Journal of Applied Biosciences 53: 3773 – 3786

ISSN 1997–5902

Effet de la nutrition azotée sur les paramètres morphologiques et physiologiques de quelques porte-greffes d'agrume.

Fatima Ezahra OMARI[1*], Lhou BENIKEN[1], Fatima GABOUNE[1], Abdelmajid ZOUAHRI[1], Rachid BENKIRANE [2], Hamid BENYAHIA[1].

1 Institut National de la Recherche Agronomique INRA Maroc.

2 Laboratoire du Botanique et Protection des Plantes- Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences de Kenitra.

Correspondant autour : OMARI Fatima Ezahra, CRRA Kenitra. BP : 7567. E-mail : fatimaezahra.omari@gmail.com

Original submitted in on 17th February 2012. Published online at www.m.elewa.org on May 29th 2012.

RESUME

Introduction : Au Maroc, le porte-greffe le plus utilisé dans les vergers d'agrumes est le bigaradier. Cette position est acquise à cause de sa bonne adaptation aux conditions édaphiques des régions marocaines caractérisées par le taux de calcaire et de salinité élevée. Cependant, la propagation de la CTV dans le bassin Méditerranéen va bientôt limiter l'utilisation de ce porte-greffe. Par conséquent, le profil du matériel végétal utilisé pour la plantation des nouveaux vergers d'agrumes est en mutation. Des études traitant l'optimisation de la fertilisation azotée et la sélection du porte-greffe qui valorise mieux l'utilisation d'azote pour la production des plants d'agrumes de bonne qualité au niveau de la pépinière s'imposent avec acuité. Afin de finaliser le processus de sélection des porte-greffes révélant des performances en termes d'adaptation aux conditions édapho-climatiques, leur évaluation sur l'utilisation des intrants est d'une importance capitale.

Objectif : Ce présent travail vise l'évaluation de la réponse des porte-greffes de substitution au bigaradier aux différentes doses d'azote.

Matériel et méthodes : Les six porte-greffes testés dans l'essai sont : citrange Carrizo, citrange C35, *Citrus volkameriana B2 28613*, *Citrus macrophylla,* Citrumelo 4475 AB6 A4 et le bigaradier (*Citrus aurantium L.*). Les plants de porte-greffes âgés de trois mois ont été cultivés dans des pots en plastique (3L) dans une serre à El Menzeh, INRA Maroc. Les concentrations des doses appliquées de l'azote sont : T1, T2, T3 et T4 respectivement 0, 1, 5 et 10 mM de N. Le dispositif expérimental adopté est un split-plot à trois répétitions dont la dose d'azote est en grandes parcelles et le porte-greffe est en petites parcelles.

Résultats : Les résultats de cette étude ont mis en évidence qu'il y a une variabilité de réponse entre les porte-greffes étudiés vis-à-vis la dose d'azote. Le *Citrus volkameriana B2 28613*, le *Citrus macrophylla* et le Citrumelo 4475 AB6 A4 ont enregistré les valeurs les plus élevées du nombre de feuilles par plant, le diamètre du collet, la hauteur finale de la tige, la surface foliaire totale et la biomasse fraîche et sèche des différents organes (tige, feuille et racine). Le *Citrus volkameriana B2 28613* et le *Citrus macrophylla* ont montré les pourcentages les plus élevés du Contenu relatif en eau. Le porte-greffe citrange Carrizo a montré la teneur la plus élevée de la chlorophylle totale (SPAD) et de sucres solubles totaux (SST). Egalement, le *Citrus macrophylla* a enregistré la conductance stomatique et la concentration de la chlorophylle totale les plus élevées dans les feuilles. Le *Citrus macrophylla* et le *Citrus volkameriana B2 28613* ont accumulé des teneurs plus élevées en azote dans les feuilles.

Conclusion et application: Il ressort de cette étude que le *Citrus volkameriana B2 28613*, le *Citrus macrophylla* et le Citrumelo 4475 AB6 A4 sont les porte-greffes les plus efficients en termes d'utilisation d'azote en stade pépinière et que la dose T3 (5 mM) s'est montrée la plus optimale pour la production des plants des porte-greffes de bonne qualité en stade pépinière.
Mots clés : Agrumes, porte-greffes, nutrition minérale, azote.

Effect of nitrogen level on morphological and physiological parameters of citrus rootstocks.

Abstract

Introduction: In Morocco, the sour orange is the rootstock the mostly used in citrus orchard. This position is acquired because of its good adaptation vis-à-vis the Moroccan soil conditions of the regions characterized by the high alkalinity and salinity. However, the spread of CTV in the Mediterranean Basin will soon prohibit the use of traditional rootstock (sour orange). Therefore, the profile of plant material used for the planting of new citrus orchards is changing. To date, studies dealing with the optimization of nitrogen fertilization and selection of the most efficient rootstock in terms of nitrogen use in the production of citrus plants in good quality at the nursery are very important. To finalize the selection of rootstocks revealing performance in terms of adaptation to soil and climatic conditions, their evaluation on the efficiency of input use is of paramount importance.

Objective: The main objective of this study is the evaluation of the alternative rootstocks to sour orange (*Citrus aurantium L.*) in terms of nitrogen usage.

Material and methods: This study was carried out in greenhouses at the Experimental station of El Menzeh INRA Morocco. The six rootstocks tested are: citrange Carrizo, citrange C35, *Citrus volkameriana B2 28613*, *Citrus macrophylla,* Citrumelo 4475 AB6 A4 and sour orange (*Citrus aurantium L.*). These seedlings rootstocks aged three months were grown in plastic pots (3L). Nitrogen was added to the nutrient solution modified Hoagland and Arnon (1950), at four doses: T1 (0 mM of N), T2 (1 mM N), T3 (5 mM N) and T4 (10 mM N) for each rootstock. Different doses of nitrogen were applied once a week over a period of three months at 0.5 liter per plant. The experimental design adopted was a split-plot design with three replications.

Results: The results of this study showed that there is variability in response between the rootstocks studied vis-à-vis the nitrogen.*Citrus volkameriana B2 28613*, *Citrus macrophylla* and Citrumelo 4475 AB6 A4 recorded the highest values of number of leaves per plant, diameter of the collar, the final height of the stem, total leaf area and fresh and dry weight of different organs (stem, leaves and root). *Citrus volkameriana B2 28613* and *Citrus macrophylla* showed the highest percentages of relative water content. The rootstock Carrizo citrange showed the highest content of total chlorophyll (SPAD) and total soluble sugars (TSS). Also, *Citrus macrophylla* had the stomatal conductance and concentration of the highest total chlorophyll in leaves. *Citrus volkameriana B2 28613* and *Citrus macrophylla* have accumulated higher levels of nitrogen in leaves.

Conclusion: Citrus volkameriana B2 28613, *Citrus macrophylla* and citrumelo 4475 AB6 A4 rootstocks are most efficient in terms of nitrogen use in the nursery stage and that the dose T3 (5 mM of N) proved to be optimal for the production of good quality plants to rootstocks at nursery stage.

Key words: Citrus, rootstock, mineral nutrition, nitrogen.

INTRODUCTION

Au Maroc, le porte-greffe le plus utilisé dans les vergers agrumicoles est le bigaradier. Cette position est acquise à cause de sa bonne adaptation vis-à-vis des conditions édaphiques des régions agrumicoles marocaines qui sont caractérisées par le taux de calcaire et de salinité élevée. Egalement, ce porte-greffe est reconnu par sa bonne affinité au greffage avec presque toutes

les variétés d'agrumes et par la bonne qualité conférée aux fruits (Castle *et al* ., 1993). Le bigaradier présente également une résistance acceptable vis-à-vis des *phytophthora spp* **(**vanderweyen, 1982 ; Nadori *et al* ., 1988 ; Benyahia *et al* . 2004**)**. Cependant, l'utilisation de ce porte-greffe est mise en cause étant donné que la plupart des associations des variétés avec le bigaradier sont sensibles au virus de la Tristeza (CTV) (Anonyme, 2004). En outre, la résistance de ce porte-greffe aux attaques de *phytophthora spp* se trouve également affectée sous des conditions de salinité du sol ou de l'eau d'irrigation (Benyahia H., 1998).

Devant cette situation, la recherche d'un porte-greffe de relais au bigaradier a été initiée par l'INRA depuis 1961 dans les différentes régions agrumicoles. En effet, sur la base des résultats de 16 années de recherche, le citrange Troyer et le mandarinier Cléopâtre ont favorisé une augmentation de la production et de la qualité des fruits (Nadori *et al* ., 1983a ,1983b et 1998). Or, il se trouve que le citrange Troyer présente une sensibilité vis-à-vis d'une autre maladie virale qui est l'exocortice et du calcaire (Benyahia *et al* ., 2011). Devant cette situation, de nouveaux porte-greffes ont été introduits depuis 1994 et des nouveaux essais ont été installés dans les différentes régions agrumicoles du Maroc (Benyahia *et al* ., 2011). Ces résultats de recherches, en termes de sélection de porte-greffes d'agrumes adaptés pour chaque région, vont induire une mutation du profil du matériel végétal des nouveaux vergers d'agrumes. Afin de finaliser le processus de sélection des porte-greffes révélant des performances en termes de production et de la qualité (interne et externe) des fruits et d'adaptation aux conditions édapho-climatiques, leur évaluation sur l'utilisation des éléments nutritifs en particulier l'azote (N) est d'une importance capitale. Parmi les éléments nutritifs, l'azote joue un rôle primordial sur la croissance et le développement de la plante, sur la production des branches, des feuilles et des fruits. C'est un constituant essentiel de la chlorophylle, des protéines, des hormones de croissance et d'enzymes et une composante importante pour la production de fruits (Huett, 1996; Smara et Arora, 1997). L'azote représente environ 80% des éléments minéraux totaux absorbés par les plantes (Marschner, 1995).

Plusieurs travaux de recherche ont mis en évidence que l'élévation de l'azote augmente la surface foliaire, le volume de la frondaison, la hauteur de la tige, la biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne des plantes, le rendement et la qualité des fruits chez plusieurs variétés d'agrumes (Maust et Williamson. 1991; Syvertsen et Smith 1995 ; Quaggio *et al* . 2004 ; Ouma G. B. 2006 ; Schafer *et al* . 2008).

Chez les agrumes , le porte-greffe a un effet très significatif sur la croissance, la résistance à certaines maladies (comme la Phytophtora et le virus de la Tristiza), le rendement, la qualité et sur la composition des éléments nutritifs dans les feuilles de plusieurs variétés d'agrumes (Smith *et al* ., 1948 ; Vanderweyen, 1974, Kunwar et singh 1983; Nadori *et al* .,1988; Syvertsen and Smith 1995; Zekri 1996; Benyahia 1998; Iqbal *et al* . 1999; Al Jaleel et Zekri 2002; Esposti *et al* . 2003 ; Quaggio *et al* . 2004; Morgon *et al* . 2006; Ouma G. B. 2006; Hafez O.M. 2006; Sorgona *et al* . 2007; Waqar *et al* . 2007; Toplu *et al* . 2008; Schafer *et al* . 2008; Shaban et Mohsen 2009; Toplu et Uygur 2010; Cantuarias-Alvis *et al* . 2010). Egalement, le porte-greffe a un effet hautement significatif sur le statut minéral des feuilles d'agrumes (Kunwar et Singh, 1983). Ces chercheurs ont montré que le porte-greffe a une influence sur l'absorption et la translocation des éléments minéraux chez les agrumes. Ce qui montre une grande sélectivité des porte-greffes dans l'absorption des éléments nutritifs. La connaissance des performances des porte-greffes d'agrume de remplacement au bigaradier en termes de l'utilisation d'azote est primordiale. Ces informations aident au choix du matériel végétal valorisant les intrants comme l'azote et assurant la production et la qualité des fruits d'agrumes. De ce fait, des essais préliminaires de l'évaluation de l'effet de la dose d'azote sur les porte-greffes d'agrumes est d'une importance capitale.

L'objectif du présent travail est d'évaluer l'effet de la fertilisation azotée sur la production de biomasse, la croissance, la teneur en chlorophylle et en azote chez quelques porte-greffes d'agrumes. En plus, cette étude vise à déterminer la dose optimale en azote et d'identifier les porte-greffes les plus performants en termes de l'utilisation d'azote, afin de permettre une production des plants d'agrumes d'une bonne qualité prête à être greffée.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal et conduite des traitements : Six porte-greffes d'agrumes, introduite comme remplacement au bigaradier au Maroc, ont été utilisés : citrange Carrizo, citrange C35, *Citrus volkameriana B2 28613*, *Citrus macrophylla,* Citrumelo 4475 AB6 A4 et le bigaradier (*Citrus aurantium L.*). L'expérimentation a été conduite sous serre au niveau du Domaine Expérimental El Menzeh (INRA-kenitra), pendant trois mois (Juin-Juillet et Aout 2011). Les semences ont été récoltées de la collection du germplasm et du parc semencier des agrumes du Domaine Expérimental El Menzeh (INRA-Kenitra). Les semences ont été stérilisées par submersion dans la solution d'hypochlorite de sodium 15% pendant 15min et rincées à l'eau distillée. Le semis a été effectué en janvier 2011 dans des bassins de germination (germoirs) composés de 100% de tourbe. Après germination, les plantules homogènes ayant 3 à 4 feuilles ont été repiquées en avril 2011 dans des pots en plastique de 3L de volume dans un substrat composé essentiellement d'un sol sableux qui provient de sous-sol (30 cm de profondeur) des parcelles incultes du Domaine Expérimental El Menzeh présentant un pH (eau) de 5.25, pH (KCl 1 N) de 4.93 et contenant 0.91% de matière organique, 6.48 ppm de P_2O_5, 36.14 ppm de K_2O, 0.2ppm de Cu, 21.18 ppm de Fe, 3.06 ppm de Mn et 2.2 ppm de Zn. Les températures maximales moyennes pendant ces trois mois (Juin-Juillet et Aout 2011) ont été respectivement de (25.16, 28.52 et 32.37°C) et les températures minimales respectivement de (15.04, 18.93 et 19.29°C). Les porte-greffes sont laissés pour une période d'adaptation de 1 mois. Le dispositif expérimental adopté est un split-plot à trois répétitions avec le facteur dose d'azote à quatre niveaux (T_1, T_2, T_3 et T_4) dans les grandes parcelles et le facteur porte-greffe à six niveaux (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 et P_6) dans les petites parcelles. La conduite de l'essai consiste à apporter les doses d'azote à partir de la solution nutritive modifiée de Hoagland et Arnon (1950), décrite par Sorgona *et al* ., (2007) [2,5 mM K_2SO_4, 2 mM $MgSO_4$, 1 mM KH_2PO_4, 10% micro-éléments, 10% Fe-EDTA]. Les concentrations des doses appliquées de l'azote correspondent à celles recommandées par Sorgona *et al* . (2007). Les concentrations des doses appliquées de l'azote sont : T1 (0 mM de N), T2 (1 mM de N), T3 (5 mM de N) et T4 (10 mM de N) pour chaque porte-greffe. Les différentes doses d'azote ont été appliquées une fois par semaine sur une période de 3 mois (90 jours) à raison de 0,5 litre par pot.

Les mesures effectuées

Paramètres morphologiques : À la fin de l'expérience, pour chaque porte-greffe et traitement, les racines et les feuilles ont été séparées de la tige. La longueur finale de la tige a été mesurée à la fin de l'expérimentation au moment de l'arrachage. La biomasse fraîche totale et celle des parties aériennes et radiculaires ont été déterminées par pesée immédiatement après l'arrachage. La biomasse sèche totale des différents organes (feuilles(PSF) et racines(PSR)) a été déterminée après passage à l'étuve à 80°C durant 48 h. Ensuite, pour déterminer la surface foliaire formée, on a choisi aléatoirement trois feuilles par plants. Ainsi, la surface foliaire (S) est déterminée selon la formule décrite par Bezzala, 2005:

$$S = (\pi * a * b)/4$$ (Avec : a : la longueur de limbe et b : la largeur de limbe en (cm)).

Ainsi, la surface foliaire totale (SFT), est déduite selon la formule suivante :

SFT = S × nombre moyen des feuilles par plant.

Paramètres physiologiques

Le contenu relatif en eau (CRE) : Une feuille par porte-greffe et par traitement a été coupée avec son pétiole et pesée immédiatement pour déterminer le poids frais (P_f). Ces feuilles sont mises dans l'eau distillée (pétiole submergé) à l'obscurité pendant 24h puis pesées de nouveau pour obtenir le poids à saturation (P_{sat}). Ensuite, les échantillons sont mis à l'étuve pendant 24h à 80°C, le poids sec (P_{sec}) est ainsi obtenu. La teneur relative en eau est calculée selon la formule suivante :

$$RWC (\%) = 100* (P_f - P_{sec})/ (P_{sat}-P_{sec}).$$

Paramètres biochimiques

Dosage des sucres solubles totaux des feuilles : Pour le dosage des sucres solubles totaux, nous avons utilisé la méthode de Dubois *et al* . (1956)**.** Les valeurs obtenues sont converties en teneur en mg sucre soluble totaux /gMF selon l'équation de la courbe d'étalon :

Y= 4.3918* X- 0.194 (Y étant la teneur en sucres solubles totaux (mg /gMF), X est la densité optique)

.

Dosage de la concentration en chlorophylle totale des feuilles : Pour doser la concentration foliaire en chlorophylle, nous avons utilisé la méthode d'Arnon (1949) décrite par Esposti *et al .,* (2003). Ainsi, la teneur en chlorophylle est calculée à l'aide de l'équation suivante :

Ch total (mg/l) = (20.2*DO645) + (8.02*DO663).

La teneur des feuilles en azote : Une fois prélevées, les feuilles sont lavées avec de l'eau distillée, séchées dans une étuve, à une température de 60 à 65°C pendant 3 jours et broyées ensuite à l'aide d'un broyeur. Les broyats des feuilles ainsi obtenus ont été analysés pour la détermination de la teneur en azote selon la méthode Kjeldahl.

Analyses statistiques : L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée en utilisant la procédure GLM du logiciel statistique SAS (SAS Institute Inc., NC, USA. version 9). Deux facteurs de classification ont été utilisés, le facteur : dose d'azote et le facteur : porte-greffes. La comparaison des moyennes est faite par le test du Duncan.

RESULTATS

Effet de la dose d'azote sur les paramètres morphologiques

Effet de la dose d'azote sur la croissance en hauteur de la tige des porte-greffes d'agrumes : L'analyse des résultats relatifs à l'effet de la dose d'azote sur la longueur finale de la tige montre l'existence d'un effet significatif de traitement (P=0.0223) et un effet très hautement significatif du porte-greffe (P<0.0001). Cependant, aucune interaction significative n'est observable entre les porte-greffes et les traitements (P=0.2940). La hauteur de la tige augmente avec l'augmentation de la dose d'azote appliquée de 0 à 5mM, mais à partir de la dose 10 mM de N (T4) la croissance en hauteur de la tige a connu une chute remarquable. Les valeurs les plus élevées de la hauteur de la tige ont été notées chez les plants ayant reçu la dose 5 mM de l'azote avec une valeur moyenne de 29,61cm (tous les porte-greffes confondus). Par contre la hauteur la plus faible est enregistrée sous la dose T4 (10 mM d'azote) qui est de l'ordre de 19,59cm (Tableau N° 1). La comparaison des moyennes a permis de distinguer trois groupes homogènes des traitements. Les traitements T3 (5 mM d'azote) et T2 (1 mM d'azote) constituent le premier groupe avec une hauteur de la tige de 29.61cm et 27.16cm respectivement. Par ailleurs, les traitements T1 (24.48 cm) et T4 (19.59 cm) forment chacun un groupe à part (Tableau N° 1).

Tableau 1: Effet de la dose d'azote sur la hauteur de la tige, le poids sec des feuilles et le poids sec et frais radiculaire (tous porte-greffes confondus).

Traitements	Hauteur de la tige (cm)	le poids sec des feuilles (g)	Poids frais radiculaire (g)	Poids sec radiculaire (g)
T1:(0 mM de N)	24,48±1.70^{ab}	0,68±0.08^{a}	1,94±0.21^{ab}	0,59±0.06^{ab}
T2:(1 mM de N)	27,16±1.51^{a}	0,68±0.07^{a}	2,29±0.29^{a}	0,67±0.06^{a}
T3:(5 mM de N)	29,61±1.49^{a}	0,71±0.08^{a}	2,55±0.23^{a}	0,71±0.06^{a}
T4:(10 mM de N)	19,59±1.39^{b}	0,44±0.06^{a}	1,36±0.17^{b}	0,45±0.05^{b}

Les porte-greffes *Citrus macrophylla, Citrus volkameriana B2 28613 et* Citrumelo 4475 AB6 A4 ont montré des hauteurs de la tige les plus élevées alors que la valeur la plus faible est observée chez citrange Carrizo, citrange C35 B6A11 et le bigaradier (*Citrus aurantium L.)* (Tableau N° 2). La comparaison des moyennes a permis de distinguer cinq groupes homogènes des porte-greffes, dont le *Citrus macrophylla* et *Citrus volkameriana B2 28613* constitue le premier groupe avec des valeurs comprises entre 30.68 cm et 29.58 cm respectivement. Le deuxième groupe est composé de Citrumelo 4475 AB6 A4 avec 28.79 cm, le citrange Carrizo avec 25.31 cm forme le troisième groupe, le quatrième groupe est composé de

citrange C35 B6A11 avec 23.75 cm, et finalement le bigaradier (*Citrus aurantium L.)* constitue le dernier groupe avec une hauteur moyenne de l'ordre de 13.16 cm (Tableau N°2).

Tableau 2: Effet du porte-greffe sur la hauteur de la tige, le poids sec des feuilles et le poids sec et frais radiculaire (toute doses confondues).

Porte-greffes	Hauteur de la tige (cm)	le poids sec des feuilles (g)	Poids frais radiculaire (g)	Poids sec radiculaire (g)
Citrus volkameriana B2 28613	29,58±2.01a	0,85±0.12a	3,09±0.40a	0,82±0.09a
Citrumelo 4475 AB6 A4	28,79±1.55ab	0,86±0.09a	2,75±0.23a	0,85±0.07a
Citrus macrophylla	30,68±1.64a	0,68±0.10ab	1,77±0.22b	0,48±0.05b
citrange C35 B6A11	23,75±1.46c	0,45±0.04c	1,69±0.25b	0,50±0.06b
citrange Carrizo	25,31±1.98bc	0,56±0.06bc	1,69±0.18b	0,55±0.03b
Bigaradier (*Citrus aurantium)*	13,16±0.82d	0,37±0.05c	1,24±0.13b	0,43±0.04b

Effet de la dose d'azote sur la biomasse des plants des porte-greffes d'agrumes : L'analyse de la variance de la biomasse fraîche et sèche de différents organes des plants d'agrumes a permis de déceler un effet très hautement significatif du porte-greffe sur le poids frais et sec foliaire, de la tige et des racines des plants. Alors que, le poids frais et sec de la partie radiculaire est affecté en plus du porte-greffe par un effet significatif du traitement.

Effet de la dose d'azote sur le poids frais et le poids sec foliaire : L'analyse de la variance relative aux poids frais et poids sec foliaire a mis en évidence l'effet très hautement significatif du porte-greffe sur la biomasse fraîche et sèche foliaire (P<0.0001) et aucun effet significatif du traitement pour le poids frais (P=0.0616) et sec (P=0.1291) foliaire. Egalement aucune interaction significative entre les porte-greffes et les traitements n'a été révélé pour le poids sec foliaire (P=0.0510). Cependant, un effet significatif de l'interaction traitement X porte-greffes pour le poids frais foliaire a été détecté (P=0.0472). Le poids frais et sec augmente de plus en plus avec l'accroissement de la dose d'azote de 0 à 5mM. Mais, à 10 mM de l'azote, on remarque bien une réduction de la biomasse fraîche et sèche foliaire (Tableau N° 1 et 3).

Tableau 3: Effet de la dose d'azote sur le poids frais moyen (g) des feuilles des porte-greffes d'agrumes.

	Traitements en (mM de N)			
Porte-greffes	**T1 (0 mM)**	**T2 (1 mM)**	**T3 (5 mM)**	**T4 (10 mM)**
Citrus volkameriana B2 28613	2.84±1.01^{a*}	3.39±0.55^{a}	4.59±0.26^{a}	0.89±0.05^{b}
Citrumelo 4475 AB6 A4	2.97± 0.64^{a}	3.01± 0.85^{ab}	2.17±0.13^{b}	2.64± 0.37^{a}
Citrus macrophylla	2.82± 0.31^{a}	3.05± 1.05^{ab}	2.16±0.79^{b}	0.83± 0.02^{b}
citrange C35 B6A11	1.27±0.10^{a}	1.79± 0.26^{ab}	2.18±0.50^{b}	1.20± 0.32^{b}
citrange Carrizo	2.33±0.47^{a}	1.83± 0.30^{ab}	1.59±0.14^{b}	1.38± 0.45^{b}
Bigaradier (*Citrus aurantium L.)*	1.33± 0.58^{a}	1.26± 0.45^{b}	1.71±0.48^{b}	0.50± 0.18^{b}
P	0.2134	0.0882	0.0138	0.0036

En effet, pour le poids frais foliaire les valeurs les plus élevées ont été enregistrées chez le *Citrus volkameriana* B2 28613 sous les traitements T2 (1 mM de N) et T3 (5 mM de N). Ces valeurs sont respectivement d'ordre de 3.39 et 4.59g. Par ailleurs, le Citrumelo 4475 AB6 A4 sous la dose T1 (0 mM de N) et T4 (10 mM de N) présente le poids frais le plus élevé des feuilles avec des valeurs de 2.97 et 2.64g respectivement (Tableau N° 3). Les valeurs les plus faibles du poids frais ont été observées chez le citrange C35 B6A11 (1.27g) sous le traitement T1 (0 mM de N) et chez le citrange Carrizo (1.59g) sous la dose T3 (5mM de N). Sous les traitements T2 (1 mM de N) et T4 (10 mM de N) le poids frais foliaire minimal est observé chez le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) dont les valeurs sont de l'ordre de 1.26 et 0.50 g respectivement (Tableau N°3). La matière sèche foliaire la plus élevée a été enregistrée sous la dose 5 mM de l'azote (T3) (0.71g) (Tableau N° 1). Le poids sec des feuilles est influencé par le porte-greffe. En

effet, la comparaison de moyenne a permis la distinction entre quatre groupes. La valeur la plus élevée a été observée chez les porte-greffes *Citrus volkameriana B2 28613* et Citrumelo 4475 AB6 A4 qui constitue le premier groupe avec un poids moyen de 0.85 et 0.86g respectivement. Le *Citrus macrophylla* (0.68g) forme le deuxième groupe et le troisième groupe est présenté par le citrange Carrizo (0.56g). La valeur la plus faible a été observée chez les porte-greffes citrange C35 B6A11 (0.45g) et le bigaradier (*Citrus aurantium L.)* (0.37g) formant le dernier groupe (Tableau N°2).

Effet de la dose d'azote sur le poids frais et sec de la partie radiculaire : L'analyse des résultats relatifs au poids frais et poids sec des racines des porte-greffes d'agrumes a révélé que ces deux paramètres augmentent avec l'accroissement de la dose d'azote puis ils diminuent de moitié en appliquant la dose 10 mM de l'azote (Tableau N° 1). En effet, l'analyse de la variance a montré l'existence d'un effet significatif du traitement sur le poids frais (P=0.0128) et sec (P=0.0231) de la partie radiculaire, d'une part, et un effet très hautement significatif du porte-greffe sur ces deux paramètres d'autre part (P<0.0001).Toutefois, aucune interaction significative n'est observable entre les porte-greffes et les traitements sur la biomasse fraiche (P=0.0667) et sèche (P=0.1598) des racines. En effet, la comparaison des moyennes a dévoilé que le poids frais et sec des racines enregistrés sous les deux traitements T2 (1 mM de N) et T3 (5 mM de N) ne sont pas différents statistiquement. Le poids frais et sec radiculaire le plus faible a été enregistré sous le traitement T4 (10 mM de N) avec des valeurs de 1.36 et 0.45g respectivement (Tableau N° 1).

La comparaison des moyennes nous a permis de distinguer entre deux groupes homogènes des porte-greffes. Les porte-greffes qui ont montré les valeurs les plus élevées du poids frais radiculaire et qui constitue le premier groupe homogène sont : le *Citrus volkameriana* B2 28613 et Citrumelo 4475 AB6 A4 avec un poids respectivement de 3,09g et 2,75g. Le deuxième groupe est composé de *Citrus macrophylla*, citrange C35 B6A11, citrange Carrizo (respectivement 1,77, 1,69 et 1,69 g). Cependant, le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) représente le poids frais le plus faible dont la valeur est de l'ordre de 1.24g (Tableau N° 2). En ce qui concerne le poids sec radiculaire, la comparaison des moyennes a distingué entre deux groupes homogènes de porte-greffes. Ainsi, les porte-greffes Citrumelo 4475 AB6 A4 et *Citrus volkameriana* B2 28613 ont produit de la matière sèche radiculaire statistiquement égale (respectivement 0.85 et 0.82g) (Tableau N° 2). Le *Citrus macrophylla*, citrange C35 B6A11, citrange Carrizo et le bigaradier (*Citrus aurantium L.)* forment le deuxième groupe avec un poids qui varie entre 0.55 et 0.43g. Par contre, le poids sec des racines le plus faible est enregistré chez le bigaradier (*Citrus aurantium L.)* (0.43g) (Tableau N° 2).

Tableau 4 : Effet de la dose d'azote sur la surface foliaire totale (SFT) en (cm²) des porte-greffes d'agrumes.

	Traitements en (mM de N)			
Porte-greffes	**T1 (0 mM)**	**T2 (1 mM)**	**T3 (5 mM)**	**T4 (10 mM)**
Citrus volkameriana B2 28613	502.6±117.88^{a*}	574.3± 45.02^{a}	384.8±53.35^{b}	104.9±8.53^{bc}
Citrumelo 4475 AB6 A4	314.46±63.34^{b}	248.04±13.12^{b}	477.57±55.04^{a}	307.20±14.50^{a}
Citrus macrophylla	320.41±25.73^{b}	291.58±35.35^{b}	375.71±38.91^{b}	110.75±32.28^{b}
citrange C35 B6A11	107.24±25.99^{c}	213.83±27.66^{b}	147.74±23.59^{c}	82.50±11.74^{bc}
citrange Carrizo	149.20±23.14^{c}	181.09±27.27^{b}	214.57±17.32^{c}	121.96±25.88^{b}
Bigaradier (*Citrus aurantium L.)*	143.17±35.20^{c}	224.96±43.89^{b}	195.92±42.77^{c}	42.25±11.86^{c}
P	0.0016	0.0001	<0.0001	<0.0001

Effet de la dose d'azote sur la surface foliaire totale (SFT) : La surface foliaire totale augmente d'une façon progressive avec l'augmentation de la dose d'azote de 0 à 5 mM, pour connaître une chute notable à la dose 10 mM d'azote chez la plupart des porte-greffes. L'analyse de la variance relative à ce paramètre a dévoilé un effet hautement significatif du traitement (P=0.0060), et un effet très hautement significatif du porte-greffe (P<0.0001) et de l'interaction traitement X porte-greffe (P<0.0001). La comparaison de moyenne, a permis de distinguer entre plusieurs groupes homogènes de porte-greffes au sein de chaque traitement. Le *Citrus volkameriana* B2 28613 a montré la surface foliaire la plus élevée de l'ordre de 502.6 et

574.3 cm^2 respectivement sous les traitements T1 (0 mM de N) et T2 (1 mM de N) contre la valeur la plus faible chez le citrange C35 B6A11 (107.24 cm^2) et le citrange Carrizo (181.09 cm^2) sous les mêmes traitements (Tableau N°4). Sous les traitements T3 (5 mM de N) et T4 (10 mM de N), la surface foliaire la plus élevée a été observée chez le Citrumelo 4475 AB6 A4 (477.57 cm^2 et 307.20 cm^2) et le minimum est chez le citrange C35 B6A11 (147.74 cm^2) et le bigaradier (*Citrus aurantium L.)* (42.25 cm^2) (Tableau N°4).

Effet de la dose d'azote sur les paramètres physiologiques

Effet de la dose d'azote sur le Contenu Relatif en Eau (CRE) : L'analyse de la variance a détectée un effet hautement significatif de traitement (P=0.0035), de porte-greffe (P=0.0029) et de l'interaction traitement X porte-greffe (P=0.0054). La comparaison des moyennes a permis de distinguer entre différents groupes homogènes de porte-greffes et de traitements. D'ailleurs, les valeurs les plus faibles ont été observées sous les traitements T3 (5 mM de N) et T4 (10 mM de N) chez le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) (84.23 %) et (38.26 %) respectivement. Alors que, sous la dose 0 mM de N, le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) a enregistré un pourcentage qui est de l'ordre de 78.19 %. Le *Citrus macrophylla* a enregistré le CRE le plus faible (84.66 %) sous la dose 1mM de N (T2) (Tableau N° 5).

Tableau 5: Effet de la dose d'azote sur le Contenu Relatif en Eau (CRE) (%) des porte-greffes d'agrumes.

	Traitements en (mM de N)			
Porte-greffes	**T1 (0 mM)**	**T2 (1 mM)**	**T3 (5 mM)**	**T4 (10 mM)**
Citrus volkameriana B2 28613	90.48±2.57[a]*	84.93±4.88[a]	91.69±2.38[a]	82.62±4.23[a]
Citrumelo 4475 AB6 A4	88.74±1.95[a]	88.14±2.06[a]	88.87±0.62[ab]	89.96±0.73[a]
Citrus macrophylla	87.393±3.24[a]	84.66±6.52[a]	91.80±0.25[a]	83.26±7.36[a]
citrange C35 B6A11	82.16±6.25[a]	86.78±3.02[a]	90.35±0.39[ab]	71.09±5.03[a]
citrange Carrizo	83.01±6.38[a]	89.83±0.89[a]	90.32±0.15[ab]	68.17±1.49[a]
Bigaradier (*Citrus aurantium L.)*	78.19±6.96[a]	91.76±0.46[a]	84.23±4.95[b]	38.26±18.03[b]
P	0.5527	0.7780	0.2104	0.0191

Egalement, les porte-greffes *Citrus* volkameriana B2 28613 (90.486 %), bigaradier (*Citrus aurantium L.*) (91.76 %), *Citrus macrophylla* (91.809 %) et Citrumelo 4475 AB6 A4 (89.964%) ont montré les pourcentages les plus élevés du Contenu relatif en eau respectivement sous les traitements T1, T2, T3 et T4 (Tableau N° 5).

Effet de la dose d'azote sur les paramètres biochimiques

Effet de la dose d'azote sur la teneur en sucres solubles totaux : Pour ce qui est de l'effet de la dose d'azote sur la teneur en sucres solubles totaux au sein de cet essai, l'analyse de la variance a permis de déceler un effet très hautement significatif du traitement (P<0.0001), du porte-greffe (P<0.0001) et de l'interaction traitement X porte-greffe (P<0.0001). Par ailleurs, la comparaison de moyenne a montré que la dose 5 mM d'azote constitue le traitement qui a enregistré la valeur la plus élevée de ce paramètre d'ordre de 2.22 µg de SST /g MF chez le citrange Carrizo, alors que sous les doses (0 mM et 1mM de N) les valeurs les plus élevées sont enregistrées par le Citrus volkameriana B2 28613 (0.73 et 0.80µg de SST /g MF respectivement). Le Citrumelo 4475AB6A4 a montré la teneur la plus élevée en sucre, de 0.76µg /g MF sous le traitement T4 (10 mM de N) (Tableau N° 6). La teneur la plus faible est observée chez le citrange C35 B6A11 (0.44µg de SST /gMF) et citrange Carrizo (0.34µg de SST /g MF) sous les traitements T1 et T2. Le *Citrus volkameriana* B2 28613 a marqué sous le traitement T3 la valeur la plus faible qui est de 0.66µg de SST/gMF. Sous la dose 10 mM d'azote, c'est le bigaradier (*Citrus aurantium* L.) qui a noté la valeur minimale de la teneur en sucre (0.08µg de SST/gMF) (Tableau N°6).

Tableau 6: Effet de la dose d'azote sur la teneur en sucre soluble totaux (µg de SST/ g de matière fraiche (MF)) des porte-greffes d'agrumes.

	Traitements en (mM de N)			
Porte-greffes	**T1 (0 mM)**	**T2 (1 mM)**	**T3 (5 mM)**	**T4 (10 mM)**
Citrus volkameriana B2 28613	0.73±0.01[a]*	0.79±0.01[a]	0.66±0.07[e]	0.48±0.01[b]
Citrumelo 4475 AB6 A4	0.56±0.01[b]	0.34±0.01[d]	1.04±0.03[d]	0.76±0.04[a]
Citrus macrophylla	0.57±0.08[b]	0.51±0.05[c]	1.34±0.01[c]	0.51±0.01[b]
citrange C35 B6A11	0.44±0.02[c]	0.63±0.01[b]	2.01±0.01[b]	0.48±0.05[b]
citrange Carrizo	0.63±0.01[b]	0.34±0.03[d]	2.22±0.01[a]	0.49±0.02[b]
Bigaradier (*Citrus aurantium L.)*	0.54±0.02[b]	0.76±0.01[a]	0.97±0.06[d]	0.08±0.01[c]
P	0.0008	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Effet de la dose d'azote sur la concentration de la chlorophylle totale au niveau des feuilles des porte-greffes : L'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif du traitement (P<0.0001), du porte-greffe (P<0.0001) et de l'interaction traitement X porte-greffe (P<0.0001) sur la teneur des feuilles en chlorophylle totale. La comparaison des moyennes a permis de distinguer entre des groupes homogènes de porte-greffes et de traitements. En outre, il s'est avéré que la dose 5 mM de N constitue le traitement qui a enregistré la valeur la plus élevée de ce paramètre qui est de l'ordre de 11.06 mg/ l chez le *Citrus macrophylla* (Tableau N° 7). Le citrange C35 B6A11 a enregistré la teneur en chlorophylle la plus élevée (varie entre 9.30mg/l dans le traitement T2 et 7.23mg/l dans le traitement T4). Alors que, sous le traitement T1, la valeur la plus élevée est notée pour le citrange Carrizo (8.16mg/l) (Tableau N° 7). La teneur la plus faible est observée chez le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) sous les deux traitements T3 et T4 (respectivement 5.13 et 2.45 mg/ l) (Tableau N° 7). Le *Citrus volkameriana B2 28613* a enregistré la valeur la plus faible en chlorophylle totale sous la dose T1 (5.22 mg/l). Le Citrumelo 4475 AB6 A4 a accumulé la teneur la plus faible de la chlorophylle sous les traitements T2 (7.99 mg/l) (Tableau N°7).

Tableau 7: Effet de la dose d'azote sur la concentration de la chlorophylle totale (mg/l) des feuilles des porte-greffes d'agrumes.

	Traitements en (mM de N)			
Porte-greffes	**T1 (0 mM)**	**T2 (1 mM)**	**T3 (5 mM)**	**T4 (10 mM)**
Citrus volkameriana B2 28613	5.21±0.05[f] *	8.11±0.03[dc]	8.74±0.08[e]	4.21±0.04[e]
Citrumelo 4475 AB6 A4	6.82±0.02[e]	7.99±0.01[d]	10.86±0.02[b]	5.22±0.01[d]
Citrus macrophylla	7.36±0.02[d]	8.82±0.04[b]	11.06±0.01[a]	7.01±0.01[b]
citrange C35 B6A11	7.92±0.03[b]	9.30±0.20[a]	8.92±0.01[d]	7.23±0.02[a]
citrange Carrizo	8.16±0.06[a]	9.27±0.09[a]	9.18±0.10[c]	6.90±0.02[c]
Bigaradier (*Citrus aurantium L.)*	7.51±0.01[c]	8.44±0.11[c]	5.12±0.04[f]	2.44±0.01[f]
P	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Effet de la dose d'azote sur la teneur en azote : La teneur des feuilles en azote est nettement influencée par la dose d'azote et par le porte-greffe. En effet, l'analyse de la variance a révélé qu'il y a un effet significatif du traitement (P=0.0342) et un effet très hautement significatif de porte-greffe (P=0.0007) et de l'interaction traitement X porte-greffes (P=0.0011). Sous le traitement T1 (0 mM de N), la teneur des feuilles en azote la plus élevée a été enregistrée chez les feuilles de Citrumelo 4475 AB6 A4 (3.417%). Le citrange C35 B6A11 a présenté sous la dose 10 mM (T4) une teneur de 3.69%. Par ailleurs, le *Citrus macrophylla* avec 4.18% et le *Citrus volkameriana* B2 28613 avec (4.02%) présentent la teneur la plus élevée des feuilles en azote sous les traitements T2 (1 mM de N) et T3 (5 mM de N) respectivement (Tableau N° 8). Toutefois, les valeurs les plus faibles de ce paramètre sont enregistrées chez le *Citrus volkameriana B2 28613* (2.547% et 2.83%) respectivement sous les traitements T1 (0 mM de N) et T4 (10 mM de N). Les

feuilles de Citrumelo 4475 AB6 A4 avec 2.89% sous la dose 1 mM d'azote et le citrange Carrizo avec 3.31% sous la dose 5 mM d'azote ont enregistré des teneurs faibles en azote (Tableau N° 8).

Tableau 8 : Effet de la dose d'azote sur la teneur des feuilles des porte-greffes d'agrumes en azote (%).

	Traitements en (mM de N)			
Porte-greffes	**T1 (0 mM)**	**T2 (1 mM)**	**T3 (5 mM)**	**T4 (10 mM)**
Citrus volkameriana B2 28613	2.54±0.03[c]*	2.91±0.05[b]	4.02±0.06[a]	2.83±0.31[c]
Citrumelo 4475 AB6 A4	3.41±0.02[a]	2.89±0.01[b]	3.81±0.07[ab]	2.95±0.17[bc]
Citrus macrophylla	3.27±0.01[ab]	4.18±0.70[a]	3.80±0.25[ab]	3.49±0.08[a]
citrange C35 B6A11	3.15±0.12[b]	3.16±0.10[b]	3.75±0.08[ab]	3.69±0.12[a]
citrange Carrizo	3.10±0.09[b]	3.29±0.03[ab]	3.31±0.26[c]	3.35±0.04[ab]
Bigaradier (*Citrus aurantium L.*)	3.31 ±0.17[ab]	3.18 ±0.09[b]	3.50±0.07[bc]	3.04±0.06[bc]
P	0.0001	0.0987	0.0285	0.0072

DISCUSSION

Dans notre étude, nous avons montré que la dose d'azote affecte significativement les paramètres de croissance des plants des porte-greffes d'agrumes. En outre, nous avons montré qu'il existe une variabilité au sein des porte-greffes vis-à-vis la réponse à la dose l'azote. Ainsi, les valeurs les plus élevées de la hauteur de la tige ont été notées chez les plants ayant reçus la dose 5 mM de l'azote et les porte-greffes *Citrus macrophylla, Citrus volkameriana* B2 28613 et Citrumelo 4475 AB6 A4 ont montré des hauteurs de la tige les plus élevées. Des résultats similaires ont été obtenus par Ouma G. B. (2006), qui a montré que la dose d'azote a un effet hautement significatif sur la croissance en hauteur des plants du porte-greffe d'agrume (Rough lemon). Cet auteur a mis en évidence que les plants d'agrumes ont répondu positivement à l'augmentation de la dose d'azote. En effet, la hauteur de la tige est passée de 44 à 65cm en augmentant la dose d'azote de 6 à 24 g. Egalement, les essais menés par Schafer *et al.* (2008) ont permis de mettre en évidence que le substrat qui contient le plus d'azote a conféré aux plants des porte-greffes d'agrumes la hauteur de la tige la plus élevée. Ainsi, la hauteur maximale de la tige a été observée chez le porte-greffe Orange Trifolié (15.63cm) et la plus faible est enregistrée sur la Lime Rangpur (10.01cm).

Le présent travail a montré que la biomasse fraîche et sèche répond positivement à l'augmentation de la dose d'azote. En effet, la biomasse fraîche la plus importante a été produite par le *Citrus volkameriana* B2 28613 sous les traitements T2 (1 mM de N) et T3 (5 mM de N). La biomasse sèche a été observée chez le *Citrus volkameriana B2 28613* et Citrumelo 4475 AB6. Ce résultat rejoint ce qui a été trouvé par les travaux de Maust et Williamson (1991), qui ont montré que la dose d'azote appliquée sur les plants d'agrumes en pépinière a un effet hautement significatif sur le poids sec de la partie aérienne et racinaire. En effet, la longueur des rameaux de la variété 'Hamline' greffée sur deux porte-greffes (mandarine Cléopâtre et citrange Carrizo) a répondu significativement à l'augmentation de la dose d'azote. Egalement, le poids sec maximal de la partie aérienne (32.312g/plant) est produit sous la dose 100 ppm et le poids sec radiculaire le plus élevé (19.70g/plant) est enregistré sur la mandarine Cléopâtre en appliquant la dose de 50 ppm. En outre, Esposti *et al.* (2003) ont établi une corrélation hautement significative entre la dose appliquée et la biomasse sèche foliaire de différents porte-greffes d'agrumes testés. Une autre expérience menée par Sorgona *et al.* (2007) a montré que la dose d'azote a un effet hautement significatif sur l'architecture des racines des porte-greffes d'agrumes. Ces chercheurs rapportent que tous les porte-greffes ont une réponse similaire à l'augmentation de la dose d'azote.

Dans notre travail, la surface foliaire totale des plants des porte-greffes d'agrumes est significativement affectée par la dose d'azote appliquée. Elle augmente d'une façon progressive avec l'augmentation de la dose d'azote de 0 à 5 mM, pour connaître une chute notable à la dose 10 mM d'azote chez la plupart des porte-greffes. Le *Citrus volkameriana* B2 28613 a montré la surface foliaire la plus élevée sous les traitements T1 (0 mM de N) et T2 (1 mM de N). Toutefois, la surface foliaire la plus faible a été enregistrée chez le bigaradier (*Citrus aurantium L.*). Ces résultats sont en

concordance avec ce qui est rapporté par différents auteurs qui montrent que l'application d'azote augmente la surface foliaire des plantes (Maust et Williamson. 1991 ; Syvertsen et Smith 1995 ; Quaggio *et al* . 2004 ; Ouma G. B. 2006 ; Schafer *et al* . 2008).

Les résultats obtenus dans notre étude ont montré que la dose d'azote affecte significativement le contenu relatif en eau (CRE). Les valeurs de ce paramètre augmentent avec la dose de l'azote de 0 à 5mM pour connaître une légère diminution en appliquant la dose 10 mM de l'azote. Les valeurs les plus faibles ont été observées sous les traitements T4 (10 Mm de N) chez le bigaradier (*Citrus aurantium L*.). Egalement, les porte-greffes *Citrus volkameriana* B2 28613, le bigaradier (*Citrus aurantium L.*) et le *Citrus macrophylla* ont montré les pourcentages les plus élevés du Contenu relatif en eau respectivement sous les traitements T1, T2, T3. Nos résultats rejoignent également ce qui a été obtenu par les travaux de Bonbada et Syvertsen (2003) conduits sur la mandarine Cléopâtre qui ont montré que l'azote affecte significativement la concentration en chlorophylle dans les feuilles de ce porte-greffe. En effet, l'augmentation de la dose d'azote a induit une augmentation de la concentration de la chlorophylle dans les tissus foliaires de la mandarine Cléopâtre. Les mêmes auteurs ont rapporté qu'une corrélation positive et hautement significative a été établie entre la dose d'azote appliquée et la concentration en chlorophylle totale des feuilles des plants de mandarine Cléopâtre.

Il ressort de cette étude que la teneur des feuilles des porte-greffes d'agrumes en sucres solubles totaux et en chlorophylle totale a été nettement affectée par la dose d'azote. En effet, nous avons dévoilé que l'augmentation de la dose d'azote a provoqué une élévation de ces paramètres dans les feuilles des plants d'agrumes. Ces derniers augmentent parallèlement avec l'accroissement de la dose de 0 à 5 mM. Toutefois, à 10 mM d'azote, elles ont connu une diminution très importante. Par ailleurs, nous avons révélé que la dose 5 mM d'azote constitue le traitement qui a enregistré la valeur la plus élevée de la teneur en sucres chez le citrange Carrizo. Sous la dose 10 mM d'azote, c'est le bigaradier (*Citrus aurantium* L.) qui a noté la valeur minimale de la teneur en sucre. En outre, il s'est avéré que la dose 5 mM de N constitue le traitement qui a enregistré la valeur la plus élevée de la teneur en chlorophylle chez le *Citrus macrophylla*. Le citrange C35 B6A11 a enregistré la teneur en chlorophylle la plus élevée sous le traitement T2 (1 mM) et T4 (10 mM). Néanmoins, la teneur en chlorophylle la plus faible est observée chez le bigaradier (*Citrus aurantium* L.) sous les deux traitements T3 (5 mM) et T4 (10 mM).

Une corrélation hautement significative a été établie entre la dose d'azote appliquée et la concentration en azote dans les tissus foliaires, la teneur en chlorophylle de différents porte-greffes d'agrumes (Esposti *et al* ., 2003). De même, il a été observé un 'effet de l'azote sur la structure des chloroplastes et la concentration de la chlorophylle totale dans les tissus foliaires des agrumes. En effet, l'augmentation de la dose d'azote a induit une élévation significative de la concentration de la chlorophylle totale dans les feuilles de la variété 'Hamlin' greffée sur le citrumelo Swingle. Ainsi, le passage de 0 à 218 g d'azote par arbre a provoqué une augmentation de la chlorophylle de 0.05 à 0.65 mmol par m² dans les feuilles de la variété 'Hamlin' (Bondada et Syvertsen, 2005).

D'autre part, nous avons remarqué dans notre étude la réduction des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques à des concentrations de 10 mM d'azote ceci pourrait être due à une augmentation du potentiel osmotique au niveau du sol ce qui pourrait se répercuter sur les paramètres de croissance. Dans ce sens, Chez la variété Orange Navelina, il a été rapporté que l'addition de 10 mM d'azote induit une diminution de la croissance suite à une augmentation du potentiel osmotique du sol (Romero-Aranda *et al* ., 1998). Dans de telle condition, le processus d'ajustement osmotique à fin que la plante maintient une turgescence cellulaire des feuilles fait intervenir l'accumulation de sucre et de la proline. Or de telle accumulation qui est un processus qui consomme de l'énergie au niveau cellulaire pourrait affecter la croissance de la plante et d'autres activités physiologiques (Yeo, 1983). Notre étude a mis en évidence que la teneur des feuilles des porte-greffes d'agrumes en éléments minéraux et principalement en azote est influencée par la dose d'azote appliquée avec une variabilité au sein des porte-greffes vis-à-vis de la dose d'azote. En effet, le *Citrus macrophylla* et le *Citrus volkameriana* B2 28613 présentent des teneurs plus élevées des feuilles en azote sous les traitements T2 (1 mM de N) et T3 (5 mM de N). Toutefois, les valeurs les plus faibles de ce paramètre sont enregistrées chez le *Citrus volkameriana* B2 28613 sous les traitements T1 (0 mM de N) et T4 (10 mM de N).

Nos résultats rejoignent également ce qui a été obtenu avec les recherches menées par plusieurs chercheurs,

qui ont permis de dévoiler que l'azote affecte la composition minérale des plantes plus que d'autres éléments nutritifs (Maust et Williamson. 1991 ; Syvertsen et Smith 1995 ; Quaggio *et al.* 2004 ; Ouma G. B. 2006 ; Schafer *et al.* 2008). Selon Hafez O.M. (2006), les porte-greffes d'agrumes ont montré une variabilité en termes d'absorption des éléments nutritifs. En effet, le bigaradier (Espagne) s'est montré le plus efficient en termes d'absorption d'azote (3.2% d'N) par rapport au *Citrus volkameriana* avec une teneur minimale en azote dans les feuilles (1.7% d'N). Ceci montre une grande sélectivité de ces porte-greffes vis-à-vis de l'absorption des éléments minéraux. A travers les études menées par Maust et Williamson (1991), ils ont démontré que la dose d'azote appliquée sur les plants d'agrumes affecte significativement la concentration de cet élément dans les tissus foliaires et radiculaires. En effet, la concentration la plus élevée de l'azote dans les feuilles (4.79%) et les racines (3.59%) est enregistrée sur la mandarine Cléopâtre et sous une dose de 200ppm d'azote.

CONCLUSION

L'augmentation de la dose d'azote de 0 à 5mM à induit une élévation de la plupart des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques et la teneur des feuilles en éléments minéraux (azote). Egalement, il ressort de notre étude que les porte-greffes étudiés diffèrent en termes de l'efficacité d'utilisation d'azote. Finalement, sur la base des résultats que nous avons obtenus, le *Citrus volkameriana B2 28613, Citrus macrophylla* et le Citrumelo 4475 AB6 A4 sont les porte-greffes les plus efficients en termes d'utilisation d'azote et la dose 5 mM d'azote s'est montrée la plus optimale pour la production de plants de porte-greffe performants et d'une bonne qualité pour le greffage des agrumes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Al Jaleel et Zekri 2002. Yield and Fruit quality of Olinda Valencia Trees grown on nine rootstocks in Saudi Arabia. Proc. Fla. State. Hort. Soc. N° 115. pp : 17-22.

Anonyme 2004. Lettre d'Information de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, n° : 19 Janvier – Février 2004.

Benyahia H., Ait Haddou M. M., Jrifi A. and Lamsettef Y. 2004. Effet de la salinité de l'eau d'irrigation sur la colonisation des racines des porte-greffes d'agrumes par *Phytophthora parasitica*. Fruits 59 (2004) 101-108.

Benyahia H., Beniken L., Omari F. E., Benazzouze A., Handaji N., Msatef Y. and Olitrault P. 2011. Evaluation of the resistance of few citrus rootstocks to alkalinity by applying a fast test of screening. African Journal of Agricultural Research Vol. 6(4), pp. 780-784.

Benyahia H. 1998. Effet de la salinité sur le développement de la pourriture racinaire des agrumes. Thése de 3 ème cycle. Université CADI AYAD, Faculté des sciences Semlalia Marrakech. 160 p.

Bezzala A. 2005. Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire. Magistère en Sciences Agronomiques. Option : Forêt et conservation des sols. Université El Hadj Lakhdar Faculté des Sciences -Batna. Algérie. 143p.

Bondada, B. R. et Syvertsen, J. P. 2003. Leaf chlorophyll, net gas exchange and chloroplast ultrastructure in citrus leaves of different nitrogen status. Tree Physiologie. N° 23. pp: 553-559.

Cantuarias-Alvis, T., Mourao-Filho, F.A.A., Stuchi, E.S., Rodrigues da Silva, S. et Espioza-Nunes, E. 2010. Tree performance and fruit yield and quality of "Okitsu" Satsuma mandarin grafted on 12 rootstocks. Scientia Horticulturae. N° 123. pp: 318-322.

Castle W.S., Tucker D.P.H., Kiezdorn A.H., Youtsey C.O., 1993. Rootstocks for Florida Citrus. University of Florida / Institute of Food and Agricultural Sciences / John T. Woeste. Dean For Extension.

Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebecs P.A., Smith F. 1956. Colorimetric method for détermination of sugars and related substances. Anal. Chem., 28 (3) : 350-356.

Esposti, M.D.D., Siqueira, D. L., Pereira, P.R.G., Venegas, V.H.A., Salomao, L.C.C. et Filho, J.A.M. 2003. Assessment of nitogenized nutrition of citrus rootstocks using chlorophyll

concentration in the leaf. Journal of Plant nutrition. Vol. 26. n°6. pp : 1287-1299.

Hafez O. M. 2006. Evaluation of growth characteristics of some citrus rootstocks using protein finger print technique. American-Eurasian J. Agricol Environ. Sci. Vol 1 n° 3. pp : 243-248.

Huett D.O.1996. Prospects for manipulating the vegetative –reproductive balance in horticultural crops though nitrogen nutrition : A review. Aust.J.Agric.Res.47 :47-66.

Iqbal S., Chandhary, M. I. et Anjum, M. A. 1999. Effect of various rootstocks on leaf mineral composition and productivity of Kinnow mandarine. International journal of Agriculture and biology. Vol. 1. n°3. pp: 91-93.

Kunawar, R. et Singh, R. 1983. The influence of different rootstocks on mineral composition of Srinagar mandarin (*citrus reticulata* Blanco) leaves. Journal of plant nutrition vol. 6 n° 5 pp : 405-412.

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic press London, P.889.

Maust B. E and Williamson, 1991. Nitrogen rate effect on growth of containerized citrus nursery plants. Proc. Fla. State. Hort. Sci. N° 104.pp : 191-195.

Morgon, K. T., Scholbery, J. M. S., Obreza, T. A. and Wheaton, T. A. 2006. Size, biomass and nitrogen relationships with sweet orange tree growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol 131, n°1 pp: 149-156.

Nadori EB, Ouammou M et Kayaf M, 1988. Comportement de trois clones de clémentinier sur différents porte-greffes. Al Awamia 64 pp : 44-54.

Nadori, E.B., M. Ouammou et M. Kayaf. 1983a : Comportement de trois clones de clémentinier sur différents porte-greffes. Proceeding of the 1st World Congress of the International Society of Citrus Nurserymen, Valencia, Spain, 4-10 December, 1983, pp.29-36.

Nadori, E.B., M. Ouammou et M. Kayaf. 1983b : Comportement du clémentinier Cadoux, de l'oranger Valencia late et du pomélo Shambar sur six porte-greffes. Proceeding of the 1st World Congress of the International Society of Citrus Nurserymen, Valencia, Spain, 4-10 December, 1983, pp.17-28.

Nadori., E.B., Ezzoubir, D., Benazzouz, A., Bouyemjane, M. et Stitou, M.1998. Comportement des clémentiniers Cadoux, Sidi Aissa et Ain Taoujdat sur différents porte-greffes en sol sableux. In : M. El-Otmani et A. Ait-Oubahou (eds), Nouveaux Acquis de la recherche en Agrumiculture, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Agadir, Maroc : 41-46.

Ouma, G.B. 2006. Growth responses of Rough Lemon (*citrus limon* L.) rootstock seedlings to different container sizes and nitrogen levels. Agricultura Tropica et subtropica. Vol 39. N°3 pp : 183-189.

Quaggio, J. A., Junior, D. M, Cantarella, H., Stuchi, E. S. and Sempionato, O.R. 2004. Sweet orange trees grafted on selected rootstocks fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. Pesq. Agropec. Bras. Brasilia. Vol 39. N° 1. pp : 55-60.

Romero-Aranda, R., Moya, J.L., Tadeo, F.R., Legaz, F., Primo-Millo, E., Talon, M., 1998. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. Plant Cell Environ. 21, 1243–1253.

Samra, J.S. et Arora, Y.K. 1997. Mineral nutrition In : The Mango, Botany, Production and Uses R.E Litz (Ed.) Cab international 198 Madison Avenue New York, USA.

Schafer, G., Dutra de Souza, P.V, Kaller, O.C. et Schwarz, S. F. 2008. Physical and chemical properties of substrates to cultivate seedlings of citrus rootstocks. Communication in Soil Science and Plan Analysis. N° 39 pp: 1067-1079.

Shaban, A.E.A. et Mohsen, A.T. 2009. Response of citrus rootstocks and transplants to biofertilizers. Journal of Horticultural Science and Ornemental plant. Vol. 1 n°2 pp: 39-48.

Smith, P. F., Reuther, W. et Specht, W. 1948. The influence of rootstock on the mineral composition of Valencia orange leaves. Plant Physiologiy n° pp455-461.

Sorgona, A, Abenavoli, P.G., Gringeri Lipini, A. et Cacco, G. 2007. Root architecture plasticity of citrus rootstocks in response to nitrate availability. Journal of plant nutrition. N° 30. pp: 1921-1932.

Syvertsen, J. P. and Smith, M.L. 1995. Nitrogen leaching, N uptake efficiency and water use from citrus trees fertilized at three N rates.

Proc. Fla. State hort. Soc. N° 108. pp: 151-155.

Toplu C., Kaplankrian, M., Demirkeser, T.H. et Yildiz, E. 2008. The effects of citrus rootstocks on valencia late and Rhode Red valencia orange for some plant nutrient elements. African. J. Biotechnol. Vol 7. N° 24 pp: 4441-4445.

Toplu, C. et Uygur, V. 2010. Leaf mineral composition of Nova, Robinson and Fermont mandarin cultivars on different rootstocks. Journal of Plant Nutrition. N°33. pp: 602-612.

Vanderweyen A. 1982. Contribution à l'étude de la gommose à Phytophthora des agrumes au Maroc, Univ. Nancy, thèse, Nancy, France, 160 p.

Waqar, A., Nawaz, M. A., Iqbal, M.A. and Khan, M.M. 2007. Effect of different rootstocks on plant nutriant stocks and yield in Kinnow mandarin (*citrus reticulata* Blanco). Pak. J. Bot. Vol. 39 n° 5. pp: 1779-1786.

Yeo, A.R.1983. Salinity resistance—physiologies and prices. Physio. Plant 58, 214–222.

Zekri Mong. 1996. Leaf mineral concentration, growth, yield, fruit quality and economics of ambersweet orange on two rootstocks. Proc. Fla. State hort. Soc. N° 109. pp: 92-96.