ANTAGONISMES K-Ca, K-Mg ET INFLUENCE DU POTASSIUM SUR LES AUTRES ELEMENTS MINERAUX, EN PARTICULIER LES DIFFERENTES FORMES DE CALCIUM DES FEUILLES DE CITRUS

M. NADIR

Introduction

Les résultats d'analyse des feuilles au Maroc ont révélé que les niveaux de potassium et phosphore étaient faibles ; par contre, celui du calcium était élevé (4, 5 et 9).

Les analyses de terre ont montré que la couche superficielle du sol de la plupart des vergers d'agrumes au Maroc, est suffisamment pourvue en potassium échangeable, alors qu'en profondeur la teneur est faible (5). Le diagnostic foliaire effectué dans ces vergers montre que les feuilles sont mal pourvues en potassium.

Les niveaux faibles de potassium constatés dans les feuilles de Citrus au Maroc, s'expliqueraient par les phénomènes suivants :

1. une partie du potassium est rétrogradée en particulier dans les sols à texture argileuse ;

2. le potassium fourni comme engrais n'arrive pas facilement

Al Awamia, 44, pp. 81-108, juillet, 1972.

au niveau des racines, en particulier dans les sols à texture argileuse ou limono-argileuse ;

3. l'exportation de potassium par les fruits appauvrirait également la réserve du sol en cet élément (7).

4. étant donné la quantité importante de calcium par rapport au potassium, le calcium freinerait la pénétration de l'ion K^+ dans la plante, malgré la sélectivité de la plante vis-à-vis des ions.

Les trois premiers points ont été démontrés d'une manière à peu près définitive ; par contre, sur le quatrième point, il existe encore des divergences entre les chercheurs. D'après LUNDEGARD (3) quand le rapport K/Ca est inférieur à un, l'absorption de potassium s'effectue plus difficilement, le potassium n'exerçant pas d'influence sur celle du calcium (le rapport K/Ca est exprimé en milligramme - atome pour un kilogramme de terre). Selon YORK et Coll. (12), le besoin en potassium des plantes est plus élevé sur des sols chaulés, et les phénomènes de déficience en potassium y apparaissent plus vite.

STRASMAN et Coll. (11) affirment que les sols ayant un rapport $100 \frac{K}{Ca}$ (échangeable) supérieur à 4 sont suffisamment pourvus en potasse. Pour des valeurs de ce rapport comprises entre 3 et 4, une fumure potassique d'entretien semble nécessaire. Pour des valeurs inférieures à 3, les besoins des cultures sont appréciables.

Les travaux effectués au Texas par GORTON et Coll. (2), ont montré que les teneurs en magnésium ne sont pas affectées par les apports de calcium, mais on a relevé une corrélation inverse entre les teneurs en calcium et les teneurs en potassium des feuilles.

D'après REUTHER et Coll. (10), quand le calcium des feuilles est élevé, les autres bases majeures, les métaux lourds et le bore sont probablement faibles. Une teneur élevée des feuilles en calcium indique habituellement un sol calcaire dans lequel l'assimilabilité de ces éléments constitue probablement un problème.

Si nous éliminons les trois premiers points par un apport massif de fumure potassique sur les Clémentiniers jeunes, plantés sur un sol léger, nous mettrons en évidence le quatrième point, l'intéraction entre K et Ca, qui nous paraît le plus important.

Il est certain que les apports de carbonate de calcium pulvérisé

ne modifient pas rapidement les niveaux de calcium déjà élevé dans les feuilles au Maroc, par suite de la faible solubilisation de ce sel dans le sol. Mais l'apport des sels de potassium qui sont très solubles, provoquera certainement une augmentation des niveaux de potassium suivie d'une baisse de calcium dans les feuilles.

1. Conditions expérimentales et méthodes d'analyse

Les essais sont réalisés dans un verger de la région de Rabat. Sur un sol sablonneux très homogène, sont plantés de jeunes Clémentiniers âgés de six ans en 1965, greffés sur bigaradier, apparemment sains. Ce verger rectangulaire comprend 25 rangées de 12 arbres. Chaque rangée d'arbres traités est séparée par une rangée de garde pour éviter l'influence des traitements d'une rangée sur l'autre.

Trois traitements, avec du sulfate de potassium (à 48 % K_2O), du nitrate de potassium (à 44 % K_2O et 13 % N) et du carbonate de calcium pulvérisé, sont pratiqués avec trois doses croissantes : 1,5 kg, 3 kg et 4,5 kg par arbre et pendant quatre années consécutives.

Nos observations portent sur douze séries de dix arbres pendant quatre années de 1965 à 1969.

Pour chaque arbre, les mesures ont été faites sur un échantillon moyen de feuilles des extrémités des rameaux fructifères, formées au printemps, et âgées d'environ six mois et demi au moment du prélèvement. Nous avons comparé les taux de potassium, de calcium, de magnésium, de matières minérales (cendres carbonatées), d'azote et de phosphore.

— Les matières minérales sont pesées, après incinération en deux stades, au four à moufle : une pré-incinération à 200°C pendant une heure à une heure et demie, suivie d'une incinération à 500-530° C, jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou gris-clair.

— Le potassium et le calcium sont déterminés par photométrie de flamme (émission atomique), et le magnésium par photométrie de flamme (absorption atomique).

— L'azote est dosé par la méthode classique de KJELDHAL.

— Le phosphore est mesuré par colorométrie, avec le spectrophotomètre ; cette méthode utilise le vanado - molybdate d'ammonium comme réactif.

Nous avons calculé les valeurs moyennes à partir de 10 répétitions ainsi que la plus petite différence significative entre les valeurs

moyennes, à la probabilité de 0,99 et 0,95, après avoir effectué l'analyse de la variance à un facteur contrôlé.

En 1965 avant tout traitement, nous avons procédé au test d'homogénéité. A part, la rangée formant les témoins N° 1, qui était éliminée par la présence dans celle-ci des sujets très hétérogènes, la composition minérale des feuilles des arbres du verger était la suivante (exprimée en grammes pour cent grammes de matière sèche).

Potassium	0,50 ± 0,12	Matières minérales	13,8 ± 1,0
Calcium	4,40 ± 0,60	Azote	2,70 ± 0,30
Magnésium	0,26 ± 0,03	Phosphore	0,15 ± 0,01

A — *Fumure*

Le tableau I illustre le détail de la fumure appliquée aux Clémentiniers.

TABLEAU I

Quantité de fumure en kg appliquée aux Clémentiniers

Dates et indices * de traitements		Témoins	K_2SO_4	$CaCo_3$	KNO_3
	1	—	1,5	1,5	1,5
14/12/1965	2	0	3	3	3
	3	0	4,5	4,5	4,5
	1	—	1,5	1,5	1,5
10/10/1966	2	0	3	3	3
	3	0	4,5	4,5	4,5
	1	—	1,5	2	1,5
26/10/1967	2	0	3	4	3
	3	0	4,5	6	4,5
	1	—	1,5	4	1,5
12/11/1968	2	0	3	8	3
	3	0	4,5	12	4,5

* Le verger a été divisé en trois fois quatre rangées :
l'indice 1 correspond aux quatre rangées de traitement simple,
l'indice 2 » » » » » » double + témoin
l'indice 3 » » » » » » triple + témoin

En plus des traitements de fumure que nous venons de citer, en Novembre 1965, nous avons apporté environ 3,300 kg de superphosphate (à 18 % de P_2O_5), 1,600 kg de sulfate de potassium (à 48 % de K_2O), et 0,800 kg d'urée (à 45 % d'N) par arbre et pour tous les arbres. Les mêmes quantités étaient appliquées également en novembre 1966.

Chaque automne, on semait une légumineuse qui était détruite et enfouie au printemps sur place par un cover-cropage.

Le 14.11.1967, un épandage au sol d'un kilogramme de phosphate d'ammoniaque (à 46 % de P_2O_5 et 18 % d'N) par arbre a été réalisé, pour tous les arbres y compris les témoins. Cette année 1967, chaque arbre avait reçu 0,800 kg d'urée. En 1968, chaque arbre avait reçu, y compris les témoins également 0,800 kg d'urée *.

B — *Analyse granulométrique*

Profondeur	Argiles en %	Limons en %	Sables fins en %	Sables grossiers en %	Calcaire total en %
0 - 20	1,0	2,0	54	43	traces
20 - 50	2,0	2,0	57	39	traces

L'analyse granulométrique montre bien, que le sol de ce verger est franchement sablonneux.

C — *Irrigation, et composition chimique de l'eau d'irrigation*

Le verger est irrigué par le système de double cuvette, mais une fois sur deux le verger est irrigué par aspersion. Chaque année 10 à 20 kg de paille sont ajoutés dans ces cuvettes pour freiner l'évaporation de l'eau, en évitant ainsi une perte brutale de l'eau par temps chaud.

La composition chimique de l'eau d'irrigation pour les années 1965 et 1969 est la suivante : (résultats exprimés en milligrammes par litre).

* Pour les rangées recevant le carbonate de calcium, à partir de 1967, nous avons appliqué des doses de deux, quatre et six kilogrammes de CO^3Ca au lieu de 1,5, 3 et 4,5 kg par arbre; cette dose a été doublée encore en 1968 passant à quatre, huit et douze kilogrammes par arbre.

Dates de prélèvement d'échantillons d'eau	Potassium	Calcium	Magnésium	Sodium	Sulfates	Chlorures	Bicarbonates
Octobre 1965	traces	80,0	7,5	29,0	20,0	38,3	244,0
Octobre 1966	traces	90,6	7,7	35,5	38,4	41,2	234,9

On constate que l'eau de puits servant à l'irrigation, garde sensiblement une composition chimique constante, sauf pour les sulfates.

2. Interprétations des résultats

Tous les résultats sont exprimés en grammes pour cent grammes de matière sèche ; nous indiquons la valeur moyenne calculée à partir de dix mesures, pour une probabilité de 0,95 ou de 0,99.

A — *Effets des engrais potassiques*

1. Variations des taux de potassium

a. Dès la première année d'application

Tous les traitements par les engrais potassiques provoquent une augmentation hautement significative des taux de potassium par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU II).

La dose la plus élevés de nitrate de potassium (4,5 kg par arbre) provoque l'effet le plus important.

b. Après deux années de traitement

De 1965 à 1967, les taux de potassium de tous les arbres traités par les engrais potassiques, sont plus élevés de façon hautement significative que ceux de l'ensemble de séries témoins (TABLEAU III).

Entre 1966 et 1967, seuls les traitements avec les doses les plus faibles de sulfate de potassium 1,5 kg et 3 kg par arbre, ont fait augmenter les taux de potassium dans les feuilles de façon hautement significative (TABLEAU IV).

Il apparaît ainsi que les traitements par le nitrate de potassium quelle que soit la dose utilisée, 1,5 kg, 3 kg ou 4,5 kg par arbre, ainsi que le traitement avec la dose la plus élevée de sulfate de

TABLEAU II

Variations des taux de potassium, dès la première année d'application d'engrais potassiques

	Potassium en 1966					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
0,566 ± 0,219	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
0,885 ± 0,580	1,457 ± 0,153 **	2,595 ± 0,265 **	2,634 ± 0,607 **	1,892 ± 0,146 **	3,116 ± 0,441 **	3,462 ± 1,203 **

* Signification à 0,99
** Signification à 0,95

TABLEAU III

Variations des taux de potassium, après deux années de traitement d'engrais potassiques

	Potassium en 1967					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
2,067 ± 0,193	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
1,359 ± 0,294	2,670 ± 0,153 **	3,124 ± 0,183 **	3,013 ± 0,344 **	2,350 ± 0,328 **	2,822 ± 0,189 **	2,978 ± 0,377 **

potassium, ont une action rapide et durable, puisqu'elle se manifeste dès la première année d'application et qu'elle se prolonge l'année suivante : les traitements avec les doses moyennes et faibles de sulfate de potassium agissent au contraire plus progressivement.

Ces divers résultats figurent dans les tableaux III et IV.

TABLEAU IV

Comparaison des taux de potassium entre 1966 et 1967

	Potassium		
	1965	1966	1967
3 kg SO_4K_2	0,50 ± 0,12	2,595 ± 0,265	3,124 ± 0,183
1,5 kg SO_4K_2	0,50 ± 0,12	1,457 ± 0,153	2,670 ± 0,153
Témoins	0,50 ± 0,12	0,566 ± 0,219	2,067 ± 0,193
		0,885 ± 0,580	1,359 ± 0,294

N.B. : L'augmentation des taux de potassium observée dans les feuilles des arbres des séries témoins est certainement provoquée par les apports d'engrais potassiques faits en 1965 et 1966, pour l'ensemble de ce verger.

c. Après trois années de traitement

De 1965 à 1968, tous les apports d'engrais potassiques, quelles que soient la forme chimique et la dose utilisées, provoquent une augmentation des taux de potassium hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU V).

d. Après quatre années de traitement

De 1965 à 1969, tous les apports d'engrais potassiques quelles que soient la forme et la dose utilisées, provoquent une augmentation des taux de potassium hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU VI).

2. Variations des taux de calcium

a. Dès la première année d'application

De 1965 à 1966, les traitements avec 3 kg et 4,5 kg de sulfate ou de nitrate de potassium, provoquent une diminution des taux de calcium, hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins

TABLEAU V

Variations des taux de potassium, après trois années de traitement d'engrais potassiques

	Potassium en 1968					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
1,387 ± 0,199	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
1,291 ± 0,182	1,925 ± 0,254 **	2,284 ± 0,269 **	2,557 ± 0,354 **	1,873 ± 0,321 **	2,464 ± 0,497 **	3,276 ± 0,970 **

TABLEAU VI

Variations des taux de potassium, après quatre années de traitement d'engrais potassiques

	Potassium en 1969					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
0,840 ± 0,198	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
0,731 ± 0,179	2,049 ± 0,358	2,427 ± 0,455	2,725 ± 0,328	1,842 ± 0,215	2,348 ± 0,400	2,719 ± 0,488

L'effet des traitements avec les doses les plus faibles (1,5 kg de sulfate ou de nitrate de potassium) est plus réduit.

La diminution provoquée par le traitement avec 1,5 kg de nitrate de potassium est plus importante de façon hautement significative que celle produite par l'apport de 1,5 kg et 3 kg de sulfate de potassium par arbre (TABLEAU VII).

Sur certains arbres traités à 4,5 kg d'engrais potassiques, nous avons observé des carences de calcium (carences induites), provoquées par l'excès de potassium.

b. Après deux années d'application

De 1965 à 1967, tous les traitements par les engrais potassiques provoquent une diminution hautement significative des taux de calcium par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU VIII)

c. Après trois années d'application

De 1965 à 1968, seuls les traitements avec les doses les plus élevées d'engrais potassiques, 4,5 kg de sulfate et de nitrate de potassium, maintiennent une diminution des taux de calcium, hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU IX).

En 1968 les taux de calcium des feuilles des arbres témoins ont augmenté par rapport à 1967 ; tous les arbres avaient reçu en 1965 et 1966 environ 1,600 kg de sulfate de potassium dont l'effet inhibiteur n'est plus sensible en 1968.

d. Après quatre années d'application

Tous les apports d'engrais potassiques, quelles que soient la forme et la dose utilisées, provoquent de nouveau, une diminution des taux de calcium hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU X).

En 1969 les taux de calcium des feuilles des arbres témoins ont augmenté par rapport à 1968.

Ces résultats montrent que pour obtenir une diminution durable des taux de calcium, au Maroc, il faut appliquer pendant plusieurs années consécutives, une dose relativement élevée d'engrais potassiques et cela même en terrain sablonneux.

TABLEAU VII

Variations des taux de calcium dès la 1re année d'application d'engrais potassiques

	Calcium en 1966					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
4,178 ± 0,222	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
3,400 ± 0,445	3,566 ± 0,535	2,252 ± 0,206	2,301 ± 0,483	2,923 ± 0,357	2,249 ± 0,356	2,336 ± 0,529
	NS	**	**	**	**	**

NS : non significatif.

TABLEAU VIII

Variations des taux de calcium, après deux années d'application d'engrais potassiques

	Calcium en 1967					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
3,680 ± 0,300	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
3,747 ± 0,329	2,751 ± 0,285	2,494 ± 0,216	2,594 ± 0,199	2,845 ± 0,198	2,609 ± 0,245	2,606 ± 0,504
	**	**	**	**	**	**

TABLEAU IX

Variations des taux de calcium, après trois années d'application d'engrais potassiques

	Calcium en 1968					
Témoins	Sulfate de potassium			Nirtate de potassium		
4,500 ± 0,493	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
4,056 ± 0,404	3,698 ± 0,592	4,172 ± 0,503	3,194 ± 0,279	4,478 ± 0,519	3,546 ± 0,661	2,900 ± 0,902
	NS	NS	**	NS	NS	**

TABLEAU X

Variations des taux de calcium, après quatre années d'application d'engrais potassiques

	Calcium en 1969					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
5,652 ± 0,426	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
5,732 ± 0,367	4,162 ± 0,436	4,262 ± 0,377	3,651 ± 0,406	4,220 ± 0,328	3,633 ± 0,319	2,647 ± 0,468
	**	**	**	**	**	**

Nous avons calculé le coefficient de corrélation existant entre les taux de potassium et de calcium dans les différentes séries d'arbres, en 1966, 1967, 1968 et 1969. Dans tous les cas, les deux variables sont des fonctions décroissantes l'une de l'autre à la probabilité de 0,99.

3. Variations des taux de magnésium

a. Après une année d'application

En 1966, tous les traitements avec le sulfate de potassium, quelle que soit la dose employée, 1,5 kg, 3 kg ou 4,5 kg par arbre, ainsi que le traitement avec la dose la plus faible de nitrate de potassium (1,5 kg par arbre), n'ont pas d'effets significatifs sur les taux de magnésium, par rapport à l'ensemble des séries témoins. Bien que nous n'ayons observé aucun signe visuel de carence en magnésium dans ce verger, nous constatons cependant que dès la première année d'application, les traitements avec les doses moyennes et élevées de nitrate de potassium (3 kg et 4,5 kg par arbre) provoquent une diminution des taux de magnésium, hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU XI).

b. Après deux années d'application

De 1965 à 1967, les traitements avec les doses moyennes et fortes, 3 kg et 4,5 kg par arbre de sulfate et de nitrate de potassium, provoquent une diminution des taux de magnésium hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins ; la diminution est plus réduite mais significative cependant ($P = 0,95$) après les traitements avec les doses les plus faibles (1,5 kg de sulfate et de nitrate de potassium) (TABLEAU XII).

En 1967, les taux de magnésium des feuilles des arbres traités, sont plus faibles que ceux des feuilles des mêmes arbres l'année précédente ; l'effet inhibiteur des engrais potassiques sur l'absorption des sels de magnésium est donc progressif. Les valeurs des taux de magnésium des feuilles des arbres qui ont reçu des engrais potassiques depuis 1965 indiquent une carence en magnésium selon les normes admises par CHAPMAN (1), et nos propres observations au Maroc (6). Nous avons pu en effet observer et photographier des feuilles présentant des signes visuels de carence ; il s'agit souvent de feuilles plus âgées que celles du cycle printanier. Nous avons dosé le taux de magnésium de ces feuilles âgées, présentant des signes

TABLEAU XI

Variations des taux de magnésium, après une année d'application d'engrais potassiques

	Magnésium en 1966					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
0,341 ± 0,044	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
0,296 ± 0,039	0,312 ± 0,055	0,290 ± 0,050	0,278 ± 0,032	0,270 ± 0,040	0,226 ± 0,046	0,221 ± 0,062
	NS	NS	NS	NS	**	**

TABLEAU XII

Variations des taux de magnésium, après deux années d'application d'engrais potassiques

	Magnésium en 1967					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
0,305 ± 0,016	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
0,245 ± 0,029	0,219 ± 0,020	0,178 ± 0,020	0,175 ± 0,020	0,233 ± 0,028	0,169 ± 0,024	0,160 ± 0,066
		**	**		**	**

visuels de déficience ; ils étaient voisins de 0,06 % de la matière sèche, ce qui prouve une carence sévère.

Cette observation est intéressante, parce que l'analyse systématique des feuilles âgées présentant des signes visuels de déficience, peut permettre d'intervenir rapidement par application foliaire de sels de magnésium lorsqu'il y a un début de carence.

c. Après trois années d'application

Tous les traitements par le nitrate de potassium (1,5 kg, 3 kg et 4,5 kg par arbre) ainsi que le traitement avec 4,5 kg de sulfate de potassium, provoquent une diminution des taux de magnésium, hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU XIII).

Les taux de magnésium des feuilles des arbres qui ont reçu 4,5 kg de sulfate de potassium ou 4,5 kg de nitrate de potassium, sont tout à fait comparables en 1967 après deux années de traitement et en 1968 après trois années de traitement ; par contre, les taux de magnésium des arbres traités par 1,5 kg ou 3 kg de nitrate de potassium en 1968, sont plus faibles de façon hautement significative que ceux qui avaient reçu 1,5 kg ou 3 kg de nitrate de potassium en 1967.

Ces résultats montrent que le nitrate de potassium appliqué à des doses faibles, diminue progressivement l'absorption du magnésium.

d. Après quatre années d'application

Nous avons vu qu'en 1968, la diminution de magnésium par les traitements de 1,5 kg et de 3 kg de sulfate de potassium par arbre, n'était pas significative ; alors qu'en 1969, c'est-à-dire après quatre années d'application, tous les traitements avec les engrais potassiques quelles que soient la forme et la dose utilisées, provoquent une baisse des taux de magnésium hautement significative par rapport à l'ensemble des séries témoins (TABLEAU XI).

Après quatre années d'application d'une dose forte de nitrate de potassium, on arrive à provoquer une carence très sévère en magnésium, avec un niveau moyen de 0,071 ± 0,016 % de magnésium par rapport à la matière sèche.

TABLEAU XIII

Variations des taux de magnésium, après trois années d'application d'engrais potassiques

	Magnésium en 1968					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
0,220 ± 0,018	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
0,226 ± 0,027	0,185 ± 0,012	0,258 ± 0,023	0,161 ± 0,016	0,150 ± 0,017	0,121 ± 0,034	0,151 ± 0,043
	NS	SN	**	**	**	**

TABLEAU XIV

Variations des taux de magnésium, après quatre années d'application d'engrais potassiques

	Magnésium en 1969					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
0,255 ± 0,036	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
0,285 ± 0,036	0,136 ± 0,033	0,117 ± 0,036	0,102 ± 0,023	0,125 ± 0,013	0,118 ± 0,036	0,071 ± 0,016
	**	**	**	**	**	**

4. Variations des taux d'azote

a. Après une année d'application

De 1965 à 1966, les traitements par les engrais potassiques ne font pas varier les taux d'azote de façon significative, par rapport à l'ensemble des séries témoins, quelles que soient la dose ou la forme chimique employées (TABLEAU XV).

b. Après deux années d'application

De 1965 à 1967, tous les traitements par le nitrate de potassium, 1,5 kg, 3 kg et 4,5 kg par arbre, provoquent une augmentation des taux d'azote hautement significative, par rapport à l'ensemble des séries témoins ou à ceux qui ont reçu du sulfate de potassium (TABLEAU XVI).

On ne remarque aucun antagonisme entre le potassium et l'azote.

c. Après trois années d'application

De 1965 à 1968, le traitement par 4,5 kg de nitrate de potassium provoque une augmentation des taux d'azote, hautement significative par rapport à l'ensemble des arbres témoins, ainsi qu'à ceux qui ont reçu les autres traitements (TABLEAU XVII).

Après trois années d'application d'engrais potassiques, on ne constate aucun phénomène d'antagonisme entre potassium et azote.

d. Après quatre années d'application

Après quatre années de traitement par les engrais potassiques, il est normal que les taux d'azote soient supérieurs aux traitements avec le nitrate de potassium. Mais le fait nouveau c'est l'augmentation significative des taux d'azote des traitements par le sulfate de potassium, quelle que soit la dose utilisée, par rapport à l'ensemble des arbres témoins (TABLEAU XVIII).

Nous avons vu que les arbres traités par le sulfate de potassium n'avaient accusé de 1965 à 1968, aucune augmentation des taux d'azote des feuilles, comparés avec ceux des témoins. Cette augmentation significative des taux d'azote des arbres traités par le sulfate de potassium, apparaît uniquement en 1969. En conséquence, le phénomène de synergie entre le potassium et l'azote, est à écarter; d'une part, le fait que cette augmentation n'est ap-

Tableau XV

Variations des taux d'azote, après une année d'application d'engrais potassiques

	Azote en 1966					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
3,393 ± 0,128	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
3,441 ± 0,142	3,291 ± 0,093	3,278 ± 0,139	3,260 ± 0,141	3,387 ± 0,078	3,352 ± 0,162	3,360 ± 0,144
	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau XVI

Variations des taux d'azote, après deux années d'application d'engrais potassiques

	Azote en 1967					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
2,881 ± 0,135	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
3,057 ± 0,127	3,084 ± 0,149	3,095 ± 0,085	3,047 ± 0,105	3,287 ± 0,120	3,381 ± 0,141	3,350 ± 0,223
	NS	NS	NS	**	**	**

Tableau XVII

Variations des taux d'azote, après trois années d'application d'engrais potassiques

	Azote en 1968					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
2,773 ± 0,211	1,5 kg	3k g	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
3,016 ± 0,177	2,911 ± 0,159	2,896 ± 0,170	3,012 ± 0,178	2,747 ± 0,125	2,834 ± 0,208	3,334 ± 0,275
	NS	NS	NS	NS	NS	**

Tableau XVIII

Variations des taux d'azote, après quatre années d'application d'engrais potassiques

	Azote en 1969					
Témoins	Sulfate de potassium			Nitrate de potassium		
2,504 ± 0,086	1,5 kg	3 kg	4,5 kg	1,5 kg	3 kg	4,5 kg
2,505 ± 0,048	2,686 ± 0,075	2,775 ± 0,093	2,752 ± 0,087	2,744 ± 0,076	2,827 ± 0,088	3,095 ± 0,259
	*	*	*	*	**	**

parue qu'en 1969, pas avant ; d'autre part, on n'observe pas une augmentation significative des taux d'azote ni dans les fruits entiers, ni dans les écorces (8). Par contre, nous pensons en particulier à la carence en magnésium qui, provoquant des chutes prématurées des feuilles adultes, conduirait ainsi à une diminution de feuillage, aboutissant à une élévation plus ou moins importante des niveaux d'azote des feuilles restantes.

Effectivement la comparaison des taux de magnésium des feuilles entre 1969 et les autres années, montre que les taux de magnésium dans l'ensemble des traitements avec les engrais potassiques en 1969, sont nettement inférieurs à ceux des autres années (TABLEAUX XI, XII, XIII et XIV).

5. Variations des taux de phosphore

Les divers apports d'engrais potassiques de 1965 à 1968 ne provoquent aucune modification significative des taux de phosphore dans les feuilles des arbres traités, quelles que soient la dose et la forme chimique employées. Mais en 1969 (c'est-à-dire après quatre années d'application), on observe une augmentation significative des taux de phosphore en particulier pour les traitements à forte dose de potassium. Ce phénomène peut s'expliquer également par la carence en magnésium, aboutissant à des chutes prématurées des feuilles adultes, provoquant ainsi une diminution du feuillage, conduisant à une augmentation des taux de phosphore des feuilles restantes.

Remarque : Vu la très faible solubilité de carbonate de calcium dans les sols, il n'est pas possible de mettre en évidence des variations significatives, malgré une légère augmentation des taux de calcium pour les séries traitées avec carbonate de calcium. Mais il est certain qu'à la longue, l'effet de carbonate de calcium serait perceptible pour augmenter les taux de calcium des feuilles des arbres traités avec le carbonate de calcium.

3. Influence du potassium sur les différentes formes de calcium des feuilles de Citrus

L'analyse des différentes formes de calcium présentes dans les feuilles de Citrus (calcium soluble dans l'eau, calcium lié, calcium associé aux carbonates, aux phosphates ou aux oxalates), effectuée pour les prélèvements de 1966 et 1967, sur un échantillon moyen de l'ensemble des arbres témoins ou des arbres traités soit avec 3 kg de sulfate de potassium, soit avec 3 kg de nitrate de potassium (6), a montré que c'est le calcium soluble dans l'eau qui dimi-

Tableau XIX

Pourcentages des différentes formes de calcium par rapport à la matière sèche des feuilles

Traitement	SO_4K_2 ou KNO_3 en kg par arbre	Dates des Prélèvements des feuilles	% calcium soluble	% calcium lié	% calcium des carb. et des phosphates	% calcium des oxalates	% calcium total
K_2SO_4	1,5	10 / 10 / 1968	1,14	0,70	0,16	1,70	3,70
»	3		1,19	0,69	0,17	1,65	3,70
»	4,5		0,65	0,66	0,18	1,49	2,98
KNO_3	1,5		1,72	0,73	0,18	1,69	4,32
»	3		1,03	0,67	0,15	1,38	3,23
»	4,5		*0,48*	*0,63*	0,15	*1,18*	2,44
T_2 (témoins)	0		1,77	0,70	0,16	1,72	4,35
T_3 (témoins)	0		1,53	0,72	0,18	1,58	4,01
K_2SO_4	1,5	10 / 10 / 1969	1,53	0,75	0,18	1,77	4,23
»	3		1,36	0,75	0,17	1,78	4,06
»	4,5		1,07	0,77	0,18	1,78	3,80
KNO_3	1,5		1,34	0,75	0,18	1,80	4,07
»	3		1,14	0,77	0,17	1,72	3,80
»	4,5		*0,60*	*0,70*	0,16	*1,10*	2,56
T_2 (témoins)	0		2,71	0,77	0,17	1,92	5,57
T_3 (témoins)	0		2,72	0,72	0,18	2,00	5,62

nue de façon très importante après un apport d'engrais potassiques.

Pour les années 1968 et 1969, nous avons analysé les différentes formes de calcium dans les feuilles des arbres témoins et ceux traités avec des différentes doses de potassium, sous forme de sulfate ou de nitrate ; les résultats sont inscrits au tableau XIX.

Il apparaît ainsi que l'antagonisme K-Ca s'effectue au niveau des racines ou le calcium est absorbé à l'état soluble. Les sels de calcium solubles (dans l'eau), se transforment en partie dans la plante en formes liées ou associées aux carbonates, aux phosphates et aux oxalates.

Lorsque le calcium soluble, dans les feuilles n'est plus en quantité suffisante, provoquant ainsi une baisse des taux de calcium total au-dessous de 3 % de la matière sèche des feuilles, nous avons constaté des signes caractéristiques de carence en calcium, extériorisée par des symptômes suivants : de jeunes feuilles petites et tordues, aux bords irréguliers, et aux limbes nécrosés ; enfin cette carence provoque également des chutes des boutons floraux et des fruits noués.

Ces signes de carence sont apparus d'une façon très nette, particulièrement aux traitements à la forte dose de nitrate de potassium (4,5 kg par arbre).

Ces symptômes de carence en calcium allaient de pairs avec une forte baisse de calcium soluble, allant jusqu'à 3/4 environ par rapport aux séries témoins, et une baisse assez sensible de calcium des oxalates et calcium lié.

On peut penser que la carence en calcium provoque des désordres, particulièrement dans les cellules jeunes, d'une part, par un excès des acides organiques non neutralisés par le calcium et, d'autre part, par la diminution de calcium au niveau de la membrane cellulaire. Ainsi ces désordres au niveau des cellules jeunes, aboutissent à provoquer des symptômes caractéristiques de carence en calcium.

Conclusions

Nous mettons ainsi nettement en évidence les effets antagonistes des sels de potassium dans les solutions de sels (sulfate ou nitrate) sur l'absorption du calcium et du magnésium par les racines de Citrus.

Cette action se manifeste rapidement :

— dès la première année d'application tous les traitements, quelles que soient la dose ou la forme chimique employées, provoquent une diminution des taux de calcium, ainsi qu'une augmentation des taux de potassium dans les feuilles des arbres traités.

— dès la première année également l'apport de doses moyennes ou élevées (3 kg ou 4,5 kg par arbre), de nitrate de potassium fait diminuer les taux de magnésium ; cet effet s'accentue les années suivantes.

Les traitements avec des doses moyennes ou faibles de sulfate de potassium, ont une action plus progressive sur les taux de potassium et de calcium, que les traitements par le nitrate de potassium.

Au cours d'un traitement par les engrais potassiques, il est possible de déceler précocement un début de déficience en magnésium en dosant cet élément dans les feuilles âgées qui s'appauvrissent plus vite que les feuilles jeunes du cycle printanier.

Les traitements prolongés par le nitrate de potassium provoquent une augmentation des taux d'azote.

L'augmentation des taux d'azote et de phosphore des feuilles, constatée seulement à la quatrième année d'application de sulfate de potassium, serait la conséquence de la carence sévère en magnésium, provoquant des chutes prématurées des feuilles âgées conduisant ainsi à une augmentation des taux d'azote et de phosphore des feuilles restantes.

On n'a constaté aucun phénomène d'antagonisme entre le potassium et l'azote.

Les sels de calcium insoluble dans l'eau, comme le carbonate de calcium ne modifient la composition minérale des feuilles que s'ils sont utilisés à très fortes doses et pendant plusieurs années consécutives.

Enfin l'analyse de différentes formes de calcium, révèle que l'antagonisme potassium - calcium se porte en particulier sur le calcium soluble dans l'eau ; il apparaît ainsi que ce phénomène s'effectue au niveau des racines.

La diminution très prononcée de calcium soluble dans la plante, provoquant la baisse assez sensible de calcium des oxalates et de

calcium lié au niveau des cellules jeunes, peut être la cause de l'apparition des symptômes de carence en calcium.

ملخص

ان استعمال الاسمدة البوطاسية على الاشجار (الكلمنتين) الصغيرة السن والمغروسة في أرض رملية ، تمنع الجدور من امتصاص مادات الكالسيوم والمنغنزيوم . وهذه الظاهرة توضح انعكاسات البوطاس ـ كالسيوم من جهة ، والبوطاس ـ منغنزيوم من جهة أخرى .

منذ السنة الاولى يتسبب استعمال نترات أو سولفاط البوطاس (مهما كانت الكمية المستعملة) في انخفاض معدل الكالسيوم والبوطاسيوم لاوراق الشجرة المعالجة .

ان استعمال مقاييس متوسطة أو كثيرة (3 أو 4،5 كيلو لكل شجرة) من نترات البوطاس منذ السنة الاولى تسبب انخفاض المنغنزيوم في الاوراق وهذه الظاهرة تزداد كل سنة .

ان بداية نقصان المنغنزيوم يمكن اضاحيته بواسطة تحليل هذه المادة في الاوراق المسنة . فعالية نترات البوطاس تظهر أسرع فعالية من سولفاطه . كما ان تكاثر نسبة الآزوط وفوسفور الاوراق المكتشفة فقط في السنة الرابعة من استعمال سولفاط البوطاس راجعة الى نقصان كثير من المنغنزيوم الشيء الذي يثير سقوطا مبكرا للاوراق ، وارتفاعا في مقاييس آزوط وفوسفور الاوراق الباقية .

كما أننا لو نكشف أية ظاهرة انعكاس بين البوطاس والازوط ، لان كاربونات الكالسيوم لا يغير التكوين المعدني للاوراق الا اذا استعملت مقاييس كثيرة عدة سنوات متتابعة .

انعكاس البوطاسيوم ـ كالسيوم يظهر خصوصا على الكالسيوم الدواب .

ظهور دلائل النقصان من الكالسيوم يمكن أن يسبب تخفيظا في الكالسيوم الحامض والكالسيوم الرتبط في مستوى الخلايا الصغرى .

RÉSUMÉ

Les apports des engrais potassiques sur les Clémentiniers jeunes, plantés dans un sol sablonneux, entravent l'absorption du calcium et du magnésium par les racines. Ce phénomène met en évidence les antagonistes K - Ca et K - Mg.

Dès la première année, l'application de nitrate ou de sulfate de potassium, quelle que soit la dose employée, provoque une dimi-

nution des taux de calcium, ainsi qu'une augmentation des taux de potassium dans les feuilles des arbres traités.

L'apport de doses moyennes ou élevées (3 kg ou 4,5 kg par arbre) de nitrate de potassium, dès la première année, fait diminuer les taux de magnésium dans les feuilles. Ce phénomène s'accentue les années suivantes.

On peut déceler précocement un début de déficience en magnésium en dosant cet élément dans les feuilles âgées.

L'action du nitrate de potassium, semble plus rapide que celle du sulfate de potassium.

L'augmentation des taux d'azote et de phosphore des feuilles, constatée seulement à la quatrième année d'application de sulfate de potassium, serait la conséquence de la carence sévère en magnésium, provoquant des chutes prématurées des feuilles âgées, conduisant ainsi à une augmentation des taux d'azote et de phosphore des feuilles restantes.

Aucun phénomène d'antagonisme n'a été décelé entre le potassium et l'azote.

Le carbonate de calcium ne modifie la composition minérale des feuilles que s'il est utilisé à très fortes doses et pendant plusieurs années consécutives.

L'antognisme K - Ca, se porte particulièrement sur le calcium soluble (dans l'eau) ; en conséquence ce phénomène doit s'effectuer au niveau des racines.

L'apparition des symptômes de carence en calcium, peut être liée à la diminution de calcium des oxalates et de calcium lié au niveau des cellules jeunes.

Resumen

Las aportaciones de abonos potásicos sobre clementinos jóvenes, plantados en suelo arenoso, difucultan la absorción del Calcio y Magnesio por las raices. Este fenómeno pone en evidencia los antagonismos K-Ca y K-Mg.

A partir del primer año de la aplicación del Nitrato o de Sulfato de Potasio, cualquiera que sea la dosis empleada, provoca una disminución de los niveles de Calcio, así como una aumentación de los niveles de Potasio en los árboles tratados.

La aportación de dosis medias o elevadas (3 kg o 4,5 kg por arbol) de Nitrato de Potasio, hace disminuir las tasas de Magnesio en las hojas a partir del primer año. Este fenómeno se acentúa en los años siguientes.

Se puede detectar precozmente un comienzo de deficiencia en Magnesio determinando este elemento en las hojas viejas.

La acción de Nitrato de Potasio parece ser más rápida que la del Sulfato de Potasio.

La aumentación constatada del nivel de nitrógeno y de fosforo en el cuarto año después de la aplicación de Sulfato de Potasio, sería debida a una severa carencia en magnesio, provocando así la caida premetura de las hojas viejas, y conduciendo a una aumentación de los niveles de nitrogeno y de fósforo en las hojas restantes.

Ningún fenómeno de antagonismo ha sido revelado entre el Potasio y el nitrogeno.

El carbonato de Calcio no modifica la composición mineral de las hojas, salvo si ha sido utilizado a grandes dosis y durante varios años consecutivos.

El antognismo K-Ca, se refiere particularmente al Calcio soluble (en el agua); este fenómeno debe efecturse, por consecuencia al nivel de las raíces.

La aparición de síntomas de carencia en Calcio, puede ser ligada a la disminución de éste elemento en los oxalatos en las células jóvenes.

SUMMARY

The addition of potash fertilizer on young clementine trees in a sandy ground hinder the roots calcium and magnesium absorption. This phenomenon shows the antagonisms K = Ca and K = Mg.

After the first year, the addition of potassium nitrate or sulfate of Potassium whatever the quantity used, gives as a result a decrease in the calcium proportion as well as an increase in the potassium proportion in the leaves of the thus treated trees.

The addition of either average or high quantities (3,5 kg or

4,5 kg per tree) of potassium nitrate give a decrease in the proportion of magnesium in the leaves.

The phenomenon will increase in the following years.

Very soon it is possible to find a startind deficiency in magnesium when dosing this elements in the old leaves.

The action of the potassium nitrate seems to be quicker than the potassium sulphate one.

The increase of azote and phosphorus quantities in the leaves which only appears during the fourth year of potassium sulphate treatment would be the result of the serious lack in magnesium which causes the premature old leaves to fall down and which thus leaves leads to an increase in the azote and phosphorus quantities and for many consecutive years.

Calcium carbonate only changes the leaves mineral composition if it is used in large quantities and for many consecutive years.

The K — Ca antagonism is specially obvious on (water) soluble calcium. This must therefore accur at the roots level.

The appearance of a lack in calcium symptoms may be in relations with the oxalate calcium and of the calcium at the young cells level.

BIBLIOGRAPHIE

1. CHAPMAN, H.D. — 1960. Leaf and soil analysis in Citrus orchards. — Univ. Calif. Div. Agr. Sci., Manuel, 25, 53 p.

2. GORTON, B.S. et Coll. — 1954. Relation of calcium and potassium accumulation in Citrus as influenced by rootstock and salinity of irrigation Water, — Proc. amer. hort. Sci., 63.

3. LUNDEGARDH, H. — 1945. Die Blattanalyse, G.-Ficher, Jena.

4. NADIR, M. — 1965. Contribution à la détermination d'une fumure rationnelle des agrumes par l'analyse foliaire. — Al Awamia, **16**, pp. 123-147, Rabat, Maroc.

5. — 1966. Analyses des feuilles, des sols et des eaux d'irrigation dans quelques orangeraies marocaines. — Al Awamia, **21**, pp. 9-18, Rabat, Maroc.

6. — 1968. Les différentes formes de calcium et les antagonistes K-Ca, K-Mg et Ca-Mg dans les feuilles d'agrumes. — 2e Colloque Européen et Méditerarnéen sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées, Séville, Espagne.

7. — 1972. Rapports entre les éléments minéraux exportés par les fruits et par les feuilles dans les Citrus. — 3e Colloque Européen et Méditerranéen sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées, Budapest, Hongrie.

8. — 1972. Influence des éléments fertilisants du milieu sur la composition minérale du fruit et de l'écorce. — 3e Colloque Européen et Méditerranéen sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées, Budapest, Hongrie.

9. NADIR, M. et J. GAGNAIRE — 1973. Variations de la composition minérale des feuilles d'orangers au Maroc selon leur orientation, leur situation et leur position dans l'arbre. — Congrès International de Citriculture, Murcia, Valencia, Espagne.

10. REUTHER, W. et COLL. — 1965. Diagnostic foliaire. — Nouveau guide pour la nutrition des orangers, World farming, vol. 7, 11, p. 27.

11. STRASMAN, A. et COLL. — 1958. Dynamique du potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes. — Ann. Agron., 9e année, **5**, pp. 637-660, Paris.

12. YORK, E. et COLL. — 1953. Calcium - potassium interactions in soils and plants : II. Reciprocal relationship between calcium and potassium in plants. — Soil Sol., vol. 76, **6**, p. 481.

Achevé d'imprimer sur les presses des
EDITIONS MAROCAINES ET INTERNATIONALES
11, Avenue de Rabat
TANGER

فهـــرس

أ. صالح بناني. ـ مكافحة دبابة الحبوب 1

أ. صالح بناني. ـ فحص في استعمال الحشرات المضادة في مقاومة *Aonidiella Aurantii* MASK. 11

م. نادير. ـ فقد العناصر المخصبة عند تقضيب الحوامض 27

ج. اشميدت، ف.و. حيس و ك. طروست. ـ جني قصب السكر في فصل الخريف والشتاء بالمناطق التي يسقط بها الجليد 35

أ. صالح بناني. ـ دور أدوية النباتات ومهمتها ـ مساهمة لتاسير مخبر لتحليل أدوية النباتات بالمغرب 51

م. نادير. ـ معاكسة بين البوطاسيوم والكالسيوم (K-Ca) ، وبين البوطاسيوم والمغريوم (K-Mg) ، تاثير البوطاسيوم على العناصر المعدنية الاخرى ، وخصوصا على جميع صيغات الكالسيوم باوراق الحوامض 81

فيما يخص جميع المعلومات حول : انجازات البحث الزراعي وكذا مجلة العوامية، اكتبوا الى :

قسم الطبع والنشر والتوزيع

المعهد الوطني للبحث الزراعي

صندوق البريد 415 الرباط البريد المركزي

الاداء عن الحساب الجاري بالبريد تحت عنوان «مصلحة الموارد لقسم الطبع والنشر والتوزيع بالمعهد الوطني للبحث الزراعي بالرباط » الحساب الجاري رقم 88 452

المملكة المغربية

44

العواصم

مجلة مغربية للبحث الزراعي

ادارة البحث الزراعي

ـ الرباط ـ

يوليوز 1972