

Étude de la variabilité phénotypique du fruit de figuier de Barbarie d'une collection ex-situ d'accessions locales dans le contexte oasien du Tafilalet - Maroc

Homrani Bakali Abdelmonaim ⁽¹⁾, Harrak Hasnaâ ⁽²⁾ et Noutfia Younes ⁽³⁾

abdelmonaim.homranibakali@inra.ma

1 : INRA, Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Errachidia, Avenue Moulay Ali Chérif, Errachidia, B.P. 2 Errachidia principale, Maroc.

2 : INRA, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech, B.P. 533, Marrakech 40 000, Maroc.

3 : INRA, Département Agroalimentaires et Qualité - Division Scientifique, Avenue Ennasr Rabat, Maroc B.P. 415 RP, Rabat, Maroc.

Résumé

Vu sa grande tolérance aux sécheresses extrêmes, le figuier de Barbarie (FB) notamment l'espèce *Opuntia ficus-indica* pourrait être une culture alternative économiquement importante dans les zones oasiennes irriguées. Dans l'objectif de sélectionner les fruits les plus prometteurs pour le contexte oasien du Tafilalet, 36 accessions du FB (28 accessions d'*Opuntia ficus-indica* f. *ficus-indica* et 8 accessions d'*Opuntia ficus-indica* f. *amyclaea*) issues de différentes régions du Maroc et cultivées au niveau de la région de Tafilalet ont été évaluées. Dix-sept critères morphologiques du fruit et quatre critères physiques et physico-chimiques incluant la fermeté, la couleur, le pH et le degré Brix de la pulpe ont été analysés. Tous les critères étudiés ont enregistré une variation significative intra et inter-formes du cactus. Ainsi par exemple, le poids du fruit varie significativement entre 73,9 g et 132,8 g. De même le degré Brix varie de 9,3 ° à 13,6 °Bx. La forme du FB (f. *ficus-indica* et f. *amyclaea*) et l'origine géographique ont affecté ces caractéristiques. La comparaison des résultats de cette étude avec ceux obtenus pour les mêmes accessions d'*Opuntia* cultivées dans la région d'Agadir ont révélé des différences significatives en termes de poids des fruits, de pH et de degré Brix en faveur de l'environnement d'Agadir. La classification ascendante hiérarchique permet de séparer cinq groupes. Sept accessions ont ainsi été sélectionnées pour le contexte oasien de la région du Tafilalet.

Mots-clés. *Opuntia* spp., Fruit, Accessions, Qualité, Maroc, système oasien.

Study of phenotypic variability of prickly pear fruit of an ex-situ collection of local accessions in the Tafilalet oasis context – Morocco

Abstract

Prickly pear especially *Opuntia ficus-indica* species could be an economically important alternative crop in irrigated oasis zones, as it tolerates very well extreme droughts. In order to select the most promising fruits for the Tafilalet oasis context, 36 accessions of the prickly pear (28 accessions of *Opuntia ficus-indica* f. *ficus-indica* and 8 accessions of *Opuntia ficus-indica* f. *amyclaea*) from different regions of Morocco and cultivated in Tafilalet region were evaluated. Seventeen fruit morphological traits and four physical and physicochemical criteria of pulp including firmness, colour, pH, and degree Brix were analysed. All the observed criteria recorded a significant variation within and between the forms of cacti. As an example, the weight of the fruit varies significantly between 73.9 g and 132.8 g. Likewise, the degree Brix varies from 9.3 ° to 13.6 ° Bx. The form of the prickly pear (*ficus-indica* and *amyclaea*) and the geographical origin affected the characteristics of the fruit. Compared to other study on the same accessions in Agadir region revealed significant differences regarding fruit weight, pH and degree Brix in favour of Agadir environment. Five groups were proposed using agglomerative hierarchical clustering. Seven accessions were thus selected for the production of the fruit for Tafilalet oasis context.

Keywords. *Opuntia* spp., Fruit, Accessions, Quality, Morocco, oasis system.

دراسة التباين المورفولوجي لفاكهة التين الشوكي لمجموعة من الأنواع المحلية لسياق الواحة بتافيلالت – المغرب

الحراني البقالي عبد المنعم، الحراق حسناء و نوطفيا يونس

ملخص

يمكن اعتبار التين الشوكي (*Opuntia ficus-indica*) من الزراعات البديلة التي يمكن أن تدر دخلا مهماً للفلاحين بمناطق الواحات المسقية، حيث يتحمل بشكل جيد الجفاف الشديد. من أجل اختيار أكثر الفواكه الواعدة لسياق واحة تافيلالت، 36 نوعا من التين الشوكي (28 نوعا من *Opuntia ficus-indica* f. *ficus-indica* و 8 أنواع من *Opuntia ficus-indica* f. *amyclaea*) منحدرة من مناطق مختلفة من المغرب و مزروعة في منطقة تافيلالت. تم تحليل سبعة عشرة خاصية مورفولوجية للفاكهة بالإضافة إلى أربعة خصائص فيزيائية وفيزيوكيميائية تشمل الليونة واللون والرقم الهيدروجيني والبريكس. سجلت جميع الخصائص المدروسة فروق ذات دلالة إحصائية بين وداخل أشكال الصبار. أثير شكل التين الشوكي (شكل *ficus-indica* و *amyclaea*) والأصل الجغرافي على خصائص الفاكهة. أظهرت مقارنة نتائج هذه التجربة مع تلك التي تم الحصول عليها لنفس أنواع الصببر *Opuntia* المزروعة في منطقة أغادير فروقا بارزة من حيث وزن الفاكهة ودرجة الحموضة والبريكس لصالح بيئة أغادير. تم اقتراح خمس مجموعات باستخدام التكتل الهرمي. كما أتاحت هذه الدراسة إمكانية اختيار سبعة أنواع لإنتاج الفاكهة في سياق تافيلالت.

الكلمات المفتاحية: الصببر *Opuntia* spp، فاكهة، نوع، جودة، المغرب، نظام الواحات.

Introduction

Le cactus ou le figuier de Barbarie (FB) est originaire de l'Amérique latine. Il est principalement cultivé dans les pays chauds, arides et semi-arides, y compris le Maroc, la Tunisie, l'Algérie, l'Afrique du Sud, l'Italie, le Brésil, l'Argentine, le Chili et le Mexique (Felker et Inglese, 2003). Le cactus a été introduit au Maroc vers le 16^{ème} siècle (Monjouze et Le Houérou, 1965). Sa superficie n'a cessé d'augmenter jusqu'à l'apparition de la menace de la cochenille (*Dactylopius opuntiae* Cock.), un ravageur dévastateur qui menace actuellement la pérennité de cette culture au Maroc (Anonyme, 2017 ; Covarrubias, 2018). La production de fruits comestibles et de fourrage pour le bétail représente la première importance économique de cette espèce au Maroc.

Au niveau mondial et sur le plan génétique, plusieurs programmes de sélection de génotypes performants décrivent la variabilité génétique des espèces d'*Opuntia* sur des bases de la morphologie, le rendement, la qualité du fruit, la reproduction, les traits anatomiques et physiologiques (Wessels et Holtzhausen, 1991 ; Pimienta-Barrios, 1994 ; Barbera et al., 1995 ; Pimienta et Munoz 1995 ; Mondragón-Jacobo et Bordelon 1996 ; Mondragón-Jacobo et Salvador, 2001 ; Felker et al., 2005 ; Reyes-Agüero et al., 2005 ; Gallegos-Vázquez et al., 2006 ; Zoghalmi et al., 2007 ; Peña-Valdivia et al., 2008 ; De Wit et al., 2010 ; Chalak et al., 2014 ; Chougui et al., 2016 ; Adli et al., 2017). L'espèce des cactées la plus commune qui a la plus grande importance économique dans le monde étant *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (Kiesling, 1999).

A l'échelle nationale, une très grande diversité de types et de formes de cactus est créée au sein des cactées marocaines sous la menace actuelle de la cochenille du cactus. Cette variabilité pourrait être considérée comme une richesse économique à laquelle il faudra accorder plus d'importance. Les principales variétés distinguées par les agriculteurs sont selon les appellations locales : *Aissa*, *Moussa*, *Dellahia*, *Al Akria*, *Achter*, *Draibina*, *Acherfie* et *Mles*. En outre, la majorité des travaux publiés sur la biodiversité des cactus cultivés au Maroc s'intéressent principalement à ces variétés (Boujghagh et Chajia, 2001 ; Arba et al., 2009 ; Boujghagh, 2011 ; El Finti et al., 2013a ; 2013b ; El Kharrassi et al., 2015).

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), un des pionniers dans le domaine de la recherche sur le cactus au Maroc, a mis en place en 2000 la première collection du cactus locale, à l'échelle nationale et internationale (Boujghagh et Chajia, 2001). Cette plateforme a plusieurs finalités comme la sélection des cultivars pour la production du fruit, de cladodes légumières et de cladodes fourragères, pour la lutte contre la désertification et récemment pour la lutte contre la cochenille (Sbaghi et al., 2018).

En raison des multiples usages et de la capacité du cactus pour prospérer dans les milieux arides, il est devenu de plus en plus judicieux de décrire et de caractériser ces précieuses ressources dans plusieurs biotopes. Par conséquent, le travail consiste à évaluer les caractéristiques phénotypiques du fruit de 36 accessions d'*Opuntia* plantées dans un écosystème oasien. L'hypothèse émise est que le changement de l'environnement de plantation des accessions peut induire des variabilités dans les critères de qualité des fruits en faveur de la sélection de génotypes adaptés au contexte oasien du Tafilalet.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est composé de deux formes, inerme et épineuse, du FB respectivement : *Opuntia ficus-indica* f. *ficus-indica* (OFI) et *Opuntia ficus-indica* f. *amyclaea*, synonyme taxonomique (homotypique) d'*Opuntia megacantha* (OM), synonyme nomenclatural (hétérotypique) d'*Opuntia amyclaea* (Kiesling et Metzing, 2018). Trente-trois cactées étudiées dans cette étude proviennent du domaine expérimental (DE) de Melk Zhar à Belfaa (30,04"N, -9,55"W) relevant du Centre Régional de la Recherche Agronomique (CRRRA) d'Agadir (INRA Maroc). Ces accessions ont été collectées de différentes régions du Maroc en 2000. Ces régions sont éloignées et couvrent différents étages bioclimatiques. Elles sont situées entre 10 et 1550 m d'altitude et reçoivent des précipitations entre 137 et 686 mm. Trois autres accessions proviennent de la région d'Errachidia. Soit au total 36 accessions étudiées (Tab. 1).

Protocole expérimental

L'essai au champ est réalisé au cactetum installé en 2012 au DE d'Errachidia relevant du CRRRA d'Errachidia localisé dans la région du Tafilalet à la latitude 31,91"N, la longitude 4,44"O et l'altitude de 1060 m. Le sol de la parcelle d'essai est sablo-limoneux. Les précipitations moyennes annuelles sont de 137 mm alors que les températures d'été peuvent atteindre 50°C. L'hiver y est très froid et la température minimale peut descendre à -7°C (Homrani, 2018). Les 33 accessions du DE de Melk Zhar ont été installées sur un sol sableux alcalin pauvres en matière organique. Ce DE se caractérise par une variabilité importante de la pluviométrie un climat aride et. La pluviométrie moyenne annuelle de 188 mm et une température moyenne annuelle 19,1°C.

L'irrigation du FB est assurée par le système de goutte à goutte avec une fréquence de 6 arrosages par an, concentrée essentiellement entre les mois de janvier à septembre. La dose d'irrigation a été estimée à 6 L par plant. Le désherbage mécanique est assuré de façon périodique. Les cactus sont plantés selon un dispositif expérimental en Bloc Aléatoire Complet avec 4 répétitions, soit au total 144 individus étudiés. La densité adoptée est de 833 plants/ha (3 x 4 m). L'unité expérimentale est composée d'un seul arbuste par accession. Le taux de reprise enregistré après 36 mois est de 88±32,4% qui a passé à 97±16,5% après le regarnis effectué.

Tableau 1. Provenances des accessions du figuier de Barbarie étudiées et données climatique moyennes des sites de collecte.

Espèces	CODE	Origine géographique	A (m)	P (mm)	m (°C)	M (°C)	T (°C)	Q2 Emberger
<i>Opuntia ficus-indica</i> f. <i>ficus-indica</i>	FF18	El Maader, Tiznit	252	165	8,8	29,4	19,4	27,0
	FF29	Aït Boufoulen, Sidi Ifni	1040	206	3,3	27,9	15,5	32,1
	FF33	Tlata Sbouya 1, Sidi Ifni	305	138	9,4	26,0	18,3	28,6
	FF36	Tlata Sbouya 2, Sidi Ifni	305	138	9,4	26,0	18,3	28,6
	FF70	Aghroud, Agadir	10	246	7,4	27	18,6	43,2
	FF77	Sebt Guerdane, Taroudant	185	218	7,0	31,5	20,0	30,4
	FF83	Aït Iaâza, Taroudant	275	236	6,4	32,8	20,1	30,6
	FF105	Had Dra, Essaouira	200	304	8,4	24,8	17,2	64,0
	FF114	Barraket Lamine, Safi	147	318	8,3	28,9	18,6	52,9
	FF130	Assaka, Ouarzazate	1380	300	-0,6	38,1	17,3	26,6
	FF132	Skoura, Ouarzazate	1220	171	0,2	39,0	18,0	15,1
	FF134	Rich, Midelt	1320	167	1,0	37,2	16,7	15,8
	FF135	Aït Ayach, Midelt	1550	354	-0,7	33,9	14,1	35,3
	FF137	Khénifra	520	292	2,3	30,8	16,4	35,4
	FF141	Tighboula, Ksiba	715	718	1,2	36,5	15,0	69,7
	FF142	Kesbat Tadla	500	522	3,8	39,6	19,3	49,5
	FF145	Ouaouizeght, Béni Mellal	900	527	1,8	37,0	17,2	51,2
	FF147	Ouled Yaich, Béni Mellal	275	508	5,1	36,1	18,8	55,8
	FF149	Ouled Cheikh, Youssoufia	750	666	2,6	37,2	17,7	65,7
	FF160	Ain Lahcen 2, Tétouan	240	686	7,4	30,7	18,1	100,8
	FF161	Ain Lahcen 3, Tétouan	270	686	7,4	30,7	18,1	100,8
	FF174	Ouled Moussa, Bouznika	365	343	4,8	36,5	18,7	36,8
	FF181	Azemour	28	374	7,5	28,2	17,4	62,1
	FF182	El-Jadida 1	20	372	7,4	27,9	17,4	62,4
	FF183	El-Jadida 2	20	372	7,4	27,9	17,4	62,4
	FFT1	Errachidia 1	1048	137	2,5	40,6	19,2	11,3
	FFT2	Errachidia 2	1042	137	2,5	40,6	19,2	11,3
	FFT3	Errachidia 3	1055	137	2,5	40,6	19,2	11,3
<i>Opuntia ficus-indica</i> f. <i>amyclaea</i>	FA45	Oulad Berhil, Taroudant	490	256	4,4	33,9	19,1	29,7
	FA62	Taroudant	238	226	6,8	32,4	20,1	30,2
	FA93	Chrarda 1, Oulad Teima	128	225	7,3	30,1	19,6	33,8
	FA96	Chrarda 2, Oulad Teima	128	225	7,3	30,1	19,6	33,8
	FA118	Jamaat Shaïm, Safi	167	329	7,5	31,1	18,8	47,3
	FA131	Taliouine, Taroudant	1200	317	0,9	35,5	17,4	31,5
	FA157	Ain Lahcen 1, Tétouan	210	686	7,4	30,7	18,1	100,8
	FA184	Sidi Ismail, El-Jadida	150	346	6,7	30,6	17,9	49,6

A : altitude ; P : précipitation moyenne annuelle ; m : température moyenne du mois le plus froid ; M : température moyenne du mois le plus chaud ; T : température moyenne annuelle ; Q2 : quotient pluviométrique d'Emberger classique (Emberger, 1971 ; Homrani, 2018).

Détermination des critères morphologiques

La liste des descripteurs du cactus utilisée est celle précédemment développée par le Réseau international de coopération du FB approuvé par Bioversity International (Chessa et Nieddu, 1997). Les caractéristiques étudiées ont été aussi enregistrées selon les directives de test pour le cactus et le xoconostle de l'union internationale pour la protection des nouvelles variétés des plantes (UPOV, 2004). Dix fruits ont été prélevés aléatoirement sur différents individus des quatre réplifications. Seuls les fruits mûrs et sains sont choisis. La maturité des fruits est déterminée en fonction du début de la coloration de l'écorce. Les critères de dimension des fruits mesurés à l'aide d'un pied à coulisse sont : longueur (LF en cm), largeur équatoriale maximale (DF en cm), épaisseur de l'écorce (EE en mm), dépression ou profondeur de la cicatrice du réceptacle (PCF en mm), la longueur du pédoncule du fruit (LPF en mm) et le diamètre de la couronne du fruit (DiCR en mm). Le volume (VF en cm³) est calculé en assimilant le fruit à une ellipse. L'indice IFF est calculé selon le rapport LF/DF. Le poids total des fruits par plant (PFT en kg) est mesuré par une balance à suspendre (précision 50 g). Les poids (en g) du fruit (PFU), de la pulpe (PP) et de l'écorce (PE) sont pesés à l'aide d'une balance de précision (précision 0,1g). Les graines sont récupérées après rinçage de la chair du fruit en utilisant un tamis. Elles sont comptées (Ng) et pesées par 100 graines (Pg en g) pour chaque fruit (précision 0.1 mg).

Détermination des critères physiques et physicochimiques

La fermeté des fruits (FP en kg/cm²) est mesurée sur l'écorce des fruits fraîchement récoltés à l'aide d'un pénétromètre à main (PCE-PTR 200) à surface d'embout de 8 mm. La teneur en sucres solubles totaux ou le degré Brix (°Bx) du jus des fruits est mesurée avec un réfractomètre à main (Model DR-A1, Atago, Japon) à 25 °C. Le pH du jus des fruits est déterminé à l'aide d'un pH-mètre (Consort c830) alors que la couleur du fruit est mesurée par un Chromamètre (MiniScan EZ) qui donne les paramètres de couleur L, a et b. L'angle de teinte (H) ($\text{Atan } b/a$) et la chroma C ou la saturation des couleurs $\sqrt{(a)^2 + (b)^2}$ sont également déterminés. La chroma représente l'intensité de la teinte et la valeur L est interprétée directement comme la luminosité ou la clarté (CL).

Analyses statistiques

Les données ont été collectées durant la campagne 2016/17. La moyenne \pm écart-type et le coefficient de variation ont été calculés pour tous les critères quantitatifs. Les données obtenues sont d'abord soumises à l'analyse de la variance et les moyennes sont comparées au test de Student-Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5% d'erreur basée sur la plus petite amplitude significative en utilisant le logiciel SPSS 18.0. Pour évaluer le degré de similitude entre les attributs analysés des *Opuntias* et comprendre les relations entre eux, les données ont été soumises à une analyse en composantes principales (ACP) (James et McCulloch, 1990). Pour le classement des *Opuntias*, une analyse ascendante hiérarchique (CAH) est utilisée pour mesurer le degré de ressemblance phénotypique des provenances en utilisant le logiciel XLSTAT (2014) (James et McCulloch, 1990). Pour évaluer de l'effet environnement sur les expressions des accessions, les valeurs moyennes de certains paramètres obtenus au DE d'Errachidia ont été comparées à celles du DE Melk Zhar d'Agadir.

Résultats et discussion

Analyse de la variabilité des critères étudiés des fruits

Poids du fruit

Le poids et le calibre des fruits sont très importants, car les consommateurs les associent avec un meilleur rapport qualité-prix. Les poids unitaires moyens des fruits frais ont varié très significativement (Tab. 2) entre 73,9 g pour l'accession 96 à 132,8 g pour l'accession 182. La majorité des accessions ont présenté des fruits de petites tailles (80-120 g), dont quatre accessions (FF36, FA45, FA96 et FF174) ont des fruits très petits (< 80 g) et trois accessions (FA62, FF149 et FF182) seulement présentent en moyenne des calibres commerciaux qui dépassent 120 g destinés à l'export (Inglese et al., 1995a). Le poids maximal enregistré est 155,7 g pour l'accession FA62 suivie par l'accession FA118 avec 154 g. 27 accessions avaient des valeurs de poids de fruits supérieures à 100 g. Aucune accession n'a enregistré des fruits de grande taille avec un poids qui dépasse 160 g.

Les valeurs du poids enregistrées dans ce travail sont relativement supérieures aux valeurs d'El Finti et al. (2013a) qui ont trouvé des poids entre 80,6 g et 106,5 g pour 13 cultivars provenant de différentes régions du Maroc. De même, elles sont légèrement supérieures à celles trouvées par El Kharrassi et al. (2016) dont les poids des fruits varient entre 53 g et 103 g après évaluation de 30 accessions de différentes régions du Maroc cultivées au DE de Jamaat Shaïm relevant du Centre de l'INRA à Settât. Mulas et al. (2006) qui ont travaillé sur 20 accessions d'*Opuntia* à l'état sauvage au Maroc ont également trouvé des valeurs variant entre 41,7 g et 92,2 g. Boujghagh et Bouharroud (2015), en testant la Scozzolatura à différents stades de floraison, ont noté une supériorité très significative du poids moyen (144 g) des fruits réapparus après leur ablation à un stade plus tardif.

Les conditions environnementales et le soin de la culture jouent un rôle non négligeable sur le calibre. En Afrique du Sud, De Wit (2010) a trouvé que des poids du fruit pour les mêmes cultivars varient de 71 g à 150 g en fonction de l'environnement. De même à Pretoria, le poids du fruit dans un essai d'évaluation de quinze cultivars d'*OFI* pour la production de fruits frais varie entre 86,9 g et 157,5 g (Wessels et Holtzhausen, 1991).

Le poids moyen relativement inférieur du fruit observé dans cette étude par rapport aux autres pays serait dû à l'effet environnemental et la conduite de culture. Le poids des fruits de cactus est en effet affecté par le nombre de graines (Barbera et al 1994a), la charge des cladodes en fruits (Inglese et al., 1995b), la disponibilité de l'eau, le temps de maturation (Barbera et al., 1994b, Nerd et al., 1991), le moment de l'émergence des bourgeons et l'environnement (Karababa et al., 2004 ; De Wit, 2010).

Poids de la chair

Le poids de la chair varie significativement de 36 g pour l'accession FA96 à 74,3 g pour l'accession FF182 (Tab. 2). De même, le pourcentage de la pulpe varie significativement entre les accessions de 50,7% pour l'accession 62 à 61,7% pour l'accession FF147. Parmi les 36 accessions, 22 répondent au pourcentage minimum de la chair de fruits commercialisables de 55 à 60% (Tab. 2) comme l'ont suggéré Inglese et al. (1995a). Des pourcentages similaires ont été aussi trouvés par Mulas et al. (2006) sur 20 accessions au Maroc qui varient entre 51,1% et 66,2%. Le pourcentage de la chair pour les clones d'*Opuntia* varie aussi de 39 à 64% aux USA et de 43 à 68,5% en Argentine (Felker et al., 2002). Potgietera et D'Aquino (2018)

signalent des valeurs des pourcentages allant de 44 à 63% selon les variétés. Le pourcentage de la chair de 15 cultivars en Afrique du Sud varie entre 33,5 et 58,2% (Wessels et Holtzhausen, 1991). Au Liban, pour 43 accessions évaluées, le poids de la pulpe varie de 21,8 g à 83,1 g (Chalak et al., 2014).

Épaisseur et poids de l'écorce du fruit

L'épaisseur de l'écorce est généralement moyenne pour toutes les accessions et varie significativement de 3,6 mm pour l'accession FA118 à 5,5 mm pour l'accession FA96 (Tab. 2). Des valeurs proches ont été trouvées par Mulas et al. (2006) pour 20 cultivars au Maroc qui varient entre 1,8 mm et 4,7 mm. De même pour les 43 accessions évaluées au Liban, l'épaisseur de l'écorce du fruit varie de 2,2 mm à 5,8 mm (Chalak et al., 2014).

Les poids frais de l'écorce des fruits varient aussi significativement de 34,4 g pour l'accession FA45 à 57,2 g pour l'accession FF182. La majorité des accessions ont des poids moyens de l'écorce (de 35 à 55 g) (Tab. 2). Une seule accession seulement (182) a enregistré un poids de l'écorce qui est cherché à des fins de conservation. Une seule accession FA45 présente un léger poids de l'écorce (< 35 g). De même au Liban, sur les 43 accessions évaluées, la plupart des accessions ont montré un poids de l'écorce modéré allant de 35 à 55 g. Cinq accessions ont un léger poids de l'écorce (< 35 g) et six accessions ont un poids élevé de l'écorce (> 55 g) (Chalak et al., 2014). Le rapport de l'écorce fraîche par rapport au poids des fruits frais varie de 38,2% pour l'accession FF147 à 51% pour l'accession FA96. Des pourcentages plus au moins inférieurs ont été trouvés par Galizza et al. (2004) entre 39 et 43%. De même, Mulas et al. (2006) ont trouvé des pourcentages entre 29,1% et 44,4% pour 20 accessions au Maroc.

Poids et nombre des graines

Le poids des graines par fruit varie significativement de 1,7 g pour l'accession FA96 à 4 g pour l'accession FA118 (Tab. 2). Aussi, le poids de 100 graines varie significativement de 1,26 g pour l'accession T2 à 1,83 g pour l'accession 36. Quant au nombre des graines par fruit, il varie significativement (Tab 2 Bis) de 105 pour l'accession FF36 à 269 pour l'accession FF182. El Finti et al. (2013a) ont trouvé des valeurs relativement similaires pour le nombre de graines par fruit qui varient entre 178 et 298. De même pour les 43 accessions cultivées au Liban, leurs nombres varient de 171 à 324 (Chalak et al., 2014). Les fruits de la plupart des accessions présentent un nombre modéré de graines avec 200 à 300 graines par fruit, seulement huit accessions (FFT1, FA45, FA93, FA96, FF130, FA131, FF137, FA157 et FF174) présentent un nombre faible de graines par fruit entre 100 et 200. Nos résultats montrent que certaines accessions peuvent être utilisées pour l'extraction des huiles à partir des graines à cause du nombre élevé en graines dans les fruits comme : FF134, FF118, FF70 et FF182 qui détient le plus grand nombre de graines par fruit. L'accession 36 a présenté le nombre le plus faible de graines par fruit (105 graines).

Le poids des graines par fruit varie de 1,7 à 4 g et représente donc 2 à 3,8% du poids du fruit. Nos résultats sont relativement proches à ceux obtenus en Sicile avec 2 à 4% de graines (Barbera et al., 1994a). La présence de graines dans le fruit du cactus est un facteur de dissuasion majeur pour les consommateurs, et une priorité de recherche devrait être orientée vers le développement de variétés avec moins de graines et plus douces. Nous avons noté aussi que les fruits tardifs ont moins de graines par unité de poids de base par rapport aux fruits de saison.

Profondeur de la cicatrice du réceptacle et pédoncule de fruit

La cicatrice du réceptacle du fruit est modérément à fortement déprimée et varie significativement (Tab. 2 Bis) entre 6,0 mm pour l'accèsion FF145 à 8,5 mm pour l'accèsion 96. Wessels et Holtzhausen (1991) ont trouvé des valeurs de 2,1 à 7,2 mm sur 15 cultivars à Pretoria en Afrique du Sud. Chalak et al. (2014) ont trouvé des valeurs entre 0,0 et 7,9 mm pour 43 accèsions évaluées au Liban. L'évaluation du pédoncule fruitier indique qu'un grand nombre de nos accèsions (17) présentent des pédoncules courts, 10 accèsions avec des pédoncules moyens et 4 accèsions avec un long pédoncule (Fig. 1).

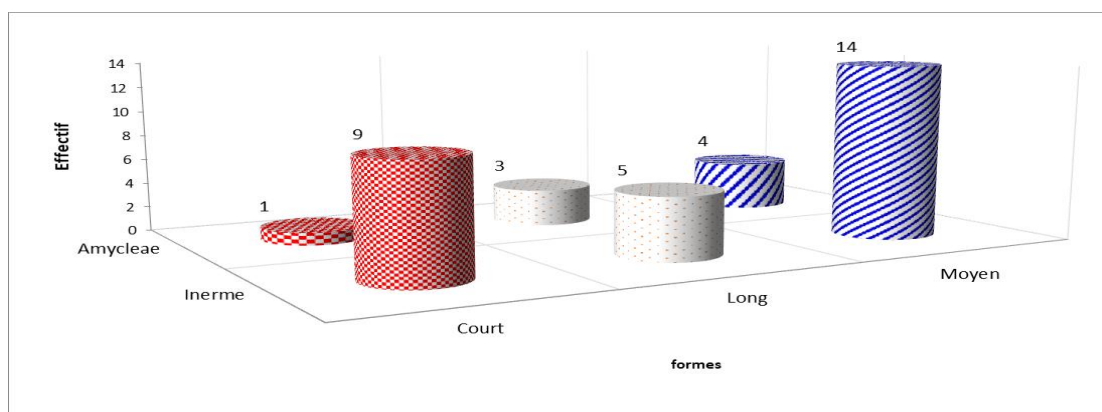


Figure 1. Évaluation qualitative des pédoncules floraux des accèsions du FB d'Errachidia.

Critères physiques

Pour la fermeté du fruit, nous avons enregistré des différences très significatives (Tab. 2 Bis) ($p < 0,01$). La fermeté varie de 3,4 kg/cm² pour l'accèsion FA157 (Ain Lahcen 1, Tétouan) à 7,0 kg/cm² pour l'accèsion FF137 (Khénifra). Les accèsions FF137 et FF142 présentent les fruits les plus fermes répondant ainsi aux conditions exigées pour une bonne conservation du fruit (6 à 8 kg/cm²). Nous n'avons pas trouvé de relation entre la fermeté et l'épaisseur de l'écorce puisque les fruits fermes ont une faible épaisseur.

Tous les paramètres enregistrés par le chromamètre ont été très significatifs (Tab. 2 Bis). La luminance varie de 48,6 pour l'accèsion FF161 suivis de près par l'accèsion FF114 (49,2) (dont la couleur de la chair est rouge) à 62,4 pour l'accèsion FF134. De même, la teinte H varie de 0,71 pour l'accèsion 161 à 1,45 pour l'accèsion 77. Le Chroma varie de 24,1 pour l'accèsion FFT3 à 49,6 pour l'accèsion FF135. Ces variations traduisent les différentes couleurs de la chair. Cependant, la couleur des fruits est un trait dynamique qui évolue avec la phase de maturité, tandis que la couleur de la pulpe change avec la maturation du fruit. Pour Inglesse (2010), le fruit est récolté au moment où la coloration apparaît au bas de l'épicarpe. À ce stade, la couleur de la pulpe est déjà formée et la teneur des solides solubles est proche du maximum (13%-17%), mais aussi le fruit est encore suffisamment ferme (6 à 8 kg/cm²) pour permettre la manipulation et la conservation post-récolte. Pour Nerd et al. (1991), l'optimum de la qualité du fruit est obtenu quand le fruit a atteint au moins 50% de sa couleur finale.

Critères physico-chimiques

Le pH a été presque identique pour toutes les accèsions. Des différences non significatives ont été enregistrées entre les accèsions et varient de 6,12 pour l'accèsion FA96 à 6,23 pour FF174. Des études réalisées sur les accèsions

d'*Opuntia* spp. d'autres pays ont montré des valeurs de pH relativement proches. Au Mexique, les valeurs de pH du jus des populations vont de 6,4 à 7,1 (Pimienta-Barrios, 1994). D'autres études sur les variétés d'*OFI* au Mexique et en Argentine ont trouvé des valeurs de 5,8 à 6,2 (Felker et al., 2005). Ces légères différences de pH entre les cactus marocains et ceux cultivés dans d'autres pays peuvent être dues aux effets environnementaux. En effet, De Wit et al. (2010) ont trouvé des valeurs de pH qui varient selon l'environnement pour les mêmes cultivars. Le pH bas est important dans les jus de fruits, car il inhibe la croissance des agents pathogènes (Mert, 2010). Nos valeurs sont supérieures à celles obtenues par El Kharrassi et al. (2016) qui ont trouvé des valeurs du pH allant de 3,3 à 4,8. De même, El Finti et al. (2013) ont trouvé des valeurs de pH entre 4,7 et 6,4 avec une moyenne de 5,99. Chalak et al. (2014) ont trouvé des valeurs entre 5,51 et 6,3 pour les fruits d'*OFI*.

Le degré Brix, indiquant la teneur en sucres, est parmi les caractères les plus importants pour le choix des accessions pour la consommation humaine. Des différences très hautement significatives ont été enregistrées entre les accessions (Tab. 2 Bis). L'accession FA96 a enregistré la plus faible valeur moyenne de 9,3 °Bx contre la valeur la plus élevée de 13,6 °Bx pour l'accession FF183. La majorité des accessions ont un contenu en sucres modérés et seulement cinq accessions présentent un contenu en sucres élevés (> 13° Bx) (FFT3, FF33, FA62, FF70 et FF183) (Tab. 2 Bis).

Les valeurs de degré Brix trouvées dans ce travail sont en harmonie avec celles trouvées par Mulas et al. (2006) sur 20 accessions d'*Opuntia* au Maroc (entre 10,3 et 13,9 °Bx). Des valeurs similaires de degré Brix ont été aussi signalées pour les cultivars mexicains d'*Opuntia* spp. allant de 11,60 à 15,30 °Bx (Yahia et Mondragón-Jacobo, 2011). Potgietera et D'Aquino (2018) signalent des valeurs de 11,0 à 16,4 °Bx selon les variétés. De même, Felker et al. (2005) ont indiqué une fourchette approximative de 11,90 à 16,00 °Bx pour les variétés d'*OFI* du Mexique et de l'Argentine. Sáenz (2000) a signalé une gamme de 12-17 °Bx dans les accessions d'*OFI* avec des fruits verts et 12,8-14,5 °Bx pour les fruits violets. Les valeurs de degré Brix obtenues dans cette étude sont plus au moins similaires ou légèrement inférieures à celles obtenues pour les cactus cultivés dans d'autres pays. Ces différences minimales peuvent être dues aux effets génotypiques et environnementaux. En effet, sur un essai de l'effet de l'environnement sur 12 variétés d'*Opuntias* en Afrique du Sud, De Wit (2010) a trouvé des valeurs de degré Brix variables des mêmes génotypes en fonction de l'environnement. Nos valeurs sont légèrement différentes de celles obtenues par El Kharrassi et al. (2015) dont les valeurs varient de 6,2 à 12,6 °Bx surtout pour la valeur minimale. Chalak et al. (2014) ont trouvé des valeurs de degré Brix allant de 7,1° à 14,0°Bx. Néanmoins, les valeurs de degré Brix trouvées par El Finti et al. (2013) semblent très élevées (entre 17,1 et 19,8 °Bx) et se rapprochent des valeurs commerciales des fruits hors saison trouvées par Boujghagh et Baharoud (2015) en effectuant la Scozzolatura.

Dans notre étude, seules les accessions (FF183, FF70, FA62, FF33 et FFT3) ont présenté des valeurs optimales de degré Brix à la récolte (13-15 °Bx), comme l'ont suggéré Inglese et al. (1995a). Cependant, d'autres auteurs rapportent des fruits commercialisables avec des valeurs inférieures de degré Brix de 12 °Bx en Sicile (Schirra et al., 2002) et 12,8 °Bx en Israël (Nerd et al., 1991).

Les accessions FF149 et FF183 seraient les accessions les plus attractives et les plus commerciales même si le degré Brix de l'accession FF149 est inférieur à 13. En effet,

elles présentent d'autres caractères de qualité intéressants comme un gros calibre et une faible densité des graines, etc.

Tableau 2. Caractères morphologiques et chimiques mesurés pour les accessions d'Errachidia.

Code	PFT (kg)	PFU (g)	Lf (cm)	Df (cm)	IFF	Ee (mm)	PCF (g)	PP (g)	PG (g)	Pg/100 (g)
FF18	10,0 ± 2,6 ^{hij}	101,5 ± 15,4 ^{abcd}	7,6 ± 0,2 ^{abcdef}	5,2 ± 0,3 ^{fghij}	1,5 ± 0,1 ^{abcd}	4,1 ± 0,3 ^{defgh}	58,2 ± 7,9 ^{efghi}	43,3 ± 8,5 ^{bode}	3,2 ± 0,2 ^{hijk}	1,5 ± 0,1 ^{cdefg}
FF29	6,1 ± 0,9 ^{cdefgh}	111,4 ± 8,1 ^{fghijkl}	8,1 ± 0,4 ^{defghij}	5,1 ± 0,2 ^{efghi}	1,6 ± 0,1 ^{def}	4,6 ± 0,2 ^{kl}	58,2 ± 5,2 ^{efghi}	53,2 ± 3,6 ^{hijk}	3,1 ± 0,2 ^{ghij}	1,3 ± 0,3 ^a
FF33	6,8 ± 1,8 ^{cdefgh}	107,7 ± 11,0 ^{cdefghij}	8,0 ± 0,6 ^{defghi}	5,1 ± 0,2 ^{efghi}	1,6 ± 0,1 ^{bcd}	3,7 ± 0,1 ^{abc}	65,3 ± 6,5 ^{hijk}	42,4 ± 4,7 ^{bode}	3,1 ± 0,5 ^{ghij}	1,5 ± 0,1 ^{cdefgh}
FF36	4,8 ± 1,3 ^{bcd}	94,5 ± 5,2 ^{abcde}	7,4 ± 0,1 ^{abc}	5,2 ± 0,2 ^{fghijk}	1,4 ± 0,0 ^a	4,0 ± 0,3 ^{bcd}	52,9 ± 3,6 ^{cde}	41,6 ± 2,1 ^{abcd}	3,4 ± 0,3 ^{ijkl}	1,5 ± 0,1 ^{fghi}
FA45	3,2 ± 1,1 ^{abcd}	108,3 ± 11,1 ^{defghijkl}	8,2 ± 0,6 ^{fghij}	5,3 ± 0,2 ^{ghijkl}	1,5 ± 0,1 ^{bcd}	4,3 ± 0,2 ^{defghijk}	60,1 ± 4,7 ^{efghij}	48,2 ± 7,1 ^{defghij}	3,3 ± 0,5 ^{ijk}	1,6 ± 0,1 ^{hi}
FA62	8,0 ± 0,9 ^{defgh}	108,5 ± 10,3 ^{defghij}	8,1 ± 0,5 ^{efghij}	5,2 ± 0,2 ^{efghij}	1,6 ± 0,1 ^{cde}	4,5 ± 0,3 ^{hijkl}	62,6 ± 7,2 ^{ghij}	45,9 ± 3,6 ^{cdefghi}	3,4 ± 0,5 ^{ijkl}	1,5 ± 0,1 ^{efghi}
FF70	4,9 ± 1,4 ^{bcd}	79,2 ± 4,3 ^{ab}	7,3 ± 0,2 ^{ab}	4,8 ± 0,1 ^{bc}	1,5 ± 0,0 ^{abcde}	4,6 ± 0,3 ^{ijkl}	41,7 ± 2,1 ^{ab}	37,5 ± 2,5 ^{abc}	1,9 ± 0,3 ^b	1,8 ± 0,1 ^l
FF77	1,5 ± 0,4 ^{ab}	76,5 ± 3,7 ^{ab}	7,6 ± 0,1 ^{abcde}	4,4 ± 0,1 ^a	1,7 ± 0,0 ⁱ	4,5 ± 0,2 ^{ghijkl}	41,8 ± 3,7 ^{ab}	34,7 ± 1,1 ^a	2,0 ± 0,3 ^{bcd}	1,8 ± 0,1 ^k
FF83	4,9 ± 1,8 ^{bcd}	123,4 ± 17,2 ^{kl}	8,4 ± 0,5 ^{ij}	5,5 ± 0,4 ^{klm}	1,5 ± 0,1 ^{abcde}	4,4 ± 0,3 ^{fghijkl}	68 ± 8,9 ^{kl}	55,4 ± 8,6 ^{kl}	3,4 ± 0,3 ^{ijkl}	1,5 ± 0,0 ^{efghi}
FA93	6,8 ± 1,7 ^{defgh}	109,1 ± 7,6 ^{defghijk}	7,9 ± 0,5 ^{bcd}	5,2 ± 0,1 ^{fghijk}	1,5 ± 0,1 ^{abcde}	4,2 ± 0,3 ^{defgh}	62,6 ± 3,7 ^{ghij}	46,5 ± 5,3 ^{cdefghi}	3,3 ± 0,3 ^{ijkl}	1,3 ± 0,1 ^a
FA96	13,5 ± 1,4 ^l	108,1 ± 11,1 ^{cdefghij}	8,2 ± 0,3 ^{ghij}	5,1 ± 0,2 ^{defghi}	1,6 ± 0,0 ^{efg}	4,4 ± 0,2 ^{efghijkl}	62,5 ± 8,1 ^{fghij}	45,7 ± 3,3 ^{cdefghi}	3,6 ± 0,4 ^{klm}	1,4 ± 0,0 ^{bcd}
FF105	10,1 ± 2,5 ^{hij}	118,2 ± 11,2 ^{defghijk}	8,6 ± 0,6 ⁱ	5,3 ± 0,2 ^{hijkl}	1,6 ± 0,1 ^{efg}	4,3 ± 0,3 ^{defghijk}	65,6 ± 4,6 ^{hijk}	52,6 ± 7,4 ^{ghijk}	3,3 ± 0,2 ^{ijk}	1,4 ± 0,1 ^{abc}
FF114	9,3 ± 1,9 ^{ghij}	99,1 ± 13,0 ^{abcde}	7,7 ± 0,4 ^{abcde}	5,0 ± 0,3 ^{cde}	1,5 ± 0,1 ^{abcde}	4,1 ± 0,2 ^{defgh}	56,3 ± 8,2 ^{efgh}	42,7 ± 5,3 ^{cdefg}	2,0 ± 0,4 ^{bc}	1,5 ± 0,1 ^{cdefg}
FA118	2,4 ± 0,3 ^{abc}	73,9 ± 5,4 ^a	7,3 ± 0,3 ^{ab}	4,4 ± 0,1 ^a	1,7 ± 0,0 ^{gi}	5,5 ± 0,2 ^m	37,5 ± 3,7 ^a	36,4 ± 2,2 ^{ab}	1,7 ± 0,2 ^a	1,5 ± 0,1 ^{cdefg}
FF130	8,5 ± 1,9 ^{efgh}	104,6 ± 5,8 ^{defghijk}	7,5 ± 0,4 ^{abcd}	5,3 ± 0,1 ^{ghijkl}	1,4 ± 0,1 ^a	4,0 ± 0,2 ^{bode}	59,2 ± 3,7 ^{efghij}	45,4 ± 2,4 ^{cdefgh}	3,5 ± 0,4 ^{ijkl}	1,4 ± 0,0 ^{abc}
FA131	6,0 ± 1,3 ^{cdefgh}	119,4 ± 14,1 ^{ijkl}	8,3 ± 0,7 ^{ghij}	5,3 ± 0,2 ^{hijkl}	1,6 ± 0,1 ^{bcd}	4,4 ± 0,2 ^{efghijkl}	62,1 ± 7,3 ^{ghij}	57,4 ± 6,9 ^k	3,6 ± 0,6 ^{klm}	1,5 ± 0,1 ^{defghi}
FF132	8,7 ± 3,0 ^{fghi}	109,8 ± 3,6 ^{defghijkl}	8,2 ± 0,2 ^{ghij}	5,2 ± 0,1 ^{fghijk}	1,6 ± 0,1 ^{def}	3,6 ± 0,1 ^a	65,6 ± 2,5 ^{hijk}	44,2 ± 1,6 ^{bode}	4,0 ± 0,4 ^m	1,6 ± 0,1 ^{ij}
FF134	4,4 ± 0,9 ^{bcd}	98,5 ± 5,4 ^{abcde}	7,5 ± 0,4 ^{abcde}	4,9 ± 0,1 ^{bode}	1,5 ± 0,1 ^{bcd}	4,4 ± 0,2 ^{efghijkl}	53,8 ± 4,9 ^{cdef}	44,7 ± 2,4 ^{cdef}	2,4 ± 0,1 ^{bode}	1,7 ± 0,1 ^{jk}
FF135	6,6 ± 1,9 ^{cdefgh}	106,7 ± 5,4 ^{defghijk}	7,5 ± 0,1 ^{abcd}	5,2 ± 0,1 ^{fghijk}	1,4 ± 0,0 ^{ab}	4,2 ± 0,3 ^{defghij}	62,9 ± 3,8 ^{fghij}	43,8 ± 2,3 ^{bode}	2,7 ± 0,3 ^{cdefg}	1,5 ± 0,1 ^{efghi}
FF137	8,2 ± 2,2 ^{efgh}	114,1 ± 6,9 ^{hijkl}	8,2 ± 0,5 ^{ghij}	5,2 ± 0,2 ^{fghijk}	1,6 ± 0,1 ^{cde}	4,3 ± 0,3 ^{defghij}	61,4 ± 5,1 ^{efghij}	52,7 ± 3,2 ^{ghijk}	3,7 ± 0,4 ^{klm}	1,5 ± 0,1 ^{defghi}
FF141	12,8 ± 4,3 ^{ij}	88,7 ± 8,8 ^{abcde}	7,2 ± 0,4 ^a	4,8 ± 0,2 ^b	1,5 ± 0,1 ^{abcde}	4,0 ± 0,4 ^{bcd}	49,1 ± 5,5 ^{bcd}	39,6 ± 3,7 ^{abc}	2,8 ± 0,3 ^{efgh}	1,3 ± 0,1 ^{ab}
FF142	10,7 ± 2,8 ^{hij}	106,7 ± 6,8 ^{defghijk}	7,4 ± 0,3 ^{abcd}	5,0 ± 0,2 ^{bcd}	1,5 ± 0,0 ^{abcde}	4,1 ± 0,3 ^{bcd}	61,5 ± 3,9 ^{efghij}	45,2 ± 3,3 ^{cdefg}	3,1 ± 0,3 ^{ghij}	1,4 ± 0,1 ^{abc}
FF145	9,3 ± 2,6 ^{ghij}	83,6 ± 8,9 ^{abcde}	7,7 ± 0,5 ^{abcde}	4,5 ± 0,2 ^a	1,7 ± 0,1 ^{gi}	3,9 ± 0,3 ^{bcd}	46,9 ± 6,6 ^{bc}	36,7 ± 4,2 ^{ab}	2,7 ± 0,3 ^{cde}	1,4 ± 0 ^{abcd}
FF147	5,9 ± 1,6 ^{bcd}	113,3 ± 7,0 ^{efghijkl}	7,9 ± 0,5 ^{bcd}	5,1 ± 0,1 ^{defghi}	1,6 ± 0,1 ^{bcd}	4,2 ± 0,3 ^{defghi}	61,7 ± 3,1 ^{fghij}	51,6 ± 4,4 ^{fghijk}	3,4 ± 0,2 ^{ijkl}	1,5 ± 0 ^{efghi}
FF149	5,9 ± 1,5 ^{bcd}	117,1 ± 18,1 ^{defghijk}	7,8 ± 0,5 ^{bcd}	5,5 ± 0,3 ^{lm}	1,4 ± 0,1 ^a	4,1 ± 0,3 ^{defgh}	67 ± 10,7 ^{ijk}	50,1 ± 8,1 ^{efghijk}	3,5 ± 0,5 ^{ijkl}	1,5 ± 0 ^{cdefgh}
FA157	6,2 ± 1,5 ^{cdefgh}	104,4 ± 11,2 ^{bcd}	8,0 ± 0,4 ^{defghi}	4,9 ± 0,2 ^{bcd}	1,6 ± 0,1 ^{fgi}	4,2 ± 0,2 ^{defghi}	62,1 ± 7,0 ^{fghij}	42,3 ± 4,4 ^{bode}	3,2 ± 0,3 ^{hij}	1,5 ± 0,1 ^{cdefg}
FF160	6,8 ± 1,5 ^{cdefgh}	104,3 ± 4,7 ^{defghijk}	7,5 ± 0,1 ^{abcd}	5,2 ± 0,1 ^{fghij}	1,4 ± 0,0 ^{ab}	4,2 ± 0,3 ^{defghij}	63,7 ± 3,1 ^{hijk}	40,6 ± 1,8 ^{abcd}	3,2 ± 0,1 ^{hijk}	1,5 ± 0,1 ^{fghi}
FF161	7,1 ± 1,6 ^{cdefgh}	123,4 ± 10,4 ^{ijkl}	8,3 ± 0,3 ^{hij}	5,4 ± 0,2 ^{ijkl}	1,5 ± 0,0 ^{bcd}	4,3 ± 0,2 ^{defghijk}	71,0 ± 7,4 ^{kl}	52,5 ± 4,5 ^{ghijk}	3,5 ± 0,3 ^{ijkl}	1,5 ± 0,1 ^{fghi}
FF174	4,5 ± 0,9 ^{bcd}	84 ± 10,7 ^{abcde}	7,2 ± 0,2 ^a	5,0 ± 0,2 ^{bcd}	1,4 ± 0,0 ^{abc}	4,5 ± 0,2 ^{hijkl}	47,1 ± 4,4 ^{bc}	36,9 ± 7,2 ^{abc}	1,9 ± 0,3 ^b	1,5 ± 0,1 ^{cdefg}
FF181	4,3 ± 1,5 ^{bcd}	113,7 ± 10,3 ^{ghijkl}	8,3 ± 0,5 ^{hij}	5,2 ± 0,2 ^{fghij}	1,6 ± 0,1 ^{efg}	4,1 ± 0,3 ^{cde}	60,3 ± 5,9 ^{efghij}	53,5 ± 5,0 ^{ijk}	3,4 ± 0,2 ^{ijkl}	1,6 ± 0,0 ^{ghi}
FF182	6,2 ± 1,7 ^{cdefgh}	114,7 ± 4,6 ^{efghijkl}	8,0 ± 0,1 ^{defghi}	5,3 ± 0,1 ^{ghijkl}	1,5 ± 0,0 ^{abcde}	4,6 ± 0,2 ^{kl}	61,7 ± 2,7 ^{fghij}	53 ± 2,1 ^{ghijk}	3,6 ± 0,2 ^{klm}	1,4 ± 0,1 ^{cde}
FF183	0,3 ± 0,2 ^a	79,0 ± 3,0 ^{abc}	7,3 ± 0,2 ^{ab}	4,8 ± 0,1 ^{bcd}	1,5 ± 0,1 ^{abcde}	4,7 ± 0,1 ^l	42,5 ± 1,4 ^{ab}	36,5 ± 2,6 ^{ab}	3,0 ± 0,2 ^{ghi}	1,7 ± 0,1 ^{jk}
FA184	10,6 ± 2,6 ^{hij}	114,1 ± 14,4 ^{defghijk}	7,7 ± 0,4 ^{abcde}	5,5 ± 0,2 ^{ijklm}	1,4 ± 0,0 ^a	3,7 ± 0,2 ^{ab}	60,7 ± 8,1 ^{efghij}	53,4 ± 6,6 ^{ijk}	3,4 ± 0,3 ^{ijkl}	1,6 ± 0,1 ^{fghi}
FFT1	3,7 ± 1,3 ^{abcde}	132,8 ± 9,9 ^l	8,2 ± 0,4 ^{fghij}	5,7 ± 0,2 ^m	1,4 ± 0,1 ^{abc}	4,2 ± 0,3 ^{defgh}	75,6 ± 5,4 ^l	57,2 ± 4,7 ^k	3,9 ± 0,2 ^{lm}	1,4 ± 0,1 ^{cde}
FFT2	6,8 ± 2,1 ^{cdefgh}	101,5 ± 15,9 ^{abcde}	7,6 ± 0,4 ^{abcde}	5,1 ± 0,2 ^{defghi}	1,5 ± 0,1 ^{abcde}	4,2 ± 0,3 ^{defgh}	55,3 ± 8,7 ^{defg}	46,2 ± 7,7 ^{cdefghi}	3,2 ± 0,3 ^{hijk}	1,4 ± 0,1 ^{abc}
FFT3	9,3 ± 2,3 ^{ghij}	105,2 ± 9,1 ^{bcd}	8,0 ± 0,3 ^{cde}	5,1 ± 0,3 ^{defghi}	1,6 ± 0,1 ^{cde}	4,2 ± 0,2 ^{defghij}	62,2 ± 6,2 ^{fghij}	43,0 ± 4,4 ^{bode}	3,4 ± 0,3 ^{ijkl}	1,5 ± 0,0 ^{cdefgh}

PFT (Kg) : Poids total des fruits par plant ; PFU (g) : Poids unitaire du fruit ; Lf (mm) : Longueur du fruit (Diamètre longitudinal polaire) ; Df (mm) : Diamètre équatorial ; Ee (mm) : Épaisseur écorce ; PCF (%) : Pourcentage de la pulpe du fruit ; PP (g) : Poids frais de la pulpe du fruit ; PG (g) : Poids total des graines ; Pg/100 : Poids total des graines. Les moyennes ± Écart type avec différentes lettres sont significativement différents selon le test de Student-Newman-Keuls à p < 0,05.

Tableau 2 Bis. Caractères morphologiques et chimiques mesurés pour les accessions d'Errachidia.

Code	Ng	DB (°Bx)	pH	DiCR (mm)	LPF (mm)	FE (kg/cm ²)	Clarté	L'angle de teinte h	Chroma C	VF (cm ³)
FF18	199,9 ± 63,5 ^{efg}	12,2 ± 0,7 ^{defghi}	6,2 ± 0 ^a	9,5 ± 1,7 ^a	9,5 ± 1,7 ^{gh}	4,5 ± 0,7 ^{bcde}	55,2 ± 2,0 ^{efghi}	1,29 ± 0,03 ^{efg}	31,2 ± 7,0 ^{bcde}	160,5 ± 21,5 ^{efghijk}
FF29	231,4 ± 19,4 ^{ghijkl}	11,8 ± 0,3 ^{def}	6,2 ± 0,1 ^a	17,9 ± 1,4 ^{fgh}	8,9 ± 2,0 ^{1efgh}	3,9 ± 0,6 ^{abcd}	58,0 ± 1,4 ^{jk}	1,30 ± 0,07 ^{fg}	29,1 ± 4,5 ^{abcd}	167,1 ± 20,3 ^{ghijkl}
FF33	205,3 ± 32,5 ^{fg}	13,1 ± 0,4 ^{lmnop}	6,2 ± 0 ^a	15,2 ± 1,9 ^{cde}	8,7 ± 1,7 ^{defgh}	4,1 ± 0,4 ^{abcd}	57,4 ± 0,9 ^{hijk}	1,33 ± 0,05 ^{fghi}	29,5 ± 3,5 ^{abcd}	166,4 ± 19,6 ^{ghijkl}
FF36	220,8 ± 11,5 ^{fghijk}	12,0 ± 0,3 ^{defgh}	6,2 ± 0,1 ^a	15,3 ± 0,9 ^{cdef}	6,4 ± 1,0 ^{abc}	3,5 ± 0,41 ^a	54,2 ± 1,5 ^{defg}	1,28 ± 0,04 ^{efg}	37,3 ± 1,9 ^{fghi}	156,9 ± 9,3 ^{efghi}
FA45	207,9 ± 34 ^{fghi}	12,9 ± 0,3 ^{klmn}	6,2 ± 0,1 ^a	15,3 ± 0,9 ^{cdef}	7,1 ± 1,7 ^{abcdef}	3,6 ± 0,6 ^{ab}	55,6 ± 6,4 ^{efghij}	1,32 ± 0,04 ^{fgh}	40,2 ± 3,4 ^{ghijk}	179,2 ± 22,4 ^{hijklm}
FA62	215,4 ± 30,7 ^{fghij}	13,3 ± 0,3 ^{nop}	6,2 ± 0,1 ^a	16,5 ± 0,9 ^{cdefgh}	7,6 ± 1,1 ^{7abcdefg}	5,3 ± 0,6 ^{fg}	50,9 ± 1,0 ^{bc}	1,28 ± 0,04 ^{efg}	35,0 ± 2,4 ^{efgh}	170,4 ± 17,9 ^{ghijkl}
FF70	105,0 ± 13,1 ^a	12,7 ± 0,3 ^{ijklmn}	6,2 ± 0,1 ^a	16,1 ± 3,6 ^{cdefgh}	6,5 ± 1,6 ^{abcd}	3,5 ± 0,4 ^a	54,0 ± 0,9 ^{defg}	1,31 ± 0,06 ^g	39,2 ± 3,2 ^{fghijk}	131,8 ± 9,6 ^{abcdef}
FF77	114,1 ± 22,7 ^{ab}	13,0 ± 0,4 ^{lmno}	6,2 ± 0,1 ^a	17,0 ± 0,8 ^{defgh}	8,2 ± 0,7 ^{bcdefgh}	6,0 ± 0,8 ^{gh}	56,3 ± 1,0 ^{ghij}	1,45 ± 0,07 ⁱ	36,7 ± 8,6 ^{fghi}	116,2 ± 3,5 ^{ab}
FF83	225,9 ± 17,3 ^{fghijkl}	13,2 ± 0,6 ^{mnp}	6,2 ± 0,1 ^a	20,1 ± 2,8 ⁱ	11,8 ± 2,4 ⁱ	5,7 ± 0,4 ^{fgh}	56,1 ± 1,06 ^{fghij}	1,34 ± 0,07 ^{ghi}	37,4 ± 8,7 ^{fghi}	201,2 ± 40,9 ^m
FA93	260,2 ± 18,8 ^{lm}	13,6 ± 0,4 ^{op}	6,2 ± 0,1 ^a	18,2 ± 1,1 ^h	7,1 ± 1,0 ^{abcdef}	4,5 ± 0,6 ^{cde}	59,2 ± 1,2 ^k	1,34 ± 0,07 ^{ghi}	47,0 ± 4,4 ^{lm}	167,4 ± 13,1 ^{ghijkl}
FA96	257,5 ± 33,5 ^{klm}	12,4 ± 0,2 ^{fghijkl}	6,1 ± 0,1 ^a	16,4 ± 1,4 ^{cdefgh}	8,8 ± 2,2 ^{defgh}	4,2 ± 0,7 ^{abcd}	57,3 ± 0,9 ^{hijk}	1,29 ± 0,03 ^{efg}	37,9 ± 3,4 ^{fghij}	169,0 ± 15,5 ^{ghijkl}
FF105	245,8 ± 13,7 ^{jklm}	12,8 ± 0,3 ^{klmn}	6,2 ± 0,1 ^a	17,7 ± 1,2 ^{efgh}	9,9 ± 1,2 ^h	4,0 ± 0,6 ^{abcd}	58,3 ± 0,81 ^{jk}	1,21 ± 0,06 ^{cd}	26,7 ± 1,9 ^{ab}	193,9 ± 24,7 ^{lm}
FF114	132,6 ± 25,3 ^{bc}	12,3 ± 0,3 ^{fghijk}	6,2 ± 0,1 ^a	15,4 ± 1,6 ^{cdefg}	7,0 ± 0,7 ^{abcdef}	5,6 ± 0,5 ^{fg}	49,2 ± 0,8 ^{ab}	0,79 ± 0,09 ^b	24,3 ± 1,7 ^a	154,9 ± 22,1 ^{ghijkl}
FA118	118,6 ± 13,3 ^{ab}	9,3 ± 0,5 ^a	6,1 ± 0,1 ^a	15,3 ± 1,3 ^{cdef}	6,7 ± 1,3 ^{abcde}	4,4 ± 0,6 ^{bcde}	58,3 ± 1,3 ^k	1,34 ± 0,05 ^{ghi}	39,6 ± 3,9 ^{ghijk}	109,6 ± 8,5 ^a
FF130	250,6 ± 26,7 ^{jklm}	11,6 ± 0,4 ^{cde}	6,2 ± 0,1 ^a	17,8 ± 2,7 ^{fgh}	6,9 ± 1,6 ^{abcde}	5,0 ± 0,6 ^{ef}	55,0 ± 1,3 ^{efghi}	1,34 ± 0,05 ^{ghi}	39,6 ± 3,9 ^{ghijk}	163,1 ± 8,8 ^{fghijkl}
FA131	244,0 ± 37,3 ^{hijklm}	12,8 ± 0,3 ^{klmn}	6,1 ± 0,1 ^a	15,6 ± 1,7 ^{cdefg}	6,8 ± 0,9 ^{abcde}	3,7 ± 0,3 ^{abcd}	54,2 ± 1,1 ^{defg}	1,19 ± 0,06 ^c	39,1 ± 3,5 ^{fghijk}	183,8 ± 24,9 ^{ijklm}
FF132	245,1 ± 17,2 ^{hijklm}	12,1 ± 0,4 ^{defghij}	6,2 ± 0,1 ^a	13,2 ± 1,0 ^b	7,8 ± 1,8 ^{abcdefgh}	4,0 ± 0,6 ^{abcd}	54,6 ± 1,3 ^{efgh}	1,25 ± 0,05 ^{cdef}	39,5 ± 3,0 ^{ghijk}	176,7 ± 8,2 ^{hijklm}
FF134	141,7 ± 10,1 ^{abc}	11,8 ± 0,4 ^{def}	6,2 ± 0,1 ^a	16,1 ± 0,6 ^{cdefgh}	7,6 ± 1,2 ^{abcdefg}	3,8 ± 0,4 ^{abcd}	62,4 ± 1,8 ^l	1,27 ± 0,05 ^{defg}	29,1 ± 4,0 ^{abcd}	140,2 ± 6,2 ^{bcdefg}
FF135	176,4 ± 17,3 ^{de}	12,1 ± 0,4 ^{defghij}	6,2 ± 0,1 ^a	17,8 ± 1,6 ^{fgh}	7,2 ± 1,4 ^{abcdefg}	5,3 ± 0,7 ^{fg}	57,7 ± 1,4 ^{ijk}	1,31 ± 0,03 ^g	49,7 ± 5,5 ^m	160,4 ± 7,3 ^{efghijk}
FF137	247,6 ± 16,6 ^{klm}	12,5 ± 0,4 ^{fghijkl}	6,2 ± 0,1 ^a	18,3 ± 1,8 ^h	8,9 ± 1,3 ^{defgh}	7,0 ± 0,6 ⁱ	53,7 ± 1,8 ^{defg}	1,40 ± 0,00 ⁱ	33,4 ± 2,4 ^{cdef}	177,6 ± 20,8 ^{hijklm}
FF141	217,2 ± 13,1 ^{fghij}	11,1 ± 0,6 ^c	6,2 ± 0,1 ^a	17,4 ± 1,0 ^{defgh}	6,8 ± 0,8 ^{abcde}	3,7 ± 0,5 ^{abcd}	53,2 ± 1,3 ^{cdef}	1,30 ± 0,00 ^{fg}	34,6 ± 2,2 ^{defg}	128,7 ± 11,0 ^{abcd}
FF142	226,7 ± 19,0 ^{fghijkl}	12,1 ± 0,4 ^{defghi}	6,2 ± 0,1 ^a	16,4 ± 2,0 ^{cdefgh}	8,35 ± 1,43 ^{cdefgh}	6,3 ± 1,0 ^h	55,1 ± 1,7 ^{efghi}	1,33 ± 0,07 ^{fghi}	41,2 ± 6,9 ^{hijk}	148,3 ± 19,1 ^{cdefgh}
FF145	189,3 ± 15,6 ^{def}	11,5 ± 0,6 ^{cd}	6,1 ± 0,1 ^a	16,6 ± 1,4 ^{defgh}	6,0 ± 1,1 ^{ab}	3,61 ± 0,69 ^{ab}	59,1 ± 1,4 ^k	1,30 ± 0,05 ^{fg}	29,2 ± 3,3 ^{abcd}	124,0 ± 13,9 ^{abc}
FF147	220,4 ± 12,2 ^{fghijk}	12,1 ± 0,4 ^{defghij}	6,2 ± 0,1 ^a	17,9 ± 0,7 ^{gh}	6,3 ± 1,3 ^{abc}	4,1 ± 0,6 ^{abcd}	55,2 ± 1,0 ^{efghi}	1,30 ± 0,00 ^{fg}	37,1 ± 3,1 ^{fghi}	158,3 ± 10,7 ^{efghij}
FF149	236,0 ± 34,9 ^{hijklm}	11,9 ± 0,5 ^{defg}	6,2 ± 0,1 ^a	16,5 ± 1,0 ^{cdefgh}	8,4 ± 1,3 ^{cdefgh}	4,6 ± 0,6 ^{de}	61,5 ± 1,4 ^l	1,31 ± 0,06 ^{fg}	25,9 ± 1,0 ^{ab}	190,6 ± 34,3 ^{klm}
FA157	214,2 ± 17,1 ^{fghij}	12,7 ± 0,6 ^{hijklmn}	6,2 ± 0,1 ^a	14,1 ± 0,9 ^{bc}	5,6 ± 0,8 ^a	3,4 ± 0,4 ^a	51,6 ± 0,8 ^{cd}	1,30 ± 0,00 ^{fg}	36,1 ± 3,5 ^{efghi}	153,6 ± 21,1 ^{defghi}
FF160	207,1 ± 11,3 ^{fgh}	12,4 ± 0,4 ^{fghijkl}	6,2 ± 0,1 ^a	17,4 ± 1,7 ^{defgh}	6,7 ± 1,3 ^{abcde}	5,5 ± 0,6 ^{fg}	55,7 ± 1,2 ^{efghij}	1,32 ± 0,04 ^{fgh}	44,9 ± 3,1 ^{kl}	157,5 ± 8,3 ^{efghi}
FF161	224,5 ± 14,2 ^{fghijk}	12,7 ± 0,3 ^{hijklmn}	6,2 ± 0,1 ^a	15,8 ± 0,8 ^{cdefgh}	7,7 ± 1,0 ^{abcdefg}	5,6 ± 0,6 ^{fg}	48,6 ± 1,5 ^a	0,71 ± 0,11 ^a	25,2 ± 2,1 ^a	189,2 ± 18,1 ^{jklm}
FF174	133,0 ± 24,0 ^{abc}	10,2 ± 0,8 ^b	6,1 ± 0,1 ^a	17,0 ± 1,1 ^{defgh}	6,7 ± 1,12 ^{abcde}	4,1 ± 0,6 ^{abcd}	58,1 ± 1,1 ^{jk}	1,31 ± 0,03 ^g	41,5 ± 3,5 ^{ijk}	140,5 ± 10,8 ^{bcdefg}
FF181	218,6 ± 15,3 ^{fghij}	12,4 ± 0,4 ^{fghijkl}	6,2 ± 0,1 ^a	15,5 ± 1,5 ^{defg}	7,2 ± 2,0 ^{abcdefg}	4,2 ± 0,4 ^{abcd}	59,5 ± 1,5 ^k	1,22 ± 0,04 ^{cde}	31,0 ± 3,4 ^{bcde}	176,8 ± 21,3 ^{hijklm}
FF182	259,1 ± 13,1 ^m	12,1 ± 0,4 ^{defghi}	6,2 ± 0,1 ^a	16,4 ± 1,4 ^{fgh}	9,3 ± 2,9 ^{gh}	3,8 ± 0,5 ^{abcd}	53,1 ± 5,9 ^{cde}	1,30 ± 0,00 ^{fg}	38,4 ± 1,8 ^{fghij}	176,4 ± 6,3 ^{hijklm}
FF183	167,5 ± 8,2 ^{cd}	11,1 ± 0,4 ^c	6,2 ± 0,2 ^a	15,8 ± 1,5 ^{gh}	8,6 ± 1,9 ^{cdefgh}	4,6 ± 0,5 ^{de}	58,1 ± 0,8 ^{jk}	1,26 ± 0,07 ^{defg}	28,0 ± 4,0 ^{abc}	133,3 ± 5,9 ^{abcde}
FA184	217,5 ± 15,7 ^{fghij}	12,7 ± 0,3 ^{hijklmn}	6,2 ± 0,1 ^a	15,0 ± 0,8 ^{efgh}	6,4 ± 0,8 ^{abc}	3,7 ± 0,4 ^{abcd}	52,9 ± 1,1 ^{cde}	1,19 ± 0,06 ^c	41,9 ± 2,2 ^{ijk}	182,9 ± 24,2 ^{ijklm}
FFT1	269,5 ± 14,7 ^m	12,5 ± 0,3 ^{ghijklm}	6,2 ± 0,1 ^a	15,9 ± 1,2 ^a	8,95 ± 1,34 ^{efgh}	5,5 ± 0,6 ^{fg}	58,4 ± 1,5 ^{jk}	1,39 ± 0,03 ^{hi}	43,6 ± 3,0 ^{ikl}	205,1 ± 18,6 ^m
FFT2	230,9 ± 22,6 ^{ghijkl}	13,6 ± 0,3 ^p	6,1 ± 0,1 ^a	16,1 ± 1,9 ^{bcd}	7,5 ± 0,85 ^{abcdefg}	4,1 ± 0,9 ^{abcd}	55,5 ± 2,1 ^{efghij}	1,33 ± 0,05 ^{fghi}	40,7 ± 4,7 ^{ghijk}	154,5 ± 20,2 ^{defghi}
FFT3	223,9 ± 13,3 ^{fghijk}	11,9 ± 0,5 ^{defg}	6,2 ± 0,1 ^a	17,8 ± 1,4 ^b	9,1 ± 1,3 ^{efgh}	3,6 ± 0,4 ^{abc}	58,2 ± 1,5 ^{jk}	1,34 ± 0,05 ^{ghi}	24,1 ± 1,4 ^a	163,3 ± 20,8 ^{fghijkl}

NG : Nombre de graines ; DB : Degré Brix ; pH ; DiCR (mm) : le diamètre de la couronne du fruit ; LPF (mm) : longueur du pédoncule du fruit ; FE (kg/cm²) : Fermeté fruit ; VF : Le périmètre du fruit. Les moyennes ± Écart type avec différentes lettres (a à p) sont significativement différents selon le test de Student-Newman-Keuls à p < 0,05.

Comparaison des paramètres du fruit entre les DE d'Agadir et d'Errachidia

D'après la figure 2 et le tableau 3, on constate une variabilité importante pour certaines accessions cultivées à Errachidia et Agadir. Par exemple à Agadir les fruits sont généralement plus sucrés par rapport à Errachidia. Le poids des fruits est aussi généralement plus grand au niveau d'Agadir, mais les dimensions, les pourcentages de la chair du fruit et le poids de l'écorce sont relativement similaires. Le nombre et le poids des graines sont aussi plus élevés au niveau d'Agadir. D'après les boîtes de moustache (Fig. 2), la variabilité au sein des accessions au niveau d'Agadir est plus importante par rapport à Errachidia. Ces variations peuvent être attribuées à l'emplacement des plantes, le climat, la variété considérée, l'évolution thermo-pluviométrique au cours de l'année et de nombreux facteurs agronomiques comme l'irrigation et le type de sol (Muñoz de Chávez et al., 1995 ; Sáenz, 2013). Les cultivars d'*Opuntia* diffèrent amplement en ce qui concerne leur rendement potentiel en fruits, leurs caractéristiques de qualité et leur adaptabilité aux conditions environnementales. Tous les cultivars ne sont pas adaptés pareillement à une zone particulière. En effet, la plupart des cultivars présentent une forte interaction génotype-environnement ($G \times E$) et par conséquent doivent être choisis judicieusement (Potgietera et D'Aquino, 2018). Selon Barbera (1995), les grandes variations dans le rendement du cactus sont dues à une compréhension et une maîtrise insuffisante de l'interaction plante / environnement.

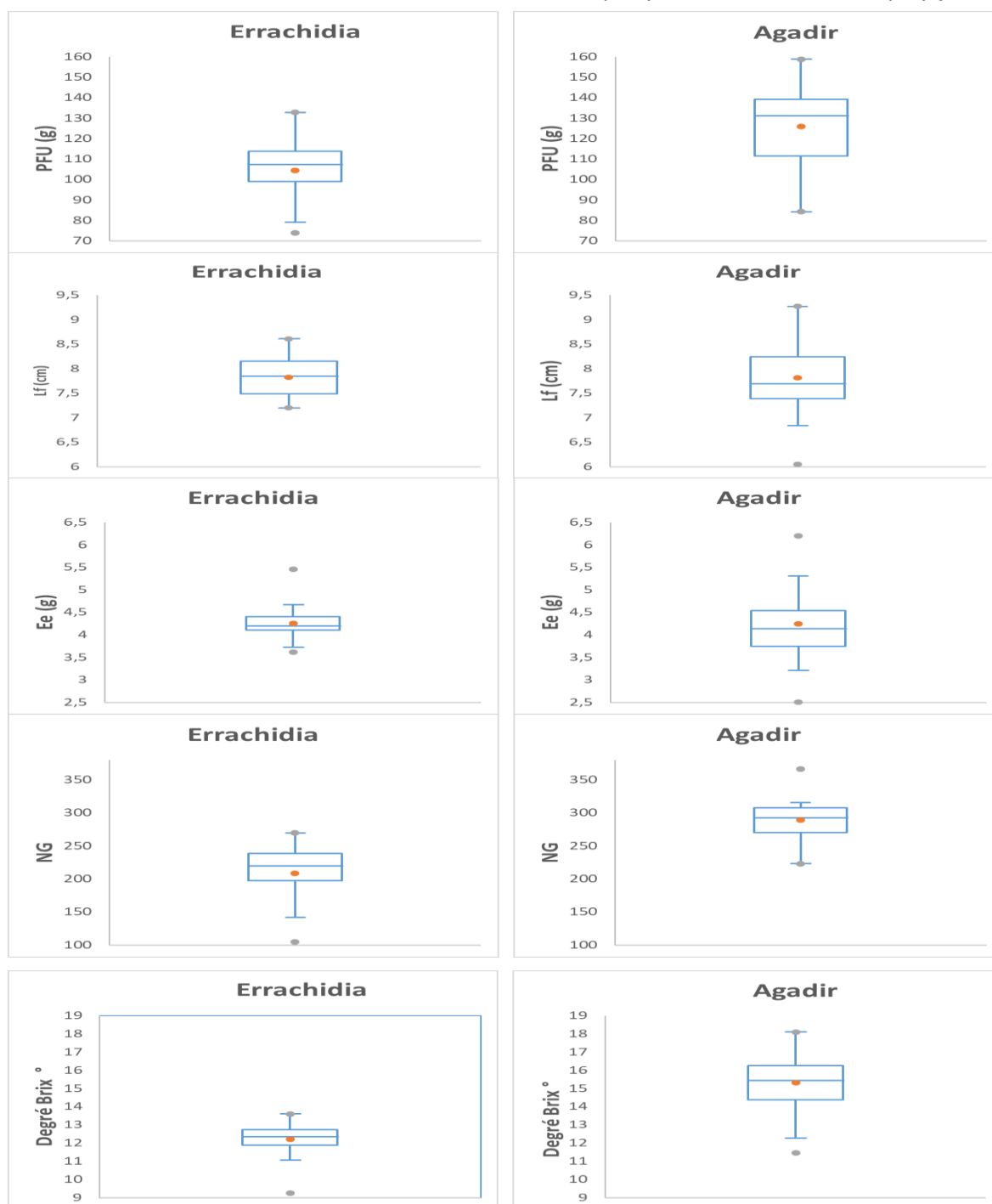


Figure 2. Diagrammes en boîtes de quelques paramètres fruitiers pour les domaines expérimentaux d'Errachidia (à gauche) et Agadir (à droite) (Poids unitaire du fruit (PFU), longueur maximale (Lf), épaisseur de l'écorce (Ee), nombre de graines (NG) et degré Brix.

Tableau 3. Comparaison des traits des fruits des accessions entre les domaines expérimentaux d'Errachidia (Er) et Agadir (Ag).

Code	PFU_ Er (g)	PFU_ Ag (g)	Lf_Er (cm)	Lf_Ag (cm)	Df_Er (cm)	Df_Ag (cm)	IFf_ Er	Iff_A g	Ee_E r (g)	Ee_ Ag (g)	PP_Er (g)	PP_ Ag (g)	PCF_ Er %	PCF_ Ag%	PG_Er (g)	PG_A g (g)	NG_ Er	NG_ Ag	DB_Er	DB_A g
FF18	94,5	-	7,4	-	5,2	-	1,4	-	4,0	-	41,6	-	55,9	-	3,4	-	221	-	12,00	-
FF29	108,3	109,9	8,2	7,4	5,3	4,3	1,5	1,7	4,3	4,1	48,2	52,9	55,7	51,9	3,3	3,9	208	-	12,90	14,53
FF33	108,5	115,7	8,1	7,6	5,2	4,8	1,6	1,6	4,5	4,3	45,9	48,4	57,6	57,8	3,4	3,6	215	-	13,25	15,31
FA36	79,2	84,2	7,3	6,8	4,8	4,6	1,5	1,5	4,6	3,2	37,5	34,3	52,6	59,3	1,9	3,2	105	-	12,70	15,80
FF45	76,5	98,5	7,6	8,1	4,4	4,8	1,7	1,7	4,5	5,1	34,7	37,4	54,5	62,2	2,0	5,1	114	-	12,95	11,45
FA62	123,4	-	8,4	-	5,5	-	1,5	-	4,4	-	55,4	-	55,2	-	3,4	-	226	-	13,15	-
FF70	109,1	131,0	7,9	8,3	5,2	4,7	1,5	1,8	4,2	4,0	46,5	53,8	57,4	58,9	3,3	4,2	260	-	13,55	13,80
FF77	108,1	142,0	8,2	7,9	5,1	4,8	1,6	1,7	4,4	4,3	45,7	52,2	57,6	63,3	3,6	4,1	258	-	12,40	15,44
FF83	118,2	96,3	8,6	6,8	5,3	4,0	1,6	1,7	4,3	4,1	52,6	42,6	55,6	55,8	3,3	4,2	246	-	12,80	14,00
FA93	99,1	106,5	7,7	8,1	5,0	5,3	1,5	1,5	4,1	4,7	42,7	48,3	56,8	54,6	2,0	5,8	133	-	12,30	14,25
FA96	73,9	98,5	7,3	6,1	4,4	4,7	1,7	1,3	5,5	3,7	36,4	43,0	50,7	56,4	1,7	5,3	119	-	9,25	12,27
FF105	104,6	154,1	7,5	8,5	5,3	5,3	1,4	1,6	4,0	3,6	45,4	44,5	56,6	60,4	3,5	4,5	251	-	11,55	15,94
FF114	119,4	131,7	8,3	7,9	5,3	4,6	1,6	1,7	4,4	3,2	57,4	45,6	52,0	65,4	3,6	4,4	244	-	12,80	15,60
FA118	109,8	105,2	8,2	7,6	5,2	4,2	1,6	1,8	3,6	2,5	44,2	48,9	59,8	53,5	4,0	3,7	245	-	12,10	14,48
FF130	98,5	131,0	7,5	7,8	4,9	4,9	1,5	1,6	4,4	6,0	44,7	55,8	54,5	57,4	2,4	3,6	142	-	11,75	13,56
FA131	106,7	135,2	7,5	7,4	5,2	4,8	1,4	1,5	4,2	4,0	43,8	66,6	58,9	50,8	2,7	3,8	176	-	12,10	15,50
FF132	114,1	134,4	8,2	8,4	5,2	5,3	1,6	1,6	4,3	4,5	52,7	50,1	53,8	62,3	3,7	3,6	248	-	12,45	16,26
FF134	88,7	116,8	7,2	7,3	4,8	4,7	1,5	1,5	4,0	4,6	39,6	58,7	55,3	49,7	2,8	3,9	217	-	11,05	15,25
FF135	106,7	136,3	7,4	7,4	5,0	4,8	1,5	1,6	4,1	4,1	45,2	57,0	57,6	58,2	3,1	3,1	227	-	12,05	14,84
FF137	83,6	143,0	7,7	7,4	4,5	4,8	1,7	1,5	3,9	4,5	36,7	67,1	56,0	53,1	2,7	4,5	189	-	11,45	15,56
FF141	113,3	147,6	7,9	8,8	5,1	4,2	1,6	2,1	4,2	3,6	51,6	57,3	54,5	61,2	3,4	4,4	220	-	12,10	16,02
FF142	117,1	147,4	7,8	9,3	5,5	5,4	1,4	1,7	4,1	3,4	50,1	55,8	57,2	62,2	3,5	4,5	236	-	11,85	16,73
FF145	104,4	128,0	8,0	7,6	4,9	4,6	1,6	1,6	4,2	3,4	42,3	50,2	59,5	60,8	3,2	3,1	214	-	12,65	16,81
FF147	104,3	144,6	7,5	9,0	5,2	5,3	1,4	1,7	4,2	4,5	40,6	51,3	61,0	64,5	3,2	4,3	207	-	12,40	15,17
FF149	123,4	158,8	8,3	9,0	5,4	4,7	1,5	1,9	4,3	4,1	52,5	57,4	57,4	63,9	3,5	4,6	225	223	12,65	17,86
FA157	84,0	102,9	7,2	7,8	5,0	4,8	1,4	1,6	4,5	4,3	36,9	48,4	56,3	53,0	1,9	4,2	133	315	10,15	16,88
FF160	113,7	134,1	8,3	8,2	5,2	5,1	1,6	1,6	4,1	4,3	53,5	44,6	53,0	66,7	3,4	4,4	219	292	12,40	17,63
FF161	114,7	158,4	8,0	7,6	5,3	5,5	1,5	1,4	4,6	3,8	53,0	56,9	53,8	64,1	3,6	4,2	259	287	12,05	18,09
FF174	79,0	119,5	7,3	7,7	4,8	5,2	1,5	1,5	4,7	4,6	36,5	55,7	53,9	53,4	3,0	4,7	168	299	11,10	17,52
FF181	114,1	113,2	7,7	7,1	5,5	5,2	1,4	1,4	3,7	5,3	53,4	59,4	53,2	47,5	3,4	3,8	218	307	12,70	12,85
FF182	132,8	121,8	8,2	7,7	5,7	5,4	1,4	1,4	4,2	5,1	57,2	59,7	56,9	51,0	3,9	4,1	270	366	12,50	13,67
FF183	101,5	124,6	7,6	7,7	5,1	4,6	1,5	1,7	4,2	6,2	46,2	64,8	54,5	55,1	3,2	2,6	231	240	13,60	15,07
FA184	105,2	132,9	8,0	8,4	5,1	5,7	1,6	1,5	4,2	4,1	43,0	55,7	59,1	58,1	3,4	3,1	224	270	11,90	16,23

PFU : Poids unitaire du fruit (g) ; Lf : Longueur du fruit (Diamètre longitudinal polaire) (mm) ; Df : Diamètre équatorial (mm) ; Ee : Épaisseur écorce (mm) ; PP : Poids frais de la pulpe du fruit (g) ; PCF : Pourcentage de la pulpe du fruit (%) ; PG : Poids total des graines (g) ; NG : Nombre de graines ; DB : Degré Brix

Analyse multivariée des paramètres du fruit

L'analyse des composantes principales a été effectuée sur 10 des 22 descripteurs étudiés, car plusieurs descripteurs sont très corrélés entre eux (PFU, PCF, Lf, Df, Ee, Ng, DB, clarté, l'angle de teinte et le Chroma).

La mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) qui donne un aperçu global de la qualité des corrélations inter-items est de 0,71. Cette valeur montre que la corrélation inter-items est acceptable.

Les 3 premières composantes représentent 73,9% de la variation totale (Tab. 4). La première composante caractérisée par 43,0% de variation est représentée respectivement par le poids unitaire du fruit, la dépression de la cicatrice du réceptacle, le nombre de graines, la largeur, la longueur du fruit et le degré Brix. La deuxième composante comptant 19,0% de la variation totale explique l'épaisseur de l'écorce, la clarté et l'angle de la teinte. La troisième composante représente 11,2% de la variation totale et se caractérise essentiellement par l'explication de la Chroma. Ce résultat est satisfaisant lorsqu'on le compare par exemple avec celui de Chalak et al. (2014) dont les trois premiers axes représentent seulement 45,7% de la variabilité.

Tableau 4. Valeurs propres des composantes ACP.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Valeur propre	4,30	1,90	1,19	0,73	0,66	0,40	0,32	0,26	0,20	0,05
Variabilité (%)	43,00	19,02	11,85	7,29	6,63	3,97	3,15	2,57	1,99	0,53
% cumulé	43,00	62,02	73,87	81,16	87,79	91,76	94,91	97,48	99,47	100,00

L'ACP (Fig. 3 et 4) a montré essentiellement cinq groupes des accessions qui se distinguent par différents caractères. Ce qui est remarquable c'est l'isolement de l'accession FA96 qui a le plus petit fruit. On constate également la séparation des accessions FF114 et FF161 négativement corrélées avec l'axe 2 plus particulièrement à l'angle de la teinte. Ces deux accessions se caractérisèrent par une teinte de la chair différente qui tend vers le rouge par rapport aux autres fruits. Le groupement des accessions (FF36, FA45, FA157 et FF174) se caractérise par des fruits de petite taille et longs. Le groupe contenant les accessions (FF182, FA62, FF83, FF149, FF181, FF118, FF142, FF29, FF70, FF132 et FFT2) se caractérise par un grand calibre du fruit tandis que les autres accessions du groupe du milieu possèdent des caractéristiques variées. D'une façon générale, l'axe F1 oppose les accessions ayant une grande taille sur la partie positive par rapport à la partie négative.

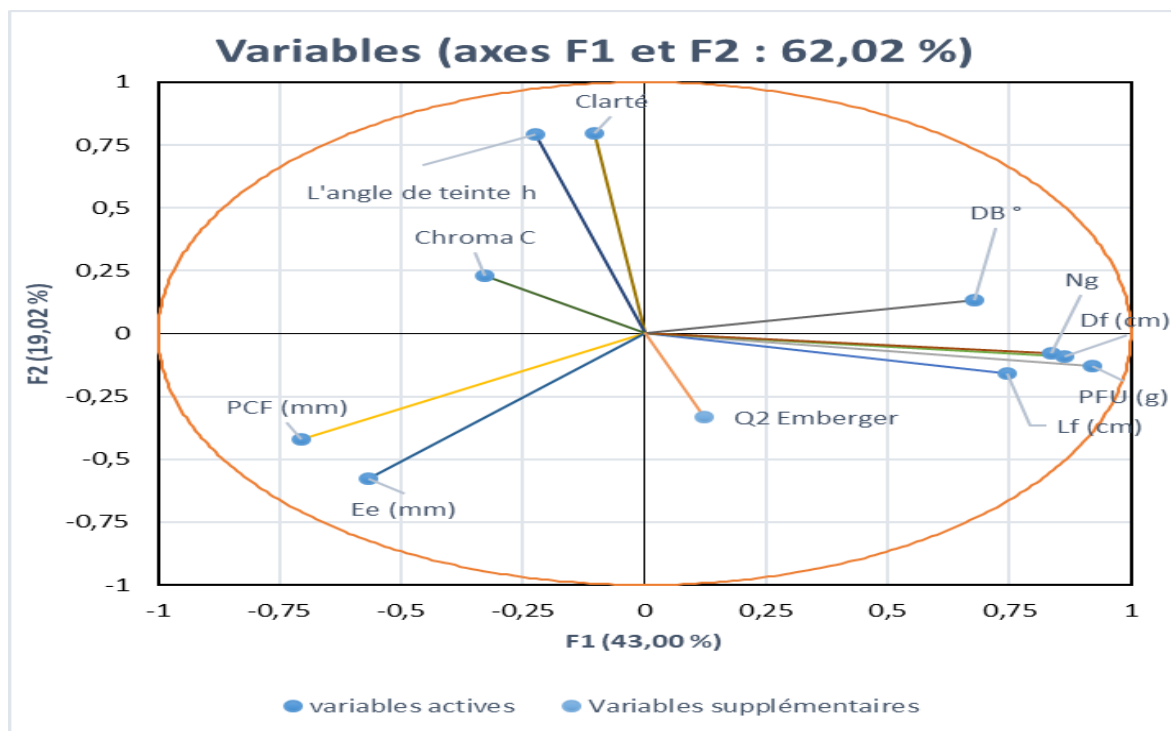


Figure 3. Cercle de corrélation des paramètres de fruit.

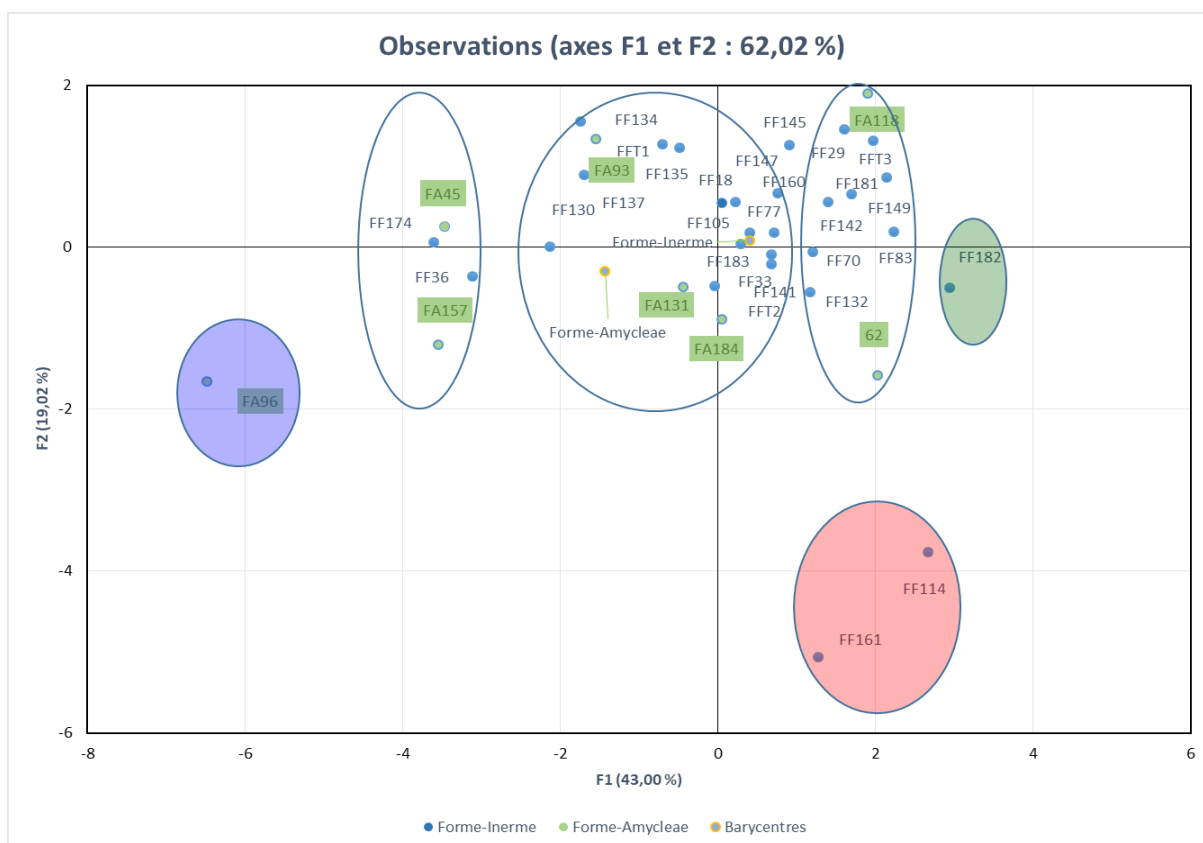


Figure 4. Positions des 36 accessions de figuier de Barbarie dans le plan orthogonal défini par les composants principaux (F1 X F2) des caractéristiques des fruits.

Classification ascendante (agglomérative) hiérarchique

Pour mettre en évidence les relations entre les accessions étudiées, un dendrogramme a été construit avec des données réduites évaluées selon la méthode de Ward. Le dendrogramme de dissimilarité sépare les accessions en cinq groupes à une distance euclidienne de 21,1 (Fig. 5). Trois groupes des cinq contiennent des accessions de formes *ficus-indica* et *amyclaea* de différentes origines géographiques. Le premier groupe (classe I) contient plusieurs accessions d'OFI f. *ficus-indica* et trois f. *amyclaea* (FF105, FF134, FF135, FFT1, FA93, FF130, FF137, FA131, FA184, FF141, FF18 et FF147). Ce groupe se caractérise surtout par un angle de teint et une Chroma élevés. Le deuxième groupe (classe II) comprend 7 accessions (FF33, FF183, FF181, FFT3, FF149, FF29 et FF145) et se caractérise surtout par des fruits sucrés. Le troisième groupe contient quatre accessions d'OFI dont trois f. *amyclaea* (FA96, FF36, FA45 et FA157) et se caractérise par un calibre faible. Le quatrième groupe est constitué de dix accessions, dont deux f. *amyclaea* (FA62, FF77, FFT2, FF70, FF83, FF132, FF160, FA118, FF142 et FF182) et se caractérise par une grande dépression du réceptacle du fruit et un grand calibre de fruit. Le cinquième groupe est constitué de deux accessions (FF114 et FF161) caractérisées par une coloration rouge de la chair du fruit.

Le résultat indique une similitude entre les formes *amyclaea* et *ficus-indica* d'OFI au Maroc puisque trois groupes des cinq contiennent les deux variétés. Ces résultats sont cohérents avec ceux d'études antérieures de Labra et al. (2003) et Valdéz-Moctezuma et al. (2015), qui ont signalé une forte similitude génétique entre OFI et OM.

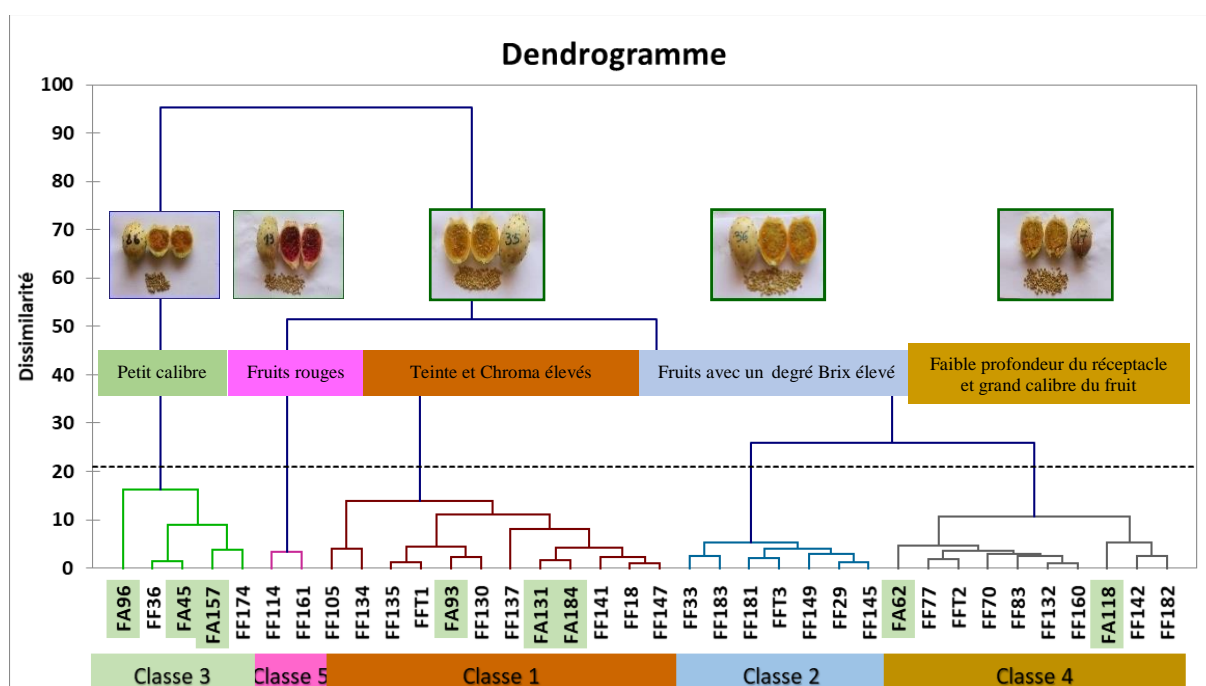


Figure 5. Dendrogramme établi par la méthode de Ward montrant la relation entre les 36 accessions d'*Opuntia ficus-indica* et d'*Opuntia megacantha* du Maroc en fonction des caractéristiques des fruits.

La classification numérique de 29 accessions d'*Opuntia* sur la base du poids et la forme du fruit au Mexique a révélé une grande diversité et a permis surtout de distinguer trois accessions avec des écorces épaisses, un trait attractif pour la post-récolte. De même, la classification hiérarchique de ces accessions en utilisant la distance euclidienne comme indice de similarité statistique a permis de différencier cinq groupes différents et l'accession « Tapón Aguanoso » forme à elle seule un groupe (Valdez-Cepeda et al., 2003). Au Liban, l'ACP réalisée sur 43 accessions d'*Opuntia* a montré une grande variabilité, mais il n'a pas permis de séparer les groupes. Cependant, le dendrogramme construit sur 23 attributs selon la distance euclidienne a séparé les accessions en six sous-groupes (Chalak et al., 2014).

Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence une variabilité importante intra et inter-formes de cactus. Il a permis de distinguer plusieurs groupes d'*Opuntia* en fonction des caractéristiques étudiées. Néanmoins, nous proposons de retenir deux groupes d'accessions pour le contexte oasien. D'une part, les accessions présentant un calibre et un poids importants du fruit (poids excédant 120 g) qui sont FA62 (Taroudant), FF149 (Youssofia) et FF182 (El-Jadida). D'autre part, les accessions les plus sucrées pour le contexte oasien du Tafilalet ont été FF33, FA62, FF70, FF183 et FFT3 qui proviennent respectivement de Tlata Sbouya (Sidi Ifni), Taroudant, Aghroud (Agadir), El-Jadida et Errachidia

En ce qui concerne les descripteurs quantitatifs du fruit, les principaux critères de discrimination ont été le poids, la taille, la couleur et le nombre de graines par fruit.

La forme du cactus montre un effet important sur les caractères du fruit de certaines accessions, la classe 5 contient des fruits de faible calibre est constituée de 3 accessions épineuses des quatre qui forment cette classe.

Plusieurs caractéristiques morphologiques quantitatives sont différentes pour les mêmes accessions d'*Opuntia* entre Errachidia et Agadir. Ces différences ont été attribuées à l'effet de l'environnement.

Références bibliographiques

- Adli B., Boutekrabt A., Touati M., Bakria T., Touati A., Bezini E. (2017). Phenotypic diversity of *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. in the Algerian steppe. *South African Journal of Botany*. 109. p. 66–74.
- Anonyme (2017). Cochenille du cactus : La lutte porte ses fruits. In : La lutte contre la cochenille du cactus commence à porter ses fruits. <https://www.agrimaroc.ma/cochenille-cactus-lutte/>.
- Barbera G., Carimi F. et Inglese P. (1993a). Influenza dell epoca d'impianto e del tipo di talea sulla radicazione e sullo sviluppo di barbatelle di *Opuntia ficus-indica* Mill. *Frutticoltura*. 55(10). p. 67–71.
- Barbera G., Inglese, P. et La Mantia T. (1994a). Influence of seed content on some characteristics of the fruit of cactus pear, (*Opuntia ficus-indica*). *Scientia Hort*. 58. p. 161–165.
- Barbera G. (1995). History, Economic and Agro-Ecological Importance. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear 132, (Barbera G., Inglese P., & Pimienta Barrios E., eds.) Rome, FAO Plant Production and Protection Paper 132. p. 1–11.
- Barbera G., Inglese, P. et Pimienta Barrios E. (1995). Agroecology, cultivation and uses of cactus pear, Rome, FAO Plant Production and Protection Paper 132, 89 pages.
- Boujghagh M. et Chajia L. (2001). Le cactus : outil de gestion de la sécheresse dans le Sud Marocain. *Terre et Vie*. 52. p. 1–7.
- Boujghagh M. (2011). Atlas du cactus (*Opuntia* spp.) de différentes provenances marocaines. INRA, Edition, Rabat. 240 pages.
- Boujghagh M. et Bouharroud R. (2015). Influence of the timing of flowers ad young cladodes removal on reflowering and harvesting periods, yields and fruits quality of prickly pear (*Opuntia ficus indica*). *Acta Hort*. (ISHS). 1067. p. 79-82.
- Covarrubias J.M. (2018). Insect pests of cactus pear. In: Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. (Inglese P., Mondragón C., Nefzaoui A. et Sáenz C.), FAO-ICARDA Edition. p. 126–133.
- Chalak L., Younes J., Rouphael S. et Hamadeh B. (2014). Morphological Characterization of Prickly Pears (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.) Cultivated in Lebanon. *IJSR* 3(6). p. 2541–2553.
- Chessa I., Nieddu G., Serr P., Inglese P. et La Mantia T. (1997). Isozyme characterization of *Opuntia* species and varieties from Italian germplasm. *Acta Horticulturae*. 438. p. 45–52.
- Chougui N., Bachir-bey M. et Tamendjari A. (2016). Morphological and physicochemical diversity of prickly pears in Bejaia-Algeria. *International Journal of Scientific Engineering Research*. p. 987–1006.
- De Wit M., Nel P., Osthoff G. et Labuschagne M.T. (2010). The effect of variety and location on cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality. *Plant Foods for Human Nutrition*. 65(2). p. 136–145.
- El Finti A., El Boullani R., Fallah M., Msanda F. et El Mousadik A. (2013a). Assessment of some agro-technological parameters of cactus pear fruit (*Opuntia ficus-indica* Mill.) in Morocco cultivars. *J. of Medicinal Plants Research*. 7. p. 2574-2583.
- El Finti A., Mohamed B., Rachida B., Fouad M., Mohammed A.S. et El Mousadik A. (2013b). Genetic Structure of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) in Moroccan Collection. *Atlas Journal of Plant Biology* 1(2). p. 24–28.
- El Kharrassi Y. (2015). Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (*Opuntia* spp.) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytosterols issues de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2. Biochimie, Biologie Moléculaire. Université de Bourgogne.

- El Kharrassi Y., Mazri M.A., Benyahia H., Benaouda H., Nasser B. et El Mzouri E. (2016). Fruit and juice characteristics of 30 accessions of two cactus pear species (*Opuntia ficus indica* and *Opuntia megacantha*) from different regions of Morocco. *Food Science and Technology*. 65. p. 610–617.
- Emberger L. (1971). Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques, phytogéographiques et écologiques. In : « Travaux de Botanique et d'écologie ». Masson et Cie (éd.), Paris, p. 291–301.
- Felker P., Soulier C., Leguizamón G. et Ochoa J. (2002). A comparison of the fruit parameters of 12 *Opuntia* clones grown in Argentina and the United States. *J. of Arid Environ.* 52(3). p. 361–370.
- Felker P. et Inglese P. (2003). Short-term and long-term research needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. utilization in arid areas. *J. PACD* 5. p. 131–152.
- Felker P., Rodriguez S., Casoliba R.M., Filippini R., Medina D. et Zapata R. (2005). Comparison of *Opuntia ficus indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina. *J. of Arid Environ.* 60. p. 405–422.
- Gallegos-Vázquez C., Valdez C.R.D., Macias M.B. Priego A.F.B., Agustín J.A. et Ángel, R.N. (2006). Caracterización morfológica de 40 cultivares de nopal de uso como hortaliza del banco de germoplasma del Cruce-UACH. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(1). p. 41–49.
- Homrani B.A. (2018). Étude de la variabilité et de l'adaptabilité des accessions de figuier de barbarie "*Opuntia ficus indica* L. (Mill.)" dans le contexte de la région de Tafilalet. Université Moulay Ismail. FST d'Errachidia. 348 pages.
- Inglese P., Barbera G. et La Mantia T. (1995a). Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) fruit quality and production. *J. of arid Environments* 29. p. 455–468.
- Inglese P., Barbera G., La Mantia T. et Pitolano S. (1995b). Crop production, growth, and ultimate size of cactus pear fruit following fruit thinning. *HortScience* 30 (2). p. 227–230.
- Inglese P. (2010). Cactus pear, *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) for fruit production: an overview. In Nefzaoui, A. Inglese, P. et Belay, T. (Eds.). Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa. Proceedings of International Workshop, Mekelle (Ethiopia), 19-21 October, 2009. *Cactusnet Newsletter*. Issue 12. p. 82–92.
- James F.C. et McCulloch C.E. (1990). Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or pandora's box ? *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 21. p. 129–166.
- Karababa E., Coskuner Y. et Aksay S. (2004). Some physical properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) that grows wild in the Eastern Mediterranean region of Turkey. *J PACD*. 6. p. 1–8
- Kiesling R. (1999). Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *J. PACD*. 3. p. 50–59.
- Kiesling R. et Metzger D. 2018. Origin and taxonomy of *Opuntia ficus-indica*. In: Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. (Inglese P., Mondragón C., Nefzaoui A. et Sáenz C.), FAO-ICARDA Edition. p. 14–19.
- Labra M., Grassi F., Bardini M., Imazio S., Guiggi A., Citterio S., Banfi E. et Sgorbati S. (2003). Genetic relationships in *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae) detected by molecular marker. *Plant Sci.* 165. p. 1129–1136.
- Mert M. 2010. Effect of high hydrostatic pressure on microbial load and quality parameters of grape juice. Thesis Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 108 pages.

- Mondragón-Jacobo C. et Bordelon B.B. (1996). Cactus pear (*Opuntia* spp., *Cactaceae*) breeding for fruit production. *J. PACD*. 1. p. 19–35.
- Mondragón-Jacobo C. et Pérez-González S. 2001. Germplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production. In: Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. (Mondragón, J.C. and Perez, G.S. eds.). Rome, FAO Plant Production and Protection Paper. 169. p. 21–28.
- Mulas M., Loi M., El Mzouri E. H., Chiriyaa A., El Gharous M., Aouragh E.H., Arif A. et Mazhar M. (2006). Cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill.) genetic resources from central regions of Morocco. *Agricultura Mediterranea*. 136(1). p. 11–19.
- Muñoz de Chávez M., Chavez A., Valles V., Roldan J.A. (1995). The Nopal: A Plant of Manifold Qualities. *World Rev. Nutr. Diet*. 77. p. 109–134.
- Nerd A., Karady A., Mizrahi Y. (1991). Out-of-season cactus pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short droughts on productivity. *Horticultural Science* 26. p. 454–608.
- Pimienta-Barrios E. (1994). Prickly pear (*Opuntia* spp): a valuable fruit crop for the semiarid lands of México. *J. Arid Environments*. p. 1–11.
- Pimienta-Barrios E. et Muñoz-Urias A. (1995). Domestication of *opuntias* and cultivated varieties. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear (Barbera G, Inglese P, Pimienta, eds.). Rome, FAO Plant Production and Protection Paper. 132. p. 58–63.
- Peña-Valdivia C.B., Luna-Cavazos M., Carranza-Sabas J.A., Reyes-Agüero J.A. et Flores A. (2008). Morphological characterization of *Opuntia* spp.: A multivariate analysis. *J PACD* 10. p. 1–21.
- Potgietera J. et D'Aquino S. (2018). Fruit production and post-harvest management. In: Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. (Inglese P., Mondragón C., Nefzaoui A. et Sáenz C.). FAO-ICARDA Edition. p. 52–71.
- Reyes-Agüero J.A., Aguirre-Rivera J.R. et Flores-Flores J.L. (2005). Variación morfológica de *Opuntia* (Cactaceae) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia*. 30(8) p. 476–484.
- Sáenz C. (2000). Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*. 46. p. 209–225.
- Sáenz C. (2013). *Opuntias* as a natural resource. In: Agro-Industrial Utilization of Cactus Pear. (Saenz, C., Berger, H., Rodriguez-Felix, A., Corrales, G.J., Sepulveda, E., Varnero, M.T., Garcia, C.V., Arias, E., Modragon, C., Higuera, I. and Rosell, C.). Rome, FAO Edition. p. 1–6.
- Sbaghi M., Bouharoud R., Boujghagh M., El Bouhssini M. (2018). Huit nouvelles variétés de cactus résistantes à la cochenille. INRA Edition, Rabat. 18 pages.
- Schirra M., Brandolini V., Cabras P., Angioni A. et Inglese P. (2002). Thiabendazole uptake and storage performance of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cv Gialla] fruit following postharvest treatments with reduced doses of fungicide at 52°C. *J. Agric. Food Chem* 50. p. 739–743.
- U.P.O.V. (2004). Figuier de Barbarie et Xoconostles (*Opuntia*, Groupe 1 et 2), Principes Directeurs pour la Conduite de l'Examen de la Distinction, de l'Homogénéité et de la Stabilité, International Union for the Protection of New varieties of Plants, TG/217/ 1, Genève.
- Valdéz-Cepeda R.D., Blanco-Macías F. et Gallegos-Vázquez C. (2003). Ordenación y clasificación numérica en nopal tunero mediante atributos de fruto. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 9(2). p. 81–95.

- Valdéz-Moctezuma E., Samah, S. et Luna-Paez A., (2015). Genetic diversity of *Opuntia* spp. varieties assessed by classical marker tools (RAPD and ISSR). *Plant Systematics and Evolution* 301. p. 737–747.
- Yahia E.M. et Mondragón-Jacobo C. (2011). Nutritional components and antioxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Food Research International*. 44. p. 2311–2318.
- Zoghlami N., Chrita I., Bouamama B., Gargouri M., Zemni H., Ghorbel A. et Mliki, A. (2007). Molecular based assessment of genetic diversity within Barbary fig (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.) in Tunisia. *Sci. Hortic.* 113. p. 134–141.
- Wessels A.B. et Holtzhausen L.C. (1991). Die evaluering van vyftien doringlose turksvykultivars (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) vir varsvrugteproduksie in die Pretoriagebied. *Fibonacci Quarterly*. 16 p. 518–522.