



sélection de porte-greffes d'amandier tolérant à la sécheresse

Oukabli A., Mekkaoui A., et Lahlou M.

*Unité de Recherche : Amélioration des Plantes et Conservation
des Ressources Phytogénétiques, CRRRA Meknes*

Oukabli2001@yahoo.fr

Résumé

La sélection d'un porte-greffe (PG) autochtone d'amandier performant, capable de tolérer la sécheresse et de donner des rendements intéressants en culture pluviale, devient une nécessité agronomique pour développer cette culture dans des régions fragilisées par l'aridité climatique. L'évaluation de 12 populations d'amandier amer et 4 d'amandier doux en tant que porte-greffe à multiplication par semis, précédemment prospectées dans un germoplasme local, a été entreprise sur cinq années consécutives. Les mesures effectuées sur la variété de base Marcona greffée sur ces porte-greffes, ont porté sur le déroulement des stades phénologiques, la croissance végétative, les relations hydriques de l'arbre avec son environnement, le rendement et les caractéristiques pomologiques des fruits. Les résultats obtenus ont montré que le débourrement, la floraison et les dates de chute des feuilles n'ont pas été influencés par la nature du porte-greffe. Les PG vigoureux ont induit une section du tronc plus importante (131 cm^2 avec le génotype O11) et un allongement moyen annuel de la pousse de 46 cm. Les surfaces foliaires les plus élevées (12 cm^2) ont été attribuées aux PG vigoureux. Le potentiel hydrique foliaire a différé selon les PG et les valeurs minimales ont atteint le seuil d'une plante xérophyte (-4 MPa). Les PG de faible vigueur ont exprimé des taux importants de mortalité liée à leur sensibilité à la sécheresse. Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les PG d'amandier amer, U8 (8,4 kg d'amande en coque par arbre) et le PG AT8 (7,4 kg/arbre) soit une efficacité respective de rendement de 81 et 61 g/ cm^2 . Le poids des amandes et des amandons ainsi que le rendement au concassage (23%) ont été plus importants chez les porte-greffes vigoureux. Le branchement et la profondeur du système racinaire seront explorés.

Mots-clés : Amandier - porte-greffe - sécheresse - tolérance – évaluation agronomique.

اختيار حامل طعم اللوز مقاوم للجفاف أقبلي أحمد- مكاوي عبد الرحمان- لطلو محمد

ملخص

يعد انتقاء حامل طعم جيد للوز يستطیع مقاومة الجفاف وإعطاء محصول جيد في ظروف مناخية جافة مع تساقطات ضعيفة وغير منظمة أصبحت ضرورة لتطوير هذا النوع من الزراعة في المناطق ذات مناخ شبه جاف وغير مستقر. تم تقييم 12 صنف من اللوز الحار و 4 من اللوز الحلو بمثابة حوامل للطعم. انتقأت هذه المادة النباتية مسبقا ووضعت في منبت محلي فتمت دراستها على مدى 5 سنوات متتالية. ان المقاييس التي أخذت على صنف ماركونا مطعمة على الأنواع المذكورة تمت دراستها بدءا من الكماخ والازهار مرورا بنمو الأغصان والعلاقة بين الشجرة ومحيطها المائي والمحاصل وصولا لخاصية الثمار. يجعلنا نستنتج أن الكماخ والأزهار ووقت تساقط الأوراق ليس له أي علاقة بنوعية حامل الطعم. وتعد حوامل الطعم القوية أحد العوامل التي تساعد على إنتاج جدع ذا مقطع مهم 131 (سم 2 عند الصنف) O11 وأغصان طويلة تصل في معدل نموها السنوي إلى 46 سم وأوراق كبيرة تصل مساحتها إلى 12سم². بينما يختلف وضع الماء على صعيد الأوراق من صنف لآخر حيث أن أدنى المقاييس تصل الى حد تكون فيه الشجرة في وضع حرج. (-4 MPa) بينما يعد حامل طعم ضعيف الهيئة أكثر تعرضا لإتلاف الأشجار بنسب مرتفعة نظرا لحساسيته للجفاف. إن المردودية المرتفعة لأشجار اللوز المطعمة على حامل طعم حار 8ص يمكنها أن تصل الى 8,4 كيلو من اللوز لكل شجرة بينما تصل على حامل الطعم AT8 الى 7,4 كيلو في الشجرة بقيمة إنتاجية تتراوح بين 81 و 61 غ /سم².

إن وزن حبات اللوز ونواتها المنتجة من الأشجار المطعمة على حامل طعم قوي تعد جد مهمة مع اختلاف النسب المئوية عند تقشيرها. (23%) قوة عروق حامل الطعم U8 و AT8 قد يمكنها من القيام بالمهام المطلوب لتغطية النقص الذي قد يحصل أثناء الجفاف الموسمي.

الكلمات المفتاحية: اللوز، حامل الطعم، مقاومة، الجفاف، التقييم الزراعي.

*Selection of almond root stocks tolerant to drought***Abstract**

Selection of local almond rootstocks tolerant to drought and high yielding under rainfed conditions, is mandatory for development of almond culture. The 12 better almond were prospected and selected within the local germplasm. Evaluation of seeding progenies from 12 bitter genotypes and 4 sweet almonds, as rootstock was carried out during 5 consecutive years. Observations recorded on the main variety 'Marcona' grafted on these different rootstocks, included phenological stages, vegetative growth, water trees relation with its environment, yield and pomological traits. Bud burst, blooming period and leaf fall dates were not influenced by the rootstock. Some rootstocks induced an important stem section amounting to 131 cm² for O11 and an average yearly shoot elongation of 46 cm. The most important leaf area (12 cm²) was attributed to vigorous rootstock. Foliar water potential differed statistically between rootstocks with, the minimal values of -4 MPa, similar to xerophytic plant. Rootstocks with low vigor were characterized by a high level of trees mortality probably linked to their sensitivity to drought. The most important yield was obtained with the bitter almond U8 (8.4 kg/tree), followed by AT8 (7.4 kg/tree) with yield efficiency of 81 and 61 g/cm² respectively. Vigorous rootstocks (U8 and AT8) produce high weight of nut, kernel and yield in shell (23%). Correlation between vigour and deep rooting will be export.

Key-words: Almond, rootstock, drought, tolerance agronomical, evaluation.

I- Introduction

Les programmes de sélection variétale d'amandier ont permis de créer plusieurs variétés renfermant des caractères de qualité de fruits, de tardiveté à la floraison et d'autocompatibilité, qui ont contribué au large développement de cette culture dans les principaux pays producteurs. Avec le développement des pratiques culturales, l'utilisation du semis d'amandier en tant que mode de multiplication, a été abandonné au profit du greffage. Ce dernier s'est généralisé avec l'utilisation de semis de variétés connues comme Desmayo, Marcona, Atocha, Guarrigues. Le choix de la variété, qui dépendait du pays, reposait essentiellement sur sa vigueur et sur son homogénéité de semis (Day, 1953 ; Felipe, 1976 ; Baker, 1977 ; Rodriguez, 1981). L'amandier de semis confère une longévité importante (Kester et Grasselly, 1999) et tolère les sols calcaires et la sécheresse (Monastra, 1974 ; Ramos Carmona, 1976 ; Felipe, 1976 ; Grasselly et Crossa-Raynaud, 1980 ; Stylianides et al., 1985). Il nécessite, cependant, des sols bien drainant et reste sensible aux attaques du crown gall, des nématodes et des larves de capnode noir (Canovas et al., 2002). Le semis de variétés de pêcher (Lovell, Halford, Nema-guard, Nema-red) a été utilisé également dans des situations particulières. Il donne un système racinaire moins important avec des chevelures racinaires abondantes (Barbara et Fenech, 1984) restant localisées au niveau de la couche superficielle du sol. Ce porte-greffe reste sensible au manque d'eau et au calcaire (Kester et Grasselly, 1986).

Plusieurs programmes de recherche sur les porte-greffes d'amandier, basés sur la sélection vis-à-vis des stress biotiques (nématodes, crown-gall, capnode) et abiotiques (calcaire, sécheresse, hydromorphie) ont été entrepris par plusieurs pays méditerranéens (Grasselly, 1956 ; 1969, 1973 ; Grasselly et al., 1974 ; 1977, Simard et al., 1997 ; Gaboni et Monastra, 1997 ; Gomes, 1997 ; Gomez Aparisi, 2002). Les hybrides « amandier x pêcher » ont été développés pour exploiter les caractéristiques de l'amandier (pivot avec un enracinement profond adaptant l'espèce aux contraintes du sol comme la sécheresse et la teneur élevée du calcaire) et celles du pêcher. Le porte-greffe GF 677 est le plus utilisé actuellement dans plusieurs pays comme l'Espagne et la France, aussi bien pour le pêcher que pour l'amandier (Felipe, 1976, Grasselly et Crossa Raynaud, 1980 ; Arquero, 2002). C'est un porte-greffe vigoureux qui descend en profondeur et qui présente un bon ancrage mais il reste sensible au crown gall et aux maladies racinaires (Kester et Grasselly, 1986).

Au Maroc, la culture d'amandier s'étend sur une superficie d'environ 141 000 ha (Anonyme, 2005) et connaît aussi un développement rapide (2000 ha/an) lié principalement à la sécheresse, au manque d'eau d'irrigation et à la forte demande de ce produit sur le marché. Cette culture présente actuellement des potentialités de production importantes en zones semi-arides mais elle reste confrontée à la sécheresse. La sélection de porte-greffe devient une nécessité agronomique pour garantir un développement durable de

plusieurs régions fragilisées par l'aridité climatique. L'amandier amer présente des caractéristiques de rusticité qui apparaissent au niveau de la survie dans les sols pauvres, riches en calcaire avec de faibles disponibilités en eau. Des différences de tolérance à la sécheresse entre génotypes existent (Grasselly et Crossa-Raynaud, 1981; Herralde et al., 2001) et seraient liées à l'architecture et à la ramification de leurs systèmes racinaires (Mulas et al. 1989, Grasselly et Olivier, 1989). Ce type de semis semble aussi être plus résistant à la pénétration des larves du capnode noir (*Capnodis tenebrionis* L.) que les porte-greffes clonaux. Ce matériel peut fournir des ressources génétiques intéressantes pour la sélection de porte-greffe d'amandier.

L'objectif de ce travail est de présenter les résultats de sélection d'un porte-greffe autochtone d'amandier capable de tolérer la sécheresse en donnant des rendements intéressants en culture pluviale.

II. Matériel et méthodes

1- Matériel végétal utilisé et conduite du verger

Le matériel végétal testé pour ses performances horticoles est constitué de 12 génotypes d'amandier amer (*Prunus amygdalus*, Batsch), prospectés dans la région Meknes-Fez et Tafrawt sur la base de leur tolérance à la sécheresse. Ce matériel a été collecté et greffé sur des semis de Marcona et mis en collection de pieds mères au Domaine Expérimental de l'INRA à Aïn Taoujdate (altitude : 450 m). Dès leur mise à fruit, des graines sont prélevées sur les arbres de chaque génotype et semées pour être expérimentées en tant que porte-greffe (PG). D'autres semis appartenant aux variétés à amandes douces tolérantes à la sécheresse (Atocha, Desmayo, Guarrigues et un clone marocain AT8) ont été utilisés aussi en tant que porte-greffes avec la variété de base Marcona.

Pour comparer le comportement physiologique de ces PG candidats, ces PG ont été greffés sur le semis de Marcona.

2- Evaluation

2.1 - En pépinière : Après stratification dans du sable humide et à basse température (6 à 10°C) pendant 5 semaines les graines ont été repiquées dans des sachets en poly-éthylène de 5 litres de volume remplis d'un substrat contenant du sable, la terre franche et la tourbe (1/3-1/3-1/3 : en volume). La germination, le diamètre du tronc au niveau du

collet et la hauteur des plants issus de semis PG ont été mesurés après un an de croissance pour évaluer leur homogénéité en pépinière et leur aptitude au greffage.

2.2 Au champ

La variété Marcona a été greffée sur le semis de chaque PG et les plants obtenus des associations Marcona/PG (Tableau 1) ont été plantés en verger pour évaluer, pendant cinq années, leur performance dans une région potentielle de production pluviale. Chaque combinaison « variété x porte-greffe » est constituée de 5 arbres, plantés à un écartement de 5x4 m (500 arbres/ha), sur un sol argileux profond, en ligne et répartie d'une manière aléatoire dans le verger.

Le site expérimental est caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 450 mm concentrée entre les mois de décembre et mars. La période estivale est caractérisée par une ETP moyenne de 8,5 mm/jour. Le sol est maintenu propre avec 3 labours effectués au printemps et en début d'été. Le verger reçoit les techniques usuelles de conduite d'une amanderaie semi intensive avec des apports de fertilisants (80-32-60 de NPK) et des traitements phytosanitaires selon les besoins. Pour chaque association « Marcona x PG » les observations sur la croissance végétative, la phénologie, la pomologie, l'analyse minérale des feuilles et le rendement ont été effectuées et comparées avec le porte-greffe témoin semis de Desmayo.

2. 2.1 Croissance végétative

-Vigueur : la vigueur a été évaluée par des mesures du diamètre du tronc effectuée juste au dessus de la ligne de greffe sur les arbres de chaque combinaison à la 10^{ème} année d'âge.

-Allongement annuel de la pousse : la croissance végétative a été évaluée par des mesures annuelles de la longueur de la pousse de l'année en fin de saison (décembre). Un nombre de 5 rameaux par arbre (20 rameaux /PG) pris au hasard à hauteur d'homme et de différentes directions.

-Surface foliaire : a été mesurée à l'aide d'un planimètre sur un échantillon de 100 feuilles matures /association prélevées au hasard sur la partie médiane du rameau sur les cinq arbres et sur quatre directions. Les feuilles matures situées au milieu du rameau de l'année ont été mesurées pendant deux années.

2. 2.2 Phénologie

-Floribondité : Le nombre de fleurs portées par les rameaux d'un an a été comptabilisé sur deux années et sur 20 rameaux par combinaison pour évaluer la charge des arbres.

- Stades phénologiques : les dates de jaunissement, de début de chute des feuilles et de floraison ont été également notées pour les interpréter en terme de comportement des arbres vis-à-vis de la sécheresse.

2. 2.3 Statut hydrique

Les relations hydriques des arbres avec leur environnement ont été évaluées à travers des mesures du potentiel hydrique foliaire. Ce dernier a été évalué durant la période estivale (stress intense), chaque 15 jours à partir du mois de juillet et à l'aide d'une chambre à pression selon la méthode décrite par Turner (1981). A chaque date, 6 feuilles matures prélevées sur la partie nord de la frondaison et à hauteur d'homme, ont été utilisées. Les mesures ont été effectuées durant 3 périodes de la journée : tôt le matin (6-7h du matin, heure locale), à la mi-journée (14h) et le soir (18h).

2. 2.4 Teneur des feuilles en éléments fertilisants

La concentration minérale des feuilles a été déterminée en 2005 (10^{ème} année d'âge). Les échantillons de feuilles ont été prélevés à la mi juin soit environ 16 semaines après la pleine floraison. Les échantillons de feuilles, collectés sur 20 pousses de l'année des cinq arbres de chaque association, ont été déshydratés et deux échantillons par combinaison ont été analysés pour l'azote moyennant la méthode Kjeldahl, le phosphore par colorimétrie et le potassium par la spectrophotométrie à émission atomique dans un laboratoire du CIFA à Cordoue (Espagne).

2.2.5 Rendement et caractéristiques pomologiques des fruits

A la fin de chaque cycle, la récolte a été pesée pour chaque arbre. Un échantillon de 100 fruits a été prélevé et caractérisé pomologiquement durant deux années de l'expérimentation où la production a été élevée (2003 et 2005).

Les résultats obtenus ont été analysés statistiquement par une analyse de la variance à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA, 2002 version 9.0).

III. Résultats

1- Homogénéité des plants en pépinière

La vigueur des plants, obtenus après une saison de croissance, a été évaluée par la hauteur qui a différé statiquement selon les génotypes du PG. Les valeurs du diamètre du collet n'ont pas différé significativement entre eux et les plants de tous les génotypes ont atteint le stade de greffage au 6^{ème} mois après leur semis (Tableau 1).

Tableau 1 : Paramètre de croissance en pépinière des semis des différents candidats porte-greffes

Génotype du PG	Longueur plants en cm	Ecart type	Diamètre des plants en cm	Ecart type
Amandier amer				
U8	102,2	20,5	5,2	1,13
T17	107,7	16,2	5,4	1,2
G10	114,2	18,6	4,5	1,19
O11	109,1	17,9	5,1	1,19
O6	114,7	21,9	5,7	1,14
Y1	115,7	16,7	5,8	1,27
V3	-	-	-	-
Z8	105,7	18,5	5,2	1,36
P17	-	-	-	-
D6	101,8	20,1	4,9	1,1
X13	-	-	-	-
G4	106,5	37,7	4,6	1,3
Amandier doux				
AT8	106,9	22,8	4,8	0,83
Atocha	-	-	-	-
Desmayo (Témoin)	110,6	22,4	5,1	0,93
Guarigues	-	-	-	-
Probabilité et niveau de signification	0,022 (*)		0,23 (ns)	

*= différence significative au seuil de probabilité $P = 0.05$. ns = différence non significative

- Plants greffés avant les prises de mesures.

2- Vigueur des arbres et croissance végétative

Le diamètre du tronc de la variété Marcona a différé statistiquement selon le porte-greffe utilisé. Le type d'amandier doux induit une vigueur moyenne plus élevée que le type amandier amer testé. La vigueur la plus élevée a été obtenue en greffant 'Marcona' sur les génotypes O11, C4, U8 et G10 (Tableau 2). La réduction de vigueur constatée avec certains porte-greffes comme V3 et X13 n'a pas été associée à la formation de bourrelet.

La croissance végétative, exprimée en allongement annuel de la pousse, a différé statistiquement selon le porte-greffe et a varié entre 32 cm (V3) et 45,8 cm (O11). L'allongement moyen obtenu avec l'amandier amer a été de 39 cm alors que pour l'amandier doux il a été de 49 cm (Tableau 2).

Le porte greffe a affecté significativement la surface foliaire de Marcona qui a été plus importante avec l'amandier amer (10.3 cm^2). Les portes greffes qui induisent une surface foliaire réduite sont Guarigues, Atocha, Y1 et V3 (Tableau 2). Les porte-greffes vigoureux semblent induire une surface foliaire plus importante comme pour U8 et Z8 où la surface de la feuille a été de l'ordre de 12 cm^2 .

2.1 - Mortalité

Le dépérissement des arbres, est lié à leur sensibilité à la sécheresse et la mortalité enregistrée à la 8^{ème} année d'âge, a concerné plusieurs porte-greffes avec un taux moyen de 20% et 10%, respectivement pour l'amandier amer et l'amandier doux (Tableau 2). La mortalité n'a pas concerné les arbres des associations avec les porte-greffes vigoureux comme AT8, G10 et Z8 alors que les taux les plus élevés (50 à 60%) ont été obtenus avec les porte-greffes de faible vigueur (X13 et V3).

Tableau 2: Paramètres de croissance et de floribondité de la variété Marcona sur les différents porte-greffes

Génotype	Surface section du tronc (cm ²) (ST)	Accroissement moyen annuel circonférence du tronc (cm)	Allongement moyen annuel pousse (cm)	Surface foliaire (cm ²) (SF)	Ratio SF/ST	Nombre de fleurs/mL pousse	Taux de mortalité (%)
Amandier amer							
U8	103.5 ab	3.3	38.8 bc	12.3 a	0.12	16.9 cd	10
T17	90.0 abc	2.7	39.5 abc	12.4a	0.14	22.7 bcd	20
G10	103.5 ab	3.3	41.0 abc	9.1 defgh	0.09	23.1 bcd	0
O11	131.0 a	3.8	45.8 a	10.7 bc	0.08	28.3 bcd	20
O6	94.3 abc	2.8	37.7 bcd	10.1 bcde	0.11	26.6 bcd	20
Y1	91.3 abc	3.0	41.7 abc	8.5 fgh	0.09	26.0 bcd	0
V3	60.7 c	2.2	32.2 d	8.5 fgh	0.14	18.8 cd	60
Z8	102.8 ab	3.1	37.1 cd	12.0 a	0.12	24.5 bcd	0
P17	96.1 abc	2.9	38.2 bcd	10.9 b	0.11	27.8 bcd	20
D6	86.5 bc	2.6	41.9 abc	10.3 bcd	0.12	32.5 bc	30
X13	90.0 abc	3.7	38.8 bc	9.3 defg	0.10	21.0 bcd	50
C4	111.2 ab	3.4	37.2 cd	9.8 bcdef	0.09	12.7 d	10
moyenne	96.7	3.2	39.16	10.32	0.11	23.40	20
Amandier doux							
		?					
AT8	119.5 ab	3.3	40.9 abc	9.6 cdefg	0.08	48.3 a	?
Atocha	96.4 abc	3.5	43.5 abc	8.4 hg	0.09	35.9 ab	0
Desmayo	113.0 ab	3.1	44.3 ab	8.9 efgh	0.08	16.5 cd	10
Guarrigues	99.8 abc	4.0	42.8 abc	7.9 h	0.08	26.1 bcd	10
moyenne	107.2	3.5	42.9	8.7	0.08	31.7	20
							10
Niveau de signification	0.0001 (***)	-	0.007 (**)	0.0001 (***)		0.000 (***)	-

2.2 - Stades phénologiques

La date de la chute totale des feuilles de Marcona a été observée durant la dernière semaine du mois de décembre (Tableau 3) et les dates moyennes n'ont pas présenté de différences selon les porte-greffes. En revanche, la chute des feuilles des associations inverses « porte-greffes, greffés sur Marcona » a varié selon les génotype et s'est produite entre la mi-décembre (U8, G10, C4) et la fin du même mois (AT8 et Guarrigues). Cette différence génotypique dans la sensibilité aux facteurs externes n'a pas affecté le comportement phénologique de la variété Marcona. En effet, la date moyenne de pleine floraison a été observée à la mi-février pour toutes les associations expérimentées. La période moyenne du repos végétatif a été similaire et s'est étalée sur une durée de 50 jours environ.

2.3 - Floribondité

Le nombre de fleurs portées par les pousses a différencié significativement en fonction du porte-greffe (Tableau 2). Une corrélation positive existe entre l'allongement de la pousse, le diamètre du tronc et la floribondité. Le porte greffe AT8 a donné le nombre moyen de fleurs le plus élevé (48 fleurs / mètre linéaire de rameau) alors que le génotype C4 a induit le nombre de fleurs le plus faible (12.7).

2.4- Teneurs foliaires en éléments minéraux

Les concentrations des éléments minéraux des feuilles de la variété Marcona ont été déterminées en 2005 (Tableau 3) pendant une année de forte production et ont été comparées entre les porte-greffes et aux valeurs de références établies par Mike et Rizzi (1977). Les valeurs de chaque élément minéral ont présenté des différences hautement significatives selon les PG. Même avec une production élevée, le porte-greffe U8 a été capable de puiser l'azote et le phosphore du sol en grande quantité. Cette efficacité dans l'absorption des éléments minéraux apparaît être moins importante pour la potasse. Des teneurs moyennes à faibles en potasse ont été obtenues avec l'association productive Marcona/ U8.

Les teneurs en azote apparaissent être élevées pour les porte-greffes qui ont induit une croissance végétative importante comme le PG O11.

Comparées avec les valeurs de références (Mike et Rizzi, 1977), les concentrations des trois éléments restent en général normales pour l'azote, faible pour le phosphore et la potasse.

Tableau 3 : Teneurs moyennes en éléments fertilisants de la variété Marcona sur les différents porte-greffes

Porte-greffe	Concentration (% matière sèche)		
	N	P	K
Amandier amer			
U8	1,90 ab	0,09 ab	0,47 g
T17	1,82 abcd	0,07 d	0,43 g
G10	1,91 ab	0,08 abc	0,58 ef
O11	2,02 a	0,09 ab	0,66 cd
O6	2,04 a	0,09 ab	0,75 b
Y1	1,88 abc	0,07 bcd	0,56 f
V3	1,91ab	0,08 abc	0,89 a
Z8	1,81abcd	0,07 bcd	1,04 a
P17	1,71d	0,07 bcd	0,75 b
D6	1,79 bcd	0,07 bcd	0,91 a
X13	1,74 d	0,07 bcd	0,64 de
C4	1,93 a	0,07 bcd	0,70 bc
Moyenne	1,97	0,08	0,75
Amandier doux			
AT8	1,76 cd	0,08 abc	0,61 ef
Atocha	1,76 cd	0,08 abc	0,58 ef
Desmayo	2,0 a	0,09 ab	0,54 ef
Guarrigues	1,92 ab	0,09 ab	0,94 a
Moyenne	1,86	0,08	0,67
Niveau de signification et probabilité	0.01 (**)	0.01 (**)	0.000 (***)

2.5 Relations hydriques

Le potentiel hydrique foliaire mesuré à différentes dates et qui reflète la sensibilité du matériel végétal au manque d'eau du sol, a différé statistiquement selon le porte-greffe (Tableau 4). Son évolution journalière a montré, en général, une chute rapide du matin à la mi-journée et lente durant l'après midi. Le potentiel hydrique a atteint des valeurs maximales de - 4MPa qui traduisent la forte intensité du stress. Ces valeurs ont été faibles durant les mois de juillet et août et ont différé selon l'heure de la journée. Ces valeurs ont différé également selon la date de mesures et cette différence est liée au pouvoir d'évapotranspiration. Cela est dû probablement aux températures élevées (36-40°C) enregistrées durant cette période estivale.

Les niveaux du potentiel hydrique de la mi-journée ont différencié statistiquement de celles du matin selon les associations, durant toutes les périodes de mesure. Ces distinctions traduisent donc des différences entre les porte-greffes dans leur faculté à maintenir le potentiel hydrique durant les périodes de la forte demande climatique. En effet, avec les génotypes O8, AT8, et Atocha le potentiel hydrique retrouve des valeurs faibles après la mi-journée.

Tableau 4: Variation journalière et périodique du potentiel hydrique (ψ MPa) de la variété Marcona greffée sur les différents génotypes.

Génotype	25/07/04		05/08/04		15/08/04		08/09/04	
	6H	12H	6H	12H	8H	18H	7H	12H
Amandier amer								
U8	3.2 1	3.2 2	2.5 2	3.7 3	2.9 3	2.9 0	2.7 6	2.93
T17	3.1 7	3.1 7	2.7 7	3.9 7	2.6 8	2.8 1	2.2 6	3.33
G10	3.2 4	3.0 8	2.8 2	3.6 1	3.1 4	3.3 2	2.2 7	3.80
O1 1	3.2 5	3.2 0	2.3 6	3.5 7	3.2 6	3.7 1	2.0 9	3.97
O6	3.2 6	3.1 5	2.3 5	3.6 4	3.5 9	2.3 6	2.5 0	3.67
Y1	3. 3	3.0 4	3.6 9	4.0 0	3.3 8	3.2 3	3.0 0	3.73
V3	3.3 1	2.8 1	3.4 1	3.9 5	3.3 5	3.6 7	3.0 2	3.95
Z8	3.3 0	2.5 6	2.7 1	3.6 3	3.4 2	2.9 3	3.1 5	3.78
P17	3.2 3	2.1 9	.06	3.9 7	3.6 8	3.6 5	2.8 2	3.86
D6	3.2 7	2.7 5	2.6 1	3.6 4	3.1 7	3.7 1	2.8 9	3.71
X13	3.2 8	2.9 5	3.2 4	3.8 1	3.3 5	3.3 2	2.7 7	3.75
G4	3.2 6	3.2 0	3.1 6	3.7 7	3.0 0	3.1 8	2.9 0	3.78
Amandier doux								
AT8	3.3 0	3.1 8	2.39	3.4 6	3.3 4	2.7 7	3.0 0	3.70
Atocha	3.9 4	3.2 2	3.1 5	2.7 3	3.9 0	3.3 0	2.5 9	2.08
Desmayo	3.0 2	3.1 7	3.1 4	3.6 9	3.5 8	3.3 7	3.6 5	3.04
Guarrigues	3.2 7	3.0 1	2.7 6	3.9 6	3.4 5	3.4 3	2.7 4	3.78
Pr	0.7 5	0.000 (***)	0.0 00	0.007 (***)	0.00 0	0.000 (***)	0.0 4	0.0 4

2.6- Rendements et caractéristiques pomologiques

2.6.1 Efficience de rendement

Les rendements de Marcona cumulés sur cinq années ont enregistré des différences significatives selon le porte-greffe (Tableau 5) et ont varié en moyenne entre 17,9 kg/arbre pour l'amandier amer et 20,2 kg/arbre pour l'amandier doux. Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec le porte-greffe amandier amer U8 et AT8 avec respectivement 33,7 et 29,5 kg/arbre soient des rendements moyens de 8,4 et 7,4 kg/arbre (3,36 t/ha et 2,96 t/ha contre un rendement de 2,12 t/ha pour le porte-greffe Desmayo utilisé comme PG usuel . Durant cette période, le rendement moyen par arbre a varié de 8,4 kg pour le PG vigoureux U8 à 0,1 kg pour V3, descendance peu vigoureuse. Le rendement est faiblement corrélé à la vigueur du porte-greffe ($r^2=0,54$ (*)). Un PG vigoureux confère généralement à l'arbre un tronc et une hauteur élevée de la frondaison.

Tableau 5 : Rendements moyens et cumulés (5 ans) enregistrés avec Marcona sur les différents porte-greffes

Génotype	Rendement moyen	(kg/arbre) cumulé	Indice d'alternance	Efficience de rendement (kg / cm ²)	EUE (kg / m ³)
Amandier amer					
U8	8.4 a	33.7 a	0.94	0.081	0.84
T17	6.2 abcd	25.0 abc	0.92	0.280	0.62
G10	5.4 abcd	21.5 abc	0.92	0.207	0.54
O11	6.7 abc	26.9 abc	0.96	0.051	0.67
O6	5.3 abcd	21.2 abc	0.95	0.056	0.53
Y1	4.9 abcd	19.6 abcd	0.95	0.043	0.49
V3	0.1 e	0.5 e	-	0.000	0.01
Z8	2.4 dc	10.7 bcd	0.97	0.023	0.24
P17	4.8 abcd	19.3 abcd	0.92	0.049	0.48
D6	3.5 bcd	14.1 abcd	0.83	0.040	0.35
X13	1.7 d	6.9 cd	0.93	0.018	0.17
C4	3.9 abcd	15.7 abcd	0.97	0.035	0.39
Moyenne	4.4	17.9	0.94	0.06 7	0.44
Amandier doux					
AT8	7.4 abc	29,5 ab	0.76	0.061	0.74
Atocha	4.7 abcd	19.0 abcd	0.90	0.048	0.47
Desmayo	5.3 abcd	21.1 abc	0.96	0.047	0.53
Guarrigues	2.8 bcd	11.1 bcd	0.92	0.029	0.28
Moyenne	5,0	20,2	0,89	0,046	0,50

EUE : Efficience d'utilisation de l'eau = rapport entre le rendement (kg/ha/ de chaque PG) et la pluviométrie moyenne annuelle (m³/ha)

Le rendement rapporté à la section du tronc appelé efficacité du rendement a plus de signification lorsque l'arbre atteint un équilibre 'fructification/vigueur' (Tableau 6). Ce rapport a été plus élevé pour les porte-greffes ayant induit généralement un rendement élevé. En effet, lorsque Marcona a été greffée sur U8, et AT8 ce rapport a atteint des valeurs de 61 à 81 g/cm². Les porte-greffes vigoureux restent plus efficaces que ceux de faible vigueur et l'efficacité moyenne d'utilisation de l'eau (EUE) est de 0.84 kg/m³ pour le PG U8 et 0,74 kg/m³ pour AT8 (Tableau 5). La productivité reste en général tributaire de la pluie et les rendements enregistrés ont accusé une alternance de production très marquée. L'indice d'alternance calculé le plus faible (0,76) a été enregistré avec le porte-greffe AT8. Cet indice a atteint une valeur supérieure à 0,9 pour les autres porte-greffes (Tableau 5).

2.6.2 Caractéristiques pomologiques des fruits

Les caractéristiques pomologiques des fruits de Marcona ont également différé selon la nature du porte-greffe (Tableau 6). Le poids des amandons a été plus élevé avec O11 et U8 suivi du porte-greffe Desmayo. Le rendement au cassage a différé statistiquement selon le porte-greffe et a varié de 15,4% pour V3 à 22,9% et 23,6% pour AT8 et P17 respectivement. Ce taux a oscillé entre 20 et 21% pour les autres porte-greffes. Le PG a donc un effet sur le rendement au cassage de la variété et les différences constatées entre les porte-greffes seraient liées à leur capacité à assurer une alimentation qui favorise la production d'amandon de gros calibre.

Tableau 6 : Caractéristiques pomologiques des fruits de la variété Marcona greffée sur les différents porte-greffes

Génotype	Poids (g)		Rendement au cassage (%)
	Amande	Amandon	
Amandier amer			
U8	8.0 2 a	1.52 a	19.5 d
T17	7.35 bcd	1.45 abcd	20.2 cd
G10	7.31 bcd	1.46 abc	20.5 bcd
O11	7.46 c	1.50 a	20.5 bcd
O6	7.09 cde	1.40 bcd	20.8 bcd
Y1	6.85 defg	1.36 cd	20.0 cd
V3	7.36 bcd	1.11 e	15.4 e
Z8	6.66 egf	1.42 abcd	22.1 abc
P17	6.46 fg	1.42 abcd	22.6 ab
D6	7.35 bcd	1.46 abc	20.2 cd
X13	6.96 cdef	1.36 d	20.1 cd
C4	6.84 defg	1.42 abcd	20.9 bcd
Moyenne	7,14	1,41	20,2
Amandier doux			
AT8	6,33 g	1,43 abcd	22,9 a
Atocha	7,03 cde	1,42 abcd	20,6 bcd
Desmayo	7,71 b	1,48 ab	19,7 d
Guarrigues	6,39 g	1,38 cd	22,0 abc
Moyenne	6,86	1,43	21,3

IV -Discussion et conclusion

Le porte-greffe assure, par son système racinaire, les fonctions d'ancrage, de stockage des réserves et d'absorption hydrominérale. Il agit en interaction et fonctionne en interdépendance avec la partie aérienne (cultivar) en lui permettant de s'adapter à certaines conditions pédoclimatiques de culture. Dans le contexte de notre expérimentation, le déficit hydrique occasionné par la sécheresse estivale constitue une des contraintes majeures limitant la production. En effet, dans le sol argileux, comme celui de l'expéri-

mentation où le point de flétrissement se situerait entre 20 à 30 ‰, l'amandier a survécu en réduisant fortement sa consommation en eau, au fur et à mesure que les réserves du sol diminuaient.

Bien que cette espèce ait été capable de tolérer un stress de niveau ψ : -4 MPa comme il a été rapporté pour les plantes xérophytes (Morgan, 1984), une variabilité génotypique est apparue dans le comportement de la variété Marcona avec les porte-greffes auxquels elle a été associée. Cette tolérance du porte-greffe a été conférée au cultivar comme il a été rapporté chez d'autres rosacées fruitières par Atkinson (2002).

Le comportement végétatif a été caractérisé par une seule vague de croissance située au printemps et dont l'importance a été fortement tributaire des hauteurs pluviométriques. L'allongement annuel de la pousse a été plus marqué avec les génotypes vigoureux ayant présenté une croissance radiale plus importante. La vigueur du tronc des arbres a été affectée par le manque d'eau et cette restriction de croissance a dépendu de la nature du porte-greffe. Chez les porte-greffes moins vigoureux ayant une sensibilité à la sécheresse, la croissance végétative a été le paramètre le plus affecté par le manque d'eau comme il a été rapporté chez plusieurs espèces (Levy et al., 1978 ; Bradford et Hsiao, 1982). Les différences entre les porte-greffes seraient liées à des différences au niveau de l'efficacité d'utilisation de l'eau, mais aussi à la profondeur de leur système racinaire comme rapporté pour d'autres espèces (Boyer, 1992). Chez l'amandier, la majorité du système racinaire se trouve répartie dans la couche superficielle qui bénéficie des apports d'eau de pluie (Grasselly et Crossa Raynaud, 1980). Les porte-greffes auraient donc une ramification importante de leur système racinaire et l'influence de leur répartition spatiale semble jouer un rôle important dans ces conditions d'approvisionnement limitantes en eau (Maertens, 1981 ; Huck, 1984). En effet, chez les porte-greffes vigoureux, l'augmentation de la croissance végétative conduit à une augmentation du volume du sol exploité par les racines et donc du volume d'eau capté. La tolérance à la sécheresse pourrait être associée aussi à la production de nouvelles racines dont l'architecture pourrait avoir une implication dans l'efficacité des prélèvements de l'eau et des éléments minéraux (Taylor, 1983).

La sensibilité inégale des porte-greffes au manque d'eau induit par la sécheresse s'est traduite par un effet sur la surface foliaire. La réduction de la surface foliaire, chez les porte-greffes de moindre vigueur, suggère que les racines deviennent moins efficaces dans le transport de l'eau aux feuilles avec la sécheresse du sol. Le ratio surface foliaire /section du tronc a évolué avec la sensibilité des porte-greffes à la sécheresse. Le changement dans la taille du xylème et sa morphologie pourraient avoir une importante implication dans la détermination de la tolérance à la sécheresse (Atkinson, 2002).

La chute des feuilles est restée relativement groupée pour toutes les associations 'Marcona- Porte-greffe'. Aucune différence apparente entre les porte-greffes n'est ressortie durant le déroulement de ce stade phénologique bien qu'il existe des différences physiologiques dans l'entrée en dormance et dans la floraison de porte-greffes conduits en

tant que partie aérienne et greffés sur Marcona. Le PG n'a pas donc influencé le comportement phénologique de la variété Marcona.

La floribondité a été importante et la chute abondante des fleurs serait liée à une mauvaise fécondation. Les fleurs à pistils avortés paraissent donc être la conséquence d'un déséquilibre hydrique et alimentaire pendant la période de différenciation florale (Grasselley et Crossa Raynaud, 1981) et leur taux augmente avec la sensibilité à la sécheresse des porte-greffes. Ces derniers ont différé dans leur faculté à maintenir le potentiel hydrique durant les périodes de la forte demande climatique aussi bien pendant la journée qu'au cours de la saison. Chez les génotypes tolérants à la sécheresse (U8, AT8) le potentiel hydrique qui a retrouvé des valeurs faibles après la mi-journée avec une stabilisation durant toute l'après midi, peut être liée à leur capacité à induire la libération de l'eau stockée à partir du tronc pour la transpiration (Davies and Loko, 1979).

Les différences de comportement de la variété Marcona greffées sur les différents porte-greffes en conditions de stress intense sont liées à des réponses variées pour la résistance à la sécheresse et l'efficacité des porte-greffes à induire un contrôle des pertes d'eau par les feuilles. Les semis de Guarrigues utilisés en tant que porte-greffe sont sensibles à la sécheresse car ils n'évitent pas les pertes d'eau par transpiration et ne maintiennent pas le contenu foliaire en eau sous des conditions de stress (Alarcon et al., 2002). Par ailleurs, il a été rapporté que l'évitement de la sécheresse implique la fermeture stomatique et les changements dans la surface foliaire (Ruiz-Sanchez et al., 1997). La chute rapide et importante du potentiel hydrique foliaire observée sur les porte-greffes sensibles serait en relation avec une conductance élevée de Marcona sur ces porte-greffes qui ne semblent pas avoir un contrôle stomatique efficient. Il a été rapporté que le porte-greffe peut être équipé de mécanismes contrôlant les pertes d'eau via la transpiration (Torrecillas et al 1996). Les racines détecteurs de stress, ajustent osmotiquement la réponse au stress hydrique (Parker et Pallardy, 1988 in Ranney et al, 1991) et sont capables de déclencher une réduction dans la conductance stomatique et donc de la photosynthèse (Golan et al, 1985 ; Turner, 1981).

La sensibilité des porte-greffes à la sécheresse a conduit à une réduction des rendements, à une alternance plus marquée et à la production de fruits de petit calibre. Une défaillance dans l'alimentation hydrique a des effets sur la division cellulaire, notamment après la nouaison et sur l'assimilation nette du carbone (George et Nissen, 1992).

Les porte-greffes amandier amer U8 et AT8 ont été les plus productifs avec des rendements (en coque) respectifs de 8,4 et 7,4 kg/arbre. Leur performance a été supérieure, d'environ deux fois, par rapport au porte-greffe usuel, le semis de Desmayo. Ces porte-greffes ont été les plus efficaces dans l'utilisation de l'eau et dans le transfert des éléments minéraux, notamment le potassium pour produire des fruits de gros calibre (1,52g/amandon).

Remerciement : Monsieur Octavio Arquero quilez IFAPA (CIFA à Cordoue) est remercié pour les analyses foliaires qu'il a bien voulu effectuées dans son laboratoire ainsi que Mme Ibnou Ali Elalaoui Merriem pour certaines analyses statistiques.

Références

- Anonyme, 2005. Bilan des rosacées fruitières au Maroc. Division d'horticulture, Ministère de l'Agriculture, Rabat, Maroc.
- Alarcon, J. J. , M. J. Sanchez-Blanco, E. Nicolas, J. Egea and F. Dicenta.2002. Effect of drought on shoot water relations in Antoneta and Marta almond cultivars grafted onto Gurrigues and HF 677 rootstocks. Proceeding of the third international symposium on Pistachios and Almonds. (ed) ISHS, 345-350.
- Atkinson, Ch., 2002. Using rootstocks to optimize fruit tree water use. The compact fruit tree , 35(1): 12-18.
- Baker,B., and F. Gathercole, 1977. Commercial almond growing, Dept. of Agriculture and Fish. Bull. N°9/77, S. Austria.
- Boyer, J.S., 1992. Mechanisms for obtaining water use efficiency and drought resistance. In: H.T. Stalker et J.P. Murphy (Eds), Plant Breeding in the 1990s, pp. 1810-200. CAB international Wallingford, Oxon, UK
- Bradford, K. J. and T. C. Hsiao, 1982. Physiological response to moderate water stress. IN: O. L. Lange, P. S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (Eds), Physiological Plant Ecology II, Vol. 12B, Spinger-Verlag, Berlin, 1982, pp: 263-324..
- Caboni E., et F. Monastra, 1997. New selections of almond, putative rootstocks for peach and almond. Cahiers Options méditerranéennes, 33 : 157-162.
- Davies, F. S. and Lakso, 1979. Diurnal and seasonal changes in leaf water potential components and elastic properties in response to water stress in apple trees. Physiologia Plantarum, 46: 109-114.
- Day, L. H. 1953. Rootstocks for stone fruits, Calif. Agr. Exp. Sta.736: 1-75, Felipe, A. J. 1976. Compatibilidad entre cultivares de almendro y patrones circuelo « pollizo ». I congres internacional de almendro y avellana, Reus, Spain, pp : 330-336.
- Felipe A. J. and Socias I Company R. 1989. Séminaire du GREMPA sur les portes-greffes d'amandier. Option Mediterranean série A, 75 pp.
- Gomez Aparisi, V. Lombarte, A. J. Felipe, M. Carrera and R.. Socias I Company, 2002. First results on the performance of new almond x peach hybrid rootstocks resistant to nematod on almond growth and cropping. Acta Horticultea 591:1001-107.
- George, A. P., R. J. Nissen, 1992. Effects of drought on fruit set, yield of African Pride Plants.

Golan, T., N. C. Turner and Schulze, E. D. 1985. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. III: in the sclerophyllous woody species *Nerium oleander*. *Oecologia*, 65: 356-362.

Grasselly, C. 1973. Premières observations sur le comportement de l'hybride Pêcher x Amandier greffé sur divers prunus. *Bull. Tech., Inf.* n°270.

Grasselly C et P. Rossa-Raynaud, 1981. La culture d'amandier. Edition Maisonneuve et Larose, Paris.

Grasselly Ch., G. Olivier, 1989. Possibilités d'amélioration des porte-greffes de l'amandier par hybridation interspécifique. *Options méditerranéennes, CIHEAM*, 5 : 47-49

Herralde F., R. Save, C. Biel, I. Batlle, F. J. Vargas, 2001. Differences in drought tolerance in two almond cultivars : 'Lauranne' and 'Masbovera'. *Options méditerranéennes*, 56: 149-154.

Huck G.M. 1984. Water flux in the soil continuum. In roots, nutrient and water influx and plant growth. A.S.A. special publication, 49-47-63 In Habib. R. Influence de l'architecture des racines sur l'absorption hydro-minérale. 8ème colloque sur les recherche fruitières, CTIFL (ed) – Bordeaux, 105-118.

Kester, D. E. and C. Grasselly, 1986. Almond rootstocks. , In: P. Rom and C. Carlson (Eds): *Rootstocks for fruit crop*. John Wiley and Sons, New York, USA, pp. 265-294.

Levy, Y., Bielorai, H. and Shalhet J ; 1978. Long-term effects of different irrigation regimes on grapefruit tree development and yield. *Journal of the American Society For Horticultural Science*, 103: 680-683.

Maertens, C. 1981. Etude expérimentale de l'alimentation minérale et hydrique du maïs. Omparaison des besoins de la plante et des possibilités d'absorption d'azote, de phosphore et de potassium par les acines de *Zea maïs*. *C. R. acad. Sci. Paris. Série D*, 273: 682-684.

Meith, Mike et Rizzi, 1977. In Grasselly C et P. Rossa-Raynaud, 1981. La culture d'amandier. Edition Maisonneuve et Larose, Paris.

Monastra F. and Raparelli E., 1997. Inventory of almond research, germplasm and references. *REUR technical Series, FAO-CIHEAM, Zaragoza*, 232 p.

Morgan, J. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 35 : 299-319.

Mulas L., G. Delrio, G. D'Hallewin, C. Grasselly, 1989. Etude de populations d'amandier pour la sélection de porte-greffes. *Options méditerranéennes*, 5 : 39-46.

Ranney, T.G, N. L. Bassuk and T. H. Whitlow, 1991. Turgor maintenance in leaves and roots of 'Colt' cherry trees (*Prunus avium* L. x *pseudocerasus*) in response to water stress. *Journal of Horticultural Science* 66(3): 381-387.

Ruiz-Sanchez, M. C., Sanchez Blanco M. J., Planes J., J. J. Alarcon and A. Torrecillas (1993). Seasonal changes in leaf water potential component in two almond cultivar. J. Agric. Sci. 120: 347-351.

Simard, M. H., G; Olivier, F. J. Vargas, M. A. Romero, J. Gomez Pereira, R. Maia de Souza et A. Isaakidis, 1997. Sélection de semis de *Prunus amygdalus* comme porte-greffe de l'amandier. Options méditerranéennes Série B, N° 16, 53-72.

Taylor, H. M. 1983. Managing root systems for efficient water use : An overview. pp.87-113. In : H. M. Taylor, W. R. Jordan and T. R. Sinclair (eds). Limitation to efficient water use in crop production. Amer. Soc. Agronom. Inc.

Turner, N. C., 1981. Techniques and experimental approaches for measurement of plant water status. Plant soil, 58 : 107-127.

Torrecillas, A., J. J. Alarcon, R. Domingo, J. Planes, M. J. Sanchez-Blanco. 1996. Strategies for drought in leaves of two almond cultivars. Plant Science, 118 : 135-143.

Wood, B. W. (1989). Pecan production responds to root carbohydrates and rootstock. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114 : 23-228.