Evaluation de 102 variétés d'amandier en culture pluviale sous climat semi aride

Oukabli A.[1*], Mamouni A.[1], Laghezali M.[1a], Oufquir M., Quennou M.[1], Amahrach M.[1], Lahlou M.[1], Allabou M.[1], Mekkaoui A.[1], Ibrahimi Abdelwafi A.[2]

1 : INRA, Unité de recherche Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques, CRRA Meknès.
2 : Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès.
* : Auteur pour correspondance.
1[a] : Auteur décédé.

Résumé

Des observations effectuées sur une collection de 102 variétés d'amandier en provenance de 4 continents, installées au domaine expérimental d'Ain Taoujdate (INRA Meknès) et conduites en conditions pluviales, ont été rassemblées. L'étude a révélé l'importance de la diversité génétique du matériel végétal notamment en matière de productivité et des formes des fruits. La délimitation de groupes variétaux, basée sur leurs origines géographiques, n'est pas très significative en raison probablement de l'appartenance à des ancêtres communs et à une sélection empirique ancienne basée essentiellement sur la qualité du fruit. Les caractéristiques pomologiques des fruits des variétés contribuent à une ample discrimination variétale. Les variétés les plus intéressantes pour la culture ainsi que des géniteurs adéquats pour un programme d'amélioration ont été identifiés.

Mots clés: *Amandier, pomologie, pool génétique conditions pluviales*

تقييم مؤهلات 102 صنف من اللوز المحلي والمستورد في زراعة شتوية تحت طقس شبه جاف

أحمد أقبلي، علي ماموني، محمد الغزالي، محمد أقغير، محمد قنو،
عبدالرحمن مكاوي، محمد لحلو، عبدالوافي إبراهمي

ملخص

تم تقييم 102نوع من اللوز بمجمع التجارب الفلاحية بعين تاوجضات تحت ظروف ممطرة وقد بينت أهمية التنويع الجيني للمادة النباتية وخاصة السلوك الفيزيولوجية وأشكال الفاكهة. إن تحديد مجموعات الأصناف المرتكزة على المصادر الجغرافية ليست معبرة لسبب الانتماء المحتمل لأجداد مشتركة وإلى الإنتقاء القديم الذي ارتكز على جودة الفاكهة. أما خاصية هذه الأخيرة مع أوقات أزهار الأصناف فتساهم على العكس في تصنيف الأنواع بشكل كبير. وقد أبانت هذه الدراسة أيضا على تشخيص الأصناف المهمة وكذا الأصول الممتازة من أجل برنامج للتحسين الوراثي.

الكلمات المفتاح : اللوز، خاصية الفاكهة، المحصول، مجموعة جينية، ظروف مطرية.

Evaluation of 102 almond varieties under rainfed semi arid climate

Abstract

Behaviour of 102 varieties of almond, planted at INRA Experimental station and conducted under rain fed conditions, have revealed the importance of genetic diversity of plant material mainly in terms of physiological behaviour and fruits traits. Grouping varieties according to their geographical origin was not conclusive, probably due to their common ancestry and to empirical ancient selection based on fruit quality. Pomological traits contribute to large discrimination between genotypes. Interesting cultivars for crop and for use as genitors were identified.

Key words : Almond, pomological traits, yield, rainefed conditions, genetic pool.

L'espèce amandier a subi durant des siècles, des pressions de sélection naturelle et humaine. Cette dernière fut essentiellement une sélection « massale » qui utilise au mieux la variabilité génétique en s'appuyant sur des observations phénotypiques. Elle a abouti à l'obtention d'écotypes très intéressants dans plusieurs pays du bassin méditerranéen avec la sélection de plusieurs variétés locales (Grasselly, 1971 ; Grasselly *et al.*, 1985). Exploitées avec des pratiques horticoles évoluées, la diversité génétique tend, de ce fait, à être restreinte (Grasselly, 1972 ; Kester *et al.*, 1991, Socias i Socias et Felipe 1992). Par ailleurs, plusieurs génotypes présentant des caractères de tardiveté de floraison, d'auto-compatibilité, de bonnes caractéristiques pomologiques ou de résistance à certaines maladies ont été identifiés et utilisés dans des programmes d'amélioration conduits dans plusieurs pays (Grasselly *et al.* 1985)

Au Maroc, la multiplication de l'amandier par semis, pratique encore utilisée dans plusieurs régions, a généré une grande variabilité génétique chez cette espèce allogame. Ce pays constitue actuellement l'un des centres de sa diversification secondaire. L'introduction de l'amandier pendant la conquête arabe (6^{e} et 7^{e} siècle) a été accompagnée aussi d'un important flux de gènes et a constitué une phase importante de son évolution (Kester, 1990). L'échange de variétés sélectionnées, entre différents pays, a permis d'enrichir les collections établies, d'identifier des variétés commerciales après les études de comportement et les essais d'adaptation. Cette évaluation a permis également de déceler les aptitudes de chaque variété aux conditions environnementales d'une zone de production et d'apprécier la variabilité existante pour des caractères pouvant faire l'objet d'un travail d'amélioration ou de sélection. Leur étude comparative constitue aussi une opportunité scientifique pour comparer les caractéristiques de chaque groupe de variétés conduit sous les mêmes conditions climatiques.

Le matériel végétal local et introduit a fait l'objet d'études de comportement depuis le début de la deuxième moitié du siècle dernier ce qui a permis de sélectionner des variétés pour leurs performances dans les zones de moyenne altitude (Meknès, Fes....) (Barbeau et El Baouami, 1979 ; 1980 ; Laghezali, 1985 ; Lansari, 1993 ; Mamouni, *et al.*, 1998,). L'amandier se développe au Maroc à un rythme moyen annuel de 2000 ha pour atteindre actuellement 141 500 ha d'après les sources du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (anonyme, 2006). Il s'est fait essentiellement sur la base des variétés étrangères avec la dominance de deux associations variétales en l'occurrence 'Marcona', 'Fournat de Breznaud' et Ferragnès, Ferraduel. Toutefois, l'adoption, à grande échelle, de ces mêmes variétés n'est pas en adéquation avec les conditions du milieu et notamment la pluviométrie et le froid hivernal.

Enfin, une première étude concernant le comportement de variétés autocomptatibles a été, conduite, au domaine d'Ain Taoujdate (Oukabli, *et al.*, 2000, Oukabli, 2001, Oukabli *et al.* 2003). Le présent article présente les résultats des observations effectuées sur une période 10 ans, sur des variétés locales et introduites en collection sur ce même domaine de l'INRA. Ce travail a eu pour objectif de caractériser au plan phénotypique les variétés étudiées, sous des conditions climatiques locales, d'identifier celles présentant un intérêt potentiel pour la culture et celles ayant des caractéristiques leur permettant de servir de géniteurs dans des programmes d'amélioration. La comparaison du comportement variétal doit permettre également de situer les caractéristiques du pool génétique du matériel marocain par rapport à celles des variétés introduites de différents pays.

Matériel et méthodes

1- Matériel végétal étudié et son origine

Les variétés étudiées, au nombre de 102, sont conduites en collections au domaine expérimental d'Ain Taoujdate (Tableau 1).

Tableau 1 : Noms et origines géographiques des variétés d'amandier expérimentées

Maroc	Tunisie	Espagne	France	Italie	USA	Serie (ACSAD)	Russie	Grèce	Bulgarie
Ktar Fessouk	Abed	Cenda 52	Ardéchoise	Marbrone	Butrank Seed Ling	Douma 22	Moskoi	Retseu	Nesserbe
LJ Menkes	Hench Beu Smail	Marcona	Princesse de Corse	Mon strosa	Non Pareil	Douma 102	VIVOT 241		
De Safi	Messaoud	Mollar de Tarragone	Al	Crismotto	Nec Plus Ultra	27 Hanah Douma	PRI MOR SKO 168		
Sultane de Nefzo	Zaal	De Murcie	Tourcontrone	Pizzuta d'Avola	Drake Seedling	Douma 27			
U52	Soussaoui R12	Desmayo Rojo	Ramillet N° 6	Fournato	Texas	DAF-DAH 24 DOUMA			
AI8	Aoudia	Desmayo Larguetta	Fournat de Brezenaud	Cascinotteral	Kapareil	HOMS			
Beua Jenzen N° 8	Khoukhi	Della Nieda Ze Linda	Fine des Dames	Ditalia	Tardy Non Pareil	DAFDAH			
Boutaleiren N° 12	Abied Ras Bej	Kalvezala	Cornicheon	Fascionello	IXL	C31			
Beni Oukfane	Achbak	Planeta	Fenilles des serres	Truiono	Early Jewdon	C39			
Ain Lenib	Type Tunisien R635	Setera	Flourentine	Tremo	Davey	A13-12 NF			
Mollar de Solé	Type Tunisien R629	Guarrigues	Tardive de Bourdeaux	Grochard	Jordanello	A4-4 SF			
			Grosse Sultane	Rachelle	Betcel	C40			
			Grosse Dure à Fior 1	Avola	Thomson	C32			
			Princesse 3	Tuono Duemo	Texas R230	A-13 12			
			Ferragnès	Nesserbe	Non Pareil R545				
			Ferraduel	Mazzetto					
			Ferragnès R486	Xantini					
			Ferraduel R465						
			Marie de Sloppe						

La quasi totalité des variétés expérimentées sont issues de sélection massale à partir de semis de hasard dans leurs pays d'origine sauf les variétés Ferragnès et Ferraduel qui ont été sélectionnées dans des populations en ségrégation à partir de croisements effectués en France, entre Cristomorto et AL. Le génotype Tardy Non Pareil est une mutation de Non Pareil. Par ailleurs, certaines variétés ont été assainies par thermothérapie pour donner des clones comme Texas R 270, Ferraduel R485, Ferragnès R486 et Tuono Thermo.

Toutes les variétés sont auto incompatibles à l'exception de Tuono, Mazzeto, A4-4 SF et A13-12 qui sont autofertiles.

Les différentes collections ont été mises en place entre 1972 et 1983, à partir de 3 arbres par génotype. Les arbres ont été greffés sur des semis de Marcona et implantés en verger non irrigué. Les arbres sont conduits en gobelet avec un écartement de 6x5 m (333 arbres/ha). La répartition des variétés, dans les collections, a été aléatoire.

2- Conditions pédoclimatiques

Le site expérimental se caractérise par un sol de type argilo-calcaire, une altitude de 500 m avec un climat semi aride, offrant une pluviométrie annuelle moyenne de 460 mm et une quantité en froid de 450 heures de température inférieures à 7,2°C. Il est à noter que ces paramètres climatiques accusent une variation interannuelle assez importante.

L'évaluation variétale qui a porté sur une période allant de 1988 à 1998 a concerné les caractéristiques morphologiques de l'arbre, les caractéristiques pomologiques des fruits, et la productivité.

3- Observations réalisées

a- Rendement :

Pour chaque variété, le poids des fruits (sans brou) récoltés sur chaque arbre est pesé annuellement.

b- Pomologie des fruits :

Sur chaque variété, un échantillon de 100 fruits a été prélevé à la récolte, aléatoirement sur les 3 arbres de chaque génotype. Sur cet échantillon, des mesures quantitatives et qualitatives ont été effectuées sur la base des 7 descripteurs morphologiques établis par Grassely et al. (1969) et Kester et al. (1980). Ces mesures ont concerné le poids de l'amande et de l'amandon, les dimensions des fruits (longueur, largeur et épaisseur), le nombre de fruits avortés et momifiés, la couleur des téguments (en distinguant trois couleurs marron foncé, marron clair, et jaune).

c- Analyses statistiques

Les données des 8 variables observées ont fait l'objet d'analyse en composantes principales (ACP). Le rendement en coque par arbre a constitué la variable à expliquer et par

la méthode de groupement hiérarchisé. Cette dernière donne une idée sur le rapprochement entre les variétés.

Résultats

1 Rendement

Les rendements moyens en coque ont présenté une grande variabilité selon les variétés. En plus de l'effet du génotype, les conditions climatiques dont les quantités de froid et les hauteurs pluviométriques, influent sur le niveau de la productivité (r= 0,72). Certaines variétés sont plus productives que d'autres et les rendements moyens extrêmes ont varié entre 0,2 kg/arbre et 9,6 kg/arbre. L'analyse de la variance des rendements a montré une différence significative entre les variétés (P= 0,033) et le classement des moyennes a donné l'avantage aux variétés CF5, AT8, Marcona, Desmayo, Fournat de Breznaud et C32. Les performances du matériel végétal par origine ont montré la supériorité du matériel méditerranéen (Figure 1). Ce comportement est le résultat de la sélection pour l'adaptation locale. Les génotypes d'origine américaine et syrienne restent peu productifs dans les conditions de cette expérimentation de même que les génotypes expérimentés des autres pays.

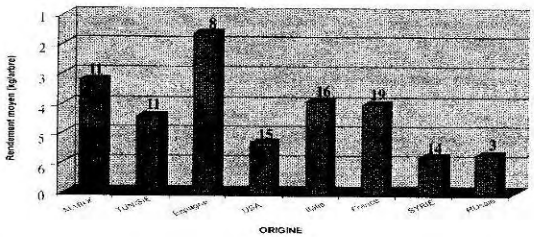

Figure 1 : Rendement moyen en coque par groupe de variétés appartenant à chaque pool génétique (En haut de chaque histogramme, le nombre de variétés étudiées pour ce caractère)

2- Caractéristiques pomologiques des fruits

2.1 Poids des amandes et couleurs des téguments

Le poids des amandons, caractère variétal, a dépendu des rendements des arbres et de la pluviométrie et a oscillé entre 0,6 et 2 g (Tableau 2). Si, dans les variétés traditionnelles (AT8, Marcona, Xantini, Tuono,...), le choix d'une variété a été basé essentiellement sur la grosseur de l'amande, les programmes d'amélioration ont réussi à combiner ce caractère avec celui de la productivité chez les sélections Ferragnès et Ferraduel où le poids du fruit a atteint 1,5 g.
La couleur des téguments est dépendante de la variété et les amandes à tégument clair caractérisent les variétés d'origine californiennes comme Nonpareil, IXL, Nec Plus Ultras. En revanche des variétés marocaines comme AT8 donnent des amandes à téguments plus foncés (Tableau 2). Les variétés à coque tendre ont tendance à produire des fruits avec des amandons à téguments clairs. Cette couleur reste généralement marron foncée avec quelques exceptions chez les autres génotypes. Durant les années pluvieuses, les téguments tendent à être généralement plus clair alors qu'aux années sèches les téguments ont tendance à être de couleur marron et à présenter un aspect ridé.

2.2 Rendement au concassage

Le rendement au concassage est un facteur biologique important qui détermine la nature de la coque et contribue à la discrimination variétale. La coque qui est un tissu maternel hérité de manière simple, varie selon les variétés (Grasselly et Crossa Raynaud, 1985). Dans les conditions marocaines, les variétés à coque demi dure ou demi tendre sont recherchées car elles ne posent pas de problèmes au stockage. Cependant, il y a peu d'intérêt pour les rendements au cassage faible comme pour les variétés Grosse dure à floraison tardive (16%) Catilla (19%) et Monstruosa (17%). Le rendement au concassage est influencé par les conditions climatiques. Les variations constatées chez ce paramètre et pour une même variété, sont liées à la hauteur pluviométrique enregistrée durant l'année où une alimentation suffisante en eau conduit à la formation d'amandon de gros calibre. A titre d'exemple, les variétés Desmayo Largueta et Fournat de Breznaud ont donné durant les années 1977 (646 mm) et 1992 (186 mm) des rendements au concassage de 28 % - 23% et 53% - 40% respectifs. Une coque tendre comme celle de De Safi (72%), Kaparell (70%), Guichard (65) Texas (55) et d'autres reste soumise aux attaques parasitaires lors du stockage en l'absence de fumigation. La dureté de la coque est donc un important caractère non seulement pour la caractérisation du germoplasme mais aussi pour l'adaptation aux conditions culturales. Une coque dure protège l'amandon contre les parasites mais conduit à des pertes si le concassage est mécanique.

Tableau 2 : Rendements, caractéristiques pomologiques et époques de floraison des variétés d'amandier conduites en conditions pluviales au Domaine INRA Aïn Taoujdate

Variété	N° de la variété	Rendement moyen (*) (kg/arbre)	Rendement conservage(%)	Poids amandon (g)	Taux jumelé	Taux avorté	Dimensions amandon L	I	E	Couleur des Téguments
Maroc										
Ksar Lassouk	1	4,9	36	1,69	1,7	1,7	23,5	12,4	8,8	M. foncée
LI Meknes	2	1,9	30	1,13	2,5	2	19,3	12	7	M. claire
De Safi	3	1,1	72	1,41	13,6	1,6	21,5	13,9	8,1	M. claire
Sultane de Sefrou	4	1,8	57	1,6	0	1,6	27,1	12,7	7,5	M.foncée
CF5	5	8,6	29	1,55	38,2	5,6	21,9	13,5	7,3	M. claire
AF8	6	7,5	29	1,06	2,2	1,7	28	13,4	7,9	M,. Foncée
Boualouzen N° 8	7	4,7	42	2,01	9,6	6,3	21,2	14,2	9,6	M.foncée
Boualouzen N° 12	8	1,9	34	1,19	0,6	0,3	21,6	13,4	7,2	M.claire
Beni Oukilane	9	3,6	40	1,78	29,3	1,1	27,2	15,7	7,8	M.claire
Aïn Leuh	10	4,6	30	0,9	2	0	26	14	8,1	M.claire
Molar de Safé	11	1,8	33	1,2	7	0	21	13	9	M. foncée
Tunisie										
Abiod	12	1,6	40	1,12	0,3	0,9	23,6	15	10	M. claire

Tableau 2 : Rendements, caractéristiques pomologiques et époques de floraison des variétés d'amandier conduites en conditions pluviales au Domaine INRA Aïn Taoujdate (Suite)

Heich Ben Smail	13	2	55	1.02	7,5	1,7	22,5	14,1	7,5	M. claire
Messaoud	14	1,3	24	1.17	2,7	0,2	18,6	10,8	7,3	M. foncée
Zaaf	15	0,5	56	1,41	2	0,3	23,3	14,9	8,9	M. claire
Constantini R42	16	1,9	46	0,9	2	0	23,6	10,9	8	M. foncée
Atocha	17	3,1	28	0,8	2	4	23,7	13,7	7,6	M. foncée
Khoukhi	18	4,4	33	1,2	8	1	22	13,9	8,5	M. foncée
Abiod Ras Jbel	19	2,5	31	1,2	1	2	20,9	12,7	7,8	M. foncée
Achaak	20	2,8	46	1,2	2	1	26,3	13,2	8,1	M. foncée
Type Tunisien R635	21	4,3	28	1,1	10	2	26	13,4	8,1	M. foncée
Type Tunisien R629	22	4,2	35	0,7	0	2	19,5	11,3	7,4	M. foncée
Espagne										
Catilla 52	23	4,2	19	1,4	2	4	23,2	15,4	8	M. foncée
Marcona	24	8,5	24	1,2	0	7	20,5	16,3	8,4	M. foncée
Mollar de Tarragona	25	2,2	40	0,8	7	1,8	23,7	13,2	8,2	M. foncée
De Murcie	26	3,3	36	2,4	3,8	1,4	14,4	7,8	3	M. claire
Desmayo Rojo	27	9,6	23	1,5	4		21,8	13,7	8,4	M. foncée
Desmayo Largueta	28	9	25	1,4	8,4	2,9	2402	12,7	7,2	M. foncée

Tableau 2 : Rendements, caractéristiques pomologiques et époques de floraison des variétés d'amandier conduites en conditions pluviales au Domaine INRA Ain Taoujdate (Suite)

Della Nueva Zelanda	29	3	24	1,5	3,8	8	22,1	15,7	6,8	M. claire
Kolorada	30	3,7	35	1	11	1	22,8	13,4	7,8	M. foncée
Planeta	31	5,4	25	0,6	2	0	22,1	12,2	6,9	M. foncée
Sotera	32	5,9	26	0,8	1	2	23,7	12,3	6,8	M. foncée
Guarrigues	33	4,4	30	0,7	1	0	19,8	13	7,6	M. foncée
USA										
Burbank Seedling	34	0,9	32	1,5	11,2	5,4	25,8	13,7	7,1	M. claire
Non Pareil	35	2,7	52	1,5	0,2	0,8	24	14,2	7	M. claire
Nec Plus Ultra	36	0,3	57	1,6	3,7	4	26,2	14,7	7,2	M. claire
Drake Seedling	37	1,6	43	5	2,3	1,5	24,4	13,5	9	M. claire
Texas	38	3,9	55	1,24	2,3	1	19,3	12,8	8,5	M. claire
Kapareil	39	0,4	70	1,3	8	1	26,2	10,8	8,1	M. claire
Tardy Non Pareil	40	2,1	53	1,4	0	1	24,2	10,6	8	M. claire
IXL	41	2,3	56	0,8	3,7	0,6	23,3	15	8,3	M. claire
Early Jourdan	42	1,3	26	1,6	3,6	0,6	26	13,4	6,3	M.claire
Davey	43	1,3	55	0,6	1	1	21,6	13,6	7,5	M. claire
Jordanolo	44	1,5	37	1,3	0	1	23	12,3	7,8	M. claire
Delcid	45	4	26	1,1	1	4,5	23,8	13,3	7	M. claire

Tableau 2 : Rendements, caractéristiques pomologiques et époques de floraison des variétés d'amandier conduites en conditions pluviales au Domaine INRA Ain Taoujdate (Suite)

Thomson	46	2,4	58	0,9	2	2,2	23,1	12,7	8	M. claire
Texas R270	47	0,2	38	1	0	2	24,7	13,8	7,8	M. claire
Non Pareil R645	48	1	56	0,9	0	0	19,5	12,5	7,9	M. claire
Italie										
Matherone	49	2,1	33	1,2	4,9	1,2	20,6	13,2	8,8	M. claire
Monstruosa	50	1,6	17	1,17	3,7	1,3	29,1	17,6	7,2	M. claire
Cristomorto	51	4,5	18	1,2	0	1,4	22,6	12,4	7,8	M. claire
Pizzuta d'Avola	52	2	24	1,2	0,6	0,3	26,1	13,5	5,9	M.foncée
Corneta	53	0,8	30	1,3	5,8	0,4	25	13,6	7,7	M. foncé
Cascarattena	54	2,9	32	1,3	4	1,4	26,3	13,8	6,3	M. claire
Italia	55	1,3	26	1	3,3	0,3	22,2	13,9	8,2	M.claire
Fascionello	56	5,3	24	1,2	2	0,5	29,7	15	7,5	M. foncée
Truiolo	57	4,9	30	1,9	9,6	0	22,5	14,2	8,1	M. foncée
Tuono	58	3,5	34	1	1	1	27,3	14,8	8,7	M.foncée
Guichard	59	3,5	65	1,4	2,2	0,5	22,3	14,3	7,8	M. claire
Rachelle	60	2,3	25	1,1	3	1	20,7	14,8	7,4	M. claire
Avola	61	4,9	32	1,1	0,6	0,6	23,6	14,4	6,4	M. claire
Tuono thermo	62	2,9	31	1	3	0	24,1	14,4	7,8	M.foncée
Mazzetto	63	2,2	35	1	5	1	23,3	14,5	7,9	M.foncée
Xantini	64	4,2	31	1	12	5	25,2	12,9	7,8	M.foncée
France										
Ardéchoise	65	4,3	40	0,8	3	2	25,7	14,5	8,2	M.claire

Tableau 2 : Rendements, caractéristiques pomologiques et époques de floraison des variétés d'amandier conduites en conditions pluviales au Domaine INRA Ain Taoujdate (Suite)

Princesse de Corse	66	1,7	53	1,6	4,8	4,3	23,1	13,3	9,2	M.claire
A1	67	2	29	0,8	4	1	22,6	9,8	8	
Fourcouronne	68	4,8	37	0,9	4	2	25,7	12,9	7,1	M.claire
Ramillet N° 6	69	4	34	1,3	2	0	26,8	13,8	6,3	M.claire
Fournat de Brezenaud	70	6,1	50	1,1	6,7	1,8	29,5	16,6	7,4	M.claire
Fine des Dames	71	1,4	32	1,7	9,4	0,9	26,7	8,2	6	M.claire
Cornichon	72	1,5	44	1,5	17,5	1,6	27,3	15,1	8,3	M.claire
Fertiles des serres	73	2,1	25	2	24,2	3,5	27,4	13,6	6,4	M.foncée
Flourembas	74	1,2	25	0,7	0	1	23,4	15,3	8,5	M.foncée
Tardive de Bordeaux	75	1,5	27	1,7	5,4	1	24,5	14,5	7,8	M.claire
Grosse Sultane	76	2,3	24	1	0	1,4	26,2	12	8,5	M.claire
Grosse Dure à Hor. T.	77	0,2	16	1,3	2,3	23	30,9	18,4	7,4	M.claire
Princesse 3	78	2,9	42	0,8	30	1	25,5	13,1	7	M.foncée
Ferragnès	79	5,1	35	0,9	0	1	26	13	7	M.foncée
Ferraduel	80	3	27	1,5	0	0	25	13,5	4,2	M.foncée
Ferragnès R 486	81	5,5	30	1,5	2	2	25,7	14	8,1	M.foncée
Ferraduel R485	82	4,9	22	1,3	0	0	24	14,7	8,1	M.foncée
Marie de Steppe	83	2,1	24	1,4	0	3	25,9	15,3	7,7	M.foncée

Tableau 2 : Rendements, caractéristiques pomologiques et époques de floraison des variétés d'amandier conduites en conditions pluviales au Domaine INRA Aïn Taoujdate (Suite et fin)

Syrie										
Douma 22	84	1,1	41	2,1	2	3	36,2	14	8,7	M.foncée
Douma 102	85	1,3	30	1,2	4	0	21,2	13,6	9,1	M.foncée
27 Hamah Douma	86	0,8	23	1,2	2	2	22,5	14	7,3	M.foncée
Douma 27	87	2,5	37	2	0	5	40	15,4	9,1	M.foncée
Dafadii 24 Douma	88	2,8	23	1,6	3	2,5	33	14	6,5	M.foncée
Homs	89	0,9	24	0,9	3	1	20,3	13,2	9,1	M.foncée
Dafadii	90	0,5	30	0,8	0,5	1	30	12	8	M.foncée
C31	91	2,3	25	2,1	18	1,5	21,6	13,5	7,1	M.foncée
C39	92	0,5	50	1,8	2	0	27	16	9,4	M.foncée
A13-12 SF	93	1,7	56	0,8	0	0	20,3	12	8,7	M.foncée
A1-4 SF	94	0,6	31	1,2	8	2	26,3	15,8	7,8	M.foncée
C40	95	0,7	27	2,1	0	0	26,1	14,3	7,8	M.foncée
C32	96	6,2	28	1,4	0	0	25,9	15,6	7,9	M.foncée
A 13-12	97	0,9	36	1,3	1	3	25	14,8	7,7	M.foncée
Russie										
Moskot	98	0,7	52	1	2	1	25,3	13,2	7,5	M.foncée
Vlivot 241	99	2,5	23	1,1	0	2,5	23	12,5	8,4	M.foncée
Primorski 168	100	0,7	58	1,3	0	1	27,6	14,5	9	M.foncée
Grèce										
Retsou	101	2,6	50	1	7	2	27,4	11,9	8,4	M.foncée
Bulagrie										
Nessorbe	102	0,9	18	1	3	1	23,2	13,2	7,8	M.foncée

* = moyenne calculée sur 7 années, PF = pleine floraison, DF= durée de floraison, R= marron

2.3. Production d'amandon double

La production d'amandon double est un caractère qui résulte de la fécondation des deux ovules que renferme l'ovaire. Ce taux semble être lié à la période de floraison des variétés. Celles à floraison précoce ont tendance généralement à avoir des taux de fruits jumelés plus élevés que celles à floraison tardive (Tableau 2). Les basses températures de pré-floraison semblent influer sur le développement des deux ovules que renferme l'ovaire et favorise les chances de développement d'amande à graines doubles (Grasselly, 1972, Egea et Burgos, 1994).
La formation de fruits jumelés a varié, aussi, selon l'année et l'origine géographique des variétés où elle a atteint des taux élevés, de 38% pour CF 5, 29% pour Beni Ouklane. Elle traduit la pression de sélection exercée par l'homme sur le matériel végétal local issu de semis pour favoriser ce type de production. Ce caractère qui était favorisé par la sélection du passé, ne constitue plus actuellement un trait d'une qualité commerciale recherchée. Les variétés issues de croisements entre géniteurs ne renfermant pas ce caractère ont donné des taux faibles à nuls de fruits doubles comme Ferragnès, Ferraduel, Non pareil R645, Tardy Nonpareil.

2. 4. Avortement des fruits

Le taux de fruits avortés a varié de 0 à 23% selon les variétés indépendamment de leur origine génétique ou géographique (Tableau 2). Ce taux qui dépend de la pollinisation et de la fécondation de l'ovule traduit également la sensibilité de la variété à la sécheresse. Cette dernière coïncide généralement avec la période de remplissage des graines. Une charge élevée des arbres induit la formation d'un taux élevé d'amandons avortés. Elle serait la conséquence d'une forte compétition pour les ressources hydrominérales. Ce cas est illustré par les variétés productives (7 à 9 kg/arbre) comme CF5, AT8 et Boualouzen n° 8 , Marocona, Desmayo. En effet, la persistance de fruits à coque développé mais avec des amondons avortés jusqu'à la récolte serait le résultat d'un avortement embryonnaire en relation avec la sensibilité à la sécheresse comme pour les variété Nec Plus Ultra, Burbank Seedling, Della Nueva Zelanda qui donnent un taux d'avortement de 5 à 8 % pour des rendements moyens ne dépassant pas 3 kg/arbre. De même les variétés sensibles à la sécheresse produisent des fruits minces, ridés et généralement avec un calibre petit.

3. Ressemblance phénotypique entre les variétés de différentes origines

La classification hiérarchisée effectuée sur les moyennes de 9 variables a révélé l'existence de 2 groupes distincts (Tableau 2). (Figure 2). Le deuxième groupe peut être subdivisé en 3 sous groupes proches morphologiquement. Leur comparaison a permis de déceler des différences pomologiques entre les variétés qui les constituent et chaque groupe renferme plusieurs variétés appartenant à différents pays. Des similitudes morphologiques et assez marquées existent donc entre les génotypes de différentes origines

géographiques. Chaque groupe de variétés originaire d'un pays ne forme pas un groupe ayant, en général, des caractères morphologiques proches et montre donc la diversité engendrée par l'allogamie de l'espèce.

Le pool génétique américain se distingue par une coque tendre avec un amandon à téguments clairs. Celui de l'Espagne par des amandes à tendance sphérique avec des coques principalement dures. Le groupe des variétés italiennes avec une ramification généralement réduite, un mode de fructification sur des spurs (bouquet de mai), le groupe des variétés tunisiennes se distingue par des fruits relativement épais avec une coque tendre. Ces groupes forment des écotypes qui se distinguent aussi par leur sensibilité différente aux maladies.

Dans les deux groupes distincts sur le phénotype, chacun renferme des variétés de différentes origines géographiques (Tableau 3). Ce rapprochement est à mettre en relation avec l'échange de matériel végétal entre pays et la proximité génétique entre variétés liée à l'existence d'ancêtre commun dans leur généalogie ascendante. Par des caractéristiques pomologiques des amandes, certains génotypes marocains auraient de proches ancêtres avec le matériel américain comme le cas le Sultane de Sefrou et N+Ultra, Boualouzen N°8 et Texas. Ces similitudes ont été également constatées sur des variétés en collections dans d'autres conditions climatiques (Grasselly, 1972).

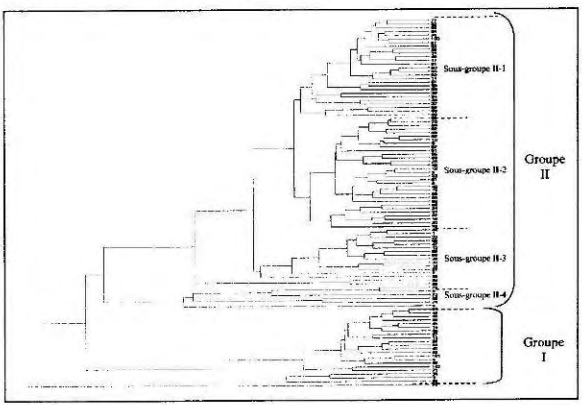

Figure 2 : Diagramme de classification hiérarchisée des variétés d'amandier (les variétés sont mentionnées par leurs numéros du tableau 2)

Tableau 3 : Regroupement statistique des variétés et principales caractéristiques de chaque groupe

Groupe	Sous groupe	Variétés	Origine géographique	Principales caractéristiques
I		De safi. Boualouzen n°8, Hetch Ben Smail, Zaaf, A4-4SF,	Maroc	Groupe des variétés faiblement productives en conditions pluviales avec une coque à dominance tendre. Les téguments des amandons sont clairs.
		Zaaf	Tunisie	
		IXL,Texas,Davey, Non Pareil, Kaparell, Tardy Non Pareil,Non Pareil R645, Tompson	USA	
		Guichard	Italie	
		Ai. Princesse3, Fine des dames,	France	
		A13-12SF, A4-4SF, , C40.	Syrie	
		Vlivot24l,	Russie	
		Nesserbe	Bulgarie	
		Atocha	Tunisie	
		Sotera, Planeta,	Espagne	
		Deloid	USA	
		Pizzuta d'Avola.	Italie	
		Tardive de Bordeaux,Ferragnès R486, Marie de Stepp,	France	
		C32, Douma22, Douma 27, Houa,	Syrie	
		Primorski 168.	Russie	
II	1	Atocha	Tunisie	Variétés donnant des rendements faibles en général. Le rendement au concassage est faible à moyen. L'amandon est de petit calibre avec des taux de fruits jumelés très faible
		Sotera, Planeta	Espagne	
		Deloid	USA	
		Pizzuta d'Avola	Italie	
		Grosse dure à F.T., Ferragnès R486, Marie de stepp, Tardive de Bordeaux	France	
		C32, Douma 22	Syrie	
		Primorski.	Russie	
	2	Am Leuh, AT8; LI Meknes, Boualouzen n°12, Melar de Safé,	Maroc	Groupe des variétés avec des rendements moyens à élevés. La coque est en général dure avec des dimensions élevées des amandes. Le rendement au concassage est faible à moyen et le poids des amandons est moyen.
		Messaoud, Abiod Ras Jbel, Type Tunisien R635, Khoukhi.	Tunisie	
		Catilla52, D.N. Zellanda, Marcona, Desmayo L., Desmayo R., Guarrigues, Kolorado.	Espagne	
		Early Jourdan, Burbank seedling.	USA	
		Rachello, I. Italia, Cristomorto, Mazzeto, Fascionello, Monstruosa, Tuono thermo, Cascarattierna, Cornetta, Avolat, Matherone, Xantini, Rachelle,Truioto,	Italie	
		Ferraduel, Fournat de Brezmaud, Fourcourone, Cornichon,	France	
		Dafadii, A13-12, 27 Hamah Douma,	Syrie	
	3	Ksar Essouk, Boualouzen n°8,	Maroc	Variétés avec amandons de calibre moyen à élevé avec taux de fruits jumelés élevés
		Type Tunisien R629 , Abiod, Achaak, Constantini R42,	Tunisie	
		Mollar de Tarragona, De Murcie,	Espagne	
		Jordanolo, Texas R270, Dreak seedling,	USA	
		Ramelette n°6, Princesse de Corse	France	
		Dafadii 24 Douma, Douma 102,	Syrie	
		Moskoi	Russie	
	4	Bni Ouklane, CF5	Maroc	
		Ferragnès, Fertile des serres, Flourembas,	France	
		C39	Syrie	

Discussion et conclusion

La collection variétale d'amandier établie avec des génotypes locaux et étrangers présente une large variabilité génétique qui apparaît au niveau des caractéristiques pomologiques des fruits, notamment le rendement au concassage, le calibre et la forme des amandes.

L'importance de la diversité génétique chez cette espèce offre des possibilités importantes pour l'amélioration de la productivité et la qualité des fruits.

La délimitation de groupes variétaux, basée sur leurs origines géographiques, n'est pas facile en raison de l'appartenance probable à des ancêtres communs et à une sélection empirique ancienne basée essentiellement sur la grosseur du fruit et aussi le relativement faible échantillonage, du moins pour certains pays. Les caractéristiques pomologiques des fruits et les époques de floraison des variétés contribuent à discriminer entre les variétés.

Les variétés à floraison tardive ont donné, généralement, des rendements faibles comparativement aux variétés à floraison moyenne et qui sont, pour la plus part des cas, à coque dure comme AT8, CF5, Marcona, Desmayo. Des résultats similaires ont été obtenus dans des conditions climatiques proches de celles du site expérimental (Godini, 1984). Les variétés les plus productives s'adaptant aux conditions d'aridité du milieu, ont donc des rendements au concassage inférieur à 30% et donc un mésocarpe réduit. L'évaluation des performances des variétés, dans cet environnement semis aride, et leur classification sur la base des rendements réalisés, reste cependant difficile car elles dépendent de plusieurs interactions entre facteurs qui ne sont pas contrôlés génétiquement. L'analyse de ce paramètre nécessite la prise en considération des combinaisons variétales, l'impact de l'environnement et des pratiques culturales.

La sélection effectuée dans les populations locales a donné naissance à des variétés performantes et parfois largement cultivées comme CF5, AT8, Marcona, Desmayo et Fournat de Breznaud (Grasselly, 1972, Grasselly et Crossa Raynaud, 1980). Ces variétés restent performantes pour la culture en conditions locales semi arides. Les descendances issues de croisements entre écotypes éloignés, où le caractère de tardiveté de floraison a été un objectif majeur de sélection, ont apporté une amélioration notable dans les caractères recherchés. C'est ainsi que le comportement de la variété Ferragnès a montré des performances au niveau rendement associé à la combinaison de caractères de tardiveté de floraison et du bel aspect de l'amandon. Avec son polfinisateur Ferraduel, cette combinaison constitue actuellement la base des plantations dans le bassin méditerranéen.

L'assainissement par thermothérapie a apporté une amélioration des rendements par rapport aux souches mères d'origine notamment avec Ferragnès R-486 et Ferraduel R-485. L'impact de la contamination virale sur la productivité de l'amandier est bien connu. La faiblesse des rendements constatée sur Tuono Thermo et Non Pareil R 645 serait liée à une contamination probable de ce matériel en collection ou leur inadaptation.

L'étude a permis également de connaître les aptitudes de chaque variété en conditions pluviales et d'envisager le choix de variétés régionales, sur la base de facteurs contraignants (gelée, pluviométrie,..). Des géniteurs de caractères d'intérêt ont été identifiés aussi pour un programme d'amélioration national dont les objectifs de sélection varient en fonction du milieu climatique. Parmi les variétés productives et qui ont donné un amandon de gros calibre il y a les variétés CF5 et AT8. Ils ont cependant une floraison moyenne avec un taux de fruits jumelés élevé pour le premier génotype. Marcona est aussi très fertile, avec une mise à fruit très rapide, un amandon simple et de bel aspect. La formation d'un pourcentage élevé de fruits simples et le bel aspect de l'amandon ont été notés sur les variétés Ai et Cristomorto. L'existence de caractère d'autocompatibilité dans certains génotypes de la collection, se transmettant facilement à la descendance (Felipe et Socias i Company, 1985), offre la possibilité d'entamer un programme d'hybridation pour ce caractère en vue de sélectionner des variétés autofertiles qui s'affranchissement des contraintes de pollinisation.

Remerciement : Les auteurs remercient Pr F. DOSBA (Agro. Montpellier) et Mr F. ABBAD (INRAM, DS) pour les corrections pertinentes apportées au contenu scientifique de l'article..

Références bibliographiques

Anonyme, 2006. Bilan des rosacées fruitières au Maroc. DPV, Ministère de l'agriculture et du développement rural. Rabat, Maroc.

Barbeau, G. and A. El. Bouami, 1979. Prospection de tardivité de floraison chez l'amandier dans le sud Marocain. Fruits 34(2) : 131-137.

Barbeau, G. and A. EL Bouami, 1980. Prospections "amandier" dans le sud marocain. Fruits 35(1) : 39-50.

Egea, J. and L. Burgos, 1994. Double kernelled fruits in almond (Prunus dulcis Mill.) As related to pre-blossom temperatures. Journal of Horticultural Science and biotechnology 163-167.

Felipe and Socias i Company, 1985. L'amélioration génétique de l'amandier à Saragosse. Options Mediterr. CIHEAMAZ 85/1 :9-14.

Grasselly, Ch. 1971. L'amandier et ses possibilités d'amélioration. Agronomia Lusitana. 163-171.

Grasselly, Ch. 1972. L'amandier, caractéristiques morphologiques et physiologiques et modalités de leurs transmissions chez les hybrides de première génération. Thèse présentée à L'université pour l'obtention de grade de Docteur Es-sciences.

Grasselly, Ch. ; H. Gall et P. Leglise. 1969. Etude pomologique de quarante variétés d'amandier. Bull. Technique d'information. 241 :507-522.

Grasselly, Ch.; P. Crossa-Raynaud et G. Olivier. 1985. Récents progrès dans l'amélioration génétique de l'amandier. Proceeding du 5ème Colloque sur les recherches fruitières-Bordeaux, 141-155.

Grasselly, Ch.; et P. Crossa-Raynaud. 1980. L'amandier. Edition Maisonneuve et Larose. Paris.

Godini, A. 1984 dans Garcia et al., 1988; EUR-11557, 1 :33-45). et Garcia et al., (1988); EUR-11557, 1 :33-45)

Kester, D.E. 1990. The biological and cultural evolution of the almond. Unpublished paper.

Kester D.E., W.C. Micke, D. Dough, D. Morrison ,R. Curtis. 1980. Almond variety evaluation. California Agriculture 34(10): 4-7.

Kester, D. E., T. M. Gradziel and CH. Grasselly, 1991. Almonds (Prunus). Genetics resources of temperate fruits and nuts crops. Acta Hort. 290 : 701-758.

Laghezali, M. 1985. L'amandier au Maroc. Options Mediterranean.85 (1): 91-96.

Mamouni A. M. Laghezali et S. Fakir, et L. D. Wallali. 1998. Polymorphisme enzymatique de types apparentés à la variété d'amandier Marcona.Options Méditerranéennes. 33 : 19-24.

Laansari A. 1993. Self-Incompatibility in sour cherry (*Prunus cerasus* L.) and Inbreeding and multivariate relationships among almond (*Prunus dulcis* (Miller) D. A. Webb) cultivars. PHD, Michigan state University, USA.

Oukabli A. 2001. Conséquences consanguines liées à autocompatibilité chez l'amandier *Prunus dulcis* (D.A. Webb.) Miller cv. <Tuono>. Thèse Doctorat Es-Sciences Agronomiques , IAV Hassan II,

Oukabli A., A. Lansari, D. E. Wallali Loudiyi, A. Abousalim, J. Egea et N. Michaux Ferriere. 2000. Self and cross pollination on pollen tube growth and fertilization in self-compatible almond *Prunus dulcis* 'Tuono'. Journal of Horticultural Sciences and Biotechnlogy. 75(6) : 739-744.

Oukabli A., A. Mamouni and M. Lahlou, 2003. Behaviour of some selfcompatible almond selection In the Mediterranean sea side (Morocco) . Option Mediterranean, Série A. 63 : 153-160.

Socias i Company, R., and A. J. Felipe, 1992. Almond: A diverse germplasm. HortScience, Vol. 27(7) 718-719.