1 Feuilles.....	12
3.3.2 Fruits.....	13

	<u>Page</u>
3.4 Préparation des échantillons.....	14
3.5 Analyses chimiques.....	15
3.5.1 Microdosage de la caféine.....	15
3.5.2 Dosage de l'azote total.....	16
3.5.3 Dosage de l'azote soluble.....	18
3.5.4 Dosage de l'azote insoluble.....	18
3.6 Mesures de l'intensité de la radiation solaire.....	18
3.7 Les analyses statistiques.....	19
4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	20
4.1 Le contenu en caféine.....	20
4.1.1 Dans les feuilles.....	20
4.1.2 Dans les fruits.....	25
4.2 Le contenu d'azote dans les feuilles.....	27
4.2.1 L'azote total.....	28
4.2.2 L'azote soluble.....	33
4.2.3 L'azote insoluble.....	37
5. CONCLUSIONS.....	41
6. RÉSUMÉ.....	43
6a. RESUMEN.....	45
6b. SUMMARY.....	47
7. BIBLIOGRAPHIE.....	49
APPENDICE I.....	54
BIBLIOGRAPHIE DE L'APPENDICE I.....	58
APPENDICE 2.....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau No.		<u>Page</u>
1	Nombre de calories par centimètre carré par jour correspondant à la terminologie "ombre" et "soleil" pour les espèces <u>C. excelsa</u> , <u>C. Canephora</u> et <u>C. arabica</u>	19
2	Contenu initial probable de la caféine dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité du rayonnement solaire.....	21
3	Taux de diminution du contenu de la caféine par unité d'âge dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité du rayonnement solaire.....	22
4	Contenu initial probable de l'azote total dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité du rayonnement solaire.....	28
5	Taux de diminution du contenu d'azote total dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité de la radiation solaire.....	30
6	Corrélation entre le contenu de caféine et celui d'azote total dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> selon l'intensité de la radiation solaire.....	32
7	Contenu initial probable d'azote soluble dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité des radiations solaires.....	33
8	Taux de diminution ou d'augmentation de l'azote soluble par unité d'âge dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et de <u>C. arabica</u> suivant l'intensité des radiations solaires.....	35
9	Corrélation entre le contenu de caféine et celui d'azote soluble dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> selon l'intensité des radiations solaires.....	36

Tableau No.		<u>Page</u>
10	Contenu initial probable de l'azote insoluble dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> suivant l'intensité des radiations solaires.....	37
11	Taux de diminution du contenu d'azote insoluble par unité d'âge chez les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité des radiations solaires.....	39
12	Corrélation entre le contenu d'azote insoluble et celui de la caféine dans les feuilles de <u>C. excelsa</u> , <u>C. canephora</u> et <u>C. arabica</u> suivant l'intensité des radiations solaires.....	39

LISTE DES FIGURES

Figure No.		<u>Page</u>
1	Rapport entre le contenu en caféine et l'âge des feuilles à l'ombre et au soleil chez trois espèces de caféiers.....	23
2	Rapport entre le contenu en caféine et l'âge des fruits à l'ombre et au soleil chez trois espèces de caféiers.....	26
3	Rapport entre le contenu en azote total et l'âge des feuilles à l'ombre et au soleil chez trois espèces de caféiers.....	29
4	Rapport entre le contenu en azote soluble et l'âge des feuilles à l'ombre et au soleil chez trois espèces de caféiers.....	34
5	Rapport entre le contenu en azote insoluble et l'âge des feuilles à l'ombre et au soleil chez trois espèces de caféiers.....	38

1. INTRODUCTION

Présentement, le café décaféiné jouit d'une popularité sans cesse croissante à cause de la forme soluble sous laquelle on le vend et à cause des effets physiologiques que l'on attribue à la caféine. Ainsi, dans le cas de certaines maladies, plusieurs diètes prescrites par des médecins défendent la consommation de café à moins qu'il ne soit décaféiné. On peut ajouter que les gens, croyant souffrir d'insomnie à la suite de l'absorption de café, augmentent le nombre des acheteurs de café décaféiné. Considérant l'importance du sujet, nous présentons en appendice un résumé d'une série de travaux sur certains aspects médicaux du café (Appendice I).

L'intérêt du public sur la question a donc stimulé l'industrie et les chercheurs. Puisque les gens désirent du café sans caféine, pourquoi ne pas essayer de produire un café qui serait naturellement exempt de caféine? Les recherches sur la caféine se firent alors plus nombreuses. Cependant, il reste encore plusieurs aspects inconnus et spécialement en ce qui concerne l'effet des facteurs du milieu environnant sur le contenu en caféine du caféier.

C'est donc dans l'espoir de contribuer un peu à une meilleure connaissance du problème de la caféine que ce travail a été entrepris. En voici les objectifs:

- 1) Etudier, chez la feuille et chez le fruit, dans quelle mesure l'intensité du rayonnement solaire et l'âge peuvent influencer le contenu en caféine de différentes espèces de

caféiers, soit Coffea arabica L., Coffea canephora Pierre
et Coffea excelsa Chevalier.

- 2) Etablir s'il existe une relation entre le pourcentage d'azote et le contenu en caféine chez la feuille.

2. OUVRAGES CONSULTÉS

Voici une synthèse de quelques travaux traitant de la caféine, de l'azote et des facteurs qui peuvent en faire varier le contenu chez le caféier.

2.1 Caféine

Le contenu en caféine chez un caféier peut être grandement affecté soit par des facteurs internes propres à la plante elle-même ou par des facteurs externes inhérents au milieu ambiant.

2.1.1 Facteurs internes

On range dans cette catégorie les facteurs suivants: les organes et leur stage de développement, l'espèce du caféier, sa variété et, conséquemment, son caractère génétique, tout ceci contribuant à expliquer l'efficacité plus ou moins grande de la plante à synthétiser la caféine.

2.1.1.1 L'organe

Le contenu en caféine d'un caféier varie passablement d'un organe à l'autre (15). Ainsi, la plus grande concentration de cet alcaloïde se trouve dans les feuilles et dans les grains (4, 14, 30). Certains auteurs affirment que les racines n'en contiennent pas (4, 5, 14, 25, 28) alors que Wanner (40), Herndlhofer (15), Paris et Jacquemin (30), Fobe et Carvalho, cités par Sylvain (34) ont pu en détecter la présence.

2.1.1.2 L'âge de l'organe

Ce facteur fait également fluctuer la proportion de caféine chez le caféier. Les feuilles en subissent avec l'âge une diminution sensible (14, 15, 29). On a noté, par exemple, que la teneur en caféine chez le C. arabica variait de 1,42% chez les jeunes feuilles à 1,26% chez les plus âgées (15). Il en est de même pour le fruit. Sa teneur en caféine augmente seulement au début de sa formation et à partir de ce moment diminue à mesure que le fruit s'achemine vers la maturité (4, 15, 27). Hamidi et Wanner (14) ajoutent que cette diminution est suivie d'une légère augmentation chez les fruits très mûrs.

2.1.1.3 L'espèce et la variété

L'espèce constitue une autre source de variation. Les grains de C. canephora contiennent pratiquement deux fois plus de caféine que ceux de C. arabica et ceux de C. liberica se classent entre les deux premiers (25, 34). Les feuilles de C. excelsa en seraient totalement dépourvues (29) alors que des espèces sauvages (19) telles que, entre autres, le C. humblotiana, le C. mauritania et le C. macrocarpia de Madagascar et des autres îles Mascareignes n'en contiendraient qu'une quantité infime (10, 34, 46).

Chez une espèce donnée, le contenu en caféine des grains subit des modifications selon les variétés (7, 20, 31, 44). Selon Navellier (25), la teneur en caféine se situe chez les grains, pour les Arabica, entre 1,06% (Arabica de Madagascar) et 1,22% (Arabica du Togo), alors que certains Arabica du Brésil n'en renferment que 0,80%. Wilbaux (45) signale que les Arabica du Congo ont un contenu en caféine

qui varie de 0,94 à 1,59%. Par contre Carvalho et Tango (7) trouvent une teneur de 0,65% chez Laurina. Les caféiers du groupe des Canephora présentent une teneur qui oscille entre 1,6 et 2,8% pour les Robusta, Niaoulli et Kouilou (25, 44). Certains auteurs expliquent cette variation par le caractère génétique de ces variétés (44). Selon des recherches effectuées sur des plants de C. arabica de type laurina, Carvalho et Tango (7) ont déduit que la présence de la paire d'allèles lrlr est responsable de la réduction du contenu de caféine chez les grains, alors que les allèles Mg (maragogipe) et mo (mokka) semblent produire l'effet contraire.

Tout semble indiquer que la caféine est synthétisée dans les parties vertes de la plante et spécialement chez les feuilles (1, 31, 41). On sait que ses précurseurs sont la xanthine qui se transforme en théophylline, puis en théobromine et finalement en caféine (1, 5, 29, 30). Aussi, Ornano, Chassevent et Pougnaud (29) attribuent l'absence de caféine en quantités notables dans les grains de certains caféiers sauvages à un défaut de caféinogénèse au niveau des feuilles. Ce défaut serait total d'une part ou bien partiel si la chaîne xanthine, théobromine, caféine très affaiblie est présente d'autre part.

On explique aussi la diminution du contenu en caféine chez les feuilles âgées par un arrêt de la biosynthèse de cet alcaloïde (4). D'après certains chercheurs (14, 29), la caféine serait élaborée et stockée au fur et à mesure du vieillissement de celle-ci. Selon Kalberer (17), la dégradation de la caféine produirait de l'eau, du butanol, de l'éthanol, de l'acide acétique et de l'allantoïne.

2.1.2 Facteurs externes

Ce sont l'époque de l'année, l'altitude et la température, la fertilité du sol et l'intensité de la radiation solaire.

2.1.2.1 L'époque de l'année

Très peu de recherches furent effectuées sur ce sujet. Peckolt, cité par Herndlhofer (15), a constaté que la quantité de caféine fluctuait effectivement selon la période de l'année. L'analyse de feuilles de C. canephora démontre que la teneur en caféine variait entre 0,496% en février et 0,900% en décembre, ce mois correspondant à la période des pluies abondantes.

2.1.2.2 L'altitude et la température

Knaus, cité par Sylvain (34), a démontré qu'il existe une différence notable entre les divers échantillons provenant d'altitude variant de 100 à 1 000 m au-dessus du niveau de la mer. Il ne put cependant pas établir une corrélation apparente entre le contenu de caféine et l'altitude où croissent les caféiers. D'autres résultats obtenus par Wilboux (44) indiquent qu'on ne peut pas trouver de variations systématiques de composition pouvant être expliquées par des modifications du milieu. Par ailleurs, un autre travail effectué en Colombie par Sladden et cité par Wilboux (44) a fourni des données bien différentes. On a divisé ce pays en trois zones climatiques (chaude: 0-1 000 m; tempérée: 1 000-2 000 m; froide: 2 000-3 000 m) et les analyses révélèrent un contenu moyen de caféine chez les grains de 2,07% pour la région chaude et de 2,77 et 2,11% pour la zone tempérée et

froide respectivement. Cependant, on ne mentionne pas s'il s'agit d'échantillons provenant de la même variété.

2.1.2.3 La fertilité du sol

Très peu de recherches ont été entreprises sur l'influence probable des éléments disponibles du sol sur la teneur en caféine du caféier. En appliquant différents éléments mineurs à des plants de C. arabica, Rodríguez (32) découvrit que l'omission de l'application du zinc sur les feuilles produisait une augmentation du contenu en caféine chez les grains. Miranda (22) a constaté une différence hautement significative entre les divers niveaux d'azote appliqué et leur effet sur le pourcentage de la caféine dans les feuilles de C. arabica cv. 'Caturra'. Une application plus importante d'azote produisait une élévation du contenu en caféine, cette augmentation étant de type quadratique.

2.1.2.4 L'intensité de la radiation solaire

Suivant les ouvrages consultés, aucune recherche n'a encore été ébauchée concernant ce facteur. Cependant, selon Bernfeld (5), il y aurait moins de caféine synthétisée chez de jeunes plants poussant à la lumière que chez ceux croissant à l'obscurité. Par contre, Anderson et Gibbs (1) ont constaté que la lumière stimulait la formation de l'anneau purique de la caféine.

2.2 Azote

Parmi les facteurs qui font varier le contenu azoté d'un caféier les plus importants sont la distribution des pluies, le

degré de fertilité du sol, les étapes du cycle de croissance et l'intensité de la radiation solaire.

2.2.1 Le régime pluviométrique

De la distribution annuelle des pluies dépend le degré d'humidité du sol et celui-ci a un effet prédominant sur l'absorption de l'azote (27). Si le sol est sec, les racines du caféier ne peuvent absorber que très peu d'azote, même si cet élément est présent en grande quantité. En conséquence, la concentration en azote total de la feuille est habituellement basse durant la saison sèche (9, 23); mais dès que la saison des pluies débute il se produit une augmentation soudaine (12, 23). On a cependant remarqué que l'azote de certains composés solubles, tels que les amino-acides et les amides, est présent en plus grande quantité pendant la saison sèche que pendant la saison pluvieuse (4).

2.2.2 La fertilité du sol

On a constaté qu'une déficience en Mn, S, K, P, Mg et Mo peut provoquer une accumulation d'azote dans la feuille (8, 23, 27, 36). L'application d'engrais azoté soit sur le sol ou sur les feuilles a aussi un effet marqué sur le contenu en azote de la plante (6, 12, 23, 43) de même que le pH du sol, son aération, sa perméabilité et les fluctuations de sa température (23, 27).

2.2.3 Les étapes du cycle de croissance

Si l'on considère le contenu azoté de la plante entière, la courbe d'accumulation de l'azote total de même que celle de

l'azote soluble et de l'azote insoluble suivent de très près la courbe de la croissance totale du caféier durant l'année (23). Mais si l'on étudie les différents organes du plant, on constate que le contenu en azote varie d'un organe à l'autre et suivant l'étape du cycle végétatif de la plante (35). Lors de la formation de nouvelles feuilles, les matériaux azotés accumulés dans les organes de réserve, tige, racine principale et feuilles formées au cours de l'année précédente, se portent vers les parties les plus jeunes sous forme d'acides aminés (4, 21, 27, 34). Les feuilles nouvelles synthétisent les protéines et l'azote des feuilles croît à mesure que celles-ci se développent. Le maximum est atteint lorsque les feuilles ont leur taille définitive (4); à ce moment commence la migration de l'azote, spécialement celui des protéines (6, 9, 15, 18). Les vieilles feuilles perdent finalement la propriété de former ces composés albuminoïdes, mais la migration continue, ce qui se solde par une diminution sensible des protéines chez celles-ci (4, 12, 15). Un phénomène semblable se produit lors de la croissance du fruit (18, 21, 23).

Si l'on examine la courbe du pourcentage en matière azotée des jeunes feuilles et celle des feuilles âgées, on y remarque une tendance générale à la baisse (11, 43). Les périodes de diminution rapide de ce pourcentage correspondent à des périodes d'accumulation rapide d'azote chez le fruit (11). Chez ce dernier le contenu en azote augmente constamment durant la période de croissance (2) et on y constate qu'avec la maturité l'azote soluble diminue, alors que le pourcentage de protéine augmente dans la même proportion (15).

2.2.4 L'intensité de la radiation solaire

L'effet de l'intensité de la radiation solaire sur le contenu en azote du caféier fait l'objet de controverses. Certains auteurs (35, 43) s'accordent pour affirmer que l'azote total, soluble et insoluble augmentent si le caféier est adéquatement ombragé et si le sol contient suffisamment d'azote. Eisenmenger (13) constate que l'obscurité produit une augmentation du pourcentage d'azote chez le tabac.

Par contre, Herndlhofer (15) et Müller (23) ont tiré de leurs recherches des conclusions différentes. L'analyse des feuilles de caféiers croissant à différentes intensités de radiation solaire a démontré que le contenu en azote total était supérieur chez les feuilles pleinement illuminées. Müller (23) affirme qu'une déficience en azote produit l'effet contraire, c'est-à-dire que la concentration de cet élément est alors plus faible chez le caféier poussant sans ombre que chez le caféier ombragé. Et finalement, un travail de Hopp (16) présente des données assez curieuses si on les considère strictement du point de vue de l'illumination. Il a constaté que, chez les arbres sous abri, les feuilles les plus basses avaient le contenu en azote le plus élevé, alors que chez les caféiers non-ombragés les feuilles les plus hautes avaient le contenu azoté le plus élevé. Et en ce qui concerne la position, les feuilles de la périphérie, chez l'arbre ombragé, et les feuilles de l'intérieur, chez l'arbre non-ombragé, démontraient un contenu supérieur en azote.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Localisation du travail en plein champ

Les travaux furent exécutés au Centre Tropical d'Enseignement et de Recherches de l'Institut Interaméricain des Sciences Agricoles à Turrialba, Costa-Rica. Ce Centre se trouve à 9° 53' de latitude nord et à 83° 39' de longitude ouest. Il se situe à 603 mètres d'altitude par rapport au niveau de la mer.

La température moyenne annuelle est de 22° C. La moyenne la plus basse au cours des douze dernières années (1958-1969) a été de 21° 9 C et la plus élevée de 23° 0 C. L'amplitude moyenne annuelle est de trois degrés ^{3°} 8 C. Mai et juin sont les mois les plus chauds (23° 1 C) et janvier le plus froid (20° 9 C).

Les totaux pluviométriques moyens annuels sont de 241 cm. Le régime des pluies est régulier; il pleut toute l'année durant. On observe une diminution des pluies en janvier, février, mars et avril et une baisse légère en août et septembre. Puis on reconnaît deux maxima, l'un, principal, en décembre et novembre avec 27 et 30 cm et l'autre, secondaire, en juin et juillet avec 24 et 25 cm. Le mois le plus arrosé, décembre, reçoit quatre fois plus de pluie que le mois le moins pluvieux, février.

Les taux moyens annuels d'humidité relative sont constamment élevés; ils se situent entre 83 et 89%. Les taux maxima atteignent 99 et 100% et les minima 54 et 66%.

L'insolation est d'environ 1890 heures par an en moyenne, soit une moyenne mensuelle de 157 heures et une moyenne quotidienne de quatre heures et 35 minutes.

3.2 Espèces utilisées

Pour mener à bien ce travail, nous avons utilisé les feuilles et les fruits de trois espèces de caféiers, soit un C. canephora cv. 'Robusta' (no 3579-1-2), un C. excelsa cv. indéterminé provenant de Ceylan (no 3476-1-4) et un C. arabica cv. 'Mundo Nôvo'. Les deux premiers sont âgés de quatorze ans et font partie de la collection de caféiers du Centre Tropical d'Enseignement et de Recherche de l'Institut Interaméricain des Sciences Agricoles. L'Arabica, âgé de huit à dix ans, appartient aux plantations du même centre. Les espèces Excelsa et Arabica sont cultivées sans abri alors que le C. canephora est ombragé.

3.3 Prélèvement des échantillons

Les échantillons furent prélevés en août pour l'Excelsa et en septembre en ce qui concerne le Canephora et l'Arabica.

3.3.1 Feuilles

Les échantillons de feuilles étiquetées "au soleil" furent cueillis de branches recevant le maximum de lumière, c'est-à-dire de celles qui étaient les plus longues et qui, de par leur position dans l'arbre, étaient exposées le plus longuement au soleil. Ceux des feuilles étiquetées "à l'ombre" furent enlevés de branches plus petites à l'intérieur de l'arbre. Celles-ci étaient quasi toujours ombragées.

gées, car les arbres choisis étaient très touffus. La cueillette proprement-dite consista à détacher les feuilles des branches une par une à partir du bourgeon terminal en allant vers le tronc. La première paire de feuilles mesurait un tiers de la longueur normale. La deuxième paire était perçue du deuxième noeud de la branche et celles-ci mesuraient de 14 à 21 cm, étant plus longues ou plus courtes suivant les espèces. Elles étaient presque adultes et encore tendres. La troisième paire de feuilles avait atteint sa dimension normale et mesurait entre 25 et 33 cm; cependant, elle était encore tendre. A partir du quatrième noeud, toutes les feuilles étaient adultes.

Chaque paire de feuilles était recueillie séparément et insérée dans des sacs de papier, chacun portant le nom de l'espèce, le numéro du noeud, l'indicatif "ombre" s'il s'agissait de feuilles enlevées de branches situées à l'ombre et "au soleil" pour celles exposées au soleil. Il est évident que, pour recueillir suffisamment de matériel pour les analyses, il était nécessaire de dépouiller plusieurs branches. Mais, en se servant des noeuds comme points de repère, on put réduire la marge d'erreur pratiquement à zéro en ce qui a trait à l'âge des feuilles. On annota aussi sur les sacs la présence de fleurs pour l'espèce C. canephora, de la neuvième à la douzième feuille "au soleil" et pour C. arabica de la douzième à la dix-septième feuille "à l'ombre". On négligea cependant de prendre cette précaution lors du prélèvement des feuilles de C. excelsa.

3.3.2. Fruits

On procéda de la même façon que pour les feuilles. Sur les branches "à l'ombre" et "au soleil" on cueillit des fruits verts

et des fruits mûrs que l'on plaça séparément dans des sacs de papier étiquetés. Dans la catégorie "vert" on incluait les fruits totalement verts ayant terminé leur croissance, alors que dans la catégorie "mûrs" on y classifiait les fruits très mûrs et à demi-mûrs. Pour le C. arabi-ca la prise des échantillons fut effectuée après la récolte; ce qui compliqua de beaucoup le travail, car les fruits mûrs étaient très rares. Donc pour cette espèce, on a prélevé les fruits mûrs et les fruits verts aussi bien "à l'ombre" qu'"au soleil", afin d'avoir suffisamment de matériel pour les analyses.

3.4 Préparation des échantillons

Immédiatement après leur cueillette, les échantillons ont été transportés au laboratoire où on les lavait dans une eau savonneuse, afin de les débarrasser des poussières et des insecticides. Puis on les rinça deux fois, la deuxième fois avec de l'eau distillée. Le lavage a été suivi d'un séchage dans un four à circulation d'air constante dont la température était maintenue à 70° C. On y laissa les feuilles durant 24 heures et les fruits durant 48 heures.

L'étape suivante fut la mouture des échantillons. On utilisa un moulin Wiley, modèle intermédiaire, équipé de lames d'acier inoxydable et d'un tamis no 40. Le contenu de chaque sac était moulu séparément et était recueilli dans des pots de verre vissables. Entre chaque échantillon, le moulin était nettoyé à l'air comprimé, afin de le libérer complètement des particules de l'échantillon antérieur.

3.5 Analyses chimiques

On analysa le contenu en caféine, en azote soluble et en azote total des feuilles et le contenu en caféine des fruits.

Pour chaque échantillon, les analyses furent faites en double; si les résultats présentaient une différence supérieure à 0,50 ml d'acide lors du titrage, on répétait une troisième fois l'analyse. Voici les méthodes employées:

3.5.1 Microdosage de la caféine. Procédé BAILEY-ANDREW modifié (3)

Peser 1 gr. de l'échantillon broyé, cinq mg. de magnésie (MgO) en poudre dans un erlenmeyer taré de 500 ml. Ajouter environ 150 à 200 ml d'eau distillée. Porter à l'ébullition et faire bouillir 45 minutes en agitant de temps en temps.

Ajouter de l'eau s'il y a lieu pour éviter le débordement de la mousse (le poids final de l'eau doit être de 100 g). Refroidir le mélange à la température du laboratoire. L'ajuster au poids de: tare + prise d'essai + 105 g. Filtrer, avec papier filtre Whatman no 1, directement dans un récipient jaugé et recueillir exactement 50 ml de solution (correspondant à la moitié de la prise d'essai). Verser cette solution dans une ampoule à décanter de 150 ml. Laver le récipient jaugé avec deux ml d'eau distillée et les verser dans l'ampoule. Ajouter quatre ml de solution d'acide sulfurique à 10%. Extraire avec cinq portions de 10 ml de chloroforme en agitant vigoureusement pendant une minute. Laisser l'émulsion se briser et soutirer le chloroforme dans une ampoule à décanter de 100 ml. Ajouter cinq ml de solu-

tion de potasse (KOH) 1%. Agiter vigoureusement pendant une minute. Laisser l'émulsion se briser et soutirer le chloroforme, à travers un tampon de coton, dans un matras de Kjeldahl de 100 ml. Epuiser la solution alcaline avec cinq ml de chloroforme et les ajouter dans le matras de Kjeldahl. Déposer le matras dans un bain-marie et évaporer la plus grande partie du chloroforme. Ajouter dans le matras deux ml de la solution digestive (1 l H₂SO₄ + 15 gr K₂SO₄ + 25 ml d'une solution saturée de CuSO₄ contenant 2,5 gr de Na₂SeO + 10 gr HgO). Rincer l'intérieur du col du matras avec trois ml de chloroforme. Placer le matras sur la rampe de minéralisation et le chauffer durant 60 minutes ou jusqu'à ce que le liquide soit limpide. Procéder alors au dosage d'azote en utilisant pour le titrage de l'acide 0,01 N (1 ml d'acide 0,01 N correspond à 0,486 mg de caféine).

Résultats:

% N de la caféine / g de café: ml H₂SO₄ x normalité H₂SO₄ x meq. N x 2²
% de caféine / g de café: (% N de la caféine / g de café) (3,4662)

3.5.2 Dosage de l'azote total selon la méthode Micro-Kjeldahl adaptée par L. Müller (24)

Minéralisation

Dans un matras Kjeldahl de 100 ml introduire une prise d'essai de 100 mg d'échantillon broyé et sec. Ajouter deux ml du mélange catalyseur (1 litre H₂SO₄ + 15 g K₂SO₄ + 25 ml d'une solution saturée de CuSO₄ contenant 2,5 g de Na₂SeO + 10 g HgO). Déposer sur la rampe de minéralisation et chauffer durant au moins une heure jusqu'à ce que le liquide soit devenu limpide.

Entraînement de l'ammoniaque

Verser dans le matras 25 à 30 ml d'eau distillée en rinçant les parois et en agitant; il se produit un échauffement. Laisser refroidir spontanément ou sous un courant d'eau froide. Adapter au réfrigérant de l'appareil à entraînement une allonge dont l'extrémité plongera au fond d'un erlenmeyer de 50 ml contenant environ 10 ml d'une solution d'acide borique et d'indicateur ainsi préparée:

Dissoudre 20 g d'acide borique BO_3H_3 dans un litre d'eau bouillante.

Après refroidissement ajouter 10 ml de l'indicateur suivant:

0,05 de Bleu de méthylène
0,09 de Rouge de méthylène

dissout dans de l'alcool à 95%, le tout devant avoir un volume de 50 ml.

Raccorder le matras de minéralisation à l'appareil à entraînement, l'orifice d'arrivée de vapeur étant obturé et, au moyen d'un dispositif approprié, y introduire lentement 6 ml de lessive de soude (1 kg de NaOH + 1 litre H_2O distillée + 1 à 2 g phénoltanéine + 200 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$). Faire barbotter dans le mélange un courant de vapeur d'eau. L'entraînement de l'ammoniaque commence peu après et il est très rapide.

Titration

Au cours de la distillation, l'ammoniaque est fixé par la solution aqueuse d'acide borique. L'indicateur vire au vert dès que l'ammoniaque distille. Presque tout l'ammoniaque est distillé en moins de deux minutes, mais poursuivre la distillation durant trois minutes

de plus. Faire alors couler goutte à goutte dans l'erlenmeyer la solution titrée d'acide sulfurique 0,02 N, contenu dans la burette jusqu'à retour de l'indicateur à sa teinte rose violacée.

Résultats:

% N/ g de café: ml H_2SO_4 x normalité de H_2SO_4 x meq. N (0,014008) x 10

3.5.3 Dosage de l'azote soluble

Dans un récipient hermétique, introduire 1 g de l'échantillon et 20 ml d'eau distillée. Déposer dans un extracteur mécanique et laisser agiter durant 30 minutes. Filtrer sur papier filtre Whatman no 1. Recueillir cinq ml du filtrat (soit un quart de la prise d'essai), y ajouter deux ml du mélange catalyseur et déposer le tout dans un matras Kjeldahl afin de procéder au dosage de l'azote selon la méthode micro-Kjeldahl.

Calcul

% N/ g de café: ml H_2SO_4 x normalité H_2SO_4 x meq. N (0,014008) x 4

3.5.4 Dosage de l'azote insoluble

On obtint la quantité d'azote insoluble par la soustraction des quantités d'azote soluble de celles de l'azote total.

3.6 Mesures de l'intensité de la radiation solaire

Une fois terminée la collecte des échantillons on installa quatre actinomètres à alcool par arbre. Deux de ces appareils se trouvaient près des branches classifiées "à l'ombre", alors que les deux autres étaient auprès des branches "au soleil". Durant sept jours consécutifs, à la même heure, on fit la lecture de ces appareils; puis

on multiplia la moyenne obtenue par 18 (constante fournie par l'usine de fabrication de l'appareil) afin d'obtenir le nombre de calories par centimètre carré par jour (Tableau 1).

Tableau 1 Nombre de calories par centimètre carré par jour correspondant à la terminologie "ombre" et "soleil" pour les espèces C. excelsa, C. canephora et C. arabica.

Espèces	Ombre	Soleil
Excelsa	47,52 langleys/jr	225,36 langleys/jr
Canephora	55,62	354,78
Arabica	85,00	351,50

3.7 Les analyses statistiques

On soumit les résultats de nos analyses à un ordinateur I.B.M no 1130 qui les étudia sous forme d'analyse de variance, de régression et de corrélation. Nous avons aussi calculé s'il existait une différence significative statistiquement entre les intensités de radiation solaire.

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 Le contenu de caféine

Les variables considérées sont l'âge ou la position des feuilles sur la branche et l'intensité du rayonnement solaire.

4.1.1 Dans les feuilles

Le contenu de caféine dans les feuilles varie suivant l'âge et suivant l'espèce. Dans les diverses figures présentées, l'âge des feuilles est indiqué par leur position sur la branche. La paire terminale, par conséquent la plus jeune, est désignée par le no 1 et ainsi de suite. Nos analyses (Figure 1) révélèrent des pourcentages supérieurs dans la première feuille, soit 2,80% à l'ombre et 3,10% au soleil chez C. canephora, 1,97% à l'ombre et 1,54% au soleil chez C. arabica et 1,00% à l'ombre et 0,67% au soleil chez C. excelsa. Cette dernière donnée et les contenus illustrés dans la Figure 1 contredisent les résultats de Ornano, Chassevent et Pougneaud (29), lesquels constatèrent une absence totale de caféine chez les feuilles d'Excelsa.

Le contenu initial probable déterminé à partir de l'analyse de la variation du contenu dans les feuilles plus âgées (Tableau 2) fut de 0,92% à l'ombre et de 0,40% au soleil pour C. excelsa, de 5,28% à l'ombre et de 4,02% au soleil pour C. canephora et de 1,50% à l'ombre et de 1,37% au soleil pour C. arabica.

Tableau 2. Contenu initial probable de la caféine dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité du rayonnement solaire.

Modèle math.: $y = b_0 x^{b_1}$

Espèces	Ombre	R^2	Soleil	R^2
Excelsa	0,9173	90%	0,4034	79%
Canephora	5,2825	69%	4,0170	69%
Arabica	1,4972	60%	1,3655	19%

Le contenu de caféine diminue avec l'âge (Fig. 1). Il passe de 1,00 à 0,02% à l'ombre et de 0,67 à 0,00% au soleil entre la première et la huitième feuille chez C. excelsa. On remarque qu'une chute très marquée de la caféine se produit de la première à la troisième feuille dans les deux cas. Il est aussi intéressant de noter que, bien que le contenu soit très faible dans les feuilles à l'ombre, il se maintient au même niveau de la quatrième à la huitième feuille, alors que la caféine est absente dans la quatrième feuille perçue au soleil et les suivantes. Le taux de diminution du contenu de la caféine par unité d'âge est plus élevé au soleil (3,43%) qu'à l'ombre (2,09%), mais les analyses statistiques indiquèrent que la différence entre les contenus des échantillons perçus au soleil et ceux des échantillons prélevés à l'ombre n'est pas significative.

Un phénomène quelque peu différent se produit chez C. canephora dont les feuilles accusent des contenus variant de 2,80 à 0,03% à l'ombre et de 3,10 à 0,07% au soleil. Tout comme C. excelsa une chute très prononcée se produit de la première à la troisième feuille dans

laquelle la quantité de caféine est pratiquement trois fois moindre que celle contenue dans la première feuille. Remarquons que les pourcentages y sont légèrement plus élevés au soleil qu'à l'ombre, contrairement à ce qui se présente chez l'Excelsa. A partir de la quatrième feuille, la diminution est progressive, quoiqu'elle soit plus accentuée dans les feuilles prélevées à l'ombre. Le taux de diminution (Tableau 3) de la caféine par unité d'âge est de 1,41% à l'ombre et de 1,06% au soleil. Lors du prélèvement des échantillons on nota la présence de fleurs à partir de la neuvième feuille sur les branches au soleil et leur absence sur les branches à l'ombre. Il semble donc que la présence de fleurs n'affecte pas le contenu en caféine de façon déterminée du moins en ce qui concerne les dernières feuilles.

Tableau 3. Taux de diminution du contenu de la caféine par unité d'âge dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité du rayonnement solaire.

Modèle math.: $y: b_0 x^{b_1}$

Espèces	Ombre		Soleil	
		R ²		R ²
Excelsa	- 2,0952	90%	- 3,4284	79%
Canephora	- 1,4095	69%	- 1,0629	69%
Arabica	- 0,2999	60%	- 0,1307	19%

Pour ce qui est de C. arabica, les contenus de caféine s'échelonnent entre 1,97 et 0,49% chez les feuilles prélevées à l'ombre et 1,54 et 1,15% chez celles perçues au soleil (Fig. 1). Comme pour les deux espèces précédentes, une chute marquée de la caféine se produit de la première à la troisième feuille, cette chute étant plus prononcée

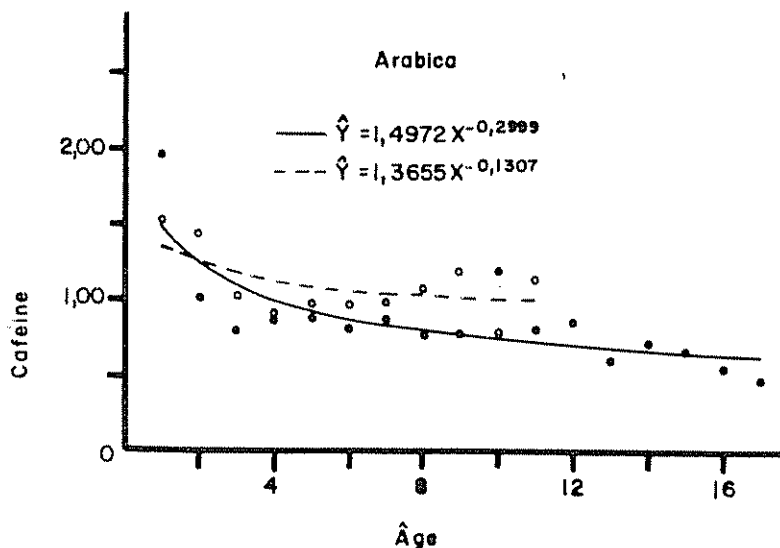
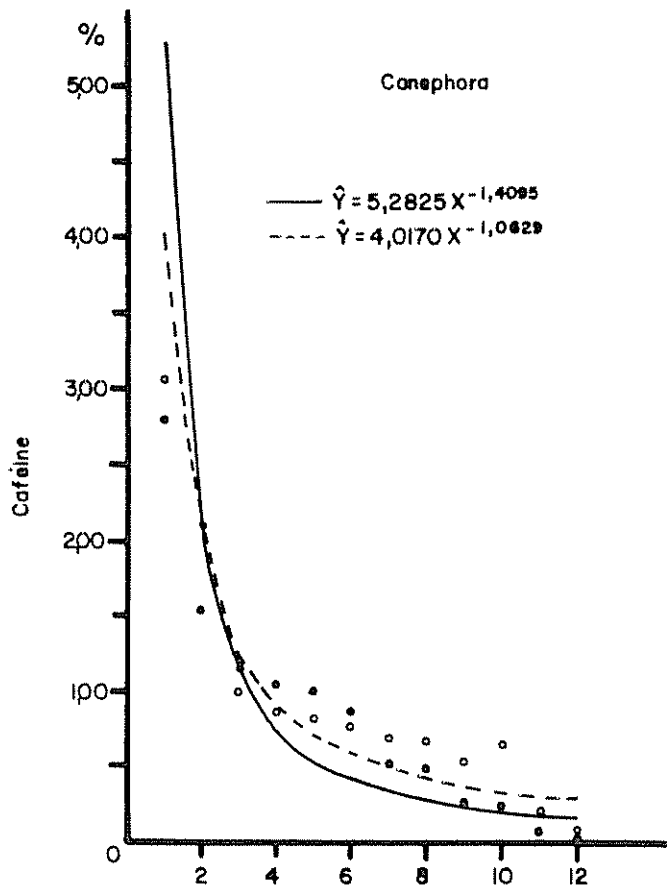
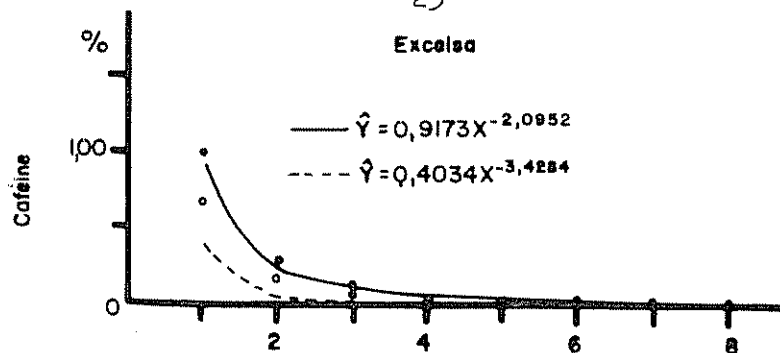


Fig 1 Rapport entre le contenu de caféine et l'âge des feuilles à l'ombre (traits continus) et au soleil (traits pointillés) chez trois espèces de caféiers

à l'ombre qu'au soleil. La diminution, en général, est continue et progressive, ne variant à l'ombre, de la quatrième à la dix-septième feuille, que de 0,88 à 0,49%. En ce qui concerne le contenu des feuilles au soleil, on constate que la diminution est presque inexistante de la quatrième à la septième feuille et qu'elle est suivie d'une légère augmentation de la huitième à la onzième, exception faite de la dixième feuille. On a noté, lors du prélèvement des échantillons, la présence de fleurs à partir de la douzième feuille chez les branches à l'ombre, ce qui ne semble pas avoir affecté le contenu en caféine de ces feuilles. Le taux de diminution de la caféine par unité d'âge (Tableau 3) est plus élevé à l'ombre (0,30%) qu'au soleil (0,13); les analyses statistiques ne révélèrent aucune différence significative entre le contenu en azote total des feuilles sous les différentes intensités de la radiation solaire.

Pour les trois espèces le contenu en caféine est donc inversement proportionnel à l'âge; ce qui corrobore les résultats de Hamidi, Albas et Wanner (14), ceux de Herndholfer (15) et ceux de Ornano, Chassevent et Pougneaud (29). Selon ces chercheurs, ce phénomène serait dû à ce que la caféine élaborée et stockée au fur et à mesure que la feuille croît est transportée ou dégradée au moment du vieillissement de celle-ci (14, 29).

On constate aussi que, dans l'ensemble, le contenu de caféine des feuilles de C. arabica est inférieur à celui de C. canephora, à l'instar des données fournies par la littérature en général pour les grains (25, 34).

4.1.2 Dans les fruits

Le contenu de caféine des fruits varie très peu selon l'âge (Fig. 2). Les analyses indiquent que chez C. excelsa la différence entre les contenus de caféine des fruits mûrs et des fruits verts est inexistante à l'ombre et minime au soleil. Il en est ainsi en ce qui concerne l'intensité du rayonnement solaire: 0,40% pour les fruits ombragés, 0,40 et 0,37% pour les fruits non-ombragés.

Pour ce qui est de C. canephora, celle-ci est l'espèce chez laquelle le contenu en caféine diminue davantage. On lit 2,00% à l'ombre et 1,20% au soleil pour les fruits verts et 1,46% à l'ombre et 1,20% au soleil pour les fruits mûrs. On s'aperçoit que la différence entre les résultats obtenus sous les diverses intensités de radiation solaire est très mince et que les fruits prélevés à l'ombre contiennent un peu plus de caféine que les fruits exposés au soleil.

L'espèce C. arabica vient en second lieu (Fig. 2). Les fruits verts contiennent 1,05% de caféine et les fruits mûrs 0,81%, tous prélevés à l'ombre comme au soleil pour les raisons mentionnées dans le chapitre précédent.

Nos résultats confirment, du moins en ce qui a trait aux espèces C. canephora et C. arabica, les travaux consultés dans lesquels on constate une diminution de la caféine chez le fruit à mesure qu'il s'achemine vers la maturité (4, 15, 27). Puisqu'à notre connaissance il n'y ait pas eu d'autres recherches effectuées, à part celle de Anderson et Gibbs (1), en ce qui concerne l'action de la lumière sur le contenu

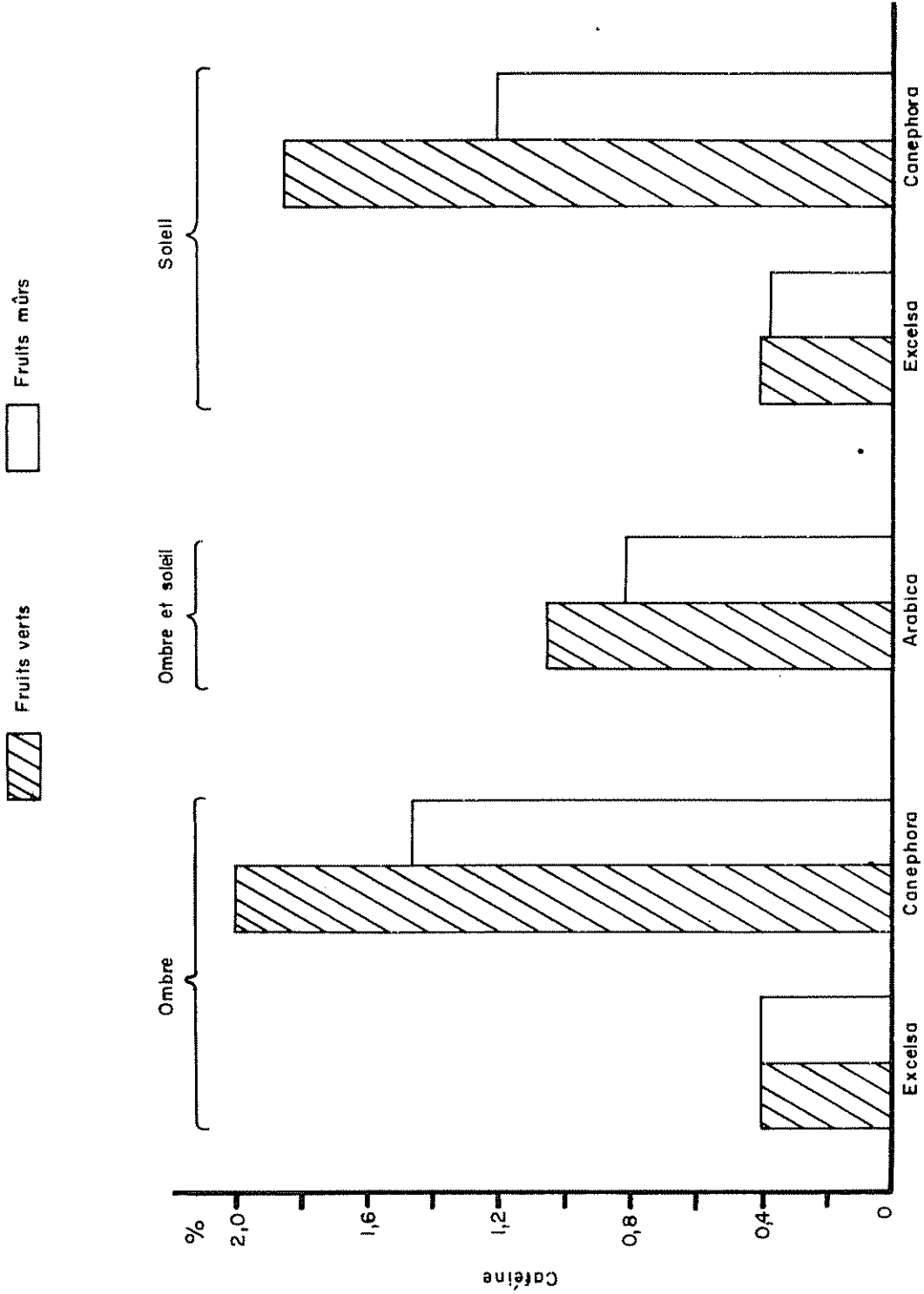


Fig.2 Histogramme du contenu de caféine et de l'âge des fruits à l'ombre et au soleil chez trois espèces de caféiers

en caféine dans les fruits et dans les feuilles, nous ne sommes pas en mesure de comparer nos résultats. Ces derniers auteurs constatèrent un effet stimulateur de la lumière sur la formation de la caféine surtout dû à son influence sur le noyau purique. La caféine est un dérivé des bases puriques (5) et, si l'on admet que celles-ci résultent des processus secondaires de dislocation de la molécule albuminoïde, nous mentionnerons Wewers, cité par Beille (4), qui ne reconnaît, contrairement à Anderson et Gibbs, aucune influence à la lumière et à la fonction chlorophyllienne sur la formation de ces bases; la lumière ne jouerait pas un rôle plus important dans la formation des matières albuminoïques (4). Considérant ceci et nos résultats, il semble logique que ces derniers indiquent une influence minime de la lumière sur le contenu de caféine des feuilles et des fruits. Il convient cependant de s'interroger sur un point, à savoir si cette influence serait significative une fois augmenté l'écart entre les intensités de la radiation solaire.

Quoiqu'il en soit, considérant le domaine des pratiques culturales, il semble bien que les divers contenus en caféine de caféiers d'une même espèce et d'une même variété, qu'ils soient cultivés au soleil ou avec ombrage, ne présenteraient pas une différence d'importance commerciale.

4.2 Le contenu d'azote dans les feuilles

Le contenu en azote total, en azote soluble et en azote insoluble varie selon l'âge, l'espèce et très peu selon l'intensité du rayonnement solaire.

4.2.1 L'azote total

D'après le résultat des analyses (Fig. 3) on constate un contenu supérieur en azote total dans la première feuille, soit de 2,46% à l'ombre et de 2,75% au soleil chez C. excelsa, de 4,52% à l'ombre et de 4,36% au soleil chez C. canephora et de 4,07% à l'ombre et de 3,98% au soleil chez C. arabica.

Le contenu initial probable (Tableau 4) serait de 2,61% à l'ombre et de 2,47% au soleil pour l'espèce Excelsa, de 4,76% à l'ombre et de 4,60% au soleil pour C. canephora et de 3,87% à l'ombre et de 4,11% au soleil pour C. arabica.

Tableau 4. Contenu initial probable de l'azote total dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité du rayonnement solaire.

$$\text{Modèle math.: } y: b_0 x^{b_1}$$

Espèces	Ombre		Soleil	
		R ²		R ²
Excelsa	2,6128	45%	2,4680	20%
Canephora	4,7565	88%	4,5955	83%
Arabica	3,8693	92%	4,1146	90%

Le contenu en azote total (Figure 3) diminue à mesure que la feuille vieillit. Il passe de 2,46 à 2,04% à l'ombre et de 2,75 à 1,89% au soleil chez C. excelsa. La courbe du contenu en azote des feuilles tirées à l'ombre indique une légère augmentation de la première à la quatrième feuille suivie par une diminution ténue de la cinquième à la huitième feuille. Le taux de diminution de l'azote total par

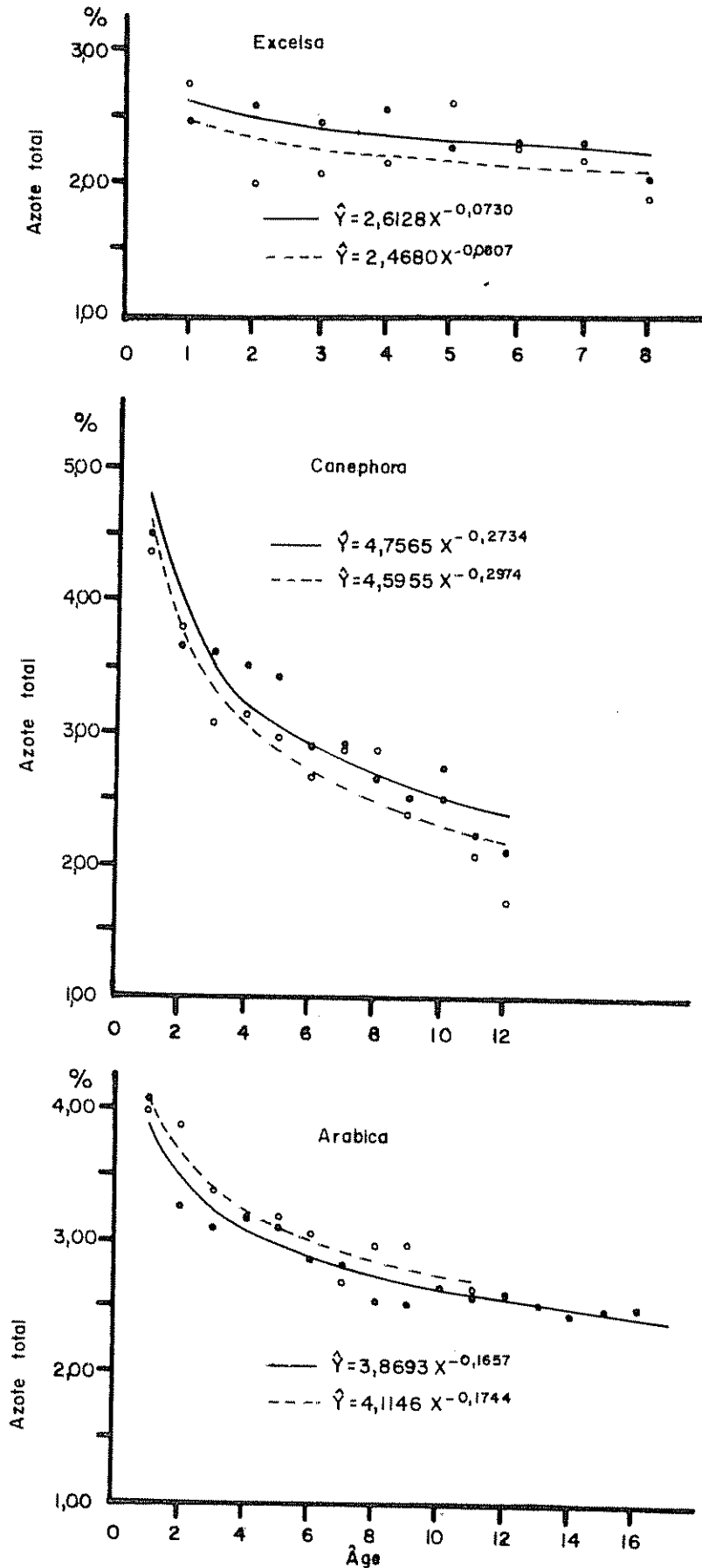


Fig. 3 Rapport entre le contenu en azote total et l'âge des feuilles à l'ombre (traits continus) et au soleil (traits pointillés) chez trois espèces de caféiers

unité d'âge serait de 0,07% (Tableau 5). La courbe des échantillons non-ombragés est plutôt aberrante: de la première feuille à la deuxième on note une chute de 0,80% suivie d'une remontée graduelle jusqu'à la cinquième feuille et puis d'une baisse. Le taux de diminution est de 0,08%. On remarque qu'en général le contenu en azote total est supérieur à l'ombre, bien que la différence ne soit pas statistiquement significative.

Tableau 5. Taux de diminution du contenu d'azote total dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité de la radiation solaire par unité d'âge.

$$\text{Modèle math.: } y: b_0 x^{b_1}$$

Espèces	Ombre	R ²	Soleil	R ²
Excelsa	- 0,0730	45%	- 0,0807	20%
Canephora	- 0,2734	88%	- 0,2974	83%
Arabica	- 0,1657	92%	- 0,1744	90%

L'espèce Canephora présente des résultats (Fig. 3) qui s'échelonnent de 4,52 à 2,13% à l'ombre et de 4,36 à 1,74% au soleil. On observe une chute très prononcée de l'azote dans l'intervalle première-troisième feuille (cette dernière étant la première paire ayant atteint sa dimension normale) et par la suite une diminution lente chez les autres feuilles, ce qui coïncide avec les observations de Chaverri et Bornemisza (9). D'une façon générale, l'azote diminue plus régulièrement à l'ombre qu'au soleil et on constate que les échantillons ombragés en ont un contenu supérieur. Mais, comme pour C. excelsa, la différence n'est pas statistiquement significative. Le taux de diminution de l'azote total par unité d'âge (Tableau 5) est de 0,27% à l'ombre et

de 0,30% au soleil.

Pour ce qui est de C. arabica, le contenu en azote total (Figure 3) passe de 4,07 à 2,42% à l'ombre et de 3,98 à 2,65% au soleil. Comme pour C. canephora, le contenu en azote diminue très rapidement chez les trois premières feuilles, puis d'une façon graduelle chez les suivantes. Contrairement aux deux espèces précédentes, on observe que les contenus d'azote total sont plus élevés au soleil qu'à l'ombre, quoique la différence tendrait à confirmer les résultats obtenus par Herndlhofer (15) et Müller (23) qui ont démontré que le contenu en azote total est supérieur chez les feuilles pleinement illuminées. Par contre, Tanada (35) dont les expériences portèrent sur de jeunes Arabica de moins d'un an affirme que l'azote augmente si le caféier est adéquatement ombragé et si le sol contient suffisamment d'azote. Nous n'avons pas fait d'analyses du sol, mais puisque les arbustes étudiés ne présentaient aucune déficience visible nous sommes portés à croire que l'azote était présent dans le sol en quantité suffisante. Cependant, il est nécessaire de retenir que Tanada (35) a analysé le contenu en azote total des feuilles de caféiers ombragés et de caféiers non-ombragés, alors que notre comparaison porte sur des feuilles ombragées et non-ombragées d'un même caféier (en production) croissant sans arbre d'ombrage. Nous croyons donc que la nature de l'écart entre les contenus des feuilles à l'ombre et ceux des feuilles au soleil pourrait être attribuable à ce fait. Le taux de diminution par unité d'âge (Tableau 5) est de 0,16% à l'ombre et de 0,17% au soleil.

Nos résultats en ce qui a trait à l'effet de l'âge sur le contenu en azote total rejoignent ceux des chercheurs en général.

Ils expliquent le contenu inférieur des feuilles plus âgées par la perte de leur propriété de former des composés albuminoïdes (12, 15) et par une migration des matériaux azotés spécialement ceux des protéines vers les feuilles nouvelles (6, 9, 15, 18). Il est intéressant de noter que la présence de fleurs à partir de la neuvième feuille au soleil chez C. canephora et de la douzième chez C. arabica ne semble pas avoir modifié de façon notable le contenu en azote total de ces feuilles.

Par ailleurs, nous avons cherché s'il existait une relation entre les contenus d'azote total et ceux de caféine. Les analyses statistiques indiquent une corrélation (Tableau 6) de 53% à l'ombre et de 34% au soleil en ce qui concerne C. excelsa, de 93% à l'ombre et de 97% au soleil chez C. canephora et de 80% à l'ombre et de 47% au soleil pour C. arabica. Notons que pour les espèces C. excelsa et C. arabica les corrélations, bien qu'étant faibles, sont plus élevées à l'ombre qu'au soleil, alors que chez C. canephora le phénomène inverse se produit; c'est d'ailleurs chez cette dernière espèce que les pourcentages de corrélation sont les plus élevés.

Tableau 6. Corrélation entre le contenu de caféine et celui d'azote total dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica selon l'intensité de la radiation solaire.

Espèces	Ombre	Soleil
Excelsa	0,528	0,336
Canephora	0,933	0,966
Arabica	0,798	0,473

4.2.2 L'azote soluble

Selon nos analyses, la fraction soluble de l'azote est supérieure dans la première feuille soit 0,42% à l'ombre et 0,36% au soleil chez C. excelsa, 1,28% à l'ombre et 1,50% au soleil chez C. canephora et 1,30% à l'ombre et 1,40% au soleil chez C. arabica.

Le contenu initial probable (Tableau 7) de l'azote soluble dans les feuilles serait de 0,43 et 0,39% pour C. excelsa, de 3,37 et 1,56% pour C. canephora et de 1,09 et 1,43% pour C. arabica.

Tableau 7. Contenu initial probable d'azote soluble dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité des radiations solaires.

Modèle math.: $y: b_0 x^{b_1}$

Espèces	Ombre		Soleil	
		R ²		R ²
Excelsa	0,4314	73%	0,3906	15%
Canephora	2,7750	24%	1,5647	77%
Arabica	1,0865	76%	1,4278	73%

Chez C. excelsa le contenu en azote soluble (Fig. 4) passe, entre la première et la huitième feuille, de 0,42 à 0,21% à l'ombre et de 0,36 à 0,29% au soleil. Pour cette espèce, il semble bien que l'acheminement vers la maturité n'affecte pas toujours la fraction soluble; on remarque une augmentation sensible de la troisième à la septième feuille au soleil. Les analyses statistiques indiquèrent pour cette espèce un taux de diminution (Tableau 8) de 0,26% à l'ombre et un taux d'augmentation de 0,16% au soleil par unité d'âge. Il est inté-

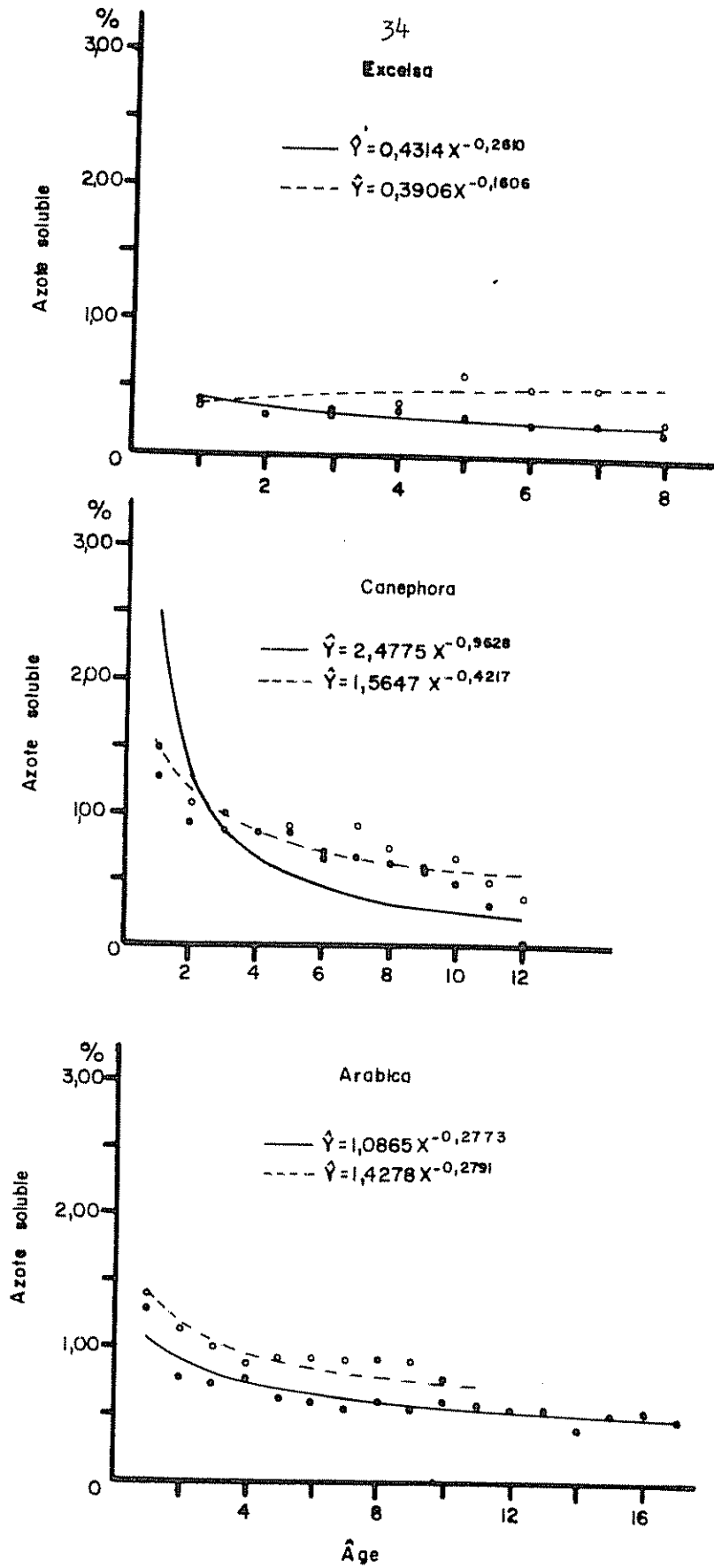


Fig. 4 Rapport entre le contenu en azote soluble et l'âge des feuilles à l'ombre (traits continus) et au soleil (traits pointillés) chez trois espèces de caféiers

ressant de remarquer que, contrairement à l'azote total, le contenu en azote soluble est supérieur au soleil.

Les contenus en azote soluble chez C. canephora s'échelonnent de 1,28 à 0% à l'ombre et de 1,50 à 0,37% au soleil. Les pourcentages en azote soluble sont supérieurs au soleil alors que pour l'azote total les contenus plus élevés se trouvaient chez les feuilles ombragées. Le taux de diminution par unité d'âge (Tableau 8) est de 0,96% à l'ombre et de 0,42% au soleil.

Tableau 8. Taux de diminution ou d'augmentation de l'azote soluble par unité d'âge dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et de C. arabica suivant l'intensité des radiations solaires.

$$\text{Modèle math.: } y = b_0 x^{b_1}$$

Espèces	Ombre	R ²	Soleil	R ²
Excelsa	- 0,2610	73%	0,1606	15%
Canephora	- 0,9628	24%	- 0,4217	77%
Arabica	- 0,2773	76%	- 0,2791	73%

Chez C. arabica l'azote soluble diminue de 1,30 à 0,49% à l'ombre et de 1,40 à 0,59% au soleil. Le contenu en azote soluble est supérieur au soleil tout comme l'azote total, du moins jusqu'à la onzième feuille. Le taux de diminution (Tableau 8) est de 0,28% tant au soleil qu'à l'ombre.

Il semble donc que pour les trois espèces une intensité supérieure des radiations solaires favoriserait une légère augmentation de l'azote soluble dans les feuilles, ce qui va à l'encontre des di-

res de Tanada (35) pour l'Arabica. De plus, le facteur âge produit une diminution, bien que minime, chez les feuilles des trois espèces au soleil sauf pour C. excelsa.

Nous avons aussi cherché s'il existait une relation entre l'azote soluble et la caféine. Les analyses statistiques (Tableau 9) indiquèrent une corrélation de 70% à l'ombre pour C. excelsa, de 82 et 96% pour C. canephora et de 86 et 33% pour C. arabica. Il n'existe aucune relation entre l'azote soluble et la caféine chez l'Excelsa au soleil. Remarquons que pour C. excelsa et C. arabica c'est à l'ombre que la corrélation est la plus élevée, alors que pour C. canephora la corrélation la plus importante est au soleil.

Tableau 9. Corrélation entre le contenu de caféine et celui d'azote soluble dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica selon l'intensité des radiations solaires.

Espèces	Ombre	Soleil
Excelsa	0,700	- 0,399
Canephora	0,817	0,961
Arabica	0,859	0,325

Cette corrélation déterminée statistiquement nous paraît logique, même le facteur âge étant écarté, si l'on se base sur les assertions de Manske et Holmes (20) et Wewers cité par Beille (4). Ceux-ci affirment que les précurseurs des alcaloïdes en général (20) et de la caféine (4) se trouvent parmi les composés dont l'azote est soluble. Celui-ci est formé par des composés azotés relativement simples comme

les amines, les acides aminés et les bases azotées simples qui proviennent, par synthèse, directement de l'ammoniaque et de produits de la glycolyse ou indirectement de la formation et de la décomposition des protéines (20).

L'azote de la caféine n'est pas contenu dans la fraction soluble, car les analyses furent exécutées en laboratoire avec de l'eau froide. Or la solubilité de la caféine (33) est de 2,2% dans de l'eau à 77° F (25° C) alors qu'elle est de 40% dans de l'eau à 212° F (100° C).

4.2.3 L'azote insoluble

On obtint la quantité d'azote insoluble par la soustraction des quantités d'azote soluble de celles de l'azote total. Comme ces deux variables fluctuent en fonction de l'âge, il est de même pour l'azote insoluble. Les données supérieures (Figure 5) se trouvent dans les premières feuilles et on observe des contenus variant de 2,04 à 1,83% à l'ombre et de 2,39 à 1,60% au soleil chez C. excelsa, de 3,24 à 2,13% à l'ombre et de 2,86 à 1,37% au soleil pour C. canephora et de 2,77 à 1,93% à l'ombre et de 2,58 à 2,06% au soleil chez C. arabica.

Tableau 10. Contenu initial probable de l'azote insoluble dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et de C. arabica suivant l'intensité des radiations solaires.

Modèle math.: $y: b_0 x^{b1}$

Espèces	Ombre	R^2	Soleil	R^2
Excelsa	2,1900	19%	2,1485	52%
Canephora	3,2376	87%	3,0513	83%
Arabica	2,7685	82%	2,7074	70%

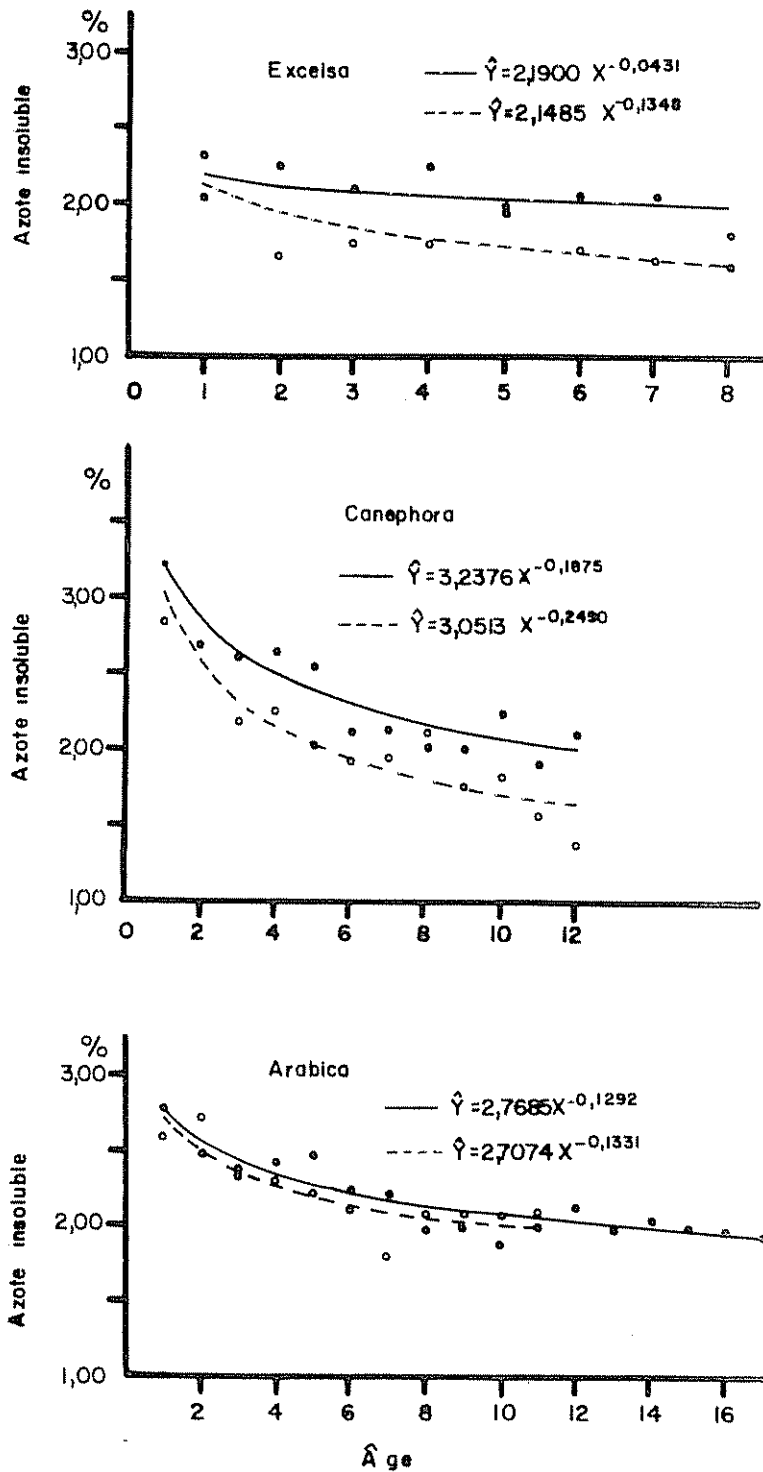


Fig.5 Rapport entre le contenu en azote insoluble et l'âge des feuilles à l'ombre (traits continus) et au soleil (traits pointillés) chez trois espèces de caféiers

Le contenu initial probable (Tableau 10) selon les analyses de variation serait de 2,19 et de 2,15% pour C. excelsa, de 3,24 et de 3,05% pour C. canephora et de 2,77 et 2,71% pour C. arabica.

Tableau 11. Taux de diminution du contenu d'azote insoluble par unité d'âge chez les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité des radiations solaires.

$$\text{Modèle math.: } y = b_0 x^{b_1}$$

Espèces	Ombre	R ²	Soleil	R ²
Excelsa	- 0,0431	19%	- 0,1348	52%
Canephora	- 0,1875	87%	- 0,2490	83%
Arabica	- 0,1292	82%	- 0,1331	70%

Le taux de diminution du contenu d'azote insoluble (Tableau 11) serait supérieur chez C. canephora, suivi dans l'ordre par C. arabica et C. excelsa.

Tableau 12. Corrélation entre le contenu d'azote insoluble et celui de la caféine dans les feuilles de C. excelsa, C. canephora et C. arabica suivant l'intensité des radiations solaires.

Espèces	Ombre	Soleil
Excelsa	0,295	0,589
Canephora	0,770	0,956
Arabica	0,635	0,485

Quoique cette fraction de l'azote total contienne l'azote de la caféine, nous avons trouvé des corrélations faibles entre l'azote insoluble et la caféine sauf en ce qui a trait à C. canephora (Tableau 12).

5. CONCLUSIONS

Des résultats de cette expérience on peut conclure:

- 1) L'espèce C. excelsa contient de la caféine dans les jeunes feuilles; elle a, dans la première feuille, 1,00% à l'ombre et 0,67% au soleil.
- 2) Pour toutes les espèces étudiées le contenu en caféine varie de façon inversement proportionnelle à l'âge. L'espèce C. excelsa est celle dont le taux de diminution par unité d'âge est le plus accentué, suivi dans l'ordre par C. canephora cv. 'Robusta' et C. arabica cv. 'Mundo Nôvo'.
- 3) Avec l'augmentation de l'intensité des radiations solaires, le contenu de caféine des feuilles et des fruits aurait tendance à diminuer chez C. excelsa et à augmenter chez C. canephora et C. arabica. Cependant, les variations ne sont pas statistiquement significatives.
- 4) Les contenus en azote total, azote soluble et azote insoluble des feuilles de C. canephora et C. arabica décroissent avec l'âge.
- 5) L'azote total, l'azote soluble et l'azote insoluble ne subissent aucune variation statistiquement significative lorsqu'augmente l'intensité des radiations solaires, bien que l'azote soluble ait tendance à augmenter chez les trois espèces. L'azote total et l'azote insoluble tendent à diminuer chez C. excelsa et C. canephora au moment où augmente l'intensité des radiations solaires. Chez C. arabica l'azote total a tendance à s'élever et l'azote insoluble à s'abaisser.
- 6) Il existe une corrélation très étroite entre le contenu d'azote total, d'azote soluble, d'azote insoluble et celui de caféine chez

les feuilles de C. canephora à l'ombre et au soleil (voir les Tableaux 6, 9, 12).

- 7) Une corrélation appréciable existe entre l'azote total, l'azote soluble et l'azote insoluble et celui de la caféine chez les feuilles de C. arabica à l'ombre (voir les Tableaux 6, 9 et 12).
- 8) Une corrélation existe entre l'azote soluble et la caféine chez les feuilles de C. excelsa à l'ombre (voir le Tableau 9).

6. RESUMÉ

Ce travail a été réalisé en partie dans les plantations de l'IICA et complété dans les laboratoires du Département des Sols et des Cultures Tropicales du même Institut. Généralement le caféier est cultivé à travers le monde avec ou sans abri, ce qui a suscité l'intérêt de cette recherche, à savoir comment l'intensité de la radiation solaire peut influencer le contenu en caféine et en azote des feuilles et des fruits à mesure qu'ils vieillissent.

Les objectifs de ce travail furent les suivants: 1) Etudier chez le fruit et chez la feuille de quelle manière l'intensité de la radiation solaire et l'âge peuvent influencer le contenu en caféine de différentes espèces de caféiers (C. arabica, C. canephora, C. excelsa); 2) Déterminer s'il existe une relation entre le contenu en caféine et celui de l'azote chez les feuilles.

Afin de réaliser ces objectifs, on sélectionna un arbre de chaque espèce et les échantillons de feuilles au soleil furent prélevés de branches dont la position sur l'arbre les exposait le plus longuement au soleil. Les feuilles à l'ombre furent enlevées de branches situées à l'intérieur de l'arbre et recevant un minimum de lumière. La cueillette proprement-dite consista à détacher les feuilles des branches, une par une, à partir du bourgeon terminal en allant vers le tronc, la première paire de feuilles étant la plus jeune. On recueillit les fruits de la même façon, c'est-à-dire de branches "à l'ombre" et "au soleil". La sélection en fonction de l'âge se fit

d'après leur couleur, les plus jeunes étant verts mais de taille adulte et les plus âgés d'un rouge prononcé.

Après avoir séché et moulu les échantillons, on procéda aux analyses chimiques. On utilisa le procédé Bailey-Andrew pour le microdosage de la caféine et la méthode Micro-Kjeldahl adaptée par L. Müller pour le dosage de l'azote.

Des résultats de ces analyses on peut conclure:

- 1) L'espèce C. excelsa contient de la caféine dans les jeunes feuilles (1,00% à l'ombre et 0,67% au soleil);
- 2) Chez les trois espèces, le contenu en caféine décroît à mesure que les feuilles vieillissent;
- 3) Une augmentation de l'intensité de la radiation solaire ne produit aucune variation statistiquement significative du contenu en caféine et en azote des feuilles et des fruits;
- 4) Il existe une corrélation étroite entre le contenu en caféine et celui en azote des feuilles de C. canephora et C. arabica;

6a. RESUMEN

El presente estudio se realizó parcialmente en las plantaciones del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas y se completó en los laboratorios del Departamento de Fitotecnia y Suelos del mismo Instituto. Generalmente se cultiva el cafeto con o sin sombra; la presencia o la ausencia de este elemento suscitó el interés de esta investigación, es decir se planteó el siguiente problema: cómo la intensidad de la radiación solar influye sobre el contenido de cafeína y nitrógeno de las hojas y frutos a medida que envejecen?

Los objetivos del trabajo fueron: 1) Estudiar en la hoja y en el fruto de qué manera la intensidad de la radiación solar y la edad de las muestras pueden influir sobre el contenido de cafeína en algunas especies de cafetos (Coffea arabica cv. 'Mundo Nôvo', C. canephora cv. 'Robusta' y C. excelsa cv. indeterminado). 2) Determinar si hay una relación entre el contenido de nitrógeno y el de cafeína en la hoja.

Para el cumplimiento de estos objetivos se seleccionó un árbol de cada especie y las muestras de hojas "al sol" fueron recogidas de ramas cuya posición en el árbol las exponían por más tiempo al sol. Las de hojas "a la sombra" fueron tomadas de ramas ubicadas más cerca del tronco, y recibiendo un mínimo de radiación solar. La recolección propiamente dicha consistió en cortar las hojas de las ramas, una por una, a partir de la yema terminal hasta el tronco, el primer par de hojas siendo el más joven. Se tomaron los frutos de la

misma manera, es decir de ramas "a la sombra" y "al sol". La selección en función de la edad se efectuó según el color: los más jóvenes siendo verdes pero de tamaño adulto y los más viejos de un color rojo oscuro.

Después de haber secado y molido las muestras, se efectuaron los análisis químicos. Se utilizaron el método Bailey-Andrew para la determinación de la cafeína y el método Micro-Kjeldahl adaptado por L. Müller para la determinación del nitrógeno.

Los resultados más importantes de este estudio se pueden resumir de la siguiente manera:

- 1) La especie C. excelsa contiene cafeína en las hojas jóvenes (1,00% a la sombra y 0,67% al sol en el primer par de hojas;
- 2) En las tres especies el contenido de cafeína decrece con la edad de las hojas;
- 3) Un aumento de la radiación solar no produce variaciones estadísticamente significativas en el contenido de cafeína y nitrógeno de las hojas y frutos;
- 4) Hay una correlación entre el contenido de nitrógeno y el de cafeína en las hojas de C. canephora y C. arabica.

6b. SUMMARY

This research has been done partly in the experimental coffee plantation of the IICA and partly in the Plant Physiology Laboratory of the above Institute.

The objectives were: 1) To study the possible effects of sunlight intensity and age on the caffeine content of the leaves and fruits of three different coffee species (Coffea excelsa, Coffea canephora, Coffea arabica). 2) To determine if there is a relationship between the caffeine content and the nitrogen content of the leaves.

A tree for each species was selected and the unshaded leaves sampled from branches fully exposed to the sun; the shaded leaves, however, were picked from branches receiving a minimum of sunlight in the interior of the trees. The leaves were sampled individually going from the terminal bud to the trunk (the first pair being the youngest ones). The fruits were selected from the same branches according to their color. The immature fruits were green but of adult size, while the ripe ones were dark red.

All samples were then dried, ground and chemically analyzed. Caffeine was extracted by the Bailey-Andrew method and nitrogen by the Micro-Kjeldahl method adapted by Müller.

From the analysis it can be concluded that: 1) The species C. excelsa contains caffeine in the youngest leaves (1,00% in the shade and 0,67% in the sun). 2) In all three species the

caffeine content decreases with the age of the leaves. 3) In leaves and fruits, an increase in the sunlight intensity does not produce a statistically significant variation in the caffeine and nitrogen contents. 4) Nitrogen content and caffeine content of the leaves of C. canephora and C. arabica were positively correlated.

7. BIBLIOGRAPHIE

1. ANDERSON, L.E. and GIBBS, M. The biosynthesis of caffeine in the coffee plant. *Journal of Biological Chemistry* 237 (6): 1941-1944. 1962.
2. ANSTEAD & PITTOCK, C.K. The varying composition of the coffee berry at different stages of its growth and its relation to the manuring of coffee estates. *Planters Chronicle* 8(36): 455-460. 1913.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official Methods analysis. Washington, D.C., 1960, pp. 193.
4. BEILLE, L. Les composés azotés et les bases puriques dans le caféier. Analyse des mémoires d'Erick Herndlhofer. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale* 14(149): 54-63. 1934.
5. BERNFELD, P. Biogenesis of natural compounds. New York, Pergamon Press, 1963. 930 p.
6. CARVAJAL, J.F. Fertilización científica del cafeto. *Revista cafetalera (Guatemala)* 94:9-27. 1969.
7. CARVALHO, A. and TANGO, J.C. Genetic control of the caffeine content of coffee. *Nature* 205(4968):314. 1965.
8. CHAPMAN, H.D. Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 1966. 793 p.
9. CHAVERRI, R., BORNEMISZA S., E. y CHAVES S., F. Resultados del análisis foliar del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias, Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola (STICA). Información Técnica no 3. 1957. 39 p.
10. CHEVALIER, A. Un nouveau caféier sauvage de Madagascar à grains sans caféine. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale* 17(195):821-826. 1937.
11. COOIL, B.J. Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona. Kona, Hawaii, Coffee Information Exchange. 1954. 13 p.
12. DEAN, L.A. and BEAUMONT, J.H. Coffee. Hawaii Agri. Expt. Stat. Ann. Rpt 1941-42. pp. 96-97. 1943.
13. EISENMENGER, W.S. The distribution of nitrogen in tobacco when the supplies of light are varied during the growing period. *Journ. Agric. Res.* 46(3):255-265. 1933.

14. EL HAMIDI, Abbas and WANNER, H. The distribution of chlorogenic acid and caffeine in Coffea arabica. Planta 61(1):90-96. 1964.
15. HERNDLHOFER, E. A distribuição das proteínas, da cafeína, dos mono-amino-ácidos e dos di-amino-ácidos no cafeeiro e as variações de porcentagem destas substâncias no percurso de um ano. São Paulo (Brasil). Bol. de Agricultura 34:163-251. 1933.
16. HOPP, H. Report on variability in chemical analysis of coffee leaves at finca Chocoma, Guatemala. Informe Poligrafiado. 1952. 25 p.
17. KALBERER, P. Breakdown of caffeine in the leaves of Coffea arabica. Nature 205(4971):597-598. 1965.
18. LECOMTE, H. Le café. Culture, manipulation, production. Paris, Carré et C. Naud, 1899. 342 p.
19. LEROY, J.F. Prospection des caféiers sauvages. Rapport préliminaire sur une mission scientifique à Madagascar et aux Iles Mascareignes (27 avril-15 juillet, 1962). Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée 9(3-6):211-244. 1962.
20. MANSKE, H.F. and HOLMES, H.L. The alkaloids, chemistry and physiology. Vol. I. New York, Academic Press, 1950. 525 p.
21. MCKEE, H.S. Nitrogen metabolism in plants. Oxford, Clarendon Press, 1967. 728 p.
22. MIRANDA, A. Relación entre el nitrógeno y el potasio con el contenido foliar de cafeína en Coffea arabica var. Caturra KMC. Tesis Magister Scientiae, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica, 1971. 51 p.
23. MÜLLER, L.E. Coffee nutrition. In Childers, NF. Nutrition of fruit crops. New Jersey, Somerset Press, 1966. 888 p.
24. _____. Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba 11(1): 17-25. 1961.
25. NAVELLIER, P. Analyse chimique du café. In Costa, R. Les caféiers et les cafés dans le monde. II: Les cafés. Paris, Larose, 1959. t. 2, v. 1, pp. 163-256.
26. NIGHTINGALE, G.T. Light in relation to the growth and chemical composition of some horticultural plant. Amer. Soc. Hort. Sci. Proc. 19:18-29. 1922.

27. NIGHTINGALE, G.T. The nitrogen nutrition of green plants. Bot. Rev. 3:85-174. 1937.
28. OFICINA INTERNACIONAL DE LAS REPUBLICAS AMERICANAS. El café. Su historia, cultivo, etc. Washington, D.C. 1902. 170 p.
29. ORNANO, M., CHASSEVENT, F. et POUGNEAUD, S. Composition et caractéristiques chimiques de Coffea sauvages de Madagascar dans les feuilles et les graines de caféiers sauvages et cultivés. II- Recherche de la caféine et d'autres méthylxanthines dans les feuilles et les graines de caféiers sauvages et cultivés. In Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés, 3^e Trieste. 2-9 juin 1967. Paris, A.S.I.C., 1968. pp. 101-114.
30. PARIS, R. et JACQUEMIN, H. Sur la répartition de la caféine chez le Coffea arabica. Présence de théobromine dans les jeunes feuilles. Annales pharmaceutiques françaises 24(12): 741-743. 1966.
31. POISSON, J. Méthodes d'études de la caféinogenèse. Colloque International de la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés 2^e, Paris, 3-7 mai 1965. Paris, I.F.C.C. pp. 121-130.
32. RODRÍGUEZ, S.J. The chemical composition of green coffee beans and leaves or related to soil and foliar applications of secondary and minor elements. Ph.D. Thesis, Michigan St. University. 1961. 100 p.
33. SIVETZ, M. Coffee processing technology. Vol. 2. Westport (Conn) AVI, 1963. 379 p.
34. SYLVAIN, P. El problema del contenido de cafeína en el café. Café (Perú) 8(3):2-11. 1967.
35. TANADA, T. Utilization of nitrates by the coffee plant under different sunlight intensities. Journal of Agricultural Research 72(7):245-258. 1946.
36. TANGO, J.S. e TEXEIRA, G.C. Teor de cafeina em progenies de cafe. Boletim da Superintendencia dos Serviços do cafe 36(416):6-10. 1961.
37. TURK MOLANO, D. Sobre la cafeína. Bogotá, Federación de Cafeteros de Colombia, 1946. 140 p.
38. UKERS, W.H. All about coffee. New York, Tea and Coffee Trade Journal, 1935. pp. 306-320.
39. UNDERWOOD, G.F. and DEATHERAGE, F.E. Nitrogen compounds of coffee. Food Research 17(5):419-424. 1952.

40. WANNER, H. Distribution of caffeine and trigonelline in the vegetative organs of Coffea arabica. Chemical Abstracts 61(2):2181e. 1964.
41. _____ und BLAIM, R. Ein Beitrag zur Biozythese und Physiologie von Kaffein und Trigonellin bei Coffea arabica. Planta 56(5):499-510. 1961.
42. WEBSTER, G.C. Nitrogen metabolism in plants. Evanston, 11., Row-Peterson, 1959. 132 p.
43. WELLMAN, F.L. Coffee. London. 1961. 488 p.
44. WILPAUX, R. Contribution à l'étude de la composition chimique des cafés du Congo Belge. Revue d'Agronomie Coloniale 2(5):13-24. 1945.
45. _____. Le traitement du café. Rome, FAO. 1961. 214 p. (Traitement des produits agricoles. Bulletin de renseignement no 20).
46. _____. Note sur la composition chimique des graines de Coffea eugenioides. Bulletin Agricole du Congo Belge 32(1):70-73. 1941.

A P P E N D I C E S

APPENDICE I

A) EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE LA CAFÉINE

1. Système rénal

La caféine est caractérisée surtout par ses propriétés diurétiques (11, 13, 16), car elle stimule les cellules des tubercules rénaux (8) et, par son action sur les glomérules, produit une augmentation du contenu aqueux de l'urine (6).

2. Système nerveux

Elle agit aussi sur le système nerveux central (13, 16) et principalement sur le cortex cérébral, produisant une véritable stimulation des fonctions intellectuelles (2, 10, 14). Elle facilite la perception des excitations sensorielles et l'association des idées (3, 11); le travail intellectuel s'en trouve facilité et s'effectue plus rapidement et la fatigue disparaît (9). La perception de la douleur est accrue et le sens du toucher devient plus spécifique (2, 16).

3. Système respiratoire

Par son action sur les centres nerveux et spécialement sur la médula, la caféine favorise la ventilation pulmonaire en augmentant la fréquence et l'amplitude des mouvements respiratoires (2, 10, 11).

4. Système musculaire

Le rayon d'action de la caféine s'étend jusqu'à la moelle épinière en augmentant l'activité réflexe et par le fait même agit sur le système musculaire (2). La contractilité des muscles striés s'élève accentuant la capacité de travail d'un individu (8, 11, 15).

5. Système circulatoire

La caféine agit également de façon déterminante sur le système cardiovasculaire (11, 16). Il se produit une dilatation des vaisseaux rénaux, musculaires et dermiques et des contractions plus rapides et plus puissantes du muscle cardiaque (5, 7, 9).

B) LES RESTRICTIONS DIÉTOTHÉRAPEUTIQUES ET LE CAFÉ

La consommation du café non décaféiné doit être évitée dans les cas de troubles du système végétatif. Chaque fois que l'on recherche une thérapeutique sédative, comme dans les cas de dystonie végétative ainsi que dans les cas de métabolisme élevé, par exemple dans l'hyperthyroïdisme et là où un ménagement des fonctions de la circulation est recherché, l'effet stimulant du café est à éviter. C'est le cas de l'hypertension et de l'artériosclérose où l'augmentation de l'activité cardiaque est nocive (12, 17).

Au point de vue ophtalmologique, il faut ajouter que les malades atteints de glaucôme doivent s'abstenir de consommer du café avec caféine, étant donné que la caféine augmente la pression interne oculaire (12). Il est à noter que le café est aussi contre-indiqué dans les cas d'hypersensibilité douloureuse (12). C'est pourquoi on met en garde contre le café lors des syndromes des racines nerveuses, de syndrome cervical et de syndrome lombaire, puisqu'il peut abaisser le seuil d'excitabilité et majorer ainsi les symptômes de ces maladies.

On défend aussi le café dans les cas de maladies affectant le canal estomac-intestin et le système foie-bile (9), parce qu'en dehors de la caféine les produits de torréfaction et parfois l'acide chlorogénique sont mal supportés et, en plus, parce que le

café produit une augmentation des sécrétions gastriques et biliaires ainsi qu'une excitation du péristaltisme intestinal (9). Dans le cas de maladies du foie et du pancréas et dans les cas de gastritis et d'ulcus ventriculi et d'ulcus duodeni, on bannit souvent le café des diètes (12). Il en est de même dans les cas d'hyperchlorhydria, d'hypersecretion justement à cause de l'effet stimuloire qu'exerce le café sur les sécrétions gastriques (4).

BIBLIOGRAPHIE DE L'APPENDICE I

1. ADRIAN, J. Synthèse de la niacine au cours de la torréfaction du café et son efficacité biologique. *In Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés*, 1er, Paris, mai, 20-22. 1963. Paris, Institut Français du Café et du Cacao, 1963. pp. 141-149.
2. BASTEDO, W.A. *Materia medica, pharmacology, therapeutics and prescription writing*. Philadelphia, W.B. Saunders & Co., 1937, p. 326 (Abstracted in *Coffee, Pan American Coffee Bureau*, 1940, 67 p.).
3. BEMELMANS, J. El café; sus constituyentes, su papel en la alimentación. *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica* 4(24):255-258. 1936.
4. BERNAY, P. and FAURE, G. Decaffeinated coffee and denicotinized tobacco in gastric diet. *Archive des Maladies de l'appareil Digestif* 27:801. 1937. (Abstracted in *Coffee, Pan American Coffee Bureau*, 1940. 67 p.).
5. CHARLIER, R. Contribution à l'étude des propriétés tonicardiaques de la caféine, de la théobromine et de la théophylline. *Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Thérapie* 62(3): 370-376. 1939.
6. CHENEY, R.H. Relation of caffeine and coffee to human efficiency. *American Pharmaceutical Association Journal*, December 1934 (Abstracted in *Coffee, Pan American Coffee Bureau*, 1940. 67 p.).
7. CHEVALIER, A. Un nouveau caféier sauvage de Madagascar à grains sans caféine. *Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale* 17(195):821-826. 1937.
8. CUSHNEY, A.R. *A textbook of pharmacology and therapeutics, or the action of drugs in health and disease*. Philadelphia, Lea&Febiger, 1936 (Abstracted in *Coffee, Pan American Coffee Bureau*, 1940. 67 p.).
9. CZOK, G. Le café et ses actions physiologiques. *In Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés*, 3ième, Trieste, 2-9 juin 1967. Paris, A.S.I.C., 1968. pp. 269-276.
10. MOREAU, F. *Alcaloïdes et plantes alcaloïfères*. Paris, P.U.F., 1948. 126 p. Que sais-je? no 154.

11. NAVELLIER, F. Analyse chimique du café. In Coste, R. Les caféiers et les cafés dans le monde. II: Les cafés. Paris, Larose, 1959. t. 2, v. 1, pp. 163-256.
12. NEDDE, D. Le café dans la diététique. Colloque International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Dérivés, 2ième, Paris, 3-7 mai 1965. Paris, I.F.C.C. 1966. pp. 223-232.
13. SLOTTA, C.H. Acerca do cafe, algunos problemas quimicos e fisiologicos. Revista do Instituto de cafe, (São Paulo) 20(111):689-693. 1936.
14. SOLLMAN, T.A. A manual of pharmacology and its applications to therapeutics and toxicology. In Coffee, a collection of medical abstracts. New York, Pan American Coffee Bureau, 1940. 67 p.
15. TRIGG, C.W. The pharmacology of the coffee drink. In Ukers, W.H. All about coffee. New York. Tea and Coffee Trade Journal, 1922. pp. 174-188.
16. UKERS, W.H. All about coffee. New York, Tea and Coffee Trade Journal, 1935. pp. 306-320.
17. WEDEKIND, C.H. Effect and side-effect of coffee. Die Medizinische Welt, 1932, vol. 6, pp. 1283. (Abstracted in Coffee, Pan American Coffee Bureau, 1940. 67 p.).

APPENDICE II

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

1. Feuilles

Coffea Excelsa

<u>Age</u>	<u>Caféine</u>		<u>Azote total</u>		<u>Azote soluble</u>		<u>Azote insoluble</u>	
	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>
1	1,00%	0,67%	2,46%	2,75%	0,42%	0,36%	2,04%	2,39%
2	0,27	0,17	2,58	1,98	0,32	0,31	2,26	1,67
3	0,13	0	2,47	2,07	0,35	0,32	2,17	1,75
4	0,02	0	2,55	2,16	0,35	0,41	2,25	1,75
5	0,02	0	2,26	2,59	0,31	0,61	1,95	1,98
6	0,02	0	2,33	2,25	0,26	0,54	2,07	1,71
7	0,02	0	2,33	2,18	0,27	0,54	2,06	1,64
8	0,02	0	2,04	1,89	0,21	0,29	1,83	1,60

Coffea canephora

<u>Age</u>	<u>Caféine</u>		<u>Azote total</u>		<u>Azote soluble</u>		<u>Azote insoluble</u>	
	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>
1	2,80%	3,10%	4,52%	4,36%	1,28%	1,50%	3,24%	2,86%
2	1,53	2,10	3,66	3,80	0,95	1,08	2,71	2,72
3	1,16	1,00	3,62	3,08	1,01	0,89	2,61	2,19
4	1,07	0,87	3,53	3,15	0,88	0,89	2,65	2,26
5	1,02	0,84	3,44	2,97	0,87	0,92	2,57	2,05
6	0,88	0,78	2,91	2,69	0,67	0,74	2,24	1,95
7	0,55	0,70	2,93	2,88	0,68	0,92	2,25	1,96
8	0,52	0,69	2,68	2,88	0,62	0,75	2,04	2,13
9	0,28	0,55	2,59	2,40	0,57	0,63	2,02	1,77
10	0,26	0,66	2,76	2,51	0,50	0,67	2,26	1,84
11	0,09	0,23	2,24	2,08	0,31	0,50	1,93	1,58
12	0,03	0,07	2,13	1,74	0,01	0,37	2,13	1,37

Coffea arabica

<u>Age</u>	<u>Caféine</u>		<u>Azote total</u>		<u>Azote soluble</u>		<u>Azote insoluble</u>	
	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>
1	1,97%	1,54%	4,07%	3,98%	1,30%	1,40%	2,77%	2,58%
2	1,01	1,45	3,25	3,86	0,79	1,15	2,46	2,71
3	0,80	1,04	3,10	3,38	0,74	1,02	2,36	2,36
4	0,88	0,93	3,18	3,16	0,76	0,90	2,42	2,26
5	0,89	0,99	3,10	3,18	0,63	0,95	2,47	2,23
6	0,84	0,96	2,86	3,05	0,62	0,95	2,24	2,10
7	0,89	0,99	2,77	2,70	0,57	0,93	2,20	1,77
8	0,77	1,07	2,55	2,98	0,60	0,92	1,95	2,06
9	0,79	1,20	2,54	2,98	0,55	0,91	1,99	2,07
10	1,22	0,77	2,66	2,67	0,80	0,62	1,86	2,05
11	0,81	1,15	2,59	2,65	0,60	0,59	1,99	2,06
12	0,87		2,67		0,56		2,11	
13	0,62		2,54		0,57		1,97	
14	0,73		2,46		0,43		2,03	
15	0,68		2,50		0,51		1,99	
16	0,56		2,51		0,54		1,97	
17	0,59		2,42		0,49		1,93	

2. Fruits

Caféine

	<u>C. excelsa</u>		<u>C. canephora</u>		<u>C. arabica</u>	
	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>	<u>Ombre</u>	<u>Soleil</u>
<u>Verts</u>	0,40%	0,40%	2,00%	1,85%		0,78%
<u>Mûrs</u>	0,40	0,37	1,46	1,20		0,65