

Efficacité de l'analyse foliaire de l'azote comme indicateur de la nutrition azotée des Citrus

J.L. GUARDIOLA, S. VIVAS et E. GONZALEZ-SICILIA*

EFFICACITE DE L'ANALYSE FOLIAIRE DE L'AZOTE COMME INDICATEUR DE LA NUTRITION AZOTÉE DES CITRUS

J.L. GUARDIOLA, S. VIVAS et E. GONZALEZ-SICILIA

Fruits, Fev. 1975, vol. 30, n°2, p. 113-118.

RÉSUMÉ - La teneur foliaire en azote n'est pas un indice parfait de l'état nutritif en azote de l'arbre. Un excès d'azote, bien qu'ayant un effet dépressif sur la récolte, provoque des niveaux foliaires en azote identiques à ceux d'arbres en conditions optimales. Les variations annuelles affectent les teneurs foliaires mais sans relation avec les rendements, alors que les époques de fertilisation influent sur le rendement mais pas les teneurs. Des feuilles de la pousse de printemps, âgées de trois à sept mois, indépendamment de leur position par rapport aux fruits, sont les plus sensibles pour estimer l'état nutritif en azote de l'arbre.

INTRODUCTION

L'hypothèse de base de l'analyse foliaire est qu'il y a une corrélation directe entre les niveaux des éléments dans les feuilles et la production de l'arbre. Une telle corrélation est fortement affectée par certains facteurs, tels entre autres l'âge de la feuille et sa position sur l'arbre. Le choix de la feuille est très variable avec les auteurs (DEL BRASSINE, 1965) et sans aucune appréciation critique de la valeur effective des différentes méthodes d'échantillonnage ; aussi avons-nous pensé intéressant d'étudier l'influence de l'âge de la feuille et sa position dans l'arbre sur la teneur foliaire en azote, comme indicateur de l'état nutritif en azote de l'arbre.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette expérience a été conduite sur orangers 'Washington navel', adultes, greffés sur bigaradier. Le sol est calcaire, homogène, épais de 80 cm. Les arbres, plantés à 5,5 x 5,5

m, ont reçu durant sept ans une fertilisation azotée différenciée dans un essai randomisé à onze traitements et quatre répétitions.

Chaque parcelle comporte huit arbres observés en deux lignes de quatre arbres et chacune est entourée de lignes de bordure.

Six doses d'azote étaient appliquées suivant deux programmes :

- a - tout l'azote est apporté au printemps, en sulfate d'ammonium
- b - une moitié de l'azote est appliquée au printemps en sulfate d'ammonium, la seconde moitié en été, en nitrate de calcium, en un ou deux épandages.

Les doses d'azote appliquées, en kg par arbre furent : N₀ = 0, N₁ = 0,2, N₂ = 0,4, N₃ = 0,8, N₄ = 1,2, N₅ = 1,8. Indépendamment des doses d'azote tous les arbres reçurent 4 kg de superphosphate de calcium et 2 kg de sulfate de potassium.

Durant trois ans, des échantillons foliaires ont été prélevés à des dates différentes de l'année : avril, juillet, septembre et décembre. A chaque date, deux échantillons distincts sont pris dans chaque parcelle : ce sont des feuilles de la pousse de printemps prises respectivement sur rameaux

* INIA, Departamento Nacional de Citricultura, Centro Regional (07) de Levante, Burjasot (Valencia) España.

Communication présentée au Premier Congrès international d'Agrumiculture, Murcie (Espagne), avril-mai 1973.

fructifères (F) et non fructifères (NF) sauf en avril, date à laquelle un échantillon unique de toutes les feuilles était constitué.

L'azote de ces échantillons lavés et séchés a été analysé suivant la micro-technique standard de Kjeldahl. La récolte de chaque parcelle a été pesée chaque année, à 0,5 kg près, jusqu'en décembre ou janvier.

RÉSULTATS

Influence des apports d'engrais sur la teneur foliaire en azote.

Dans les parcelles recevant toute la fumure azotée en un seul apport, les teneurs en azote des feuilles prélevées de mai à septembre ont montré une corrélation bien définie avec la quantité d'azote apportée (tableau 1).

En mai, des différences non significatives de la teneur en azote ont été trouvées dans les parcelles recevant 0,4 kg d'azote ou plus, alors qu'en juillet ou septembre les feuilles de rameaux fructifères (F) des traitements à 0,4 kg de N avaient des teneurs en N plus faibles que celles des traitements à 1,2 et 1,8 kg de N ; les feuilles des traitements à 0,8 kg de N se situaient à des teneurs intermédiaires. Pour les feuilles de rameaux non fructifères (NF), il en était de même en juillet, mais les différences étaient seulement significatives dans la proportion de 19/1, alors qu'en septembre on ne pouvait trouver de différences entre les doses 0,4 kg de N d'une part, et 1,2 et 1,8 kg de N d'autre part. Les feuilles du traitement 0,4 kg de N avaient une teneur en N plus élevée que celles du traitement 0,2 kg aux mêmes dates, indépendamment du type de feuilles considérées. Les différences pour les feuilles (NF) prélevées en septembre étaient seulement significatives dans la proportion de 19/1.

La plupart des différences avaient disparu avec l'échantillonnage de décembre. Une certaine corrélation pouvait être détectée entre la teneur en N des feuilles (F) et la quantité d'engrais, alors que chez les feuilles (NF) les résultats étaient les mêmes quels que soient les traitements. Cette disparition de la corrélation était due à l'augmentation constante de la teneur foliaire de juillet à décembre pour les doses les plus faibles d'azote, alors que les teneurs en décembre étaient les mêmes, ou parfois plus faibles qu'en juillet, pour les doses les plus fortes.

Le nombre d'épandages n'a pas eu d'effet sur les teneurs en N des feuilles (NF), sauf un léger, en juillet, à la dose 0,4 kg de N (tableau 2) ; alors que dans les feuilles (F) les teneurs ont été normalement plus faibles dans les parcelles recevant l'engrais en plus d'une fois, avec des différences statistiquement significatives dans plusieurs traitements et échantillonnages.

Variations annuelles de la teneur en azote.

Les différences de teneur en azote dues aux variations annuelles sont aussi importantes que celles provoquées par les quantités d'azote apportées. Il n'a pas été possible

d'établir une relation entre ces variations et d'autres paramètres, tels que récolte ou prévision de récolte. Comme il n'a pas été fait d'estimation de croissance végétative, son effet ne peut être affirmé, mais probablement des facteurs plus complexes, tels que les conditions climatiques, peuvent être invoqués également.

Un résumé de ces variations est présenté dans le tableau 3. On peut voir que l'influence sur la teneur en azote n'est pas toujours identique avec les feuilles (F) et (NF). Ainsi, en juillet, la teneur en N était plus faible en 1967 qu'en 1968 et 1969 dans les feuilles (F), alors que dans les feuilles (NF) elle était la même en 1967 et 1968 et plus élevée en 1969. En décembre, l'effet était similaire : les teneurs étaient identiques dans les feuilles (NF) en 1968 et 1969, tandis que pour les feuilles (F) les différences étaient statistiquement significatives.

L'évolution des teneurs a changé aussi d'une année à l'autre. Si, en 1968, les teneurs en N des feuilles (NF) étaient identiques en juillet et septembre, s'accroissant significativement en décembre, en 1969 elles étaient maximales en juillet, pour décroître en septembre et ne pas changer en décembre.

Comparaison des feuilles de rameaux fructifères (F) et non fructifères (NF).

Comme nous l'avons montré précédemment, la teneur en azote des feuilles (F) et (NF) est en relation avec les quantités d'engrais azotés apportées. La feuille (F) paraît mieux refléter que la feuille (NF) les différences de fertilisation (tableau 1), bien que les conclusions soient les mêmes avec les deux types de feuilles.

La figure 1 apporte une preuve de la plus grande sensibilité de la feuille (F). Il y a une bonne corrélation entre la teneur en N des feuilles (F) et (NF) en juillet et septembre ; la pente des courbes de régression, plus petite que un et plus faible en septembre, correspond à une différence dans la teneur en azote entre les traitements, plus faible de la feuille (NF) (0,69 p. cent et 0,34 p. cent respectivement en

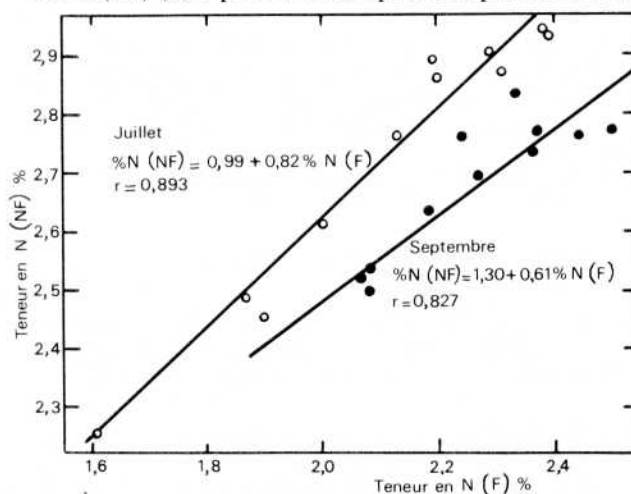


Figure 1 - Relation entre la teneur en azote des feuilles de rameaux non fructifères et fructifères. Chaque valeur est la moyenne de 12 analyses (4 répétitions X 3 analyses).

TABLEAU 1 - Teneurs foliaires en azote : influence du type de feuilles, des apports d'azote et de la date d'échantillonnage.

Apports d'engrais kg N/arbre/an	Date d'échantillonnage			
	mai	juillet	septembre	décembre
a) feuilles de rameaux fructifères				
0	2,08	1,61	2,08	2,12
0,2	2,42	1,90	2,08	2,23
0,4	2,66	2,13	2,27	2,26
0,8	2,72	2,20	2,33	2,33
1,2	2,74	2,38	2,44	2,39
1,8	2,75	2,39	2,50	2,37
b) feuilles de rameaux non fructifères				
0	2,08	2,25	2,49	2,73
0,2	2,42	2,45	2,53	2,67
0,4	2,66	2,76	2,69	2,75
0,8	2,72	2,86	2,83	2,77
1,2	2,74	2,94	2,76	2,71
1,8	2,75	2,93	2,77	2,86

TABLEAU 2 - Teneurs foliaires en azote : arbres recevant l'engrais en deux apports ou plus.

Apports d'engrais kg N/arbre/an	Date d'échantillonnage			
	mai	juillet	septembre	décembre
a) feuilles de rameaux fructifères				
0,2	2,49	1,87	2,07	2,04**
0,4	2,55	2,01*	2,18	2,12*
0,8	2,80	2,29	2,37	2,32
1,2	2,78	2,19**	2,24**	2,28
1,8	2,77	2,31	2,36*	2,37
b) feuilles de rameaux non fructifères				
0,2	2,49	2,48	2,52	2,69
0,4	2,55	2,61*	2,63	2,81
0,8	2,80	2,90	2,77	2,86
1,2	2,78	2,89	2,76	2,81
1,8	2,77	2,87	2,73	2,83

PPDS 5 p. cent : 0,12 PPDS 1 p. cent : 0,18

Les valeurs marquées diffèrent significativement de celles du tableau 1 pour des arbres recevant la même quantité d'azote en un seul épandage de printemps dans la proportion de 19/1 (*) ou 99/1 (**).

juillet et septembre) que de la feuille (F) (0,78 p. cent et 0,42 p. cent).

Le changement dans la courbe de régression entre juillet et septembre est dû à une évolution différente des teneurs en N des feuilles (F) et (NF). Ainsi, la feuille (F) s'enrichit en azote de juillet à septembre de 0,47 p. cent et 0,11 p. cent pour les traitements 0 et 1,8 kg, alors que pour les feuilles (NF) l'évolution est de + 0,24 p. cent pour le traitement 0 kg et - 0,16 p. cent pour le traitement 1,8 kg à la même époque (tableau 1).

La position de la feuille sur le rameau affecte plus la teneur de la feuille (F) que de la feuille (NF) (figure 2).

Bien que l'écart entre les teneurs maximale et minimale le long du rameau soit le même pour les deux types de rameaux, l'évolution est plus progressive sur rameau non fructifère. Quatre mois et demi après le débouillage, la teneur en N de la feuille (NF) décroît de l'apex à la base du rameau, les quatrième, cinquième, sixième feuilles, qui ont été habituellement échantillonnées dans ce travail, ont des teneurs identiques. Sur rameau fructifère, c'est la quatrième feuille qui a la teneur maximale avec une décroissance en allant vers l'apex ou la base du rameau. Des résultats non publiés des mêmes auteurs montrent des changements plus importants des teneurs en K, Ca, Mg, le long des rameaux

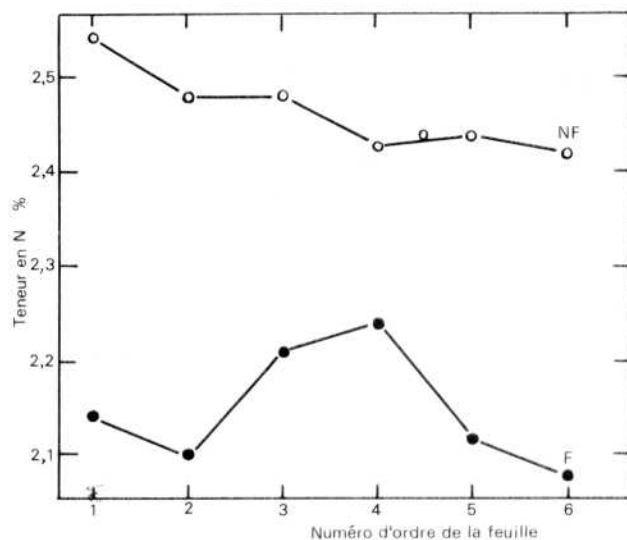


Figure 2 • Variations des teneurs foliaires en azote le long du rameau. Le numéro indique la position de la feuille à partir du fruit ou de l'apex du rameau.

fructifères et non fructifères.

Relation entre la teneur foliaire en azote et le rendement.

Pour les arbres ayant reçu tout l'engrais au printemps, une bonne corrélation a été trouvée entre le rendement et les teneurs foliaires en N jusqu'au prélèvement de septembre. Les résultats moyens de toute l'expérience sont portés dans la figure 3.

Les courbes reliant ces deux paramètres changent quelque peu de juillet à septembre, mais les valeurs critiques pour le rendement optimal semblent assez constantes. Cette valeur pour les feuilles (F) est de 2,15 p. cent en juillet et 2,27 p. cent en septembre et, pour les feuilles (NF), elle est respectivement de 2,75 et 2,70 p. cent.

D'autre part, une telle relation n'a pu être déterminée en décembre, traduisant l'impossibilité pour les feuilles de la pousse de printemps de refléter l'état nutritif en azote de l'arbre à cette époque (tableaux 1 et 2).

Une nouvelle complication apparaît quand les traitements avec plus d'un épandage sont considérés. Comme le tableau 4 l'indique, avec ces traitements, la récolte était plus importante que dans ceux où la même quantité d'azote était apportée en un seul épandage, avec la seule exception de la dose 0,8 kg de N ; alors que la teneur foliaire en azote était à peu près semblable ou même, pour quelques doses, plus faible avec ce mode d'apport (tableau 2). Il en découle que les courbes reliant le rendement aux teneurs foliaires en azote sont affectées par le nombre d'épandages ; cet effet ne semble pas avoir de relation avec la composition chimique de l'engrais. Le rendement maximum s'est accru mais les niveaux critiques de l'azote dans les feuilles sont à peu près les mêmes pour le rendement maximum, excepté en juillet dans la feuille (NF) où il est légèrement plus fort.

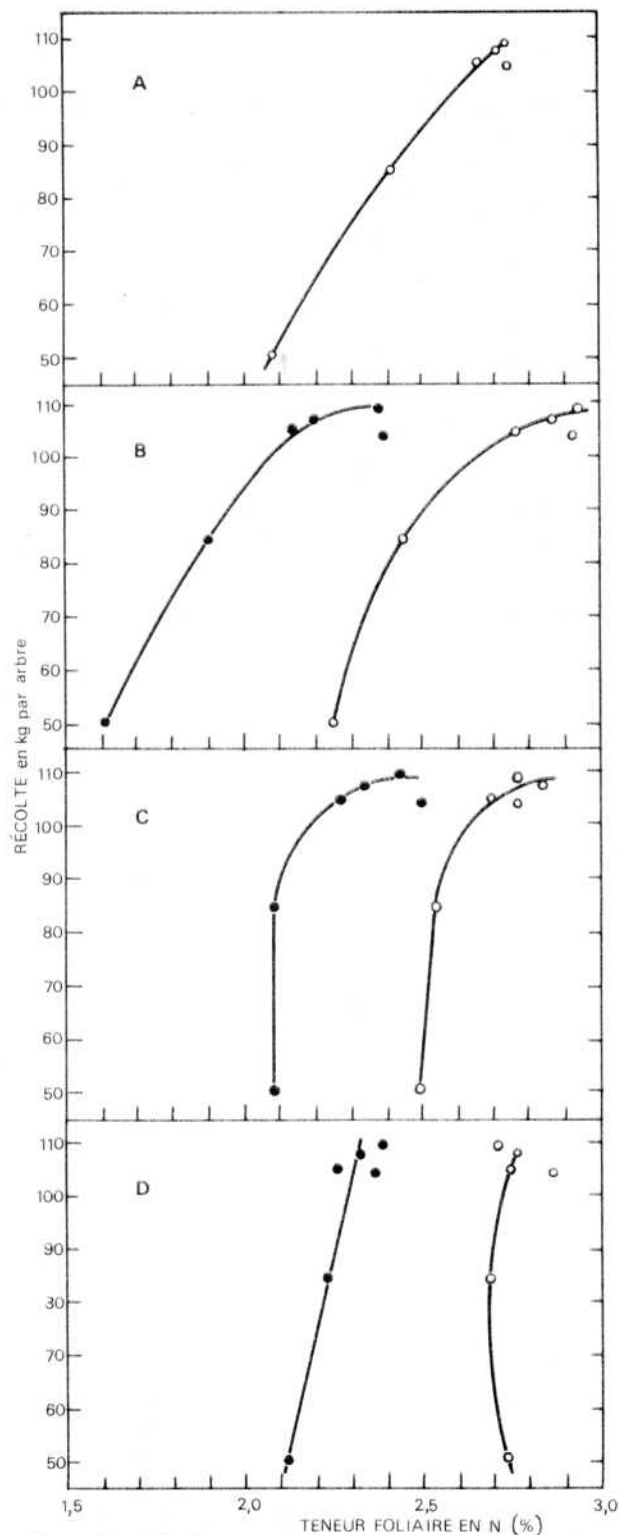


Figure 3 • Relation entre la teneur foliaire en N et la récolte en mai (A), juillet (B), septembre (C) et décembre (D), pour les parcelles recevant tout l'engrais au printemps.

● Feuilles de rameaux fructifères (F).
○ Feuilles de rameaux non fructifères (NF).
En mai, les deux types de feuilles sont prélevés ensemble au hasard. Chaque point est la moyenne de 8 résultats.

TABLEAU 3 - Variations annuelles de la teneur foliaire en azote.

Année	1967	1968	1969
mai	2,41	N.D.	2,81
juillet	F	1,96	2,19
	NF	2,64	2,70
septembre	F	2,12	2,29
	NF	2,61	2,69
décembre	F	N.D.	2,31
	NF	N.D.	2,77

PPDS à la proportion 19/1 : 0,66, à la proportion 99/1 : 0,08

Chaque valeur est la moyenne de quarante quatre-analyses obtenues dans quatre répétitions de chaque traitement.

TABLEAU 4 - Récolte moyenne des arbres en fonction des apports et du nombre d'épandages (*).

Apport d'engrais kg N/arbre/an	un épandage au printemps	un épandage au printemps plus un épandage d'été	un épandage au printemps plus deux épandages d'été
0	50.a	--	--
0,2	85.b	94.x*	--
0,4	105.c	118.z**	--
0,8	108.c	110.y	--
1,2	109.c	--	127.w **
1,8	103.c	--	118.z **

(*) - Remarque : récolte en kg de fruits/arbre/an

Les valeurs de la même colonne avec divers indices diffèrent significativement dans la proportion de 19/1.

Les symboles * et ** indiquent que les différences sont statistiquement significatives aux proportions respectives de 19/1 et 99/1 entre les doses égales.

DISCUSSION

Comme les tableaux 1 et 2 l'indiquent, une augmentation de 0,8 à 1,8 kg de la dose d'azote apportée par arbre n'a pas influencé de façon appréciable les teneurs foliaires en azote. Cet effet n'est pas extraordinaire, des résultats similaires ont été trouvés par plusieurs auteurs (GALLO et al., 1966 - JONES et PARKER, 1950 - REUTHER et al., 1957) même avec des apports aussi forts que 2,300 kg de N/arbre. D'autre part, la quantité d'engrais apportée a eu un net effet sur le rendement. Avec les traitements recevant l'engrais en deux épandages ou plus, le rendement aux doses de 0,8 kg était plus bas qu'aux doses 0,4 kg ; de même les doses 1,8 kg produisaient moins qu'avec 1,2 kg, suggérant un effet dépressif de l'azote sur le rendement qui peut ne pas être détecté par l'analyse foliaire standard.

Un tel fait peut être dû à un ralentissement de l'absorption, lié à une diminution du nombre des racines actives avec les fortes doses de N, comme FORD et al. (1957) l'ont montré. Quelle qu'en soit la cause, l'effet dépressif de l'azote sur le rendement est dû plus aux fortes concentrations de NO_3^- que de NH_4^+ . Un apport d'azote aussi élevé que 1,8 kg sous forme NH_4^+ n'a pas eu d'effet dépressif sur le rendement. Alors que, pour les traitements recevant l'azote en deux épandages ou plus, si aux doses de 0,4 et 1,2 kg de N/arbre, correspondant respectivement par

épandage à 0,2 et 0,3 kg de NO_3^- , il n'y a pas eu d'effet dépressif détecté, on l'observe avec des doses de 0,8 et 1,8 kg de N/arbre, soit 0,4 et 0,45 kg de NO_3^- . Ainsi, dans les conditions de cette expérience, plus de 0,3 kg de nitrate par épandage ont eu un effet nuisible sur le rendement.

Les différences de teneurs foliaires en azote, d'une année à l'autre, sont beaucoup trop importantes pour être négligées dans l'interprétation des résultats de l'analyse foliaire. Elles ont été signalées chez les agrumes (SMITH et al., 1963) aussi bien que pour d'autres arbres fruitiers (CAIN et BOYNTON, 1948 - SITTON, 1948), dans ce travail elles ne sont pas liées à la récolte actuelle ou prévisible. Les causes les plus complexes, impliquant des facteurs climatiques, ont été invoquées pour expliquer cette variation (REUTHER et SMITH, 1954) ; comme elles sont difficiles à évaluer, il a été quelquefois proposé l'utilisation d'arbres témoins uniformément fertilisés et conduits sur une longue durée afin d'ajuster les recommandations pour d'autres vergers (voir BATES, 1971).

Une complication de plus dans l'interprétation des niveaux foliaires en azote est venue de la comparaison des traitements recevant la même quantité d'engrais à différentes époques de l'année. Des différences non consistantes ont été trouvées dans les teneurs foliaires, ce qui contraste avec les résultats de SMITH (1969) sur pomelo. Bien que des différences des caractéristiques pédologiques puissent être la cause de ce désaccord, il faut bien noter que, dans

notre essai, la pratique de la fertilisation a eu une influence marquée sur le rendement (tableau 4), changeant alors l'allure des courbes de relation entre l'azote foliaire et le rendement. Outre la teneur en azote total, d'autres facteurs, tels que la disponibilité de quelques formes d'azote à la plante durant des périodes critiques, peuvent contrôler le rendement.

Ainsi, il apparaît clairement que la teneur foliaire en azote ne donne pas une image complète de l'état nutritif de l'arbre en azote. Dans l'interprétation des résultats analytiques de l'azote, mais aussi des autres éléments minéraux, il faut mettre l'accent plus sur la tendance des changements de composition dans le temps, en essayant de les relier à la croissance de l'arbre et au rendement, que sur les résultats analytiques d'une année donnée, qui peuvent conduire à des erreurs sérieuses d'interprétation. Les standard d'analyse foliaire doivent être considérés comme une valeur moyenne applicable de façon stricte seulement lorsque la moyenne des analyses de plusieurs années est employée.

Pour la date d'échantillonnage, les résultats montrent

(figure 3) que la teneur en N était liée au rendement, seulement lorsque les feuilles ont été prélevées de mai jusqu'à septembre. Des échantillonnages plus tardifs ont été sans intérêt pour déterminer l'état nutritif de l'arbre en azote, cette conclusion n'est peut-être pas applicable à chaque situation puisque, dans quelques essais non publiés, nous avons trouvé une bonne corrélation entre l'apport d'engrais azoté et la teneur foliaire en N de décembre. Cette conclusion pourrait cependant expliquer le défaut de corrélation entre l'azote foliaire et le rendement que quelques auteurs (voir BAR-AKIVA, 1971) ont observé.

Bien que la feuille (F) semble un peu plus sensible pour déterminer l'état nutritif en azote de l'arbre (figure 1), les conclusions obtenues avec la feuille (NF) sont tout à fait similaires; ainsi toutes deux semblent utilisables. Les teneurs en azote de feuilles de cinq à sept mois de la pousse de printemps, correspondant au rendement optimum, étaient de 2,2 à 2,3 p. cent pour la feuille (F) et de 2,7 à 2,8 p. cent pour la feuille (NF). Elles étaient en accord parfait avec les valeurs données par CHAPMAN et légèrement plus élevées que celles de REUTHER et al. (1958).

BIBLIOGRAPHIE

1. BAR-AKIVA (A.) et GOTTFRIED (A.). 1971.
Effect of nitrogen and potassium nutrition on yield, fruit quality and mineral composition of leaves of Valencia orange trees.
8e Congrès international de l'Agrumiculture méditerranéenne, CLAM Secrétariat général, Madrid.
2. BATES (T.E.). 1971.
Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review.
Soil Sci., 112, 116-130.
3. CAIN (J.C.) et BOYNTON (D.). 1948.
Some effects of season, fruit crop and nitrogen fertilization on the mineral composition of McIntosh apple leaves.
Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 51, 13-22.
4. CHAPMAN (H.D.). 1960.
Leaf and soil analysis in Citrus orchards.
Calif. Agric. Exp. Station, manual 25.
5. DEL BRASSINE (J.). 1965.
Echantillonnage des agrumes pour le diagnostic foliaire. I. Revue des principales méthodes utilisées dans le monde.
Fruits, 20, 9-17.
6. FORD (H.W.), REUTHER (W.) et SMITH (P.F.). 1957.
Effect of nitrogen on root development of Valencia orange trees.
Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 70, 237-244.
7. GALLO (J.R.), HIROCE (R.) et RODRIGUEZ (O.). 1966.
Correlação entre composição das folhas e produção, e tamanho de frutos, em laranja baianinha.
Bragantia, 25, 77-86.
8. JONES (W.W.) et PARKER (E.R.). 1950.
Seasonal variations in mineral composition of orange leaves as influenced by fertilizer practices.
Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 55, 92-100.
9. REUTHER (W.) et SMITH (P.F.). 1954.
Leaf analysis as a guide to the nutritional status of orchard trees.
In Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux, p.166-80, IRHO, Paris.
10. REUTHER (W.), SMITH (P.F.), SCUDDER (G.K.) et HRNCIAR (G.). 1957.
Response of Valencia orange trees to timing, rates and ratios of nitrogen fertilization.
Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 70, 223-236.
11. REUTHER (W.), EMBLETON (T.W.) et JONES (W.W.). 1958.
Mineral nutrition of trees crops.
Ann. Rev. Plant Physiol., 9, 175-206.
12. SMITH (P.F.). 1966.
Leaf analysis of Citrus.
In Temperate to tropical fruit nutrition, ed. N.F. Childers, Chapter VIII, p. 208-228. Rutgers Univ. Press.
13. SMITH (P.F.), SCUDDER (G.K. Jr) et HRNCIAR (G.). 1963.
Twenty years of differential phosphate application on Pineapple oranges.
Fla. State Hort. Soc. Proc., 76, 7-12.
14. SMITH (P.F.). 1969.
Effects of nitrogen rates and timing of application on Marsh grapefruit in Florida.
Proc. First Intern. Citrus Symp., vol. 3, 1559-1567.
15. SITTON (B.G.). 1948.
Response of bearing tung trees to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers.
Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 52, 25-39.