

# Étude de la corrélation des teneurs en K, Ca ou Mg entre feuilles et épines de *Citrus volkameriana* Ten et Pasq

A Morisot<sup>1</sup>, N Ségur-Fantino<sup>2</sup>, M Montarone<sup>1</sup>, N Ballino<sup>1</sup>, JC Pionnat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INRA, station d'agronomie et de physiologie végétale;

<sup>2</sup> INRA, station de pathologie végétale, BP 2078, 06606 Antibes, France

(Reçu le 22 mai 1990; accepté le 20 novembre 1990)

**Résumé** — La recherche d'organes pouvant être prélevés sur des jeunes plants de *Citrus* en expérimentation, afin de préserver les feuilles, explique l'intérêt suscité par une éventuelle corrélation entre la composition minérale des feuilles et celle des épines associées. Sur une culture hors-sol de *C. volkameriana* de 6 mois différenciée par la concentration en K de la fertirrigation (2, 4, 6, 8 ou 10 mmol.(K).l<sup>-1</sup>) on étudie la relation entre les teneurs en K, Ca ou Mg des feuilles et épines.

Avec des règles de prélèvement précisées ici, les teneurs des épines sont significativement corrélées à celles des feuilles qu'elles axillent. La différenciation en K de l'appareil végétatif peut ainsi être caractérisée en prélevant des épines, donc en préservant le système foliaire. Par ailleurs, les épines permettent d'évaluer les profils de teneurs en Ca et Mg le long du plant, c'est-à-dire d'étudier leur gradient de répartition verticale.

**potassium / calcium / magnésium / *Citrus volkameriana* / échantillon**

**Summary** — Correlation of K, Ca or Mg concentrations between leaves and thorns of *Citrus volkameriana* Ten and Pasq. A search for samples other than leaves, so that the latter remained on young citrus trees under experiment, led to the study of possible link between cationic concentrations in associated leaf and thorn. *Citrus volkameriana* were grown in a glasshouse on a soilless system with 5 K levels (2, 4, 6, 8 or 10 mmol(K).l<sup>-1</sup>). 3 sampling levels were chosen along the plant (fig 1); 6 replicates were available. Potassium concentrations were significantly correlated within each sampling level (fig 2a). Thus, 3 regressions had to be considered, which differed for each location. The effect of the differentiated K supply on leaf K content was measured by comparing K concentrations in thorns sampled within a given level. Calcium and magnesium concentrations were shown to be significantly correlated between associated leaves and thorns when the 3 sampling levels were considered as a whole. Variability was then mainly explained by the distribution gradient along the plant, either due to Ca immobilisation (fig 2b, higher contents in older organs) or Mg redistribution (fig 2c, lower contents in older organs). The Ca and Mg vertical distribution along the plant axis could therefore be characterised by comparing Ca and Mg concentrations of thorns sampled along this axis. The influence of sampling location and differentiated K supplies on observed foliage concentrations are discussed for the 3 cations.

**potassium / calcium / magnesium / *Citrus volkameriana* / sampling / leaf analysis**

## INTRODUCTION

Toute étude de nutrition sur plante entière nécessite de connaître les teneurs en éléments nutritifs dans les végétaux. Il importe, par exemple, de connaître la différenciation effectivement provoquée entre plants soumis expérimentalement à diverses modalités d'alimentation (étude de la variabilité interplants), ou encore d'évaluer la répartition des éléments minéraux entre niveaux foliaires successifs (étude de la variabilité intraplant). Cela est généralement obtenu en excisant, pour les analyser, des organes végétatifs,

rameaux, feuilles ou pétioles. Ces prélèvements sont sans conséquence sur un plant d'un développement suffisant. Mais, les nécessités de l'expérimentation imposent parfois d'intervenir sur des sujets jeunes, pour lesquels la masse foliaire ôtée peut devenir appréciable. Les capacités de l'appareil photosynthétique notamment peuvent alors être sensiblement diminuées. Trouver des prélèvements révélateurs mais de moindres répercussions physiologiques serait alors appréciable.

La mise au point de techniques analytiques qui économisent la masse végétative excisée tout en

fournissant une information de bonne qualité est un de nos objectifs agronomiques. La morphologie des espèces concernées est déterminante pour le choix de ces hypothétiques prélèvements de substitution. Pour le *Citrus volkameriana* auquel nous avons été amenés à nous intéresser, la présence d'épines axillant chaque feuille nous a incités à rechercher une éventuelle corrélation entre la composition de ces feuilles et celle des épines associées. En effet, prélever des épines sur un plant ne semble pas devoir modifier sensiblement ses capacités photosynthétiques ou métaboliques. Nous nous sommes donc proposés de tester si cela apporte une information pertinente par rapport au prélèvement foliaire.

De fait, une culture expérimentale a été réalisée par des phytopathologistes et des agronomes dans le double objectif d'élaborer un test rapide de sensibilité à *Phoma tracheiphila* (Petri) Kanc Ghik (agent pathogène d'une maladie fongique préoccupante) et d'évaluer l'influence de l'alimentation potassique sur cette sensibilité. Les résultats phytopathologiques de ce travail ont été présentés par Pionnat et Ségur-Fantino (1987). Ses retombées agronomiques pour une adaptation du diagnostic foliaire aux plants en culture hors sol sous abri seront exposées par ailleurs. C'est l'étude de la corrélation entre teneurs en cations et principalement en potassium des feuilles et des épines, et de l'éventuel intérêt d'un prélèvement de ces dernières pour préserver l'intégrité de l'appareil foliaire, qui est rapportée ici.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Conditions expérimentales

*Citrus volkameriana* Ten et Pasq a été choisi car ce porte-greffe bien étudié (par exemple, Blondel, 1962) présente en association avec le citron ou le cédrat des caractéristiques de vigueur, de résistance à divers pathogènes et d'adaptation au froid appréciées (Blondel et al, 1986a et 1986b).

Des embryons nucellaires sont semés sur sable sous serre le 30 septembre. Le 16 décembre, on repique chaque plant dans un pot de 20 l rempli de perlite. La culture est faite sous une serre chauffée à 20 °C de janvier à avril. De mai à juillet, les températures oscillent entre 16 et 33 °C.

L'irrigation fertilisante en goutte à goutte est commandée par horloge programmable (11 arrosages quotidiens; 200–500 ml par arrosage pour suivre le développement). La solution nutritive est fournie en excès pour maintenir, par un drainage correspondant

à la moitié du volume apporté, une stabilité correcte de sa composition au contact des racines.

Le traitement expérimental correspond à 5 solutions (S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>10</sub>) différenciées avant tout par la teneur en potassium (tableau I). Pour équilibrer ces diverses solutions, nous avons choisi de stabiliser l'azote total apporté et le pH, et donc de faire varier des ajouts de chlorure de potassium, et d'ammonium pour les 2 solutions les moins pourvues.

Huit cents microgrammes par litre de fer, 200 µg l<sup>-1</sup> de zinc, 200 µg l<sup>-1</sup> de manganèse, 100 µg l<sup>-1</sup> de bore, 50 µg l<sup>-1</sup> de molybdène et 20 µg l<sup>-1</sup> de cuivre sont ajoutés à chaque solution. Chacune de ces modalités est répétée sur 20 pots répartis au hasard en 4 rangées de 5 pots.

### Prélèvements

Le 2 juillet (6,5 mois après repiquage), 6 plants de chaque modalité sont utilisés pour comparer les com-

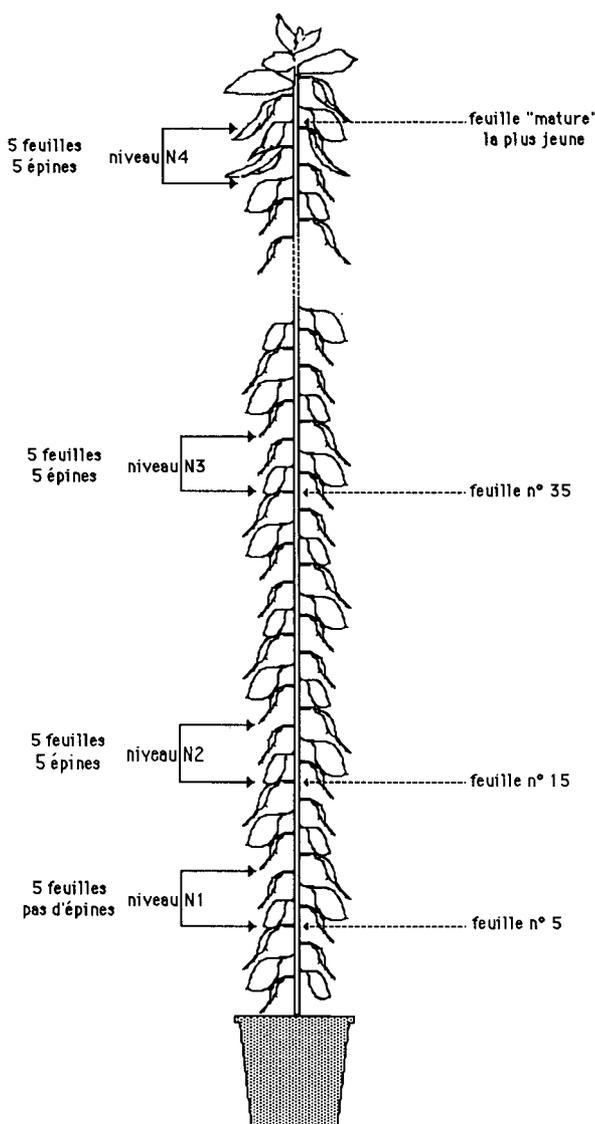


Fig 1. Présentation schématique de la localisation des échantillons prélevés.

**Tableau I.** Composition (mmol.l<sup>-1</sup>) des solutions nutritives.

Solution	Concentration					
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Ca	Mg
S <sub>2</sub>	8	3	2	2	4	1
S <sub>4</sub>	10	1	2	4	4	1
S <sub>6</sub>	11	0	2	6	4	1
S <sub>8</sub>	11	0	2	8	4	1
S <sub>10</sub>	11	0	2	10	4	1

positions des feuilles et des épines, 4 niveaux sont définis sur chaque plant (fig 1), chacun correspondant à 5 feuilles successives (30 feuilles/échantillon = 6 plants x 5 feuilles). Le niveau N2 est constitué des feuilles de rang 15–19, N3 des feuilles 35–39 et N4 des 5 dernières feuilles matures apparues sur chaque plant. Nous qualifions de ce terme les feuilles qui ont atteint leur taille définitive et sont pourvues d'une cuticule complètement développée.

Pour ces 3 niveaux d'observation, un échantillon d'épines est constitué en regroupant les 5 épines axillant les feuilles prélevées (30 épines/échantillon). Les feuilles du niveau N1 (rang 5–9) n'ont pas toutes une épine axillante et ne peuvent être utilisées pour la comparaison.

### Techniques analytiques

Les échantillons végétaux sont stabilisés par séchage rapide aux infrarouges à 95 °C, puis séchés à 80 °C jusqu'à poids constant. Pour les feuilles, l'extraction en milieu acide (25 ml d'HCl N) est pratiquée après validation par comparaison avec la minéralisation classique appliquée aux épines. Les éléments sont dosés par spectrophotométrie d'émission pour K, et spectrophotométrie d'absorption atomique dans un tampon spectral au chlorure de lanthane pour Ca et Mg.

## RÉSULTATS

### Corrélation des teneurs en potassium entre feuille et épine

La relation entre teneurs en potassium de l'ensemble des feuilles et des épines correspondantes est visualisée sur la figure 2a. On distingue 3 corrélations, chacune correspondant à un niveau de feuilles défini, et statistiquement significative. Le carré du coefficient de corrélation ( $r^2$ ) indique que connaître la variabilité des teneurs entre épines fournit environ 90% de l'information totale sur la variabilité des teneurs entre feuilles.

Les droites définies par les équations de régression correspondantes ne sont qu'approximativement parallèles (pentes voisines de 3), et décalées par translation.

### Corrélation des teneurs en calcium ou magnésium entre feuille et épine

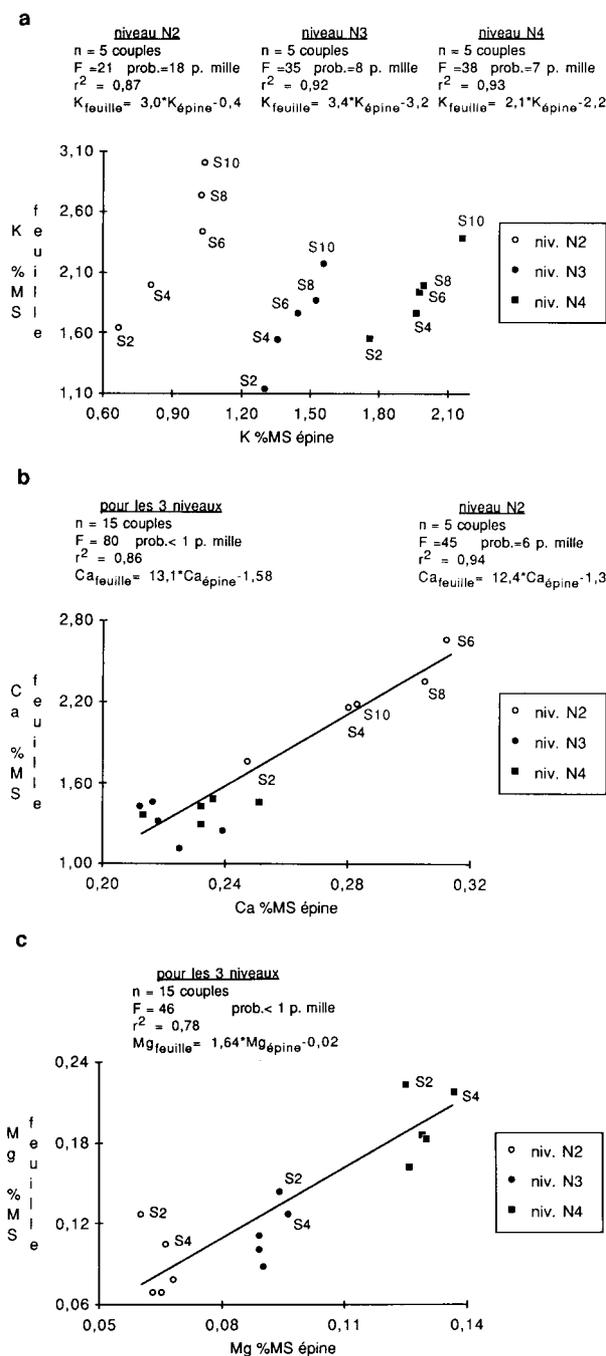
Bien que la variabilité maîtrisée ne porte pas directement sur ces 2 cations, il semble logique d'examiner si une éventuelle variabilité interplants induite indirectement par compétition ou synergie avec les modulations du potassium, ou si la variabilité intraplant provoquée par les gradients de répartition verticaux seraient exploitables. La figure 2(b,c) montre que, tous niveaux confondus, les teneurs en Ca ou Mg des feuilles et épines sont respectivement liées par des régressions linéaires très hautement significatives. Connaître la variabilité des teneurs entre épines apporte 85% pour Ca et près de 80% pour Mg de l'information sur la variabilité des teneurs entre feuilles.

De plus, les teneurs en calcium dans le seul niveau N2 (feuilles âgées) sont significativement corrélées entre feuille et épine. Les 2 équations de régression, correspondant aux 3 niveaux et à N2, ne sont pas statistiquement différentes et expriment l'unicité de la corrélation pour la calcium.

## DISCUSSION

### Influence de la localisation du prélèvement

Pour chacun des 3 cations, les gammes de teneurs dans les épines ne se recouvrent pas entre étages successifs, à l'exception d'un seul cas (calcium des niveaux N3 et N4). Pour les



**Fig 2.** Relation entre teneurs en K (fig 2a), Ca (fig 2b), ou Mg (fig 2c) des feuilles et épines selon les 3 niveaux de prélèvement N2 à N4. Les critères statistiques des régressions linéaires significatives figurent au-dessus des ensembles de points correspondants. Les symboles «Si» rappellent la teneur en potassium dans la solution nutritive dont 5 modalités ont été testées entre 2 et 10 mmol.k.l<sup>-1</sup>.

feuilles, ces groupements de gammes sont généralisés pour le potassium, et notables pour les 2 autres cations. L'ensemble signifie que les teneurs cationiques des épines dépendent beaucoup plus intensément de leur localisation que celles des feuilles.

Les teneurs en K et Mg montrent des valeurs décroissantes avec l'âge des épines. En effet, les figures 2a, et c montrent qu'indépendamment du traitement nutritif, les épines du niveau le plus âgé N2 sont nettement moins pourvues en K et Mg que celles des niveaux plus récents, N3 et surtout N4. Cela pourrait traduire la remobilisation de ces 2 cations depuis les organes anciens devenus sources vers de plus jeunes fonctionnant encore en puits. Les épines paraissent être intensément soumises à ce processus de redistribution. Les feuilles semblent ne le manifester que pour le magnésium.

Mais, alors que les gradients de répartition dans feuilles et épines sont de même forme pour Mg, les teneurs en K répondent différemment à leur localisation, selon qu'on examine l'un ou l'autre organe. La figure 2a montre que pour chaque modalité de l'alimentation, les teneurs en K des épines manifestent une augmentation régulière vers le haut du plant, alors que pour les feuilles, elles sont maximales au niveau le plus âgé (N2), minimales au niveau intermédiaire (N3) et remontent légèrement dans les feuilles matures les plus récentes (N4).

Il en résulte que les épines peuvent fournir une information valide sur la répartition des teneurs en Mg le long des plants si l'on compare des niveaux successifs de prélèvements. Pour K, cette information n'est pas transposable des épines aux feuilles.

Les teneurs en Ca, nettement supérieures dans les épines les plus âgées (N2), correspondent à l'enrichissement habituellement observé dans les organes proximaux pour cet élément peu mobile. La même forme de réponse est observée avec les feuilles, mais pour des teneurs approximativement multipliées par 8. Le soin apporté pour minimiser la contamination des échantillons et l'imprécision du dosage est donc essentiel pour l'emploi des épines. Avec cette précaution, la répartition des teneurs en Ca le long des plants peut être évaluée comme celle de Mg, en comparant des épines prélevées en différentes localisations.

### **Influence du niveau d'alimentation en potassium**

#### **Influence sur le potassium**

C'est la différenciation expérimentale de la concentration en potassium dans la solution nu-

tritive qui provoque l'accroissement des teneurs des feuilles comme des épines observable à chaque niveau de prélèvement (fig 2a). Cette variabilité s'est révélée suffisante pour que les corrélations entre feuilles et épines soient significativement mesurées pour chaque localisation, alors que le sens de leurs réponses diffère selon cette localisation.

Il en déroule la conséquence méthodologique suivante : la caractérisation de la variabilité inter-plants dans une culture différenciée par l'alimentation potassique est valide. Mais, il importe d'abord de fixer le ou les niveaux de prélèvement des épines, puis de ne comparer leurs teneurs en K que pour chaque niveau fixé.

### Influence de l'alimentation sur calcium et magnésium

L'examen, sur la figure 2b, de la distribution des teneurs en Ca dans le niveau de prélèvement inférieur (N2) montre une répartition linéaire de l'effet des modalités de l'alimentation potassique : enrichissement progressif en Ca de 2–6 mmol(K).l<sup>-1</sup>, ce qui pourrait traduire une synergie avec K. L'autre hypothèse proposée, sachant que l'azote ammoniacal est le cation préférentiellement absorbé, est que sa présence dans S4 et surtout S2 (3 mmol.l<sup>-1</sup>) expliquerait les teneurs inférieures en Ca par son intense effet de compétition. Par ailleurs, les positions intermédiaires des 2 traitements les plus concentrés correspondraient à un effet de compétition entre K et Ca (l'ammonium est ici absent) dans la gamme d'alimentation de 6–10 mmol(K).l<sup>-1</sup>.

Pour notre objectif, les teneurs en Ca des feuilles et épines du seul niveau bas (N2) sont liées par une régression significative qui pourrait trouver la source de sa variabilité dans la différenciation de l'alimentation des plants.

L'effet de l'alimentation différenciée sur le magnésium est différent. Sur la figure 2c, on observe, pour chaque localisation de prélèvement, un enrichissement des feuilles avec les 2 solutions les plus diluées en K (S2 et S4). La diminution de la pression de compétition à ces faibles concentrations de K favoriserait l'absorption et le transfert de Mg dans toute la plante. De plus, l'antagonisme de l'ammonium ne serait pas sensible. Mais pour notre propos, l'absence de ré-

ponse comparable chez les épines arrête là cette étude.

### CONCLUSION

Le faible nombre d'échantillons comparés implique de présenter ces résultats avec précaution. On les considère comme une approche encourageante, mais limitée puisque seuls 3 éléments minéraux sont étudiés, et uniquement sur des plants de 6 mois en culture forcée.

Cette étude nous permet de conclure que le prélèvement d'épines apporte, dans des situations bien définies, une information valide sur la différenciation en K, Ca et Mg du système foliaire de *Citrus volkameriana* :

- comparer les épines prélevées à un même niveau sur les plants différenciés par l'alimentation permet de caractériser cette différenciation en K dans les feuilles préservées,
- comparer les épines prélevées à divers niveaux le long de plants soumis à une même alimentation renseigne sur le profil de répartition verticale des teneurs en Ca et Mg dans les feuilles.

### REMERCIEMENTS

Nous remercions C Coviello, C Otto, Y Tarere pour leur contribution au travail d'analyse minérale, fondement de cette publication.

### RÉFÉRENCES

- Blondel L (1962) Études récentes réalisées sur les *Citrus* à la Station expérimentale d'agrumiculture de Boufarik (Algérie). 6<sup>e</sup> Congr Int Agrumic Méditerran, Nice, 20-24 mai, 360-363
- Blondel L, Jacquemond C, Vannière-Davous MP, Lelièvre F (1986a) Essai de porte-greffe pour le cédratier de Corse. *Fruits* 41, 525-530
- Blondel L, Jacquemond C, Vannière-Davous MP, Lelièvre F (1986b) Essai de porte-greffe pour le citronnier en Corse. *Fruits* 41, 581-586
- Pionnat JC, Ségur-Fantino N (1987) Influence de la nutrition potassique sur la réceptivité du *Citrus volkameriana* au *Phoma tracheiphila* (Petri Kanc Ghik). *Fruits (Paris)* 42, 235-241