

Principales activités des programmes d'amélioration génétique de la lentille et du pois chiche Kabuli à ICARDA

Amri M.¹, Niane A.A.¹, Agrawal S.K.¹, Kemal S.A.¹, Hamwiah A.¹, Amri A.¹

¹ Biodiversity and Crop Improvement Program (BCI), International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Rabat-institutes, Morocco

Correspondance : M.Amri@cgiar.org

Résumé

Le développement de matériel génétique à haut potentiel de rendement, résistant aux principales contraintes biotiques (Anthracnose, Fusariose, pourriture racinaire, plantes parasites et insectes) et abiotiques (stress hydrique, haute température) et de bonne qualité technologique et nutritionnelle sont les objectifs majeurs des programmes d'amélioration génétique de la lentille et du pois chiche type Kabuli à ICARDA. Dans le cadre de sa mission globale de production de biens publics chez ces espèces au sein du CGIAR et en collaboration avec les partenaires nationaux de recherche (NARS), 91 variétés (42 de pois chiche et 49 de lentille) ont été inscrites au cours des dix dernières années pas uniquement dans les pays de la zone d'intervention de l'ICARDA mais aussi dans beaucoup d'autres pays dont certains pays européens, le Canada et l'Australie. Ces variétés ont largement contribué à l'amélioration de la productivité, l'accroissement des superficies et l'augmentation de la production au bénéfice des petits agriculteurs des zones sèches. Par ailleurs, l'ICARDA dispose, dans la banque de gènes, d'une large collection de ressources génétiques de légumineuses alimentaires de 48,000 accessions dont 15,195 de pois chiche et 13,907 de lentille avec respectivement 547 et 605 accessions d'espèces sauvages. Ces ressources sont caractérisées par une diversité génétique importante pour différents caractères et sont largement diffusées et exploitées par les programmes d'amélioration génétique à l'ICARDA et dans le monde.

Mots-clés : Pois chiche, Lentille, Amélioration génétique, Ressources génétiques, Stress biotiques et abiotiques.

Abstract: ICARDA's keys programs for genetic improvement of the Kabuli Lentil and Chickpea

The development of new high yielding germplasm with enhanced resistance/tolerance to major biotic and abiotic stresses (ascochyta blight, fusarium wilt, root rot complex, parasitic plants and pests, drought, cold, heat) and improved nutrient composition is the main objective of Kabuli chickpea and lentil breeding programs at ICARDA. During the last ten years, 91 varieties (42 Kabuli chickpea and 49 lentil) were released by the NARS partners in different countries in the world. These varieties have largely contributed to a significant increase of the chickpea and lentil cultivated area, production and productivity and consequently the farmer's incomes and benefits. In addition, ICARDA holds one of the largest collections of food legume germplasm with 48,000 accessions including 15,195 chickpea and 13,907 lentils with 547 and 605 accessions respectively. These genetic resources are the key building blocks for food legume crop improvement. These resources are characterized by significant genetic diversity for different traits and widely disseminated and exploited by breeding programs at ICARDA and around the world.

Keywords: Chickpea, Lentil, Breeding, Genetic resources, Biotic and abiotic stresses

Introduction

L'intensification agricole engagée depuis plusieurs décennies a conduit à un déclin et une régression de la culture des légumineuses à l'échelle mondiale (Voisin et al., 2013). Actuellement, dans la plupart des régions du monde, les légumineuses ne sont cultivées que sur des superficies très limitées allant de 3 à 5% par rapport aux autres espèces de grandes cultures notamment les céréales. Face à l'accroissement rapide de la population mondiale, le renforcement de la sécurité alimentaire et la demande croissante en denrées alimentaires, la réduction des risques et répercussions de changement climatique sont des défis cruciaux pour les années à venir. Dans les régions arides qui sont plus exposées aux aléas de changement climatique et là où les systèmes de production agricole sont très fragiles, la situation est beaucoup plus critique. Pour soulever ces défis, le développement et le renforcement de systèmes de production durables doit figurer aux premiers plans d'action et de développement agricole. Il est, donc, nécessaire de développer des cadres politiques stratégiques dans lesquels la durabilité des systèmes de production et de consommation doit être centrale. En effet, les cultures de légumineuses peuvent jouer un rôle important du fait qu'elles fournissent des atouts multiples et conformes aux principes de la durabilité. Les cultures de légumineuses sont des cultures de base très importantes, non seulement pour la sécurité alimentaire, mais aussi pour lutter contre la malnutrition, la pauvreté, améliorer la santé humaine et la durabilité des systèmes de production.

Le pois chiche et la lentille sont parmi les cultures de légumineuses alimentaires les plus importantes dans le monde. Elles jouent un rôle important (i) au niveau des systèmes alimentaires en tant que source de protéines végétales devenues de plus en plus présentes dans la diète méditerranéenne notamment chez les populations à revenus limités, (ii) au niveau des systèmes de production agricole puisqu'elles permettent d'accroître la productivité et la production des cultures et réduire l'utilisation d'intrants externes, en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. Ceci leur permet d'être fortement recommandées dans les systèmes de culture à faibles intrants et (iii) au niveau des systèmes agroécologiques, comme cultures de diversification dans les agroécosystèmes basés uniquement sur quelques espèces principales. Par conséquent, la présence des légumineuses dans ces systèmes de production va contribuer à l'augmentation de la diversité ainsi que l'équilibre et la résilience des systèmes agroécologiques (Schneider et Huyghe, 2015).

Ce document présente un aperçu sur (i) les ressources génétiques de légumineuses à graines à ICARDA et leur utilisation et (ii) les objectifs et les principales activités de recherche des programmes d'amélioration génétique de la lentille et du pois chiche type Kabuli.

1. Les ressources génétiques de légumineuses à graines à ICARDA

L'ICARDA dispose, dans la banque de gènes, d'une large collection de ressources génétiques de légumineuses alimentaires. Les programmes d'amélioration génétique des légumineuses alimentaires à l'ICARDA en particulier ceux du pois chiche et de la lentille s'appuient sur la base de cette importante collection de ressources génétiques très utiles pour le développement de nouvelles lignées améliorées mieux adaptées aux différentes conditions agro-écologiques. Cette collection est caractérisée par une importante variabilité nécessaire pour différents caractères d'intérêt. Le nombre total d'accessions est estimé à 48,000 dont 13,907 accessions de lentille (1^{ère} mondiale) et 15,195 accessions de pois chiche (2^{ème} mondiale) avec respectivement 605 et 547 accessions d'espèces sauvages. Ces ressources sont caractérisées par une diversité génétique importante pour différents caractères et sont largement diffusées et exploitées par les programmes d'amélioration génétique à ICARDA et dans le monde (Tableau 1). Pour plus d'efficacité dans l'utilisation de ces ressources génétique dans les programmes d'amélioration, l'approche FIGS (Focused Identification of Germplasm Strategy) a été récemment développée à l'ICARDA tenant compte de la distribution et des caractéristiques géographiques des ressources génétiques. Plusieurs études ont montré l'efficacité de cette approche pour l'identification de sources de résistance et d'adaptation aux différents stressés comme la sécheresse, le froid, la salinité

et les hautes températures (Khazaei et al., 2013 ; Street et al., 2016). Face aux phénomènes de l'érosion génétique des espèces de légumineuses et la perte de diversité au niveau des exploitations agricoles notamment chez les petits agriculteurs, la conservation de ces ressources et leur valorisation est d'une grande importance puisqu'elles constituent de grands réservoirs de gènes et caractères d'intérêt pour les programmes d'amélioration génétique. L'exploitation de la diversité génétique de ces ressources permettra aux améliorateurs de développer de nouveau matériel génétique présentant un assemblage approprié de caractères adaptatifs aux différents stressés et d'atténuer les risques de l'érosion génétiques dans plusieurs régions du monde. C'est dans cette logique que les ressources génétiques de pois chiche et de la lentille à ICARDA sont largement utilisées et explorées par les programmes d'amélioration afin de pouvoir identifier de nouvelles sources de résistance et des caractères d'adaptation aux principales contraintes biotiques et abiotiques et qui seront utilisées pour améliorer les performances agronomiques et phytosanitaires et accélérer le progrès génétique chez ces deux cultures.

Tableau 1 : Le nombre total d'accessions et d'espèces sauvages de pois chiche, de la lentille et d'autres espèces de légumineuses répertoriées dans la banque de gènes de l'ICARDA.

Culture	Nombre d'accessions	Position mondiale	% accs. /mondiale
Pois chiche	15,195	2 nd	15
Wild Cicer	547	-	-
Lentille	13,907	1 st	51
Wild Lens	605	-	-
Faba bean	10,034	1 st	48
<i>Lathyrus</i> spp.	4,289	1 st	36
<i>Pisum</i> spp.	6,121	2 nd	15
<i>Trifolium</i> spp.	5,883	2 nd	11
<i>Vicia</i> spp.	6,388	1 st	13
<i>Medicago</i> annual	9,120	1 st	28

2. Amélioration pour la résistance aux stressés biotiques et abiotiques

Dans la région méditerranéenne, en plus des composantes socio-économique et politique décourageantes, les cultures de légumineuses alimentaires se trouvent confrontées à plusieurs contraintes biotiques et abiotiques majeures affectant leur production et limitant leur développement. L'irrégularité des précipitations, l'excès d'eau, les hautes températures, la sécheresse printanière, les maladies foliaires, les maladies racinaires, les insectes ravageurs et les plantes parasites (Orobanche et cuscute) sont les contraintes majeures des légumineuses alimentaires (Figure 1). La distribution et l'importance de ces contraintes est soit régionale, soit globale et se trouvent liées aux conditions de l'environnement (Tableau 2).

Tableau 2 : La distribution et l'impact sur le rendement en graines des principales maladies de pois chiche et de la lentille (Source : Ahmed et al., 2010).

Culture	Maladie	Pathogène	Perte de rendement (%)	Distribution
Pois chiche	Ascochyta blight	<i>Ascochyta rabiei</i>	Jusqu'à 100	Globale
	Fusarium wilt	<i>Fusarium oxysporum f.sp. ciceris</i>	10 – 90	Globale
	Cyst nematodes	<i>Heterodera ciceris</i>	20 – 100	Régionale
Lentille	Ascochyta blight	<i>Ascochyta lentis</i>	40 – 90	Régionale
	Stemphylium blight	<i>Stemphylium botryosum</i>	23 – 62	Régionale
	Fusarium wilt	<i>Fusarium oxysporum f.sp. lentis</i>	Jusqu'à 100	Globale
	Anthracnose	<i>Colletotrichum truncatum</i>	20 – 100	Régionale
	Rouille	<i>Uromyces fabae</i>	25 – 70	Régionale

L'ampleur des pertes de rendement dépend des interactions entre le pathogène et la plante hôte en relation avec les conditions et les facteurs biophysiques de l'environnement particulièrement la température et l'humidité (Ahmed et al., 2010). De plus, les dégâts causés par les multiples contraintes biotiques et abiotiques sont devenus plus en plus importantes dans les régions arides et sèches là-où les répercussions du changement climatique sont plus perceptibles. Ces derniers affectent aussi bien le développement de la culture, que celui de ses ennemis à travers le développement de nouvelles races de pathogènes, une plus longue période favorable pour le développement des pathogènes, de pathogènes plus agressifs et plus virulents.

Des études récentes ont montré que l'effet combiné des maladies, des insectes ravageurs et l'infestation par les plantes parasites cause entre 37 et 70% de perte de rendement en graines chez les cultures de légumineuses notamment la lentille et le pois chiche (Kumar et al., 2016). L'antracnose (Figure 1a), la fusariose (Figure 1b) et le complexe de pourriture racinaire chez le pois chiche (Omri Ben Youssef et al., 2010 ; Bouhadida et al., 2013 ; Amri et al., 2014 ; Millan et al., 2015) et la rouille et de l'antracnose chez la lentille (Kumar et al., 2016) sont les principales maladies qui causent des dégâts considérables sur ces deux cultures dans les pays méditerranéens. Les insectes ravageurs comme la mineuse des feuilles de pois chiche et les pucerons de la lentille provoquent des dégâts importants devenus de plus en plus prononcés avec le changement climatique (Titouhi et al., 2015 ; Soltani et al., 2018 ; Caparelli et al., 2018 ; Sabraoui et al., 2019).

Par ailleurs, dans la région méditerranéenne, l'attaque par les plantes parasites, en particulier, les Orobanches (Figure 1c) est devenue l'une des principales contraintes qui causent des pertes de rendement élevées et limitent le développement de la culture de nombreuses légumineuses, notamment, les fèves et la lentille (Abbes et al., 2011 ; Trabelsi et al., 2015 ; Trabelsi et al., 2016a,b ; Abu-Irmaileh et Labrada, 2017 ; Amri et al., 2019). Des études récentes ont signalé l'attaque par l'Orobanche et la cuscute comme un problème émergent pour la culture de pois chiche dans certains pays de la région méditerranéenne (Millan et al., 2015 ; Nefzi et al., 2016). Malgré les efforts déployés, ce pathogène redoutable devient de plus en plus important avec une augmentation exponentielle du nombre et de la superficie des parcelles infestées. Plusieurs méthodes de lutte ont été testées génétique, chimique, culturale et biologique mais aucune n'est efficace si elle est utilisée seule et la plupart ont abouti uniquement à une réduction des niveaux d'attaque/infestation. La résistance génétique si elle est couplée à la lutte chimique reste la méthode la plus économique et prometteuse pour lutter contre ce pathogène. En effet, en absence d'une résistance complète à l'Orobanche,

l'amélioration du niveau de la résistance reste un défi à soulever pour les programmes d'amélioration génétique à l'ICARDA en collaboration avec les NARS. D'autre part, l'amélioration pour la résistance/tolérance aux herbicides systémiques qui peuvent être utilisés pour contrôler l'*Orobanche crenata* dans les champs des cultures de légumineuses, en particulier le glyphosate et imazethapyr, est l'une des projections futures des programmes d'amélioration génétique, chose qui va permettre aux agriculteurs une plus grande flexibilité lors de l'utilisation des herbicides de post-levée.



a



b



c



d



e



f

Figure 1: Amélioration pour la résistance/tolérance à l'antracnose (a), la fusariose (b), l'*Orobanche crenata* (c), le froid (d) et la préciosité chez la lentille (e) et le pois chiche (f).

En termes de stress abiotiques, la sécheresse, les hautes températures, le froid et la salinité sont les principales contraintes qui limitent la production et affectent la stabilité du rendement de la culture du pois chiche et de la lentille (Gaur et al., 2014). Avec les changements climatiques, l'impact de la sécheresse et des températures élevées sur ces cultures sera amplifié et plus prononcé et mettra

davantage en danger la durabilité des systèmes de production et des niveaux de sécurité alimentaire et nutritionnelle. Plusieurs travaux de recherche ont été réalisées pour étudier les mécanismes de tolérance à la sécheresse chez le pois chiche et la lentille (Romo et al. 2001 ; Schutz et al., 2002 ; Macar et al., 2009 ; Yucel et al., 2010 ; Vessal et al., 2012 ; Sleimi et al., 2013). Les nouveaux outils de biologie moléculaire, séquençage du génome, *QTL mapping*, les plateformes de phénotypage ont permis de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la tolérance à la sécheresse à travers l'identification de QTL (*quantitative trait loci*) ou des gènes responsables de la tolérance. La sélection génomique qui se base sur un marquage dense du génome est une technique très prometteuse qui est actuellement utilisée à l'ICARDA et dans plusieurs autres institutions de recherche dans le monde et qui pourra éventuellement aboutir à l'amélioration de la résilience à la sécheresse chez le pois chiche et la lentille dans un scénario de changement climatique sérieux.

Le développement de matériel génétique à haut potentiel de rendement, résistant aux principales contraintes biotique et abiotique, plus adapté au changement climatique (précocité, plus courte durée de remplissage des graines) (Figures 1e et 1f) et de bonne qualité technologique et nutritionnelle sont les objectifs majeurs des programmes d'amélioration génétiques de la lentille et du pois chiche type Kabuli à ICARDA. En effet, en collaboration avec ses NARS, l'ICARDA a pu développer et inscrire des variétés de lentille comme Bakria (Maroc) et Idlib3 (Syrie) qui ont été largement adoptées par les agriculteurs pour leur précocité et tolérance à la sécheresse. De plus, dans certaines zones de la région méditerranéenne, la culture de la lentille et du pois chiche, en particulier le pois chiche d'hiver souffrent de basses températures aux cours des premiers stades de développement. Pour surmonter ce problème, des variétés de longue durée présentant une tolérance au froid et une résistance à l'antracnose ont été développées et cultivées à grande échelle telles que les variétés Ghab1, Ghab4 et Ghab 5 en Syrie, Béja1, Nour, Rebha en Tunisie, Arifi et Bouchra au Maroc, Azkan, Aksu, Cagatay en Turquie. A travers ces variétés, la technologie de semis d'hiver chez le pois chiche a significativement contribué à l'augmentation de la superficie cultivée, de la productivité et par conséquent la production comparée à la culture printanière traditionnelle.

Chaque année, les programmes d'amélioration génétique des légumineuses alimentaires de l'ICARDA, notamment ceux du pois chiche et de la lentille, génèrent du nouveau matériel génétique à haut potentiel de rendement et présentant des caractères d'intérêt pour la bonne qualité nutritionnelle et la résistance aux différents stress. Ce matériel génétique est mis à la disposition des partenaires et programmes nationaux partout dans le monde sous forme de plusieurs pépinières internationales. En moyenne 350 pépinières de pois chiche et 352 pépinières de lentille sont envoyées à plus de 52 partenaires dans plus de 28 pays dans le monde (Tableau 3).

Tableau 3 : Le nombre de pépinières et lignées envoyées chaque année aux différents partenaires partout dans le monde (Source : ICARDA-IN, base de données 2013-2018).

Espèce	Essais/pépinières		Lignées/Populations		Pays	Partenaires
	total	moy.	total	moy.		
Pois chiche	2453	350.4	2842	406.0	28.9	52.1
Lentille	2467	352.4	2963	423.3	29.9	45.6
Total*	6689	238.9	8049	287.5	24.7	37.4

* Pois chiche, lentille, fèves, gesse

Ces pépinières contiennent un nombre important matériel génétique fixé, des sources de résistance aux différentes contraintes biotiques et abiotiques (pépinières maladies) et des populations en ségrégation afin de donner l'opportunité aux partenaires nationaux de faire la sélection, dans des environnements

spécifiques, de lignées prometteuses sur la base d'une évaluation des performances agronomiques, qualitatives et de résistance aux contraintes majeures. Jusqu'au 2017, un nombre total de 389 variétés de légumineuses (pois chiche, lentille, fèves et gesse) ont été inscrites partout dans le monde. Au cours des dix dernières années, 91 variétés (42 de pois chiche et 49 de lentille) ont été inscrites par les différents partenaires (NARS). En Europe 22 variétés de pois chiche (8 en Espagne, 7 en Italie, 3 en France et au Portugal et 1 en Grèce), 2 variétés de lentille et 1 variété de féverole ont été inscrites à partir du germplasm ICARDA (Figure 2).

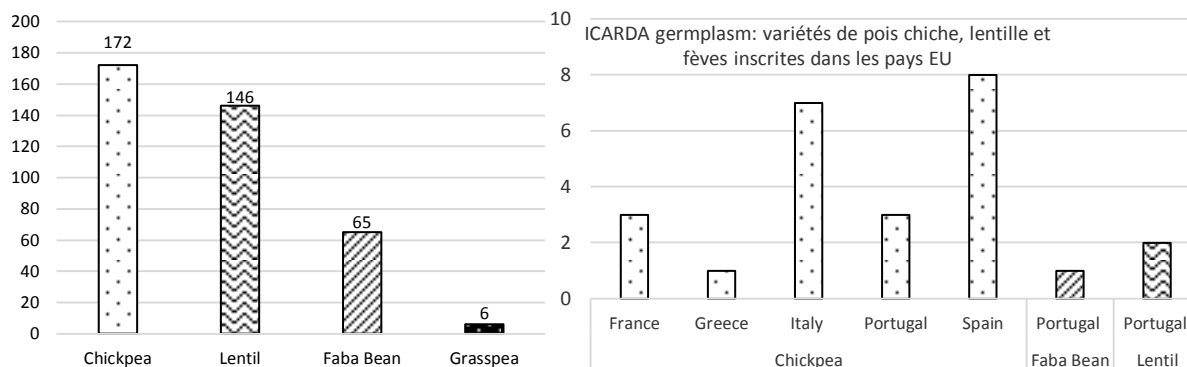


Figure 2 : Le nombre total de variétés de pois chiche, lentille, fèves et gesse inscrites à partir du germplasm ICARDA (gauche) partout dans le monde et (droite) dans les pays Européens (base de données ICARDA jusqu'au 2017).

3. Amélioration pour la bonne qualité nutritionnelle

Sur le plan nutritionnel, les légumineuses alimentaires, notamment le pois chiche et la lentille, sont des cultures stratégiques pour l'alimentation et la santé humaine dans plusieurs régions du monde. Elles fournissent des protéines de qualité et de fibres alimentaires intéressantes avec une faible teneur en matières grasses et indice glycémique. Leur consommation, notamment dans la région méditerranéenne, est en forte croissance. Dans cette région, les potentiels d'accroissement des surfaces et des rendements sont importants et méritent d'être plus explorés pour contribuer significativement à la satisfaction des besoins, à la réduction des importations et à la limitation de la tendance à la monoculture.

La population mondiale est supposée atteindre 9,5 milliards d'habitants en 2050 (UN-WP-ESA/P/WP.227, 2013) et la production agricole ne sera pas suffisante pour satisfaire les besoins alimentaires de cette population que si la consommation individuelle des produits d'origine animale diminue et ne dépasse pas une limite supérieure de 500 kcal/j contre l'augmentation de de la part des protéines et calories végétales dont les légumineuses alimentaires sont classées comme la source principale (INRA/CIRAD, 2009 ; Paillard et al., 2011 ; Schneider et Huyghe, 2015). De plus, dans une conjoncture internationale et en présence de plus de 2 milliards de personnes dans le monde souffrent de malnutrition et manque en oligoéléments (FAO, 2015) et avec un nouveau contexte de sécurité nutritionnelle les légumineuses alimentaires peuvent jouer un rôle important comme une source importante de protéines et d'oligoéléments tels que le zinc (Zn) et le fer (Fe). Ces cultures sont les composantes essentielles de l'alimentation quotidienne et des ingrédients de base de plusieurs plats partout dans le monde. Il s'agit d'une source précieuse de protéines digestibles, de minéraux et de vitamines, ainsi que de glucides à faible indice glycémique. Dans le cadre d'un programme de bio-fortification, ICARDA a accentué ses activités de recherche sur les aspects de la bonne valeur nutritionnelle et technologique chez le pois chiche et la lentille. Ces activités de recherches se sont

traduites par le développement de nouveau matériel génétique de pois chiche et de lentille avec des teneurs élevées en protéines, Zn et Fe. Chez le pois chiche, l'analyse de la qualité nutritionnelle de plus de 320 génotypes de pois chiche de Kaboul a montré une forte variation en termes de teneur en protéines (de 17,73% à 31,85%) et de fer et de zinc, variant de 29,4 à 81 ppm et de 32,1 à 86,1 ppm, respectivement (Figures 3 et 4). Dans le cas de la lentille, les résultats ont montré que les teneurs en fer et le zinc ont variés entre 43-132 ppm et 22-90 ppm, respectivement.

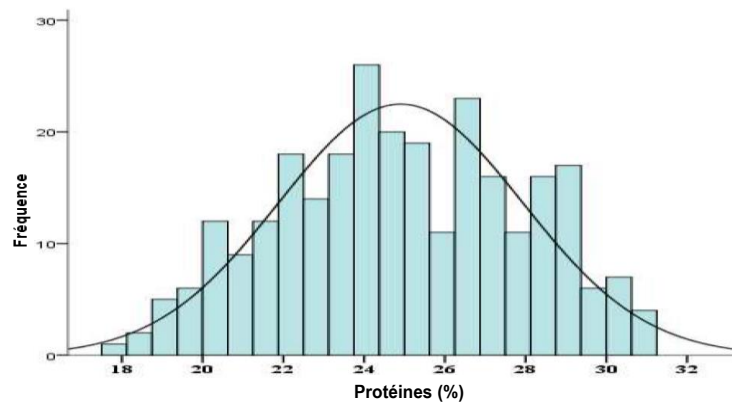


Figure 3 : Variation de la teneur en protéines chez une collection de 300 lignées de pois chiche type Kabuli.

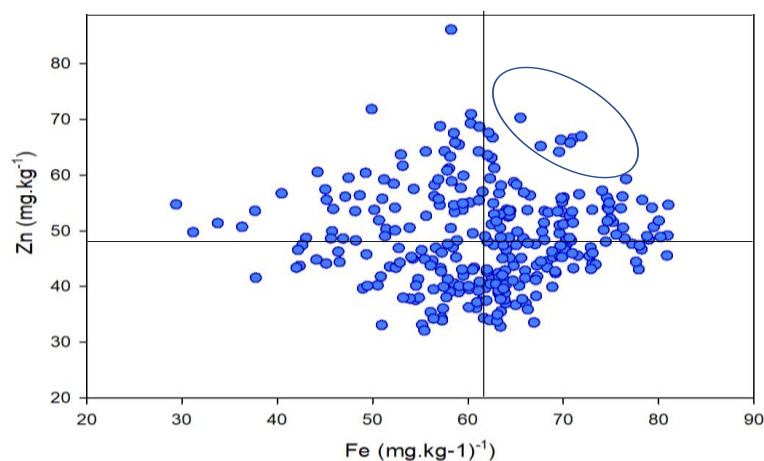


Figure 4 : Variation de la teneur en Fe (mg.kg^{-1}) et du Zn (mg.kg^{-1}) chez une collection de 300 lignées de pois chiche type Kabuli. Des lignées avec une teneur élevée de Fe et/ou de Zn ont été identifiées.

Conclusion

Dans un contexte du changement climatique, l'amélioration de la production et de la productivité des cultures de légumineuses, le pois chiche et la lentille en particulier, doit passer par (i) le développement de nouvelles variétés productives, précoces et plus adaptées aux aléas climatiques et (ii) la bonne gestion des maladies et pathogènes à travers des moyens de lutte intégrée plus raffinées et efficaces. Au fil des années, les efforts déployés à l'ICARDA en collaboration avec les NARS, ont abouti au développement de plusieurs technologies (matériel génétique et techniques de production) qui ont été largement adoptés par les agriculteurs et ont significativement contribué à l'amélioration de la production et de la productivité des du pois chiche et de la lentille et l'augmentation des revenus de la population rurale dans différentes régions du monde. De nos jours, l'augmentation du coût de production et des prix des engrais azotés industriels, le changement climatique dont parmi les

répercussions est limitation des ressources en eau pour l'agriculture, le niveau d'insécurité alimentaire devenu de plus en plus prononcée et le changement des aptitudes et préférences du consommateur partout dans le monde placent les légumineuses aux premiers plans dans les systèmes de production agricoles. L'application d'une approche plus intégrée à travers l'utilisation des outils moléculaires existants, des ressources génétiques qui permettent d'élargir la base génétique, pyramider les gènes de résistance aux principaux stress et adopter des techniques de production et de protection plus efficaces est nécessaire afin de pouvoir améliorer le niveau de rendement et la résilience des cultures de légumineuses, notamment le pois chiche et la lentille.

Références bibliographiques

- Abbes Z., Sellami F., Amri M., Kharrat M., 2011. Variation in the resistance of some faba bean genotypes to *Orobanche crenata*. Pak. J. Bot., 43(4): 2017-2021.
- Abu-Irmaileh B.E., Labrada R., 2017. The problem of *Orobanche* spp. in Africa and Near East. FAO, <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/biodiversity/weeds/issues/oro/en/>
- Ahmed S.K., Imtiaz M., Agrawal S.K., Malhotra R., Maalouf F., 2010. Impact of climate change and variability on diseases of food legumes in the dry areas. In: Solh M., Saxena M.C., (eds), International Conference on Food security and Climate Change in Dry Areas: 1-4 February 2010, Amman, Jordan
- Amri M., Bouhadida M., Halila M.H., Kharrat M., 2014. Chickpea cropping and breeding program: An overview on the Tunisian situation. Legume perspectives: The timeless chickpea, Big hearts pulse within pods. The journal of the International Legume Society, Issue 3, 85-61.
- Amri M., Abbes Z., Trabelsi I., Kharrat M., 2019. Release of a New Faba Bean Variety "Chourouk" Resistant to the Parasitic Plants *Orobanche foetida* Poir. and *Orobanche crenata* Forsk. in Tunisia. International Journal of Agriculture and Biology,
- Bouhadida M., Benjannet R., Madrid E., Amri M., Kharrat M., 2013. Efficiency of marker-assisted selection in detection of ascochyta blight resistance in Tunisian chickpea breeding lines. Phytopathologia Mediterranea, 52(1): 211-220.
- Carapelli A., Soltani A., Leo C., Vitale M., Amri M., Mediouni-Ben Jemâa J., 2018. Cryptic Diversity Hidden within the Leafminer Genus *Liriomyza* (Diptera: Agromyzidae). Genes,9, 554.
- FAO, 2015. The state of food insecurity in the world 2015. FAO, Rome. <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf>
- Gaur P.M., Samineni S., Krishnamurthy L., Varshney R.K., Kumar S., Ghanem, M.E., Nayyar H., 2014. High temperature tolerance in grain legumes. Girma F. and Haile D. 2014. Effects of supplemental irrigation on physiological parameters and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in the highlands of Bale, Ethiopia. Journal of Agronomy, 13: 29-34.
- Khazaei H., Street K., Bari A., Mackay M., Stoddard F.L., 2013. The FIGS (Focused Identification of Germplasm Strategy) Approach Identifies Traits Related to Drought Adaptation in *Vicia faba* Genetic Resources. PLoS ONE 8(5): e63107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063107>
- Kumar S., Kumar J., Sarker A., 2016. Biodiversity and varietal development of pulses in South Asia. Pages 25-32. In: Pulses for sustainable food and nutrition security in SAARC region. (Tayan Raj Gurung and SM Bokhtiar, eds), SAARC Agriculture Center, Dhaka Bangladesh.
- Macar T.K., Turan O., Ekmekc Y., 2009. Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. Gazi Univ. J. Sci. 22, 5-14.
- Millan T., Madrid E., Cubero J.I., Amri M., Castro P., Robio J., 2015. Chickpea In: Antonio M. De Ron (eds.) Grain Legumes, Series Handbook of Plant Breeding. Springer Science+Business Media, New York. Vol. 10, pp 499.
- Nefzi F., Trabelsi I., Amri M., Triki E., Kharrat M., Abbes Z., 2016. Response of some chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to *Orobanche foetida* Poir. Parasitism. Chilean Journal of Agricultural Research. 76(2), 270-278.
- Omri Ben Youssef N., Krid S., Rhouma A., Kharrat M., 2010. First report of *Rhizoctonia solani* AG 2-3 on chickpea in Tunisia. Phytopathol. Mediterr. Vol. 49(2) : 253-257.

- Romo S., Labrador E., Dopico B., 2001. Water stress-regulated gene expression in *Cicer arietinum* seedlings and plants. *Plant Physiol. Biochem.* 39, 1017-1026.
- Sabraoui A., Lhaloui S., Bouchelt A., El Fakhouri K., El Bouhssinia M., 2019. Grain yield losses due to leaf miner (*Liriomyza cicerina* R.) in winter- and spring-planted chickpea in Morocco *Crop Protection*, 117, 115-120
- Schneider A., Huyghe C., 2015. Les légumineuses pour les systèmes agricoles et alimentaires durables. Editions Quae, RD10, 78026 Versailles Cedex. 515 p.
- Schutz W., Milberg P., Lamont B.B., 2002. Germination requirements and seedling responses to water availability and soil type in four eucalypt species. *Acta. Oecol.* 23, 23-30.
- Sleimi N., Bankaji I., Touchan H., Corbineau F., 2013. Effects of temperature and water stresses on germination of some varieties of chickpea (*Cicer arietinum*). *Afr. J. Biotechnol.* 12, 2201-2206.
- Soltani A., Beyarslan L.G., Haouel Hamdi S., Boussemi A., Amri M., Mediouni Ben Jemâa J., 2018. Parasitoids of chickpea leafminer *Liriomyza cicerina* (Diptera: Agromyzidae) and their parasitism rate in chickpea fields in North Tunisia. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(4), 1215-1221.
- Street K., Bari A., Mackay M., Amri A., 2016. How the focused identification of germplasm strategy (figs) is used to mine plant genetic resources collections for adaptative traits. In: *Enhancing Crop Genepool Use: Capturing Wild Relative and Landrace Diversity for Crop Improvement*; Maxted N., Dulloo M.E., Ford-Lloyed B.V. Eds.; CABI: Boston, MA, USA, pp54.
- Titouhi F., Amri M., Mediouni Ben Jemâa J., 2015. Status of coleopteran insects infesting faba bean in Tunisia with emphasis on population dynamics and damage of *Bruchus rufimanus* (Chrysomylidae). *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review*. Vol. 4(8) pp. 225-233.
- Trabelsi I., Abbes Z., Amri M., Kharrat M., 2015. Performance of faba bean genotypes with *Orobanche foetida* Poir. and *Orobanche crenata* Forsk. infestation in Tunisia. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75(1), 27-34.
- Trabelsi I., Abbes Z., Amri M., Kharrat M., 2016a. Study of some resistance mechanisms to *Orobanche* spp. infestation in faba bean (*Vicia faba* L.) breeding lines in Tunisia. *Plant Production Sciences*. Vol. 19(4): 562 – 573.
- Trabelsi I., Abbes Z., Amri M., Kharrat M., 2016b. Response of some selected faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes to *Orobanche* spp. in Tunisia. *Plant Production Science*. 19, 562-573.
- Vessal S., Palta J.A., Atkins C.A., Siddique K.H.M., 2012: Development of an assay to evaluate differences in germination rate among chickpea genotypes under limited water content. *Funct. Plant Biol.* 39, 60-70.
- Voisin A.S., Gueguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.H., Magrini M.B., Meynard J.M., Mougél C., Pellerin S., Pelzer E., 2013. Les légumineuses dans l'Europe du XXI^e siècle : Quelle place dans les systèmes agricoles et alimentaires actuels et futurs ? Quels nouveaux défis pour la recherche ? *Innovations Agronomiques* 30, 283-312.
- Yucel D.O., Anlarsal A.E., Mart D., Yucel C., 2010: Effect of drought stress on early seedling growth of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *World Appl. Sci. J.* 11, 478-485.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).