



Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime

# TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MAPM/DEFR

• Juin 2010 •

PNTTA

## Fertilisation foliaire potassique des agrumes

*Effet sur la production et la qualité du clémentinier "Cadoux"*

### Introduction

Le secteur des agrumes joue un rôle important dans l'agriculture marocaine. Avec une superficie de 85.000 ha et une production de 1.300.000 T, il procure directement ou indirectement plus de 21 millions de journées de travail et une importante recette en devise. Sur le plan social, ce secteur constitue la source principale de revenus pour 13.000 familles de producteurs. Il assure l'approvisionnement et le maintien en activité d'une importante industrie de transformation et de conditionnement. Le secteur agrumicole exporte 500.000 T/an pour une recette annuelle de 3 milliards de dirhams.

Cependant, le rendement moyen national reste faible en comparaison avec d'autres pays producteurs, soit environ 17 T/ha. Plusieurs contraintes sont à l'origine de cette faible productivité: le vieillissement d'une grande partie du verger national; non maîtrise des techniques de production; l'insuffisance des ressources en eau et les pertes dues aux maladies et aux ravageurs.

Devant l'exigence du marché mondial d'agrumes en matière de qualité des fruits frais et le libre échange des produits agricoles dans le nouveau contexte de la mondialisation, l'émergence d'autres pays producteurs d'agrumes notamment l'Egypte, l'Inde, la Turquie, etc., le Maroc est appelé à revoir sa stratégie de production dans ce secteur afin d'améliorer la compétitivité du produit marocain. Le Plan Maroc Vert a considéré le secteur agrumicole comme un des secteurs pilotes de cette politique et le contrat programme avec la profession agrumicole prévoit notamment un plan de renouvellement des vieux vergers et la généralisation de la micro-irrigation.

L'augmentation des exportations agrumicoles se heurte très souvent au manque de fruits répondant aux normes de qualité imposées par les marchés étrangers, c'est pourquoi nos stations de conditionnement enregistrent des taux d'écarts de triage très élevés. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ces écarts de triage: marbrures, dégâts de maladies et ravageurs, nutrition minérale, etc. Chez les clémentiniers et les mandariniers, c'est surtout le petit calibre qui est considéré comme étant la cause principale des écarts de triage.

Plusieurs techniques sont utilisées pour remédier à ce problème: application d'hormones de croissance, taille etc. Le calibre final du fruit dans une campagne donnée dépend de plusieurs facteurs dont notamment la charge de l'arbre en fruits, les précipitations, le programme de fertilisation, la taille et la combinaison variété/porte-greffe. De tous ces facteurs, les pratiques de la fertilisation sont probablement les plus faciles à ajuster. En outre, il est connu que la qualité du fruit est très sensible à la fertilisation potassique. La qualité du fruit destiné au marché du frais, c'est le cas des exportations marocaines, est jugée par le calibre du fruit, la grosseur et la texture de sa peau. Une carence en potassium conduit à la production de fruits de petit calibre avec une peau mince, alors qu'un excès de potassium a pour conséquence une production en fruits à gros calibre avec une peau épaisse et une texture grossière. En ce qui concerne la qualité du jus, l'excès en potassium induit une acidité élevée. La fertilisation potassique est un outil important pour optimiser la qualité du fruit et du jus des agrumes.

Jusqu'à récemment, les pratiques de fertilisation étaient essentiellement orientées vers

### SOMMAIRE

# n° 189

## Agrumiculture

- Effets sur la teneur en K<sup>+</sup> des feuilles.....p.2
- Effet sur le le poids et le calibre des fruits.....p.2
- Effets sur la teneur et la qualité du jus.....p.4
- Effet sur le rendement en fruits.....p.5
- Conclusions et recommandations.....p.6

l'obtention de rendements importants et ce n'est que récemment que l'on s'intéresse aux effets positifs des apports minéraux sur la qualité de la production, plus particulièrement dans le cas du phosphore et du potassium. La fertilisation foliaire à base de potassium est une des pratiques culturales qui permet aujourd'hui d'atteindre ces objectifs: des rendements élevés et une production de qualité. Les résultats de recherche présentés dans ce bulletin concernent l'amélioration de la production et de la qualité du fruit du clémentinier *Cadoux* en réponse à une fertilisation foliaire potassique, par l'application du nitrate (KNO<sub>3</sub>) ou du sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à différentes doses et fréquences.

### Site expérimental et mesures réalisées

L'expérimentation a été conduite en 2007 au domaine expérimental de l'INRA à Sidi Allal Tazi (Gharb) sur un sol argileux et la variété



concernée est le clémentinier *Cadoux* greffé sur *Citrange carizzo*. Des arbres sains, âgés de 23 ans, ne montrant aucun signe de carence minérale et homogènes ont été choisis pour cette expérimentation. Le dispositif expérimental est un split-plot avec trois blocs, trois densités de plantation ( $D_1$ : 6 x 6;  $D_2$ : 6 x 5 et  $D_3$ : 6 x 3,5 m<sup>2</sup>) (grandes parcelles) et 9 traitements de fertilisation potassique foliaires (petites parcelles).

Les caractéristiques du sol de la parcelle d'essai indiquent que les différents horizons sont pourvus en matière organique (MO), en phosphore et en potasse. Les teneurs en ces éléments sont acceptables et suffisantes pour une production de clémentinier (Tableau 1).

**Tableau 1: Résultats des analyses du sol des parcelles d'essais**

Horizons	pH (eau)	MO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	K <sub>2</sub> O (ppm)
0 - 30 cm	7,7	2,1	41,8	497
30 - 60 cm	7,9	1,6	11,9	319
60 - 90 cm	8,2	1,4	04,9	229

Les traitements expérimentaux correspondent à une dose d'engrais et un nombre d'application foliaire (2 ou 3 fois) pour une densité de plantation donnée ( $D_1$ ,  $D_2$  ou  $D_3$ ). Deux sources de potassium (engrais minéraux solubles) sont testées: nitrate de potassium (KNO<sub>3</sub>) et sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Les doses d'application des engrais foliaires testées sont 5 % et 8 % pour KNO<sub>3</sub>; 2,5 % et 4 % pour K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Le témoin est traité à l'eau seule. Les concentrations des applications de KNO<sub>3</sub> correspondent à celles recommandées dans la littérature. Les doses appliquées de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> correspondent à une teneur en potassium équivalente à celle contenue dans KNO<sub>3</sub>. Les dates d'applications foliaires sont les suivantes: 16 Juillet 2007, 03 Août 2007 et 21 Août 2007.

Les paramètres de production pris en compte dans cette étude sont le calibre du fruit, son poids et le rendement, alors que ceux de la qualité sont l'épaisseur de la peau, le taux de jus, l'acidité, le degré Brix, l'indice de maturité, la fermeté et la couleur de l'écorce du fruit.



Application foliaire de l'engrais potassique



## Effets de la fertilisation foliaire sur la teneur des feuilles en éléments minéraux

Les teneurs des feuilles en potassium du clémentinier *Cadoux* ont augmenté deux semaines après les dernières applications foliaires potassiques. Cette augmentation est observée chez tous les traitements sauf chez le témoin où une diminution de la teneur en potassium dans les feuilles fût remarquée (Tableau 2).

L'augmentation du potassium dans les feuilles des traitements fût indépendante de la source du potassium (KNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et du nombre d'applications foliaires. Les augmentations en K après les applications foliaires potassiques atteignent 40% alors que chez le témoin cette teneur a chuté de 15% par rapport à sa teneur initiale avant les applications d'engrais foliaires.

L'augmentation importante de la teneur en potassium (K) des feuilles témoigne de l'efficacité et de la rapidité d'absorption par l'application foliaire d'engrais à base de potassium, comparée à une application au niveau du sol.

Les niveaux de phosphore (P) et de magnésium (Mg) n'ont pas été affectés par les applications foliaires potassiques. Les concentrations en Mg furent avant les applications à un niveau inférieur à l'optimum, selon les standards et ceci, chez tous les traitements. Par ailleurs, les teneurs en calcium (Ca) sont aux normes avant et après les applications foliaires.

## Effet de la fertilisation foliaire sur les fruits

### Le poids des fruits

Les poids moyens les plus élevés, environ 96 g par fruit, ont été enregistrés avec la densité moyenne ( $D_2$ : 6 x 5 m) alors que les poids moyens les plus faibles, environ 91 g, sont obtenus avec la forte densité ( $D_3$ : 6 x 3,5 m). Quelle que soit la densité de plantation, le témoin a enregistré le plus faibles valeurs des poids des fruits (Figure 1).

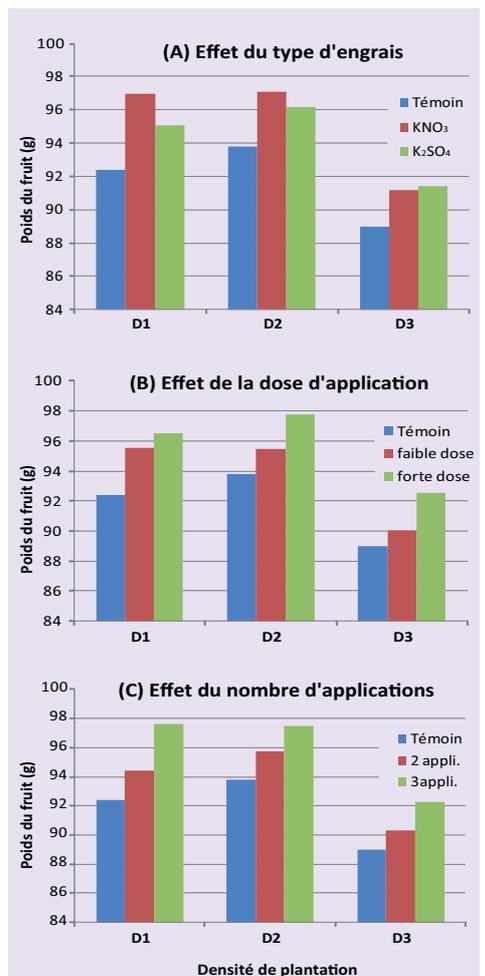
Pour la faible densité  $D_1$ , les traitements à 8% de KNO<sub>3</sub>, avec deux et trois applications foliaires, se sont avérés les plus efficaces dans l'amélioration du poids moyen du fruit. Ils ont enregistré des poids respectifs de 98,2 et 98,6 g, soit un gain moyen de 6,3% par rapport au témoin.

Pour la densité moyenne  $D_2$ , ce sont les traitements à forte dose d'engrais ou à trois applications qui ont pu donner les meilleures valeurs des poids des fruits de l'ordre de 98,5 g.

Pour la forte densité  $D_3$  (6 x 3,5 m), le traitement 4% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec trois applications foliaires a donné le meilleur poids des fruits, avec une moyenne de 93,6 g comparé au témoin, 89,0 g seulement, soit un gain en poids de 5%.

Il faut noter que quelle que soit la densité de plantation ou la source de potassium, les traitements à faibles doses, en deux applications foliaires seulement, ont enregistré les poids moyens les plus faibles par rapport aux autres traitements.

En termes d'efficacité, les traitements à doses élevés en potassium (8% KNO<sub>3</sub> ou 4% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en trois applications foliaires sont à retenir dans un programme de fertilisation foliaire, à base de potassium, pour l'augmentation du poids et du calibre des fruits du clémentinier.



**Figure 1:** Effets de la fertilisation potassique foliaire sur le poids des fruits du clémentinier *Cadoux*: (A) Effet du type d'engrais, (B) Effet de la dose d'application et (C) effet du nombre d'applications.

**Tableau 2: Teneurs (% de matière sèche) en P, K, Ca et Mg des feuilles du clémentinier 'Cadoux' avant (Avant) et après (Après) applications foliaires**

Traitements	P		K		Ca		Mg	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
5%-KNO <sub>3</sub> x 2	0,15	0,16	1,84	<b>2,32</b>	4,12	4,16	0,25	0,26
5%-KNO <sub>3</sub> x 3	0,18	0,15	1,88	<b>2,48</b>	4,00	3,60	0,22	0,23
8%-KNO <sub>3</sub> x 2	0,13	0,16	1,76	<b>2,20</b>	5,32	4,24	0,27	0,26
8%-KNO <sub>3</sub> x 3	0,12	0,16	1,72	<b>2,08</b>	4,44	3,96	0,26	0,26
2,5%-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> x 2	0,18	0,17	1,88	<b>2,64</b>	3,56	3,92	0,25	0,25
2,5%-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> x 3	0,19	0,15	2,04	<b>2,28</b>	4,24	4,32	0,38	0,27
4%-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> x 2	0,13	0,17	1,80	<b>2,48</b>	4,28	3,24	0,25	0,23
4%-K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> x 3	0,16	0,15	1,76	<b>2,24</b>	3,68	3,88	0,23	0,23
Témoin	0,16	0,14	1,88	<b>1,60</b>	4,04	4,76	0,28	0,23

## Le calibre des fruits

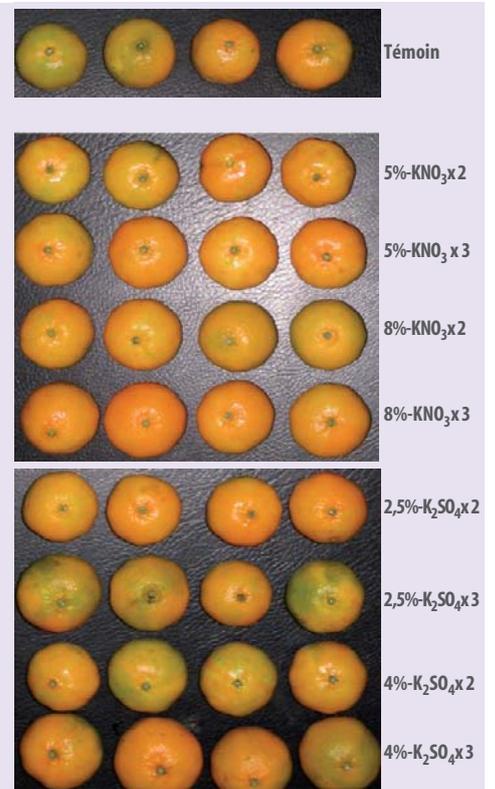
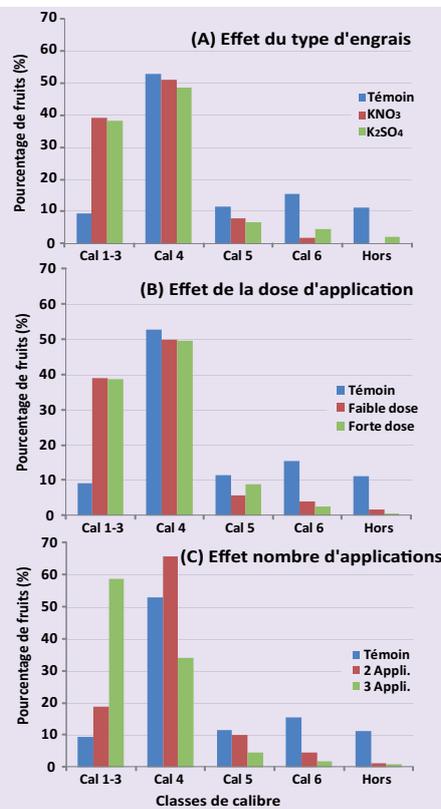
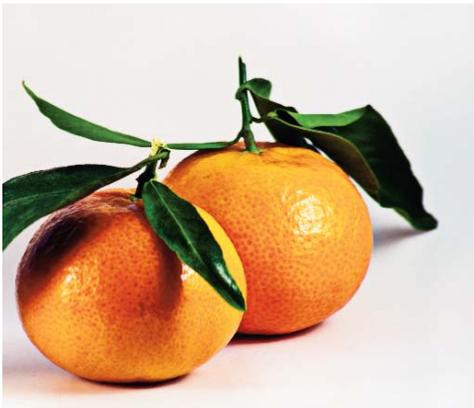
Les traitements de fertilisation potassique en trois applications foliaires ont enregistré les meilleurs pourcentages du calibre extra (Cal 1-3), quelle que soit la source de potassium ( $\text{KNO}_3$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) ou la densité de plantation (Tableaux 3, 4 et 5).

Le traitement 8%- $\text{KNO}_3 \times 3$  a donné le plus grand pourcentage en calibre extra et ceci quelle que soit la densité de plantation. Pour les trois densités de plantation ( $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ ), ce traitement a induit un taux de calibre extra d'environ 73; 63 et 57 %, contre 8; 9 et 7,5% enregistrés chez le témoin.

Les traitements avec seulement deux applications foliaires ont été beaucoup moins efficaces dans l'amélioration du calibre par rapport aux traitements appliqués trois fois.

Ces résultats montrent l'efficacité des applications foliaires potassiques sur l'amélioration du calibre des fruits du clémentinier (Photo 1). Il faut noter que toute augmentation de la densité de plantation induit aussi une diminution du calibre des fruits. Il est donc judicieux de choisir une densité faible ( $D_1 = 6 \times 6 \text{ m}^2$ ) pour atteindre un taux de calibre commercial rémunérateur (calibre 1-3 et 4).

Nos résultats confirment ceux de la littérature qui montrent que l'augmentation des doses et des fréquences d'applications foliaires de potassium s'accompagne d'une augmentation du calibre des fruits d'agrumes.



**Figure 2:** Effets de la fertilisation potassique foliaire sur le calibre des fruits du clémentinier *Cadoux*: (A) Effet du type d'engrais, (B) Effet de la dose d'application et (C) effet du nombre d'applications.

**Photo 1:** Effet de la fertilisation potassique foliaire sur le calibre et la couleur des fruits de clémentine *Cadoux* pour la faible densité  $D_1$ .

**Tableau 3 :** Distribution des fréquences des calibres des fruits chez les différents traitements de fertilisation potassique foliaire dans la densité  $D_1$

Traitements	Cal 1 - 3 57 à 63 mm	Cal 4 51 à 56 mm	Cal 5 44 à 50 mm	Cal 6 41 à 43 mm	Hors Cal. < 40 mm
5%- $\text{KNO}_3 \times 2$	22,2	67,8	10,0	0	0
5%- $\text{KNO}_3 \times 3$	63,3	36,7	0	0	0
8%- $\text{KNO}_3 \times 2$	21,1	64,4	14,4	0	0
8%- $\text{KNO}_3 \times 3$	73,3	26,7	0	0	0
2,5%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2$	20,0	71,1	8,9	0	0
2,5%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 3$	62,2	37,8	0	0	0
4%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2$	24,4	67,8	7,8	0	0
4%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 3$	63,4	36,7	0	0	0
Témoin	7,8	68,9	23,3	0	0

**Tableau 4:** Distribution des fréquences des calibres des fruits chez les différents traitements de fertilisation potassique foliaire dans la densité  $D_2$

Traitements	Cal 1 - 3 57 à 63 mm	Cal 4 51 à 56 mm	Cal 5 44 à 50 mm	Cal 6 41 à 43 mm	Hors Cal. < 40 mm
5%- $\text{KNO}_3 \times 2$	17,3	72,2	7,1	3,3	0
5%- $\text{KNO}_3 \times 3$	60,8	37,4	1,3	0,5	0
8%- $\text{KNO}_3 \times 2$	16,2	66,2	15,2	2,3	0
8%- $\text{KNO}_3 \times 3$	62,9	28,4	7,8	0,8	0
2,5%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2$	22,4	58,7	9,2	7,2	2,5
2,5%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 3$	55,3	31,5	5,2	4,3	3,7
4%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2$	19,3	65,2	8,2	5,2	2,1
4%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 3$	56,2	38,7	3,4	1,7	0
Témoin	9,2	52,8	11,5	15,3	11,2

**Tableau 5** Distribution des fréquences des calibres des fruits chez les différents traitements de fertilisation potassique foliaire dans la densité  $D_3$

Traitements	Cal 1 - 3 57 à 63 mm	Cal 4 51 à 56 mm	Cal 5 44 à 50 mm	Cal 6 41 à 43 mm	Hors Cal. < 40 mm
5%- $\text{KNO}_3 \times 2$	14,4	63,3	4,3	14,7	3,2
5%- $\text{KNO}_3 \times 3$	54,2	30,2	3,2	11,5	1
8%- $\text{KNO}_3 \times 2$	12,6	64,2	13,4	3,3	6,6
8%- $\text{KNO}_3 \times 3$	57,3	32,6	7,2	2,8	0
2,5%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2$	16,2	61,4	6,5	8,2	7,7
2,5%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 3$	48,7	36,6	7,2	5,3	2,2
4%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 2$	14,6	51,4	5,2	16,2	12,6
4%- $\text{K}_2\text{SO}_4 \times 3$	47,5	42,2	5,2	3,2	1,9
Témoin	7,6	30,5	24,2	24,6	13,2

## La coloration de l'écorce du fruit

En général, quelle que soit la densité de plantation, tous les traitements d'application de fertilisation potassique foliaire ont induit une couleur de l'écorce des fruits plus rougeâtre que le témoin; ou en d'autres termes, la couleur de la peau des fruits du témoin tend plus vers le vert par rapport aux fruits des arbres ayant reçu une fertilisation foliaire potassique (Photo 1 et 2).

Pour la faible densité  $D_1$ , les traitements 5%- $KNO_3 \times 3$  et 2,5%- $K_2SO_4 \times 2$  ont amélioré le plus la couleur de l'écorce des fruits, enregistrant ainsi une différence d'écart de couleur de plus de 10 unités par rapport au témoin.

Pour la moyenne densité  $D_2$ , c'est le traitement 8%- $KNO_3 \times 3$  qui a amélioré d'une manière significative la couleur de l'écorce du fruit en comparaison avec les autres traitements de fertilisation foliaire potassique.

Pour la forte densité  $D_3$ , les traitements 5%- $KNO_3 \times 3$ , 8%- $KNO_3 \times 3$  et 2,5%- $K_2SO_4 \times 2$  ont amélioré le plus la couleur de la peau des fruits par rapport au témoin.

L'indice de couleur (IC), dont la valeur traduit l'intensité de la couleur orange-rouge, a été significativement réduit à mesure que la densité de plantation augmente. Les valeurs enregistrées sont respectivement de 5,52; 4,80 et 3,99 pour  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ .

Tous les traitements de fertilisation potassique foliaire ont une valeur moyenne d'IC supérieure à celle du témoin, ce qui montre que les applications foliaires à base de potassium ont un effet positif sur l'amélioration de la coloration des fruits du clémentinier *Cadoux*. Les applications foliaires à base de  $KNO_3$  ont été plus efficaces à améliorer la couleur du fruit en comparaison avec  $K_2SO_4$  (Photo 1).

Au sein de la faible densité  $D_1$ , ce sont les traitements 5%- $KNO_3 \times 3$  et 2,5%- $K_2SO_4 \times 2$  qui ont eu les plus grandes valeurs d'IC, soit respectivement 6,3 et 6,4.

Pour la moyenne densité  $D_2$ , c'est le traitement 8%- $KNO_3 \times 2$  qui s'est montré supérieur en termes d'amélioration de couleur des fruits de *Cadoux* par rapport aux autres traitements. Son indice de couleur (IC = 5,5) est supérieur à celui du traitement 2,5%- $K_2SO_4 \times 3$  (IC = 4,2) de 19,6%, ce qui est énorme.

Pour la forte densité  $D_3$ , le traitement 5%- $KNO_3 \times 3$  a induit la plus grande valeur d'indice de couleur (IC= 4,6) alors que les traitements 8%- $KNO_3 \times 2$  et 2,5%- $K_2SO_4 \times 3$  ont induit les plus faibles valeurs.

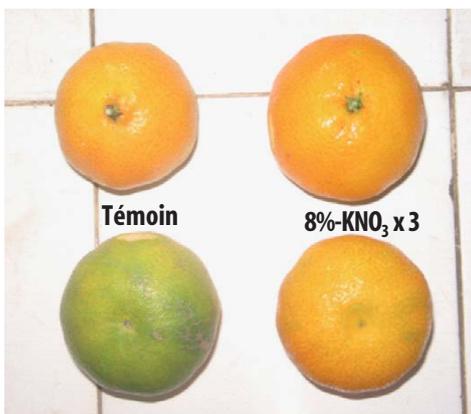


Photo 2: Amélioration de la couleur du fruit par la fertilisation potassique foliaire et persistance de la coloration verte chez le témoin (à gauche).

Dans la littérature, il est rapporté un effet positif de la fertilisation foliaire à base de potassium sur la coloration des fruits d'agrumes. Il est aussi rapporté que des concentrations élevées de potassium appliqué sur agrumes ont induit des fruits verts par rapport à l'application d'une faible concentration.

Nos résultats coïncident effectivement avec ceux d'autres recherches dans la mesure où le traitement 4%- $K_2SO_4$  en deux applications a donné les plus faibles valeurs d'indice de couleur et a été à l'origine d'un retard de coloration des fruits de clémentinier *Cadoux*, et ceci quelle que soit la densité.

En revanche, les traitements à base de  $KNO_3$ , 5%- $KNO_3$  et 8%- $KNO_3$  respectivement en deux et trois applications foliaires ont amélioré positivement la coloration des fruits du clémentinier *Cadoux*. La même constatation a été notée pour les traitements 2,5%- $K_2SO_4$  et 4%- $K_2SO_4$  à base de  $K_2SO_4$ .

On peut conclure, à priori, que la fertilisation foliaire à base de nitrate de potassium à 5 et 8% en trois applications foliaires et celles à base de sulfate de potassium à 2,5 et 4%, respectivement en deux et trois applications foliaires sont les plus efficaces pour l'amélioration de la coloration des fruits du clémentinier *Cadoux*.

## La fermeté du fruit

Quelle que soit la densité, le témoin a enregistré des valeurs de fermeté les plus élevées, soient 405; 366 et 402 g/0,5 cm<sup>2</sup> respectivement pour les densités  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ . En outre tous les traitements ont des fermetés de fruits acceptables qui varient entre 300 et 415g/0,5cm<sup>2</sup>.



Mesure de la fermeté du fruit



## L'épaisseur de l'écorce du fruit

Pour tous les traitements de fertilisation foliaire potassique, quelle que soit la densité de plantation et la source du potassium, l'épaisseur de l'écorce du fruit, qui est en moyenne de 11,5 mm, augmente à la fois avec la concentration du potassium dans l'engrais appliqué et avec le nombre d'applications foliaires.

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature qui indiquent que des apports croissants en potassium, appliqués en fertilisation foliaire, induisent une augmentation de l'épaisseur de l'écorce du fruit d'agrumes.

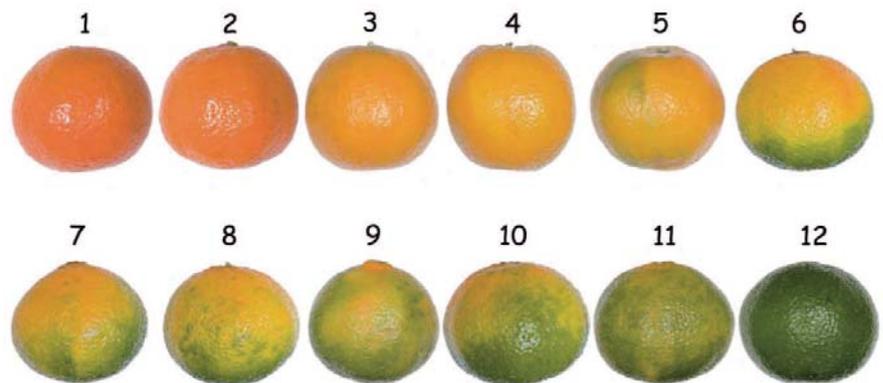
Cette caractéristique d'augmentation de l'épaisseur de la peau du fruit est recherchée dans la mesure où elle confère au fruit une résistance aux insectes.

## Effet de la fertilisation foliaire sur la qualité du jus de fruit

### Teneur en jus

Pour tous les traitements et quelle que soit la densité, la teneur en jus dans les fruits répond aux normes standards à l'exportation des fruits de la clémentine marocaine qui doit être au moins égale à 40%.

Les effets de la fertilisation foliaire potassique diffèrent selon la densité, d'une part, et les concentrations de  $KNO_3$  /  $K_2SO_4$  en potassium et les nombres d'applications foliaires, d'autre part.



Echelle de couleur externe des clémentines (Norme internationale, OCDE 2010)

En effet, pour la faible densité  $D_1$ , l'augmentation du nombre d'applications foliaires, pour une concentration en potassium dans  $KNO_3$  ou  $K_2SO_4$ , est accompagnée d'une augmentation de la teneur en jus dans les fruits. Ces augmentations varient en hausse de 0,5 et 1,8% entre les traitements 5%- $KNO_3 \times 3$  et 5%- $KNO_3 \times 2$ ; 8%- $KNO_3 \times 3$  et 8%- $KNO_3 \times 2$  et en baisse entre les traitements 4%- $K_2SO_4 \times 3$  et 4%- $K_2SO_4 \times 2$  avec un taux de 0,92 %.

Pour la moyenne densité  $D_2$ , les teneurs en jus diminuent avec l'augmentation du nombre d'applications foliaires pour les concentrations faibles, ceci pour les deux sources de potassium et augmentent avec l'augmentation du nombre d'applications foliaires pour les fortes concentrations des sources de potassium.

Pour la densité  $D_3$ , les teneurs en jus chez les traitements varient considérablement. Le taux de jus le plus élevé est enregistré chez le traitement 4%- $K_2SO_4 \times 2$  avec une teneur de 45 %.

### Acidité du jus

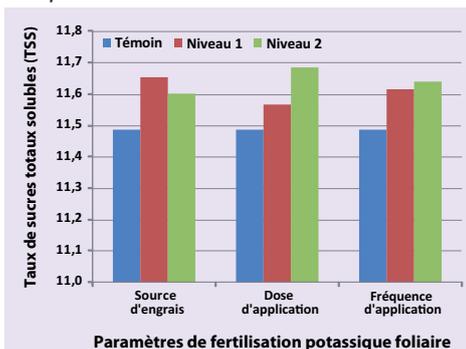
L'acidité du jus de fruit de la clémentine *Cadoux*, chez tous les traitements, sont correctes et répondent aux normes posées par l'Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations (EACCE) qui exigent une acidité comprise entre 0,8 et 1,5%. En effet, les fruits de clémentine ayant un taux d'acidité en dehors de cette fourchette présentent un goût insipide ou acide. Nous avons noté un effet remarquable du potassium sur la teneur en acides, notamment acide citrique anhydride, dans les fruits de *Cadoux*. En effet, quelle que soit la densité ou la source de potassium appliquée, l'augmentation du nombre d'applications foliaires potassiques provoque une augmentation du taux d'acidité dans les fruits.

Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature qui indiquent qu'une augmentation du taux de potassium dans les feuilles, suite aux augmentations des concentrations et/ou du nombre d'applications foliaires à base de potassium, induit une augmentation de la teneur en acidité dans les fruits d'agrumes.

### Teneur en sucres solubles

Le marché d'exportation de la clémentine marocaine exige un taux minimum de sucres solubles totaux (TSS) égal à 9%.

Chez tous les traitements de fertilisation foliaire potassique ainsi que chez le témoin, et quelle que soit la densité, les teneurs en TSS sont largement supérieures aux normes d'exportations de la clémentine.



**Figure 3:** Effets de la fertilisation potassique foliaire sur la teneur des fruits du clémentinier *Cadoux* en sucres solubles: Effet du type d'engrais, Effet de la dose d'application et effet du nombre d'applications.

La fertilisation potassique foliaire a légèrement amélioré le taux des sucres totaux des fruits avec une meilleure efficacité du  $KNO_3$  par rapport au  $K_2SO_4$  (Figure 3).

### Indice de maturité du fruit

Selon les normes posées par l'EACCE, un indice de maturité minimum de 7 est exigé pour l'exportation de la clémentine marocaine. D'autres pays importateurs de la clémentine marocaine exigent un ratio TSS/A entre 7 et 7,5.

Chez tous les traitements de fertilisation foliaire potassique, toutes densités confondues, l'indice de maturité des fruits dépasse 10,6. Cet indice varie, pour une densité donnée, selon la source de potassium appliquée en fertilisation foliaire. Il est faible chez les traitements qui ont reçu le nitrate de potassium et il est supérieur chez les traitements qui ont reçu le sulfate de potassium comme source de potassium en application foliaire.

### Effet de la fertilisation foliaire sur le rendement

Les productions de fruits selon les densités de plantation sont respectivement de 174; 160 et 116 kg/arbre pour la faible ( $D_1$ ), la moyenne ( $D_2$ ) et la forte densité ( $D_3$ ). En termes de production à l'hectare, les rendements respectifs des densités  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  sont de 48,1; 53,7 et 55,3 T/ha.

Concernant l'effet de la fertilisation foliaire potassique, nos résultats indiquent clairement que l'augmentation de la concentration en potassium ainsi que l'augmentation du nombre d'applications foliaires, aussi bien du nitrate de potassium que du sulfate de potassium, ont induit une augmentation de la production des arbres (Figure 4).

Pour les traitements en deux applications foliaires, l'augmentation de la concentration en potassium n'a pas induit une augmentation significative de la production.

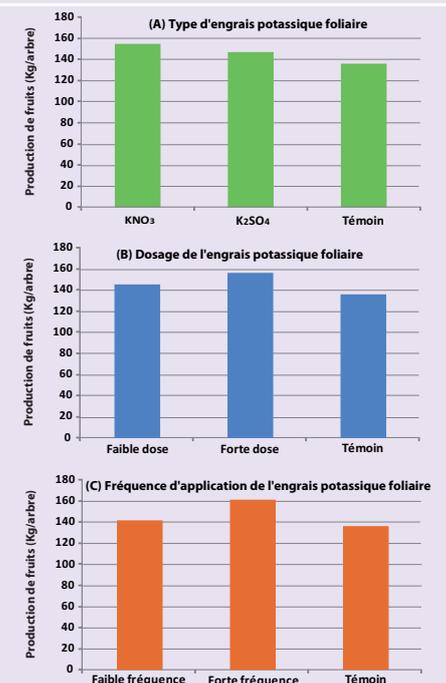
Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature qui indiquent que l'augmentation des fréquences de traitements ainsi que les concentrations en potassium en application foliaire sur agrumes, trois à cinq semaines après que le calibre des fruits ait atteint un diamètre de 20 à 25 mm, induit une augmentation de la production.

Pour les densités  $D_1$  et  $D_2$ , les traitements 8%- $KNO_3$  et 4%- $K_2SO_4$  en trois applications foliaires étaient les plus efficaces dans l'amélioration de la production du clémentinier *Cadoux*, ils ont enregistré respectivement des productions (en  $D_1$ ) de 204 et 195 Kg/arbre face au témoin qui a produit seulement 160 Kg/arbre. Cette augmentation de la production par rapport au témoin et de 21,5 % et 17,6 % respectivement pour les traitements 8%- $KNO_3 \times 3$  et 4%- $K_2SO_4 \times 3$  (Photo 3).

Au niveau de la densité moyenne  $D_2$ , le traitement 8%- $KNO_3 \times 3$  s'est avéré le plus performant, il a induit une production de l'ordre de 184 Kg/arbre contre 145 Kg/arbre chez le témoin, soit une augmentation de la production de 21,2%. Les traitements 5%- $KNO_3 \times 3$  et 4%- $K_2SO_4 \times 3$  ont générés des productions appréciables, respectivement de l'ordre de 173 et 175 Kg/arbre, soit une amélioration des productions de l'ordre de 16,5% par rapport au témoin.



**Photo 3:** Vues d'arbres représentatifs des effets de la fertilisation potassique foliaire sur la production de fruits du clémentinier *Cadoux* (Densité  $D_1$ , 6 x 3,5 m).



**Figure 4:** Effets de la fertilisation potassique foliaire sur le rendement en fruits du clémentinier *Cadoux*: (A) Effet du type d'engrais, (B) Effet de la dose d'application et (C) effet du nombre d'applications.

## Conclusion et recommandations

Pour la forte densité ( $D_3$ ), les traitements 5%- $KNO_3$ , 8%- $KNO_3$  et 4%- $K_2SO_4$  en trois applications foliaires s'avèrent être les plus efficaces pour l'amélioration de la production du clémentinier *Cadoux*. Il n'y a pas de différence significative entre ces deux traitements et les productions enregistrées à leur niveau sont de 130 Kg/arbre, soit une amélioration de 18% par rapport au témoin.

### Gains et efficacité du $KNO_3$ et du $K_2SO_4$ en application foliaire sur clémentinier 'Cadoux'

Les traitements 5%- $KNO_3$ , 8%- $KNO_3$ , 2,5%- $K_2SO_4$  et 4%- $K_2SO_4$  en trois applications foliaires sont choisis pour une évaluation de leurs efficacités car ils ont induits des effets positifs sur la production et les paramètres de qualité du clémentinier *Cadoux*.

Le tableau 6 montre que le traitement 8%  $KNO_3$  utilisé en trois applications foliaires permet un gain moyen en production de 12 à 13 T/ha par rapport au témoin et ceci avec les trois densités de plantation. Par contre, le traitement 2,5%  $K_2SO_4$  donne les gains en production les plus faibles.

En terme d'efficacité d'engrais foliaire, c'est le traitement 4%  $K_2SO_4$  qui a permis un gain maximal, de l'ordre de 28 et 24 Kg de fruits par kg d'engrais foliaire, respectivement pour les densités  $D_1$  et  $D_2$  (Tableau 6).

En conclusion, c'est le traitement 4%  $K_2SO_4$  en trois applications foliaires et avec une densité de plantation de 6 x 6 m<sup>2</sup> qu'on recommande en fertilisation foliaire sur clémentinier *Cadoux* vu ses effets agronomiques sur l'amélioration de la qualité et la production, d'une part, et son efficacité en terme de rentabilité et de retour d'argent pour l'agrumiculteur, d'autre part.

Pour les producteurs d'agrumes qui ont des clémentiniers plantés avec une densité 6 x 5 m<sup>2</sup>, ils peuvent aussi appliquer ce traitement. Le prix en 2007 du nitrate de potassium est d'environ trois fois supérieure à celui du sulfate de potassium:  $KNO_3$  à 13 Dh/Kg contre 5,40 Dh/Kg pour  $K_2SO_4$ .

*Les résultats de recherche rapportés dans ce bulletin concernent uniquement la variété de clémentinier "Cadoux". Des essais ultérieurs sur la variété "Marisol" au Gharb indiquent que cette variété ne répond pas aussi favorablement à la fertilisation foliaire potassique que la variété "Cadoux".*

Les résultats obtenus suite aux applications foliaires potassiques sur la production et la qualité des fruits du clémentinier *Cadoux* nous ont permis de retenir ce qui suit:

- Les teneurs en potassium des feuilles ont augmenté deux semaines après les dernières applications foliaires potassiques, ceci chez tous les traitements sauf chez les témoins où une diminution de la teneur en potassium dans les feuilles fut remarquée. Ceci montre l'efficacité et la rapidité d'absorption du potassium par voie foliaire, comparée aux applications du potassium au niveau du sol dont l'absorption est relativement lente. Les teneurs des autres macroéléments (P, Mg et Ca) n'ont pas été affectées.

- L'application foliaire de 8%  $KNO_3$  en 3 applications a induit des taux en calibre 1-3 (57-63 mm) et en calibre 4 (51-56 mm) les plus élevés et ceci quelle que soit la densité de plantation. Ces taux en calibre 1-3, sont de 73; 63 et 57% contre 8; 9 et 7% seulement chez le témoin, respectivement pour les densités  $D_1$  (faible),  $D_2$  (moyenne) et  $D_3$  (forte). Par ailleurs, tous les traitements foliaires ont induit un taux en calibre 1-3 et 4 supérieurs au témoin.

- Une amélioration de la coloration de l'écorce des fruits est observé chez tous les arbres ayant reçu une pulvérisation potassique foliaire. En faible densité, les traitements 5%  $KNO_3 \times 3$  et  $K_2SO_4 \times 2$  ont enregistré les meilleurs indices de couleur (IC) respectivement de l'ordre de 6,30 et 6,36. Avec la moyenne densité, c'est le traitement 8%  $KNO_3 \times 2$  qui a amélioré le plus la coloration des fruits (IC= 5,45). Pour la même concentration en potassium et le même nombre d'applications foliaires,  $K_2SO_4$  a enregistré un IC=4,49 seulement, soit une perte de 0,96 par rapport au traitement à base de  $KNO_3$ . Avec la forte densité, c'est le traitement 5%  $KNO_3$  en 2 applications foliaires qui a induit un IC= 4,60 le plus élevé. En général, ce sont les traitements  $KNO_3$  qui ont amélioré le plus l'IC des fruits.

- La teneur en jus n'a pas été affectée par les traitements, ceci quelle que soit la source de potassium et le nombre d'applications foliaires. Les taux de jus, chez tous les traitements, sont compris entre 44,0% et 41,6%.



- Les indices de maturité (TSS/A) des traitements à base de  $K_2SO_4$  sont significativement supérieurs à ceux de  $KNO_3$ . Ces écarts sont de 0,4 à 0,7 points.

- L'épaisseur de l'écorce du fruit augmente à la fois avec l'augmentation de la concentration du potassium dans l'engrais foliaire appliqué et avec le nombre d'applications foliaires.

- En termes de production, l'augmentation de la concentration en potassium ainsi que le nombre d'applications foliaires ont induit une augmentation de la production des arbres en fruits. En effet, pour les densités  $D_1$  et  $D_2$ , les traitements 8%  $KNO_3$  et 4%  $K_2SO_4$  en 3 applications foliaires sont les plus efficaces quant à l'amélioration de ce paramètre, ils ont enregistré des productions successives de 204 et 195 Kg/arbre comparé au témoin à 160 Kg/arbre seulement; soit des augmentations respectives de 21,5 et 17,7%. Pour la forte densité ( $D_3$ ), les traitements 5%- $KNO_3$ , 8%- $KNO_3$ , 4%- $K_2SO_4$  en 3 applications foliaires sont avérés les plus efficaces pour l'amélioration de la production des arbres. Les productions enregistrées sont autour de 130 Kg/arbre, soit une amélioration de 18% par rapport au témoin.

- En termes d'efficacité d'engrais foliaire, c'est le traitement 4%  $K_2SO_4$  qui a permis un gain maximal de l'ordre de 28 Kg de fruits par Kg d'engrais utilisé, en densité  $D_1$ .

Au terme de ce travail, on peut conclure que la fertilisation foliaire potassique par le nitrate de potassium ou le sulfate de potassium, sur le clémentinier *Cadoux*, a permis l'augmentation de la production de fruits et l'amélioration de leur qualité (calibre, coloration, épaisseur de l'écorce, teneur en jus, indice de maturité). D'autre part, cette pratique culturelle permettra un retour d'argent intéressant pour l'agrumiculteur ■.

**A. HAMZA<sup>1</sup>, M. EL GUILLI<sup>1</sup>, R. BOUABID<sup>2</sup>, A. BAMOUH<sup>3</sup>, A. ZOUAHRI<sup>4</sup> et R. LFADILI**

<sup>1</sup>INRA-Kénitra, <sup>2</sup>ENA Meknès, <sup>3</sup>IAV Hassan II, <sup>4</sup>INRA-Rabat

*Remerciements: Nos remerciements à Mr. R. LFADILI, agrumiculteur et ingénieur agronome, pour la volonté qu'il a montrée à la mise à notre disposition de parcelles d'essais ainsi que sa contribution à la réussite de ce travail. Nos remerciements vont également à Mr A. RIZZI, pathologiste des agrumes au Domaines Agricoles pour l'aide apportée à la genèse de ce projet de recherche.*

**Tableau 6: Gain en production et productivité marginale de  $KNO_3$  et  $K_2SO_4$  en trois applications foliaires sur clémentinier 'Cadoux'**

Type de fertilisant potassique et concentration	Densité de plantation	Rendement (T/ha)	Quantité d'engrais (kg/ha)	Gain en production (T/ha)	Efficacité d'un kg d'engrais foliaire
5%- $KNO_3$	$D_1$	50,5	415,5	6,1	14,7
	$D_2$	57,7	499,5	9,4	18,7
	$D_3$	59,4	714,0	8,9	12,4
8%- $KNO_3$	$D_1$	56,5	664,8	<b>12,1</b>	18,2
	$D_2$	61,4	799,2	<b>13,1</b>	16,4
	$D_3$	63,6	1142,4	<b>13,0</b>	11,4
2,5%- $K_2SO_4$	$D_1$	47,0	207,7	2,7	12,7
	$D_2$	53,2	249,7	4,8	19,3
	$D_3$	54,6	357,0	4,1	11,4
4%- $K_2SO_4$	$D_1$	53,9	332,4	9,5	<b>28,6</b>
	$D_2$	58,2	399,6	9,9	<b>24,7</b>
	$D_3$	60,9	571,2	10,4	18,2
Témoin	$D_1$	44,4	--	--	--
	$D_2$	48,4	--	--	--
	$D_3$	50,5	--	--	--