

# Evolution annuelle de l'azote total, nitrique et ammoniacal d'échantillons de sol, de feuilles et de fruits de caféier Arabica

R. BÉNAC

*Maître de recherches de l'O. R. S. T. O. M.*

## INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit à la suite d'un travail fait au Cameroun pour poser les bases d'un diagnostic foliaire des besoins en engrais minéraux du caféier Arabica. Nous allons résumer les conclusions principales auxquelles il nous a conduites, puis exposer les points que nous nous proposons de préciser.

Il s'en est dégagé surtout la **grande importance de l'azote dans la production de fruits**. Cet élément constitue le facteur limitant de la production dans la région étudiée : l'apport, sous forme de sulfate d'ammoniaque, de 100 g d'azote par arbre et par an augmente de façon très significative le poids de fruits récoltés de 182 % par rapport aux témoins (2).

D'autre part, les dosages d'azote total, effectués tous les mois pendant six ans sur des feuilles de caféiers diversement fumés, ont montré que :

1. **L'apport d'engrais azoté augmente significativement la teneur des feuilles**, en particulier au moment des floraisons (avril-mai) et en fin de

récolte (novembre-décembre). Ce sont d'ailleurs ces époques de l'année qui ont été retenues pour effectuer le « diagnostic foliaire » dans la région considérée parce que les teneurs en N total des feuilles sont alors très significativement reliées au poids de fruits récoltés :

$r = + 0,57$  entre teneurs en N en avril et poids des fruits ;

$r = + 0,47$  entre teneurs en N en mai et poids des fruits ;

$r = + 0,51$  entre teneurs en N en novembre et poids des fruits récoltés l'année suivante ;

$r = + 0,51$  entre teneurs en N en décembre et poids des fruits (à 99,9 %) (4).

2. **Les teneurs en azote des feuilles paraissent dépendre à la fois des chutes de pluie et de l'évolution des fruits**. En effet, elles suivent d'abord les

précipitations : faibles en fin de saison sèche, minima au début de mars, elles montent fortement avec les premières pluies pour devenir maxima en avril-mai. Elles sont alors nettement reliées aux précipitations de janvier-février-mars :  $r = + 0,82$  en avril,  $+ 0,70$  en mai. Par la suite, les pluies augmentent jusqu'en septembre, qui est le mois le plus arrosé. Les teneurs en azote total diminuent dans les feuilles et le deuxième minimum, moins bas que celui de mars, est atteint en octobre. Elles remontent jusqu'en décembre tandis que les pluies cessent et diminuent en fin de saison sèche.

Ainsi, dans nos observations, courbes des teneurs mensuelles des feuilles et courbes des pluies coïncident à peu près de janvier à mai et s'opposent pendant la période de juin à décembre, qui est justement celle des fructifications : nouaison en avril, début de récolte en août-septembre, fin de récolte en janvier.

Des analyses foliaires dans différents pays sur des sols variés se dégagent deux groupes de résultats :

1° Certains auteurs observent une très bonne concordance entre les chutes de pluie et les teneurs en azote des feuilles au cours de l'année ; ils en déduisent par conséquent que ce facteur météorologique détermine principalement l'alimentation azotée de la plante. Il en est ainsi au Salvador (8), au Costa-Rica (6), en République Centrafricaine (5), en basse Côte d'Ivoire (12-13), au Tanganyika (24)...

2° D'autres constatent comme nous une élévation des teneurs en azote des feuilles lors de la reprise des pluies, suivie d'une chute pendant les mois les plus arrosés, ceux précisément pendant lesquels l'arbre porte ses fruits. Cette diminution de l'azote total dans les feuilles pendant la durée des fructifications a été observée en de nombreux endroits : Côte d'Ivoire (14), Brésil (11-16), Kenya (22), Hawaï (7), Salvador (9), Costa-Rica (17)...

En fait, si l'évolution des teneurs en azote montre des différences d'un pays à l'autre, deux phénomènes restent pourtant constants :

1. L'augmentation des niveaux d'azote dans les feuilles au début de la saison des pluies, lors de la reprise du développement végétatif ;

2. La diminution de ces niveaux pendant la période de grossissement des fruits, la croissance de ces organes mobilisant beaucoup d'azote. Cette diminution est observée partout et, suivant la répartition des pluies, coïncide soit avec une petite saison sèche, la courbe des teneurs en azote suit alors celle des pluies, soit avec le milieu de la grande saison des pluies, et la courbe de l'azote lui est alors opposée : c'est le cas de la région que nous avons étudiée.

Il semble donc que pendant cette période, la concentration en azote des feuilles soit beaucoup plus influencée par le facteur interne (développement des fruits) que par le facteur externe (répartition des pluies).

Une même baisse des teneurs en azote total des feuilles pendant la saison des fortes pluies a été signalée sur d'autres plantes que le caféier ; nous ne citons comme exemples que le cotonnier dans le Nord-Cameroun (1), l'arachide au Sénégal (18).

Les explications proposées sont les suivantes :

— L'azote du sol est fortement lessivé pendant les mois de grandes pluies,

— les microorganismes ralentissent leur activité qui reprend lorsque l'humidité du sol diminue,

— les fruits mobilisent au cours de leur développement une forte quantité de l'azote mise à la disposition de la plante ; il s'ensuivrait une baisse dans les feuilles.

Aucune de ces hypothèses n'a été sérieusement vérifiée en culture caféière. Les nombreuses analyses foliaires faites en Amérique, en Afrique et pour une plus faible part en Asie avaient toutes pour but de poser les bases d'un diagnostic foliaire (une énumération assez complète de ces travaux figure dans l'étude citée en 2 de la liste bibliographique donnée *in fine*). Elles n'ont jamais été accompagnées d'analyses périodiques de sols ni de fruits. Ces derniers ont été en comparaison beaucoup moins étudiés : les dosages d'éléments minéraux ont uniquement porté sur les baies mûres, pour chiffrer la quantité « exportée » par une récolte et calculer à partir de cette quantité les doses d'engrais à apporter au sol pour la compenser (15).

L'aspect microbiologique n'a pas fait non plus l'objet d'études particulières. Seuls les mouvements des formes solubles de l'azote dans le sol ont été étudiés en relation avec la croissance de la plante par ROBINSON au Kenya (21), et c'est principalement à cet article que nous nous référerons.

En dosant pendant un cycle entier de végétation l'azote total, nitrique et ammoniacal d'échantillons de sol, de feuilles et de fruits prélevés en même temps dans les mêmes parcelles expérimentales, nous nous sommes proposés d'étudier :

1. Les liens qui unissent l'azote du sol et les chutes de pluie.

2. Les liens qui unissent l'azote du sol et les teneurs en azote des feuilles et des fruits.

Leur connaissance devrait nous éclairer sur l'utilisation par la plante des engrais azotés et, par-là, nous permettre peut-être d'en améliorer l'emploi.

# EXPOSÉ DE L'ÉTUDE ENTREPRISE

## PLAN ET MÉTHODES

Nous avons disposé en un seul ensemble six blocs de Fisher de trois parcelles chacun. Les traitements sont les suivants :

- T<sub>0</sub> témoin, pas d'engrais,
- T<sub>1</sub> 500 g de sulfate d'ammoniaque par pied et par an, c'est-à-dire une dose moyenne d'engrais azoté,
- T<sub>2</sub> 2 kg de sulfate d'ammoniaque par pied et par an, c'est-à-dire une forte dose.

Les parcelles contiennent chacune 56 caféiers en production, bordures comprises, c'est-à-dire 30 (5 par 6) arbres utiles.

Les engrais ont été mis en quatre fois, à raison d'un quart de la dose à chaque épandage, début mars, début avril, début octobre et début novembre.

L'échantillon de sol est prélevé au pied de chaque arbre utile, à mi-distance du tronc et de l'aplomb extérieur de la couronne, suivant les modalités fixées par la section de pédologie du Centre O. R. S. T. O. M. de Yaoundé : 1 kg environ sur moins de 10 cm de profondeur. Les trente prélèvements ainsi obtenus sont bien mélangés et une partie aliquote est conservée pour les analyses.

Les feuilles sont choisies suivant le mode décrit en (3), deux par arbre et de rang 3. Chaque échantillon comprend 60 feuilles.

Les fruits sont prélevés dès leur apparition sur l'arbre, c'est-à-dire en mai, sur les mêmes rameaux que les feuilles. Sauf le premier mois, à cause de la petitesse des grains, l'échantillon est d'une trentaine de grammes par parcelle.

Les premiers prélèvements et le premier épandage d'engrais ont été faits début mars 1965, les derniers début mai 1966.

L'azote total a été dosé par la méthode classique de Kjeldahl (semi-micro), l'azote minéral par micro-diffusion et colorimétrie suivant la méthode mise au point au laboratoire de chimie des sols du Centre O. R. S. T. O. M. de Yaoundé (23).

## EXPOSÉ DES RÉSULTATS

Les données ainsi recueillies recouvrent treize mois (d'avril 1965 à mai 1966, les données de mars, incomplètes, ont été éliminées). Il s'agit par conséquent de comparer des séries chronologiques. La méthode la plus sûre, malheureusement peu fine, est le calcul de corrélation des rangs (10).

Cette méthode est applicable dans la mesure où

l'on a accepté l'hypothèse qu'il n'y a pas dans les séries chronologiques en cause de corrélation sériale.

C'est certainement le cas quand il s'agit de hauteurs mensuelles des pluies. En ce qui concerne les autres données utilisées : humidité du sol, des feuilles et des fruits, teneurs en N total, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, cela est plus douteux.

L'application du test de la médiane (19) permet de retenir l'hypothèse d'absence de corrélation sériale pour les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des trois sortes d'échantillons étudiés, et en N total des sols et des fruits. Seules les teneurs en N total des feuilles présentent une corrélation sériale faiblement positive ; nous considérerons dans ce cas que le coefficient de corrélation des rangs est significatif quand il atteint la valeur du seuil de 99 % : cette exigence est suffisante pour que le test reste applicable.

Nous nous proposons ultérieurement, avec la section de biométrie des services scientifiques centraux de l'O. R. S. T. O. M. à Bondy, de vérifier l'existence d'une corrélation sériale entre les teneurs mensuelles des feuilles en azote total, en utilisant les chiffres obtenus précédemment (3).

### Teneurs en azote total

#### Influence des apports d'engrais azotés

##### — sur les teneurs en azote total du sol

Pour chacun des trois traitements, les six parcelles présentent en fonction du temps des variations de concentrations en azote total remarquablement homogènes. L'apport de sulfate d'ammoniaque à dose moyenne (T<sub>1</sub>) ou à forte dose (T<sub>2</sub>) n'a pas d'influence sur les teneurs en azote total des échantillons de sol ; les différences les plus marquées entre les trois traitements apparaissent en mai, elles ne sont pas significatives.

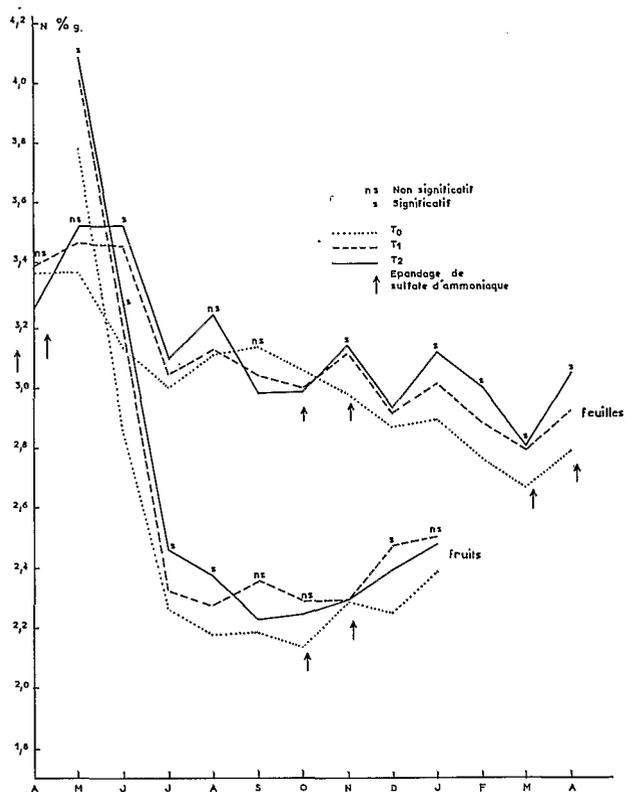
L'apport d'engrais en octobre et novembre n'augmente pas non plus les teneurs en azote total dans la période suivante. Nous verrons par la suite comment on peut expliquer ce phénomène.

##### — sur les teneurs en azote total des feuilles

Les teneurs en azote des feuilles des six parcelles d'un même traitement évoluent de façon très voisine au cours des treize mois étudiés, sans être pourtant aussi remarquablement homogènes que les teneurs en azote total des échantillons de sol correspondants.

Le graphique I montre que les courbes moyennes correspondant aux trois traitements s'écartent les unes des autres ; T<sub>2</sub> est presque toujours au-dessus de T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub> au-dessus de T<sub>0</sub>.

Graphique 1. — Teneurs en N total des fruits et des feuilles pour les trois traitements



Les différences sont significatives en juin, puis de janvier à avril ; les arbres qui ont reçu du sulfate d'ammoniaque avant la saison sèche maintiennent dans leurs feuilles des niveaux d'azote total plus élevés que les autres.

#### — sur les teneurs en azote total des fruits

Comme dans les feuilles, les teneurs en azote des fruits des six parcelles de chaque traitement, évoluent de façon très voisine, sans présenter toutefois la grande homogénéité des teneurs en azote total des échantillons de sol.

Les courbes moyennes des trois traitements ont la même allure (voir graphique 1). Dans les témoins, les teneurs en azote total sont significativement plus basses que dans T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub> pendant la phase de jeunesse des fruits, de mai à août, puis en décembre, en fin de récolte.

#### Evolution au cours de l'année

Pour simplifier, nous considérerons seulement les teneurs en azote des parcelles témoins (elles sont exprimées en g % de matière sèche).

#### — des teneurs en azote total du sol

Teneurs en azote et hauteurs des pluies n'évoquent pas parallèlement tout au long de l'année.

Les teneurs en azote augmentent brusquement dans le sol avec les premières pluies, avril-mai 1965, mars-avril 1966, baissent très fortement de mai (0,986 %) à juin (0,531), puis restent à des niveaux assez voisins (avec une légère remontée en octobre, 0,696) jusqu'en février pour descendre à leur minimum en fin de saison sèche, exceptionnellement marquée cette année (0,427 en mars) ; elles varient beaucoup, plus que du simple au double.

Il s'agit de sols riches, sols volcaniques formés sur basalte, qui ont reçu depuis de nombreuses années des engrais complets à doses moyennes accompagnés parfois de fumier et de paille.

Les teneurs en azote total ne suivent pas davantage l'évolution de l'humidité du sol, qui reste élevée pendant la petite saison sèche, car l'humidité atmosphérique est très forte et le sol protégé par un lit de débris végétaux est lui-même ombragé par le caféier.

Le coefficient de corrélation des rangs calculé entre chutes de pluie et teneurs en azote n'est pas significatif et a même une valeur très basse, c'est-à-dire que les deux variables varient de façon indépendante l'une de l'autre. Entre humidité du sol et teneur en azote total, on ne peut conclure à une liaison, mais le coefficient est positif et voisin du seuil de signification (à 95 %).

#### — des teneurs en azote total des feuilles

Les feuilles s'enrichissent en azote au début de la saison des pluies (voir graphique 1), d'avril à mai-juin (3,38 % en mai), et s'appauvrissent progressivement jusqu'en fin de saison sèche (2,66 en mars), la variation reste assez faible, 25 % par rapport à la moyenne.

#### — des teneurs en azote total des fruits

Dès leur apparition sur l'arbre, les jeunes fruits présentent des concentrations élevées d'azote (3,79 % en mai). Elles diminuent beaucoup en juin et juillet (2,26 %), restent à peu près constantes jusqu'en novembre (2,13 % en octobre) et remontent légèrement en fin de vie des fruits (2,38 % en janvier) (voir graphique 1). La variation entre les chiffres extrêmes est plus élevée que dans le cas des feuilles ; elle est égale à 56 % par rapport à la moyenne.

### Teneurs en azote nitrique

#### Influence des apports de sulfate d'ammoniaque

##### — sur les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> du sol

Dans les échantillons de sol des dix-huit parcelles ; les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> présentent une grande homogénéité de juillet à octobre. D'avril à juin et de

novembre à avril, au contraire, les courbes représentatives s'écartent très sensiblement les unes des autres et l'analyse statistique montre qu'en avril-mai-juin d'une part, novembre-décembre-février et mars d'autre part, le sol de  $T_0$  contient significativement moins de  $\text{NO}_3^-$  que celui de  $T_1$  et  $T_2$ .

#### — sur les teneurs en $\text{NO}_3^-$ des feuilles

Les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  des feuilles présentent dans les dix-huit parcelles une grande homogénéité. L'analyse statistique révèle en effet peu de différences significatives entre les trois traitements : en juin, février et mars seulement.

#### — sur les teneurs en $\text{NO}_3^-$ des fruits

Les courbes des dix-huit parcelles montrent aussi une bonne homogénéité. L'analyse statistique ne révèle aucune différence entre les traitements.

### Evolution au cours de l'année

#### — des teneurs en $\text{NO}_3^-$ du sol

(Comme pour l'azote total, nous ne considérerons que les parcelles témoins.)

Les teneurs annuelles des échantillons de sol en  $\text{NO}_3^-$  accusent une brusque montée de juin à août (elles passent de 16,5 à 450 ppm, c'est-à-dire qu'elles varient de 1 à 27), une chute aussi marquée d'août à septembre (72 ppm) et une remontée légère ensuite, pendant la saison sèche.

#### — des teneurs en $\text{NO}_3^-$ des feuilles

Dans les trois traitements, les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  augmentent fortement à partir d'avril (937 ppm) pour être maxima en mai (7.755 ppm), tombent brusquement en juin-juillet (742 ppm en juin), présentent un deuxième maximum en août (4.388 ppm), puis diminuent jusqu'en janvier (724 ppm) ; sauf pendant la grande saison des pluies, où elles sont basses, elles évoluent par conséquent comme les pluies (test de corrélation des rangs positifs). La variation est forte : de 1 à 11.

#### — des teneurs en $\text{NO}_3^-$ des fruits

Très élevées en mai (10.768 ppm), au tout début de la vie du fruit, les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  baissent fortement en juin (6.207), puis plus progressivement jusqu'en septembre et atteignent en janvier leur valeur la plus basse (1.811 ppm). Elles varient de 1 à 6 environ. Elles ne suivent pas les pluies.

### Teneurs en azote ammoniacal

#### Influence des apports de sulfate d'ammoniaque

#### — sur les teneurs en $\text{NH}_4^+$ du sol

Les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des dix-huit parcelles étudiées ne sont pas très homogènes.

Il y a des différences sensibles entre les traitements,  $T_2$  étant significativement plus riche en  $\text{NH}_4^+$  que  $T_1$  et  $T_0$  en février-mars-avril-mai, c'est-à-dire en fin de saison sèche et au début de la première saison des pluies. Les apports de mars et avril augmentent significativement les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  du sol en avril et mai, les apports d'octobre et novembre celles de novembre ; après une chute des niveaux en décembre, les parcelles  $T_1$  et  $T_2$  maintiennent pendant toute la saison sèche des teneurs en  $\text{NH}_4^+$  plus élevées que  $T_0$ .

#### — sur les teneurs en $\text{NH}_4^+$ des feuilles

Les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des dix-huit parcelles sont assez voisines les unes des autres : entre les trois traitements, l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative.

#### — sur les teneurs en $\text{NH}_4^+$ des fruits

On ne trouve au cours de l'année aucune différence significative entre les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des fruits de  $T_0$ ,  $T_1$  et  $T_2$ .

### Evolution au cours de l'année

(Seules les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des témoins sont considérées.)

#### — dans le sol

Les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des parcelles témoins sont indosables en mai ; elles restent très faibles tout au long de l'année, présentant un maximum de 32,5 ppm en août.

#### — dans les feuilles

Sauf pendant la grande saison des pluies où elles sont basses (91,5 ppm en octobre), les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  des feuilles suivent avec un certain décalage l'évolution de la pluviosité. Maxima en décembre (363 ppm), elles sont minima en janvier en saison sèche (15,5 ppm), variant entre ces deux mois de 23 à 1.

#### — dans les fruits

De mai à septembre, l'évolution des teneurs en  $\text{NH}_4^+$  est sensiblement la même que celle de la pluviosité ; pendant la fin de la grande saison des pluies, les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  diminuent pour remonter en saison sèche. Elles varient de 2.134 ppm en mai à 112 en octobre, c'est-à-dire de 1 à 19.

### Teneurs relatives en azote total, $\text{NO}_3^-$ et $\text{NH}_4^+$ du sol, des feuilles et des fruits

L'azote soluble représente une faible fraction de l'azote total. Dans le sol, les concentrations en  $\text{NO}_3^-$  des témoins varient de 0,2 à 10 % de l'azote total, tandis que les proportions de  $\text{NH}_4^+$  atteignent

au plus 0,06 %. Ces pourcentages sont plus élevés dans la plante :  $\text{NO}_3^-$  représente 3 à 23 % de l'azote total, 9,5 à 28 % dans les fruits. Ils sont plus faibles pour  $\text{NH}_4^+$  : 0,06 à 1,6 dans les feuilles, 0,5 à 5 % dans les fruits.

La plante est toujours plus riche que le sol en éléments minéraux. Nous avons réuni dans le tableau suivant les teneurs minima et maxima des témoins en N total,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  : les chiffres les plus faibles appartiennent au sol, les fruits sont plus riches en azote soluble que les feuilles ; en mai par exemple, ils contiennent douze fois plus de  $\text{NH}_4^+$ . Par contre, sauf en mai, leurs teneurs en azote total sont inférieures à celles des feuilles de 26 % en moyenne.

	N total en g %	$\text{NO}_3^-$ en ppm	$\text{NH}_4^+$ en ppm
Sol .....	0,43 à 0,98	16 à 450	0 à 32
Feuilles .....	2,66 à 3,38	725 à 7.755	15 à 545
Fruits .....	2,13 à 3,79	1.811 à 10.768	112 à 2.133

### Teneurs en eau

Les teneurs en eau du sol et des feuilles (calculées par rapport au poids frais) varient au cours de l'année de la même manière — le test de corrélation des rangs est significativement positif — ; mais celles des fruits ont une évolution très différente. Les deux premières suivent de très près les pluies — tests significativement positifs — tandis que la troisième en est totalement indépendante.

C'est dans le sol qu'on enregistre les variations d'humidité les plus importantes : de 35,8 % en fin de saison des pluies à 12,0 % en fin de saison sèche, soit de 3 à 1.

Elles sont beaucoup plus faibles dans les feuilles, passant de 74,7 % au début des grandes pluies à 67,4 % en fin de saison sèche : la feuille de caféier est protégée contre une forte dessiccation par une cuticule épaisse ; de plus, les arbres étudiés vivent sous ombrage léger. Les teneurs en eau varient davantage dans les fruits, moins pourtant que dans le sol ; elles passent de 88,1 % début juin à 71,8 % début novembre. Très hydratés au tout début de leur vie, en mai et juin, les fruits perdent régulièrement de l'eau jusqu'en novembre, n'en reprenant, assez faiblement d'ailleurs, qu'en fin de maturation (évolution contraire à celle des pluies).

Il s'ensuit que les variations saisonnières en N total,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  du sol, des feuilles et des fruits ont une allure différente suivant que les teneurs sont calculées par rapport au poids sec ou par rapport au poids frais.

## DISCUSSION DES RÉSULTATS ET ESSAI D'INTERPRÉTATION

### Effet des apports de sulfate d'ammoniaque

#### sur la richesse du sol en azote total et en azote soluble

On peut s'étonner de ce que l'apport de sulfate d'ammoniaque en mars et avril, puis en octobre et novembre, n'augmente pas les quantités d'azote total du sol dans la période suivante.

Le sol étudié est très riche : les parcelles  $T_0$  contiennent en mai 0,986 % d'azote total. Les analyses portant sur les 10 cm superficiels du sol, en prenant comme densité 1,5, on obtient un poids de terre de 1.500 t à l'ha, c'est-à-dire 15 t d'azote. Or, le traitement  $T_2$  apporte en mars et avril 1 kg de sulfate d'ammoniaque par pied, soit 200 g d'azote sur 1.300 pieds, ce qui fait 260 kg à l'ha : moins de 2 % de ce que contient le sol à ce moment-là. En décembre, on trouve 0,57 % dans les témoins, soit 8,5 t d'azote à l'ha. Un apport de 260 kg représente un peu plus de 3 % de cette quantité : c'est trop peu pour provoquer une augmentation significative des teneurs en azote total des parcelles traitées.

L'effet est par contre immédiat et très marqué sur les teneurs en azote soluble :  $T_1$  et  $T_2$  sont significativement plus riches que  $T_0$  en  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  dans les périodes qui suivent immédiatement les applications : avril à juin et novembre à avril. Dans ce cas, l'apport n'est plus négligeable : les témoins contiennent en avril 118 ppm de  $\text{NO}_3^-$  et 6 ppm de  $\text{NH}_4^+$ , soit 186 kg/ha d'azote soluble ;  $T_2$  apporte 260 kg,  $T_1$ , 65, soit respectivement 140 et 35 % de la quantité présente.

L'activité des nitrificateurs se trouve stimulée et les quantités de  $\text{NO}_3^-$  sont significativement plus fortes dans les parcelles  $T_1$  et  $T_2$  pendant une période de trois mois après la première application ; l'effet est plus durable après la deuxième, puisqu'il se poursuit jusqu'en mars, les conditions météorologiques étant alors plus favorables.

Les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  sont elles aussi significativement augmentées : dans la période qui suit immédiatement l'application, on peut mettre directement en cause les ions  $\text{NH}_4^+$  qui, apportés par l'engrais chimique, enrichissent la solution du sol. Comme l'effet se prolonge pendant trois et cinq mois après les applications, il faut l'expliquer par une activité plus grande des microorganismes, ammonificateurs et nitrificateurs, stimulés par l'existence d'une source d'azote facilement utilisable

## sur la richesse de la plante en azote total et en azote soluble

Le sulfate d'ammoniaque, sans effet sur les teneurs en azote total du sol, augmente significativement les teneurs en azote total des feuilles et des fruits peu après son application (se reporter au graphique 1). La plante absorbe immédiatement l'azote apporté par l'engrais sous une forme rapidement assimilable.

Cette observation est à rapprocher de la remarque faite par PRÉVOT et OLLAGNIER (18) sur l'arachide au Sénégal, selon laquelle l'analyse foliaire est un procédé plus sensible que l'analyse du sol pour déterminer les besoins en éléments nutritifs d'une plante cultivée.

Elle suggère aussi que l'analyse des fruits pourrait être, comme l'analyse des feuilles, utilisée pour faire le diagnostic des besoins du caféier en éléments nutritifs. Elle l'est d'ailleurs en partie, jointe à l'analyse foliaire, au Kenya (22). Il faudrait, pour en éprouver la valeur dans le milieu où nous avons travaillé, calculer à partir d'un nombre de données suffisant le coefficient de corrélation entre le poids de fruits récoltés et leur teneur en éléments minéraux pendant la phase de jeunesse et la fin de leur maturation.

Il est d'ailleurs remarquable que les moments où se manifestent des différences significatives dans les fruits — principalement en mai et décembre — soient précisément ceux retenus pour les prélèvements foliaires.

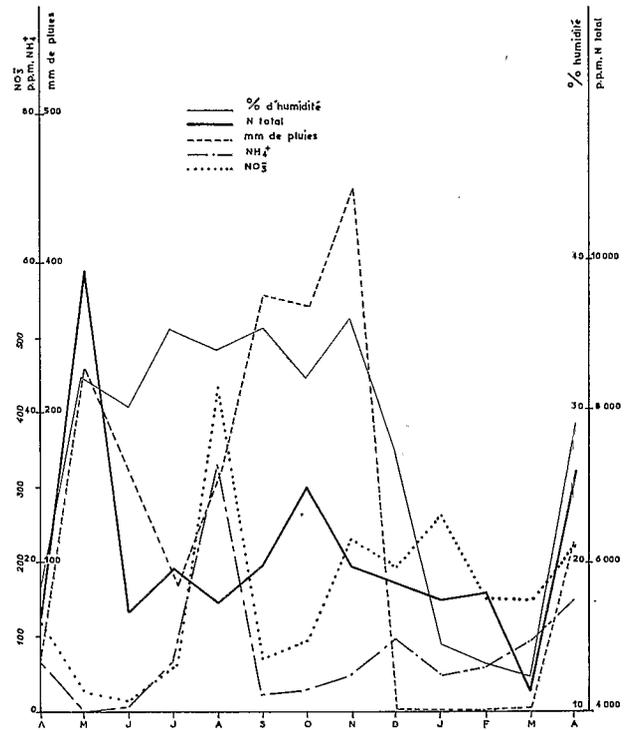
Par contre, les apports d'engrais ont peu d'effet sur les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  des feuilles et des fruits.  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  représentent dans la plante des formes de migration et dans des conditions métaboliques normales ne s'accumulent pas ;  $\text{NH}_4^+$  est d'ailleurs toxique. Lorsque la nutrition azotée est améliorée, c'est l'azote métabolisé qui augmente et il est dosé dans l'azote total.

## Evolution annuelle de l'azote total et de l'azote soluble

L'effet des apports de sulfate d'ammoniaque a été discuté ; nous ne considérerons maintenant que les parcelles témoins.

Dans les graphiques suivants, nous avons représenté ensemble les variations des teneurs en azote soluble et en azote total, dont les valeurs sont d'un ordre de grandeur nettement différent ; pour les rendre parlants, nous avons adopté une échelle spéciale pour chacune des catégories représentées, faisant en sorte que l'étalement dans le sens vertical soit à peu près le même dans tous les cas : ainsi dans le graphique 2, un même intervalle le

Graphique 2. — Teneurs du sol en N total,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  par rapport au poids sec



long de l'axe des y représente 10 ppm de  $\text{NH}_4^+$ , 100 de  $\text{NO}_3^-$  et 1.000 de N total.

## Evolution de l'azote total et de l'azote soluble dans le sol

Les teneurs en azote total varient beaucoup au cours de l'année puisqu'elles passent de 0,986 % en mai à 0,427 en mars. Le plus remarquable est la brusque augmentation de la richesse du sol superficiel d'avril à mai avec les premières fortes pluies (de 0,524 à 0,986 %) (voir le graphique 2). Ceci ne peut s'expliquer que par la véritable « explosion » d'activité biologique, qui a lieu au début des pluies ; après trois mois de saison sèche, de faibles pluies au cours du mois de mars (environ 25 mm), les 230 mm tombés au mois d'avril font reprendre très fortement l'activité des êtres vivants du sol, microscopiques et macroscopiques tels que vers de terre, insectes..., suscitent la croissance des plantes adventices et du caféier lui-même : allongement des rameaux, poussée des bourgeons foliaires, développement des jeunes feuilles, ouverture des fleurs, puis nouaison des fruits, poussée de nombreuses racelles, formation d'un chevelu abondant de racines... Sous l'effet de cette vie intense, végétale, animale et microbienne, il y a

remontée de l'azote organique des couches plus profondes vers la surface : par les insectes, les vers de terre..., par l'effet du pompage exercé par la plante principale et les adventices ; de plus, les fines radicelles prélevées avec l'échantillon de terre sont plus nombreuses à ce moment-là (elles ne sont pas retenues en effet par le tamis de 2 habituellement employé) et augmentent encore le taux d'azote de la couche superficielle du sol. La quantité d'azote total dosée à ce moment-là est le bilan de cette activité biologique réveillée par la reprise des pluies et la réhumidification consécutive du sol dont les teneurs en eau passent de 18 % en avril à 32,2 % en mai.

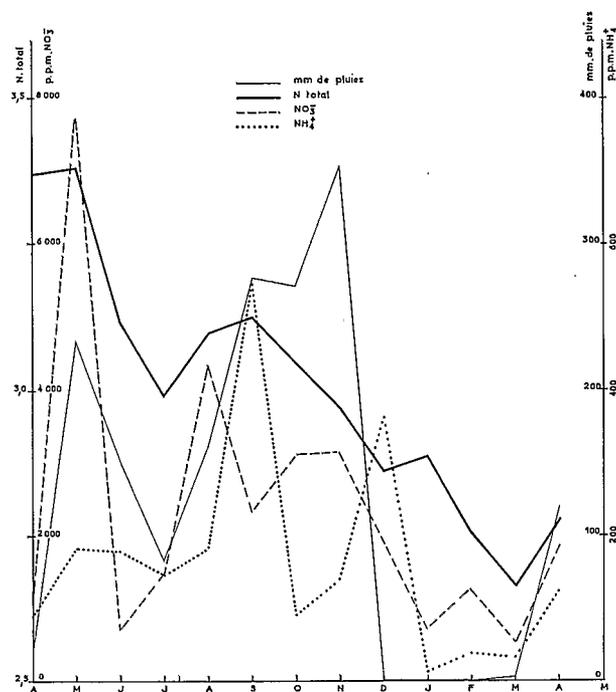
Cependant, les teneurs en azote soluble diminuent dans le sol d'avril à mai :  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  sont entraînés par lessivage (la chute est également très forte dans les parcelles T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>) et la plante absorbe beaucoup d'azote ; les concentrations en azote soluble dans les feuilles et les fruits sont à ce moment-là les plus élevées de l'année. Ces deux formes évoluent dans le sol de la même manière et le coefficient de corrélation des rangs est significativement positif.

Les pluies diminuent de mai à juillet, c'est la petite saison sèche. Les teneurs en azote total du sol diminuent aussi fortement qu'elles avaient augmenté : on peut l'expliquer par le ralentissement des activités biologiques précédemment invoquées, mais aussi par la minéralisation de cet azote total accumulé. L'humidité du sol en effet reste forte et favorise l'activité des nitrificateurs et des ammonificateurs ; les pluies diminuant, le lessivage est moins important. Le « pic » de l'azote soluble en août est la conséquence de celui de l'azote total en mai,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  sont fabriqués aux dépens de l'azote organique dont le taux reste bas pendant cette période. ROBINSON au Kenya (21) a montré qu'une petite saison sèche intercalée entre deux saisons de pluies avait un effet stimulant très net sur l'activité des nitrificateurs : on l'observe ici.

Les pluies deviennent très fortes à partir du mois d'août et les teneurs en azote soluble diminuent beaucoup tandis que l'azote total augmente : il y a à la fois lessivage et « réorganisation » de l'azote minéral, consommé et par la plante cultivée et par la microflore totale, en particulier les saprophytes qui prennent alors certainement le pas sur les nitrificateurs.

A la fin de la grande saison des pluies, le taux d'azote total diminue lui aussi, l'activité des nitrificateurs reprend et  $\text{NO}_3^-$  s'accumule en fin de saison sèche ; c'est un phénomène classique, nettement observé sous caféier par ROBINSON au Kenya (21). Les teneurs en  $\text{NH}_4^+$  augmentent aussi, par suite de la reprise d'activité des microorganismes et de l'absence de lessivage, mais en outre par désamination des humates qui libèrent  $\text{NH}_4^+$  dans le sol.

Graphique 3. — Teneurs des feuilles en N total,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  par rapport au poids sec



### Evolution de l'azote total et de l'azote soluble dans la plante

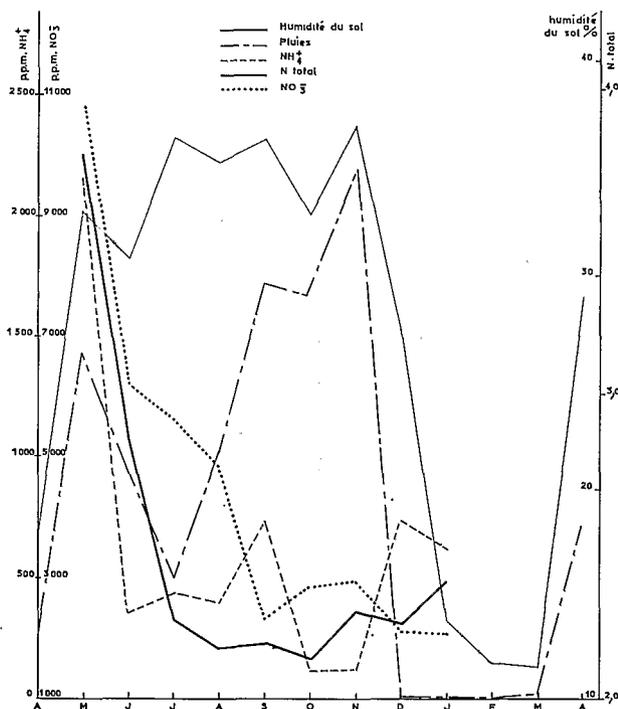
Les courbes de l'azote total et de  $\text{NO}_3^-$  (voir graphique 3) suivent d'assez près la courbe des pluies ; le coefficient de corrélation des rangs est dans le deuxième cas significativement positif.  $\text{NH}_4^+$  n'évolue pas de la même manière.

Cette observation diffère de celle que nous avons faite au cours de six années précédentes (3), où la courbe de l'azote total dans les feuilles ne suivait celle des pluies que lors de leur reprise en mars-avril. Les raisons de cette différence sont sans doute la répartition anormale des pluies cette année-ci : la petite saison sèche habituellement presque inexistante est très marquée, et la très faible production des arbres étudiés qui ont donné en moyenne 130 g de fruits frais, c'est-à-dire 26 g de café marchand par pied.

On retrouve néanmoins les plus fortes teneurs en azote total en mai, au moment des poussées végétales, et plus tard en septembre, quand les fruits commencent à mûrir.

Le jeune fruit est très riche en azote total et soluble (voir graphique 4), puis les concentrations diminuent fortement de mai à juillet. Il faut y voir

Graphique 4. — Teneurs des fruits en N total,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  par rapport au poids sec



un effet de « dilution ». Une teneur exprimée en g % correspond en effet au rapport  $\frac{\text{poids d'éléments}}{\text{poids de fruits}}$  ; lorsqu'il y a croissance rapide, comme c'est le cas ici, la baie de caféier accomplit sa croissance en six à huit semaines, le dénominateur augmente plus vite que le numérateur et la valeur du rapport diminue. Le jeune fruit continue à absorber de l'azote, mais sa vitesse de croissance est telle que la concentration diminue. On pourrait vérifier ce phénomène si on connaissait, outre le poids frais et le poids sec de l'échantillon, le nombre de fruits le composant.

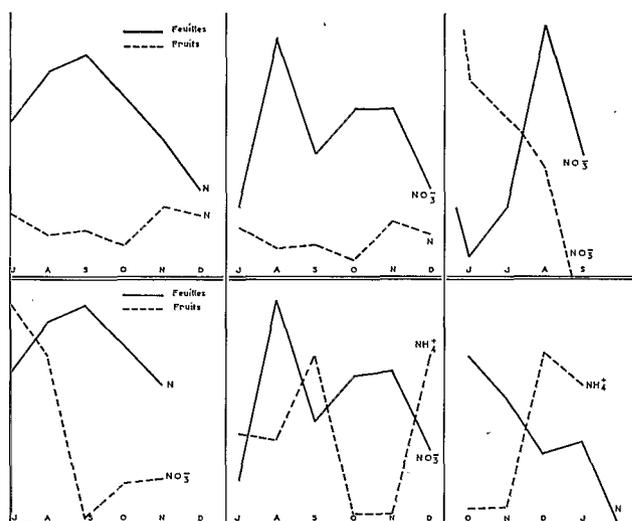
Les teneurs en azote total remontent à partir d'octobre. On peut penser que les fruits, parvenus tous en fin de maturation, ont alors une activité protéogénétique plus active qu'au cours de la phase précédente où devaient se former principalement des glucides.

#### Evolution comparée de l'azote total et de l'azote soluble dans le sol et la plante

L'azote soluble évolue d'une manière voisine dans les feuilles et les fruits, mais ne reflète pas les mouvements de l'azote soluble dans le sol.

Il y a par contre corrélations positives significatives entre l'azote total des feuilles et l'azote total du sol d'une part, entre  $\text{NO}_3^-$  des feuilles et l'azote

Graphique 5. — Comparaison des teneurs en azote des feuilles et des fruits



total du sol d'autre part. Par conséquent, l'analyse foliaire reflète bien les ressources azotées du sol.

De juillet à décembre, c'est-à-dire pendant la plus grande partie de la vie du fruit, il y a évolution inverse des teneurs en azote des feuilles et des fruits :

- entre N total des fruits et des feuilles,
  - entre N total des fruits et  $\text{NO}_3^-$  des feuilles,
  - entre  $\text{NO}_3^-$  des fruits et N total des feuilles,
  - entre  $\text{NH}_4^+$  des fruits et  $\text{NO}_3^-$  des feuilles ;
- de juin à août :
- entre  $\text{NO}_3^-$  des fruits et des feuilles ;
- de novembre à janvier :
- entre  $\text{NH}_4^+$  des fruits et N total des feuilles
- (voir graphique 5).

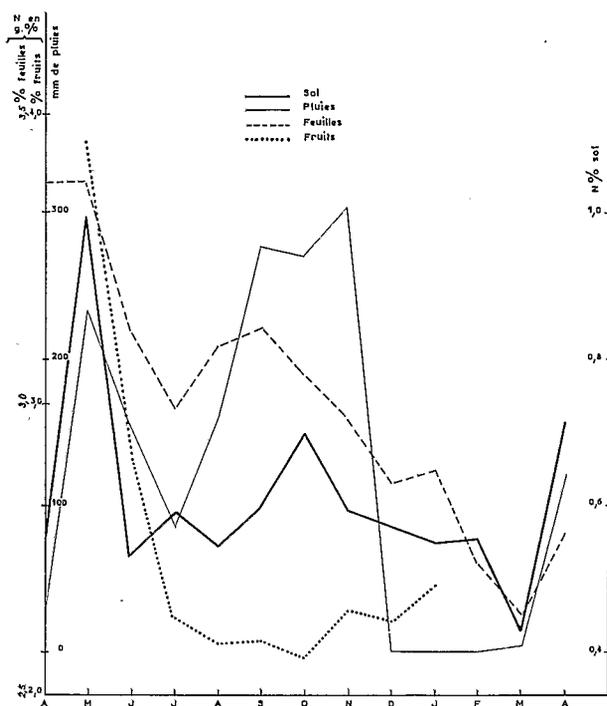
Les coefficients de corrélation des rangs ne sont jamais significatifs, les séries étant beaucoup trop courtes. Cet ensemble d'observations permet de penser qu'il y a une certaine concurrence entre les deux organes, l'un mobilisant au détriment de l'autre une certaine proportion de l'azote mise par le sol à la disposition de la plante.

#### Comparaison entre les teneurs en azote total rapportées au poids sec et rapportées au poids frais

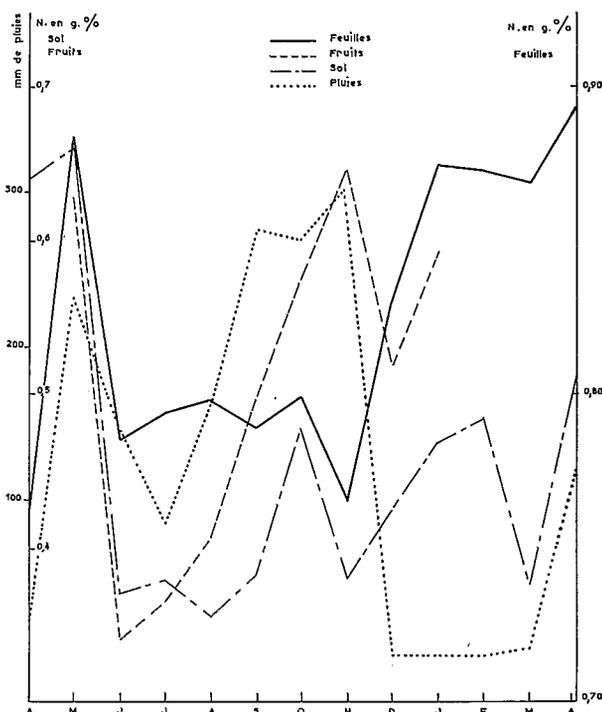
Les graphiques 6 et 7 représentent tous deux les teneurs en azote total du sol, des feuilles et des fruits, calculées par rapport au poids sec sur le premier, par rapport au poids frais sur le second.

On note peu de différence en ce qui concerne le sol ; seule l'élévation des niveaux de novembre à janvier, dans le second cas, traduit la forte diminution d'humidité du sol qui suit la fin des pluies ; elle passe alors de 35,8 % à 12,4 %.

Graphique 6. — Teneurs en azote total, exprimées en % du poids sec, du sol, des feuilles et des fruits



Graphique 7. — Teneurs en azote total, exprimées en % du poids frais, du sol, des feuilles et des fruits



La même différence s'observe pour les feuilles dont les teneurs en azote total rapportées au poids frais augmentent de novembre à janvier, jusqu'à rattraper le niveau de mai. Cela s'explique surtout, comme dans le cas du sol, par la perte d'eau que subit la feuille en saison sèche. Mais il y a aussi augmentation du poids sec des soixante feuilles récoltées, qui passe de 40 g de mai à novembre à 45 g de décembre à mars. Il y a eu après la grande saison des pluies augmentation de la matière sèche des feuilles de rang 3, considérées comme « mûres ». Nous ne savons pas si cet accroissement du poids sec est accompagné d'un allongement de la feuille.

Les teneurs en azote total des fruits rapportées au poids frais augmentent très fortement de juin à novembre, les fruits perdant alors beaucoup d'eau. Nous ignorons ici le nombre de fruits par échantillon, de sorte que nous ne pouvons savoir s'il y a en même temps augmentation de la matière sèche. D'après les observations que nous avons pu faire, le grossissement des baies de caféier est très rapide et devient très faible, sinon inexistant, dès le début de juillet.

Qu'on les rapporte au poids sec ou au poids frais, on retrouve pour le sol, les feuilles et les fruits une chute brutale des niveaux de l'azote total

de mai à juin. Si elle peut s'expliquer pour les fruits par un effet de « dilution », dû à la croissance, ce n'est pas le cas pour les feuilles. Il y a donc une véritable diminution du taux d'azote total dans les feuilles et aussi dans le sol pendant cette période, où la croissance rapide des fruits consomme probablement beaucoup d'azote.

Sur le graphique 7, la courbe se rapportant aux fruits ressemble beaucoup à celle de l'intensité respiratoire d'un fruit à climactérique. On sait qu'à ce moment-là les activités métaboliques sont exaltées. Or, nous retrouvons cette même forme de courbe pour les éléments P-K-Ca-Mg (qui font l'objet d'une étude séparée). Le fruit du caféier est-il à climactérique et, si oui, cette augmentation de la concentration en éléments minéraux de juin à novembre correspond-elle à l'augmentation de l'intensité respiratoire ?

La comparaison entre teneurs en azote rapportées au poids sec et au poids frais montre l'importance du choix de l'unité dans l'expression de résultats. En l'absence d'observations plus précises sur la croissance des organes étudiés, les différences entre les deux modes d'expression sont imputables principalement aux variations des teneurs en eau et nous retiendrons de préférence comme critère physiologique les teneurs par rapport au poids sec.

## CONCLUSIONS

### RÉFLEXIONS SUR LA NUTRITION AZOTÉE

Deux faits peuvent sembler contradictoires : nous sommes en présence d'un sol riche en azote — même très riche — au moins dans sa partie superficielle, où est concentrée la majorité des racines actives du caféier. Le facteur limitant de la production est cependant la nutrition azotée et un apport d'azote minéral, en l'occurrence de sulfate d'ammoniaque, est immédiatement absorbé par la plante dont les teneurs en azote total dans les feuilles et dans les fruits sont significativement plus fortes que dans les témoins privés d'engrais.

Aussi faut-il chercher à augmenter dans le sol les quantités d'azote soluble mises à la disposition de la plante, qui en a un gros besoin en avril-mai, puis en novembre-décembre. L'apport d'engrais élève très nettement à ces moments-là et les teneurs du sol en  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  et les niveaux d'azote total dans les feuilles, qui présentent alors avec le poids de fruits produit des corrélations positives significatives (4). ROBINSON au Kenya (21) conclut de son étude des mouvements de  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  dans le sol, qu'il faut augmenter la proportion de ces ions dans celui-ci au moment des floraisons et en fin de végétation des fruits, et conseille pour cela l'apport d'engrais minéral. Il ne dit rien de la richesse de ce sol en azote total.

S'il est vrai que l'apport d'azote chimique est un moyen très efficace d'élever la teneur du sol en azote soluble, ne faudrait-il pas, en présence d'une telle richesse en azote total, chercher une solution peut-être plus « économique », c'est-à-dire plus logique ? Nous avons affaire à un sol riche en éléments minéraux, formé sur cendres volcaniques, dont le pH est assez bas, voisin de 5,5. Sa microflore est-elle suffisamment développée ou peut-elle exercer son activité de façon satisfaisante, sinon optimale ?

Si nos observations sont certaines et si l'effet bénéfique d'un apport d'engrais azoté sur la production de la plante n'est pas douteux, l'interprétation des phénomènes est plus délicate. On pense de plus en plus que le sol est le siège de transformations incessantes entre les diverses formes minérales et organiques sous lesquelles existe l'azote. A des transformations purement chimiques suscitées par des changements souvent très localisés de pH, au contact des racines par exemple, s'ajoutent les transformations opérées par les microorganismes, soumis eux aussi à des équilibres subtils et sans cesse remaniés. Et suivant la nature et l'ampleur des processus qu'ils ont étudiés, les auteurs interprètent différemment l'action des engrais minéraux. Pour certains, ils inhibent la

consommation en gênant la transformation de l'azote organique et n'agissent que par ce qu'ils apportent. Pour d'autres au contraire, ils provoquent des phénomènes d'« activation », auxquels participent toutes sortes de microorganismes, dont il résulte finalement une minéralisation et une consommation plus importante d'azote organique. En quelque sorte, le cycle de l'azote tournant sur lui-même, l'injection d'une quantité nouvelle activerait l'ensemble des phénomènes qui le constituent.

Il est bien difficile sur nos seules observations de prendre parti entre ces deux positions. Nous allons simplement essayer de résumer le déroulement des actions successives et d'apprécier l'importance des différents facteurs entrant en jeu.

### LE CYCLE DES SAISONS ET LE CYCLE DE L'AZOTE

A l'origine de tous les phénomènes se trouve la reprise des pluies qui provoque d'abord la réhumidification du sol. Alors se réveillent l'activité microbienne et animale dans le sol et celle des plantes supérieures pour aboutir à l'enrichissement du sol superficiel en azote. Cette phase qu'on peut nommer d'« organisation active ou biologique », correspond à la petite saison des pluies.

Cette activité déclenchée, le facteur pluie cesse d'être primordial et c'est l'être vivant : microorganismes du sol — principalement nitrificateurs — et plantes supérieures qui vont alors régir les transformations et les mouvements de l'azote : les premiers minéralisant ce qui a été accumulé dans la phase précédente, les secondes utilisant le résultat de l'activité des premiers ; le terme est l'amenuisement des réserves azotées du sol. Cette phase de « minéralisation active ou biologique » couvre la petite saison sèche.

Les pluies redevenant fortes, elles vont permettre une certaine reconstitution des réserves azotées en favorisant la réorganisation de l'azote non plus comme dans la première phase en déclenchant un ensemble de processus biologiques, mais plutôt en empêchant sa minéralisation. Cette phase d'« organisation passive ou climatique » intéresse la grande saison des pluies.

Quand arrive la saison sèche, l'azote soluble s'accumule à nouveau par suite d'une certaine activité des nitrificateurs, mais surtout par ralentissement du pompage par les plantes supérieures alors entrées en repos végétatif et décomposition des humates. Cette phase de « minéralisation passive ou climatique » intéresse la grande saison sèche.

Nous avons résumé dans le tableau suivant cet ensemble de phénomènes.

	Petite saison des pluies	Petite saison sèche	Grande saison des pluies	Grande saison sèche
Durée .....	environ 2 mois.	environ 2 mois.	environ 4 mois.	environ 4 mois.
Activité de la plante .....	intense : croissance des feuilles, racines, bour- geons, floraison, nouai- son.	forte : croissance des fruits.	moyenne : croissance des feuilles mûres ?	modérée : fin de récolte, entrée en repos végé- tatif.
Consommation d'azote par la plante .....	très forte.	forte.	modérée.	faible.
Taux d'azote total dans le sol	très fort : « explosion biologique »	faible : minéralisation et consommation par la plante.	moyen : « réorganisa- tion de l'azote solu- ble ».	faible : dégradation.
Taux d'azote soluble dans le sol .....	faible : lessivage et consommation.	fort : minéralisation active.	faible : lessivage.	moyen : minéralisation et désamination.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. ANONYME, 1964. — Recherches I. R. C. T. Cameroun, rapport annuel.
2. BÉNAC (R.), 1965. — Etude des besoins en éléments majeurs du caféier Arabica en pays Bamoun (Cameroun). 1<sup>re</sup> partie : réponse des caféiers aux traitements fertilisants. *Café Cacao Thé* (Paris), IX, 1, pp. 3-22.
3. BÉNAC (R.), 1966. — Idem. 2<sup>e</sup> partie : analyses foliaires. *Café Cacao Thé* (Paris), X, 4, pp. 331-334.  
1967. — Idem. 2<sup>e</sup> partie : analyses foliaires. *Café Cacao Thé* (Paris), XI, 1, pp. 31-55.
4. BÉNAC (R.), 1967. — Idem. 3<sup>e</sup> partie : analyses foliaires et rendements. *Café Cacao Thé* (Paris), XI, 3, pp. 203-218.
5. BUSCH (J.), 1956. — Nutrition minérale du Robusta dans le Centre Oubangui. *Agron. Trop.*, n° 4, pp. 417-447.
6. CHAVERRI (R.), BORNEMISZA (S.), CHAVES (S.), 1957. — Resultados del analisis foliar del cafeto en Costa Rica. Ministerio de agricultura e industrias. Servicio técnico interamericano de cooperación agricola, Información técnica n° 3.
7. COOIL (B. J.), 1954. — Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona. University of Hawaii, Honolulu.
8. ESPINOZA (F.), 1960. — El analisis foliar en el diagnostico del estado nutricional del cafeto. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, Santa Tecla.
9. ESPINOZA (F.), 1961. — Resultados preliminares del analisis foliar del cafeto en El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, Santa Tecla.
10. KENDALL (M. G.). — Rank correlation methods. 2nd. Griffin, London.
11. LOTT (W. L.), NERY (J. P.), GALLO (J. R.), MEDCALF (J. C.). — Leaf analysis technique in coffee research. I. B. E. C. Research Institute, n° 9, 1956.
12. LOUÉ (A.), 1951. — Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, *bull. trim.* n° 3, pp. 13-42.
13. LOUÉ (A.), 1953. — Etude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, *bull. trim.* n° 8, pp. 97-154.
14. LOUÉ (A.), 1955. — Diagnostic foliaire comparé du caféier dans les régions de Daloa et de Bingerville. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, *bull. spéc.*, pp. 38-53.
15. LOUÉ (A.), 1955. — Influence de la fumure minérale sur la composition chimique du grain de café et de ses enveloppes et problème des exportations d'éléments fertilisants. Centre de Recherches Agronomiques de Bingerville, *bull. spéc.*, pp. 54-68.
16. MEDCALF (J. C.), LOTT (W. L.), TEETER (P. B.), QUINN (L. R.), 1955. — Experimental programme in Brazil. I. B. E. C. Research Institute, n° 6.
17. MULLER (L. E.), 1959. — La aplicación del diagnostico foliar en el cafeto (*Coffea arabica* L.) para una mejor fertilización. *Turrialba* (Costa Rica), vol. IV, pp. 110-122.
18. PRÉVOT (P.), OLLAGNIER (M.), 1951. — Application du diagnostic foliaire à l'arachide. Premiers résultats au Sénégal. *Oléagineux* (Paris), pp. 329-337.
19. QUENOUILLE (M. H.), 1964. — Méthodes de calculs statistiques rapides. Dunod, Paris, pp. 67-68.
20. ROBINSON, 1956. — Mineral deficiencies in mature coffee; leaf sampling analytical techniques. *The coffee board of Kenya monthly bulletin*, juill., pp. 158-159.
21. ROBINSON (J. B. D.), 1960. — Nitrogen studies in a coffee soil. 1<sup>re</sup> partie. *J. Agric. Sci.*, vol. 55, 3, pp. 333-338.
22. ROBINSON (J. B. D.), 1961. — Mineral nutrition of coffee. Preliminary results with the leaf analysis technique. *East African Agricultural and Forestry Journal*, vol. XXVII, n° 1, pp. 1-9.
23. SUSINI (J.), NGANJUI (C.), 1964. — Contribution au dosage de l'azote minéral par micro-diffusion et colorimétrie. I. R. CAM, rapport P 137, Yaoundé.
24. WARDEN (J. C.), 1963. — The dry soil nutrition of coffee. *East African Agricultural and Forestry journal*, vol. XXVIII, n° 4, pp. 195-203.

BÉNAC (R.). — **Evolution de l'azote total, nitrique et ammoniacal d'échantillons de sol, de feuilles et de fruits de caféier Arabica.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIII, n° 2, avril-juin 1969, p. 116-130, fig., tabl., réf.

Des études antérieures, déjà menées au Cameroun sur caféiers Arabica, avaient montré que l'apport d'engrais azotés augmente significativement la teneur des feuilles en azote total et que cette teneur paraissait dépendre à la fois des chutes de pluie et de l'évolution des fruits.

Afin de mieux connaître l'utilisation des engrais azotés par le caféier, l'auteur étudie dans le présent article les liens qui unissent l'azote du sol et la teneur en azote des feuilles et des fruits, par le dosage pendant un cycle entier de végétation de l'azote total, nitrique et ammoniacal d'échantillons de sol, de feuilles et de fruits prélevés en même temps dans les mêmes parcelles expérimentales.

Le dispositif expérimental était constitué d'un ensemble de six blocs de Fisher de trois parcelles chacun et les traitements étaient :  $t_0$  = témoin,  $t_1$  = 500 g de sulfate d'ammoniaque par pied/an (dose moyenne),  $t_2$  = 2 kg de sulfate d'ammoniaque par pied/an (dose forte). Les parcelles contenaient chacune 56 caféiers en production, soit 30 arbres utiles. Les engrais ont été mis en quatre fois, au début des mois de mars, avril, octobre et novembre. L'échantillon de sol a été prélevé au pied de chaque arbre, à mi-distance du tronc et de l'aplomb extérieur de la couronne. Deux feuilles de rang 3 ont été prélevées par arbre. Les fruits ont été prélevés dès leur apparition sur les mêmes rameaux que les feuilles. Les expériences ont duré de mars 1965 à mai 1966, et ont été effectuées sur un sol dont la couche superficielle était riche en azote.

Les données recueillies ont fait l'objet de comparaisons de séries chronologiques, par le calcul de corrélation des rangs. L'influence des apports d'engrais azotés sur les teneurs en azote total, nitrique et ammoniacal du sol, des feuilles et des fruits et l'évolution de ces teneurs au cours de l'année ont ainsi été examinées et interprétées.

Il apparaît nécessaire de chercher à augmenter dans le sol la quantité d'azote soluble à la disposition du caféier, qui en a un gros besoin en avril-mai, puis en novembre-décembre. L'apport d'engrais élève très nettement à ces moments-là les teneurs du sol en  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  et les taux d'azote total des feuilles, qui présentent alors avec le poids de fruits produits des corrélations positives significatives.

Il est à remarquer que les moments où se manifestent des différences significatives dans les teneurs en azote total et soluble des fruits (mai et décembre) sont ceux précisément retenus pour les prélèvements foliaires.

Dans le cas d'un sol riche en azote total (comme celui de l'expérience), on peut se demander s'il ne faudrait pas chercher une solution plus économique que l'apport d'azote chimique pour élever la teneur du sol en azote soluble (développement de la microflore, accroissement de l'activité de cette microflore).

Au Cameroun, le cycle des saisons et le cycle de l'azote peut se résumer comme suit : la reprise des pluies est à l'origine de tous les phénomènes. Elle provoque d'abord la réhumidification du sol, puis le réveil de l'activité microbienne dans le sol et celle des plantes supérieures et aboutit à l'enrichissement du sol superficiel en azote (phase « d'organisation active ou biologique », qui correspond à la petite saison des pluies).

Les transformations et les mouvements de l'azote sont alors régis par les microorganismes du sol (principalement nitrificateurs) et les plantes supérieures : les premiers minéralisent l'azote accumulé dans la phase précédente et les secondes utilisent le produit de cette minéralisation. Les réserves azotées du sol s'amenuisent (phase de « minéralisation active ou biologique » qui correspond à la petite saison sèche).

Les pluies redevenues fortes permettent une certaine reconstitution des réserves azotées en empêchant la minéralisation de l'azote (phase « d'organisation passive ou climatique », qui correspond à la grande saison des pluies).

Au moment de la saison sèche, l'azote soluble s'accumule à nouveau par suite d'une certaine activité des nitrificateurs, mais surtout par suite du ralentissement de l'absorption des plantes supérieures et de la décomposition des humates (phase de « minéralisation passive ou climatique », qui correspond à la grande saison sèche).

BÉNAC (R.). — **The changes in total, nitric and ammoniacal nitrogen in Arabica coffee soil, leaf and fruit samples.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIII, n° 2, avr.-juin 1969, p. 116-130, fig., tabl., réf.

Studies carried out earlier in the Cameroons on Arabica coffee had shown that the application of nitrogenous fertilizer significantly increased the total nitrogen content of the leaves and that the amount of nitrogen present in the leaves depended on both rainfall and the development of the fruit.

BÉNAC (R.). — **Entwicklung des Gesamtstickstoffs, Salpeterstickstoffs und Ammoniakstickstoffs in Boden- Blätter- und Fruchtproben des Kaffeebaums Arabica.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIII, n° 2, avr.-juin 1969, p. 116-130, fig., tabl., réf.

Frühere Untersuchungen die schon an Kaffeebäumen Arabica in Kamerun durchgeführt worden waren, hatten gezeigt, dass Stickstoffdüngergaben auf signifikante Weise den Gehalt an Gesamtstickstoff der Blätter erhöhen und dieser Gehalt zugleich von den

BÉNAC (R.). — **Evolución del nitrógeno total, nítrico y amoniaco de muestras de suelos de hojas y de frutos de café Arabica.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIII, n° 2, avr.-juin 1969, p. 116-130, fig., tabl., réf.

Unos estudios anteriormente efectuados en Camerún sobre cafetos Arabica habían mostrado que el aporte de abonos nitrogenados aumenta significativamente el contenido de nitrógeno total de las hojas y que dicho contenido parecía depender tanto de las lluvias como de la evolución de los frutos.

In the present article, the author describes how an attempt was made to ascertain the manner in which the coffee plant made use of the nitrogen supplied to it in the form of fertilizer and the correlations that existed between the nitrogen contents of its soil, leaves and fruit, by a program of quantitative analysis, carried out over a full vegetative cycle of the plant, of the total, nitric and ammoniacal nitrogen contained in samples of soil, leaves and fruit taken at the same time from the same experimental plots.

The experiment was laid out in six Fisher blocks of three plots each, the treatments being:  $t_0$  = control;  $t_1$  = 500 g ammonium sulphate per plant/year (medium rate);  $t_2$  = 2 kg ammonium sulphate per plant/year (heavy rate). Each plot contained 56 coffee bushes in bearing, i. e. 30 useful plants. The fertilizer was applied four times: at the beginning of the months of March, April, October and November. A soil sample was taken half-way between the base of the main stem of each bush and the perpendicular projection of the perimeter of the spread of its foliage. Two leaves were gathered from rank 3 on each tree. The fruit, as soon as it appeared, was sampled from the branches from which the leaves had been taken. The experiment lasted from March 1965 to May 1966 and was carried out on a soil the top layer of which was rich in nitrogen.

The data collected were subjected to chronological series comparisons using a method of rank correlation.

In this way the influence of nitrogenous fertilizers on the total, nitric and ammoniacal nitrogen contents of the soil, leaves and fruit and the changes in these contents throughout the year were examined and interpreted.

Since the plants showed a heavy demand for soluble nitrogen during April-May and November-December, it appeared advisable to make additional quantities available in the soil at these periods. Fertilizer applied at these times definitely increased the  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  content of the soil and the total nitrogen in the leaves which showed significant positive correlations with the weight of fruit produced.

It should be noted that the leaf samples were gathered at the times (May and December) at which the differences in the total and soluble nitrogen contents of the fruit were significant.

Niederschlägen sowie der Fruchtentwicklung abzuhängen scheint.

Zur besseren Kenntnis der Verwendung von Stickstoffdünger durch den Kaffeebaum Arabica untersuchte der Autor in vorliegendem Artikel die Beziehungen die den Stickstoff im Boden mit den Stickstoffgehalt der Blätter und Früchte verbinden, indem er während der Dauer eines ganzen Vegetationszyklus den Gesamtstickstoff, Salpeterstickstoff und Ammoniakstickstoff in Boden-Blätter und Fruchtproben bestimmt, die zu gleicher Zeit in den gleichen Versuchspartellen entnommen wurden.

Das Versuchsgelände bestand aus einem Komplex von sechs Blöcken nach Fisher von je drei Partellen. Folgende Behandlung wurde durchgeführt:  $T_0$  = Blindprobe,  $T_1$  = 500 g Ammoniumsulfat je Baum/Jahr (mittlere Dose  $T_2$  = 2 kg Ammoniumsulfat je Baum/Jahr (starke Dose). Die Partellen umfassten je 56 tragende Bäume demnach 30 Nutzbäume. Der Dünger wurde in vier Gaben anfangs März, April, Oktober und November verabfolgt. Die Bodenprobe wurde am Fuss eines jeden Baums in halber Entfernung von Stamm und äusserster senkrechter Linie zur Krone vorgenommen. Pro Baum wurden zwei Blätter der dritten Reihe entnommen. Die Früchte wurden sofort bei ihrem Erscheinen auf den selben Zweigen wie die Blätter entnommen. Die Versuche dauerten von März 1965 bis Mai 1966 und erfolgten auf einem Boden dessen obere Schicht sehr stickstoffhaltig war.

Die gesammelten Daten werden durch Errechnung der Wechselbeziehung der Reihen chronologischer Serienvergleichen unterzogen.

Die Einwirkung der Stickstoffdüngergaben auf den Gesamtstickstoff, Salpeterstickstoff- und Ammoniakstickstoffgehalt des Bodens, der Blätter und der Früchte sowie die Entwicklung dieses Gehalts während des Jahres wurden geprüft und ausgelegt.

Die Erhöhung der löslichen Stickstoffmenge für den Kaffeebaum der ein grosses Bedürfniss danach im April-Mai und im November-Dezember hat erscheint notwendig. Die Verabreichung von Dünger erhöht zu diesen Zeitpunkten auf sehr deutliche Weise den Bodengehalt an  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  sowie den Prozentsatz an Gesamtstickstoff der Blätter, die dann mit dem Gewicht der erzeugten Früchte positive signifikante Wechselbeziehungen aufweisen.

Con el objeto de conocer más perfectamente la utilización de los abonos nitrogenados por el café, el autor estudia en el presente artículo las relaciones entre el nitrógeno del suelo y el contenido de nitrógeno de las hojas y de los frutos, mediante dosificación durante un ciclo entero de vegetación del nitrógeno total, nítrico y amoniacal de muestras de suelo, de hojas y de frutos tomadas al mismo tiempo en las mismas parcelas de experimentación.

El diseño del ensayo estaba constituido por un conjunto de seis bloques Fisher con tres parcelas cada uno y se hicieron los tratamientos siguientes:  $t_0$  = testigo,  $t_1$  = 500 g de sulfato de amoniaco por arbol/año (dosis mediana),  $t_2$  = 2 kg de sulfato de amoniaco por arbol/año (dosis fuerte). Cada parcela tenía 56 cafetos adultos, es decir 30 árboles útiles. Los abonos se aplicaron en cuatro veces, a principios de marzo, de abril, de octubre y de noviembre. Se tomó la muestra al pie de cada árbol a distancia igual entre el tronco y el aplomo exterior de la corona. Se cogieron en cada árbol dos hojas de rango tercero. Los frutos se cogieron tan luego como aparecieron en los mismos ramos que las hojas. Los experimentos duraron desde marzo de 1965 a mayo de 1966, y se efectuaron en un suelo cuya capa superficial se hallaba rica en nitrógeno.

Con los datos obtenidos se hicieron comparaciones de series cronológicas, con el cómputo de correlación de los rangos.

Así se examinaron y se interpretaron la influencia de los aportes de abonos nitrogenados sobre los contenidos de nitrógeno total, nítrico y amoniacal del suelo, de las hojas y de los frutos y la evolución de dichos contenidos a lo largo del año.

Parece necesario buscar un aumento en el suelo de la cantidad de nitrógeno soluble a disposición del café que necesita mucho dicho nutriente en abril-mayo y en noviembre-diciembre. El aporte de abonos en dichas épocas alza marcadamente los contenidos de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  del suelo y los contenidos de nitrógeno total de las hojas que presentan entonces correlaciones positivas significativas con el peso de frutos producidos.

Hay que notar que los momentos en que se manifiestan diferencias significativas en los contenidos de nitrógeno total y soluble de los frutos (mayo y diciembre) son precisamente los en que se cogieron las hojas.

Where, as in this experiment, the soil was rich in total nitrogen, the question arose whether a more economic solution than that of chemical fertilizers could be found for increasing the soluble nitrogen content of the soil : by the development and stimulation of the activity of suitable microflora, for example.

The return of the rains was fundamental to the phenomena of these seasonal and nitrogen cycles in the Cameroons. The rewetting of the soil followed by the reanimation of its microbial and higher plant activities resulted in an enrichment of the top soil in nitrogen (the «active or biological organization» phase which took place during the short rainy season).

The transportation and movement of nitrogen were controlled by both the soil microorganisms (chiefly nitrifiers) and the higher plants : the former converted the nitrogen accumulated during the preceding phase into inorganic form, while the latter made use of the products of this mineralization. The soil nitrogen reserves became reduced («active or biological mineralization» phase corresponding with the short dry season).

The heavy rains gave rise to a certain reaccumulation of reserves of nitrogen by preventing its mineralization («passive or climatic organization» phase corresponding with the heavy rainy season).

In the dry season soluble nitrogen again accumulated partly as a result of the activity of the nitrifying organisms, but chiefly because of a slowing down in its uptake by the higher plants and in the decomposition of humates («passive or climatic mineralization» phase which corresponded with the long dry season).

Es ist zu bemerken, dass die Zeitpunkte zu welchen die signifikanten Unterschiede im Gehalt des Gesamt- und des löslichen Stickstoffs der Früchte auftreten (Mai und Dezember) gerade jene sind, die für die Blattentnahme bestimmt worden waren.

Bei einem gesamtstickstoffhaltigem Boden (wie der Versuchsboden) kann die Frage nach einer wirtschaftlicheren Lösung als die Verabreichung von löslichem Stickstoff im Boden (Entwicklung der Mikroflora, erhöhte Tätigkeit dieser Mikroflora) gestellt werden.

In Kamerun lässt sich der Saisonzyklus und der Stickstoffzyklus wie folgt zusammenfassen : die Rückkehr der Regenfälle liegt allen Erscheinungen zugrunde. Sie bewirkt zuerst die Wiederbefruchtung des Bodens, so dann die Wiederaufnahme der mikrobiischen Tätigkeit im Boden sowie der Tätigkeit der höheren Pflanzen und führt zur Bereicherung an Stickstoff der oberen Bodenschicht (Phase der aktiven oder biologischen Organisation die der kleinen Regenperiode entspricht).

Die Umsetzungen und Verlagerungen des Stickstoffs werden nun durch die Bodenmikroorganismen (hauptsächlich durch die Nitrifizierer) und die höheren Pflanzen geregelt : die ersteren mineralisieren den während der vorhergehenden Phase angesammelten Stickstoff und die höheren Pflanzen verwenden das Produkt dieser Mineralisierung. Die Stickstoffreserven des Bodens schwinden (Phase der aktiven oder biologischen Mineralisierung die der kleinen Trockenperiode entspricht).

Die erneut starken Regenfälle ermöglichen eine gewisse Wiederherstellung der Stickstoffreserven indem sie die Mineralisierung des Stickstoffs verhindern (Phase der passiven oder klimatischen Organisation welche der grossen Regenperiode entspricht).

Während der Trockenperiode sammelt sich der lösliche Stickstoff erneut infolge einer gewissen Tätigkeit der Nitrifizierer aber besonders infolge einer Verlangsamung der Absorption der höheren Pflanzen und der Zersetzung der Humate (Phase der passiven oder klimatischen Mineralisierung welche der grossen Trockenperiode entspricht).

En el caso de un suelo rico en nitrógeno total (como el del experimento) uno puede preguntarse si no faltaría buscar una solución más económica que el aporte de nitrógeno químico para alzar el contenido de nitrógeno soluble del suelo (desarrollo de la microflora, aumento de la actividad de dicha microflora).

En Camerún el ciclo de las estaciones y el ciclo del nitrógeno pueden resumirse de la manera siguiente : el inicio de las lluvias es al origen de todos los fenómenos. Primero el suelo se humedece otra vez, después se despierta la actividad microbiana en el suelo y la de las plantas superiores, y el suelo superficial se vuelve más rico en nitrógeno (fase de «organización activa o biológica» que coincide con la época húmeda más breve).

Entonces las transformaciones y los movimientos del nitrógeno se hallan regidos por los microorganismos del suelo (principalmente nitrificadores) y las plantas superiores : los primeros mineralizan el nitrógeno acumulado durante la fase precedente y las segundas utilizan el producto de dicha mineralización. Las reservas de nitrógeno del suelo disminuyen (fase de «mineralización activa o biológica» que coincide con la época seca más breve).

Quando se vuelven más abundantes, las lluvias permiten una reconstitución parcial de las reservas de nitrógeno impidiendo la mineralización del nitrógeno (fase de «organización pasiva o climática» que coincide con la época húmeda más larga).

En el momento del período seco, el nitrógeno soluble se acumula otra vez debido a una cierta actividad de los microorganismos nitrificadores, pero sobre todo a una menor absorción de las plantas superiores y a una menor descomposición de los humates (fase de «mineralización pasiva o climática» que coincide con la época seca más larga).