

Analyse du processus d'émergence de la filière figue de Barbarie et de ses coproduits en Algérie : Potentiel, contraintes et perspectives

NOURE EL IMENE BOUMALI*, FATEH MAMINE**, FOUED CHERIET*,
ETIENNE MONTAIGNE*, FOUJIL ARBOUCHE***

DOI: 10.30682/nm2203h

JEL codes: O13, O 33, Q13

Abstract

This article analyses several possibilities to valorize prickly pear farming in Algeria, a context dominated by semi-arid ecosystems. It uses sociotechnical and evolutionary approaches in order to understand the new dynamics happening within this sector. Based on field surveys and literature review, this study shows that the production and processing of prickly pear by-products present a high potential, but remains largely under-exploited. Production is mostly artisanal, collection uses traditional practices and marketing is dominated by unstructured and informal channels. The development of processing activities is fairly recent and its dynamic reflects the high interest for this emerging sector by adopting certain practices already observed elsewhere. Finally, an important constraint is foreign market entry. Due to the partial failure of producer's commercial export strategies', local outlets remain dominant.

Keywords: Prickly pear sector, By-product valorization, Sociotechnical system, Algeria.

1. Introduction

En Algérie les activités agricoles évoluent dans un contexte naturel difficile dans une large partie du pays, compte-tenu des conditions géographiques et climatiques à dominance aride et semi-aride. Le figuier de Barbarie, une culture adaptée à des conditions d'aridité, fut introduit en Algérie par les espagnoles au XVI^{ème} siècle comme le retracent les écrits de De Oviedo (1880). Au début de la colonisation française, cette culture

est décrite comme endémique et parmi les plus précieuses des productions agricoles algériennes de l'époque (Moll, 1843 ; Rosny, 1857). Attirée par la réussite des expériences de cette culture dans plusieurs pays, la figue de Barbarie connaît en Algérie depuis une dizaine d'années, un regain d'intérêt pour l'augmentation de sa production et la diversification de ses utilisations.

Aujourd'hui, selon les statistiques de la direction des services agricoles (DSA), le pays

* UMR Moisa Montpellier, Institut Agro-SupAgro, Montpellier, France.

** INRA, Centre de Montpellier, France.

*** Université de Ghardaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département d'Agronomie, Ghardaia, Algérie.

Corresponding author: fatehmamine1007@yahoo.fr

compte une superficie de plus de 150 000 ha dont 60% dans la zone de Sidi-Fradj, située dans la wilaya de Souk Ahras au Nord-Est de l'Algérie. Cette importante plantation a été réalisée dans le cadre du programme de lutte contre la désertification, mené par le Haut-Commissariat pour le Développement de la Steppe (HCDS) et la Direction des Services Agricoles au début des années 1990 (Nefzaoui et Ben Salem, 2006 ; Inglese *et al.*, 2018). Les plantations se répartissent en majorité dans les hauts plateaux mais aussi dans les zones montagneuses telliennes.

Les produits de cette culture sont principalement utilisés en alimentation humaine pour ses fruits frais et en alimentation animale pour ses parties végétatives (cladodes). Ce dernier usage est en progression dans le sud du pays comme aliment des petits ruminants ou encore du dromadaire (Inglese *et al.*, 2018). Malgré son fort potentiel marqué par les progrès technologiques et scientifiques ayant permis d'explorer ses autres modes de valorisation notamment l'extraction de l'huile des graines (Saenz et Berger, 2006), malgré l'ancrage historique de cette culture en Algérie et les dynamiques récentes de son développement (Madani *et al.*, 2016), la filière reste peu structurée et confrontée à de nombreuses contraintes.

En adoptant une approche sociotechnique et évolutionniste, cet article a pour objectif de présenter les potentialités réelles de valorisation de cette culture en dressant le portrait des gisements potentiels et des contraintes de l'amont de cette filière dans le contexte algérien. Les résultats de cette étude reposent, d'une part, sur un ensemble de données primaires issues des enquêtes auprès des principaux acteurs de la filière et, d'autre part, sur des données secondaires extraites de la littérature scientifique afin d'évaluer les gisements potentiels de différents produits, coproduits et sous-produits.

Cet article est organisé en trois sections. Nous présentons dans la section 2 d'une part l'approche sociotechnique et l'évolutionnisme économique qui nous servira de cadre d'analyse de la filière et, d'autre part, le potentiel et les perspectives de valorisation de la figue de Barbarie et de ses coproduits par une synthèse bibliographique internationale sur ces différentes voies. Notre démarche méthodologique

et empirique est explicitée dans la section 3. Les différents usages de la figue de Barbarie, le positionnement stratégique de ses acteurs, et plus globalement les freins et les leviers de l'émergence de cette filière feront l'objet de la section 4.

2. Cadre conceptuel de la valorisation des coproduits de figuier de Barbarie

2.1. Approche sociotechnique et évolutionnisme économique

L'approche par système sociotechnique (SST) se concentre sur le processus de développement et l'appropriation par les acteurs de l'innovation technologique avec une prise en compte des interactions entre les acteurs dans l'analyse des dynamiques de son émergence, de sa diffusion et de son utilisation (Coutant, 2015). Le SST étudie les modes de coordination, les règles de fonctionnement, de régulation et de négociation entre les acteurs organisés autour d'une nouvelle technologie (Flichy, 2008). Puisqu'elle suppose que les acteurs économiques sont guidés par un SST, elle vise à analyser le réseau qui les rassemble selon un flux d'amont en aval, une filière ou une « chaîne de marché ». L'objectif est de comprendre la place et le rôle de chaque acteur dans l'exercice libre de son activité mais aussi ses interactions et ses relations de dépendance au fonctionnement de ce réseau (Belmin, 2016). Les SST sont aussi définis par les flux de connaissances ou de compétences en plus des biens et services ordinaires (Geels, 2004).

De plus, le SST permet d'analyser les transformations des pratiques où l'innovation technologique donne lieu à de nouveaux systèmes de production et à de nouveaux modes de gestion économique capables d'assurer le fonctionnement des nouveaux sous-secteurs créés autour d'elle (Chia et Deffontaines, 1999). Il cherche donc à trouver un moyen de rendre l'organisation des agents économiques autour d'une nouvelle technologie efficace et cela nécessite de considérer les aspects organisationnels et techniques interdépendants. En raison des changements apportés par l'introduction de l'innovation, les dispositions optimales qui existent déjà pour une

technologie existante ne sont pas toujours optimales pour la nouvelle.

Des compromis doivent être trouvés dans la conception organisationnelle d'un nouveau SST afin qu'il puisse être efficace (Fox, 1995). Les changements d'un élément du système déclenchent des changements dans d'autres éléments qui, à leur tour, entraînent d'autres changements. C'est ce qu'on appelle la dynamique en cascade dans le SST. Ces processus de reconfiguration s'appliquent à tous les éléments du système (marchés, utilisateurs et pratiques, technologies, réseaux de production, politiques, etc.) (Geels, 2002). Un SST consiste à décrypter les nouvelles potentialités qui émergent et à les développer grâce à certaines forces motrices qui accompagnent l'émergence des nouvelles technologies. Il s'agit également d'identifier comment la création de produits et de valeurs par l'innovation permet de réunir un ensemble d'éléments technologiques complémentaires à l'émergence d'un nouveau SST organisé autour de nouvelles façons de faire et permettant de satisfaire un certain nombre de demandes ou de besoins (De Bandt, 2002).

Sur le plan de la théorie économique, la dynamique des SST se rapproche des approches évolutionnistes appliquées aux innovations. La théorie évolutionniste a été principalement mobilisée pour l'étude des innovations et des changements techniques existants ou à mettre en œuvre pour coordonner et favoriser une stratégie d'ensemble. Dans le domaine social, ces modèles comportent des processus imparfaits d'apprentissage et de découverte par essais et erreurs, d'une part et, de l'autre, des mécanismes de sélection. Ces modèles précisent les déterminants de l'adaptation (*fitness*), ce qui suppose à la fois la détermination de l'unité de sélection et les principaux mécanismes par lesquels la sélection opère (Montaigne, 1996).

Ces approches permettent donc d'appréhender la dynamique des SST à la fois par l'analyse des interactions entre les acteurs et leurs propres trajectoires d'apprentissage. L'application de telles approches semble donc particulièrement adaptée afin d'analyser l'émergence et la construction d'une filière à partir des résultats de recherches scientifiques. Notre recherche sur la valorisation de la figue de Barbarie, a débuté, en effet, par

l'étude des résultats du laboratoire de zootechnie de l'Université de Ghardaïa, qui a évalué l'efficacité d'une ration alimentaire à base de tourteaux issus de l'extraction de l'huile des grains et des enveloppes de la figue de Barbarie par comparaison avec la ration de référence classique composée de tourteau de soja et de maïs importés (Cherif *et al.*, 2021). Cette question scientifique est qualifiée de paradigme technologique dans l'approche de l'économie évolutionniste (Dosi, 1982 ; Nelson et Winter, 1982). C'est pourquoi les chercheurs en sciences sociales se sont demandés quelles étaient les conditions nécessaires à la mise en place d'une nouvelle chaîne de valeur pour ces nouveaux coproduits, autrement dit, les conditions de développement d'une filière d'innovation. Toutefois, le lien entre ces coproduits et d'autres produits issus de la transformation du figuier de Barbarie (ex. huile, mélasse) est complexe et leur coévolution requière une étude sur l'ensemble des dérivés de cette culture par rapport à ses usages traditionnels (cladodes et fruits frais). Il s'agit, donc, d'une étude des effets techniques et socioéconomiques d'une innovation particulière sur un SST.

2.2. Valorisation des coproduits de la figue de Barbarie

Avant d'aborder plus particulièrement le contexte algérien, il nous faut décrire et comprendre les différentes valorisations possibles des coproduits de la figue de Barbarie et passer en revue certaines expériences « réussies » de construction de ces filières dans le monde. Le figuier de Barbarie est une plante à usages multiples tant par ses produits que ses coproduits, pour une utilisation directe et pour sa transformation (Saenz et Berger, 2006). Nous présentons dans Tableau 1 récapitulatif non exhaustif de ces coproduits et leurs usages relevés dans la littérature scientifique, alors que le Tableau 2 récapitule les relations entre les produits et les sous-produits selon leurs usages.

Il est à noter qu'un coproduit est une matière, intentionnelle et inévitable, créée au cours du même processus de fabrication et en même temps que le produit principal. Le produit fini principal et le coproduit doivent tous les deux

Tableau 1 - Produits et coproduits du figuier de Barbarie.

<i>Produits ou coproduits</i>	<i>Usages</i>	<i>Formes</i>	<i>Références</i>
Cladodes	Aliment du bétail	Fourrage vert	Tegegne, 2000 ; Nefzaoui et Ben Salem, 2006
		Fourrage sec	Dos Santos <i>et al.</i> , 2018
		Ensilage	Gusha <i>et al.</i> , 2015
Fruits	Consommation humaine et animale	Vert cuit et cru	Ramírez-Moreno <i>et al.</i> , 2011
		Séché	Gallegos-Infante <i>et al.</i> , 2009
		Frais	Livrea et Tesoriere, 2006
Huile des graines	Industries cosmétiques et parapharmaceutiques	Séché/déshydraté	Sepúlveda <i>et al.</i> , 2000
Tourteaux des graines et enveloppes déshydratées		Industrie d'aliment du bétail	Kumar et Sharma, 2020
Pulpes du fruit	Consommation humaine	Pur ou mélangé avec d'autres extraits	Ennouri <i>et al.</i> , 2006 ; Cherif <i>et al.</i> , 2021
Jus du fruit et sirop			Saenz et Berger, 2006
Confiture et confiserie			Saenz et Sepúlveda, 2001
Vinaigre			Atef <i>et al.</i> , 2013
Extraits pharmacologiques	Industrie pharmaceutique et cosmétique	Différents composants : anti-inflammatoires ; antioxydants ...	Prieto <i>et al.</i> , 2009
Biogaz et biocarburant	Industrie énergétique	Gaz et liquides	Tilahun et Welegerima, 2018
			Comparetia <i>et al.</i> , 2017

Tableau 2 - Différences et liens entre les produits, sous-produits et coproduits de la figue de Barbarie.

	<i>Produits et coproduits</i>	<i>Sous-produits</i>	<i>Autre coproduits</i>
<i>Usages traditionnels sans conditionnement ni transformation</i>	Cladodes	Déchets dispersés à l'échelle des ménages non-valorisables	Si les sous-produits sont valorisés, ils deviennent coproduits
	Fruits		
<i>Unité de conditionnement</i>	Fruits de la figue de Barbarie en l'état	Enveloppes du fruits	
	Fruits de la figue de Barbarie épluchés		
<i>Unité de transformation</i>	Vinaigre	Enveloppes + graines + Mélasse	
	Jus +sirop		
	Confiture et confiserie		
	Biogaz et biocarburant		
	Huile des graines	Tourteaux des graines	
	Poudre du cactus	/	

répondre à des spécifications de caractéristiques, et chacun est apte à être utilisé directement pour un usage particulier. Les coproduits sont aussi caractérisés par leur valorisation économique : marché spécifique du coproduit en question, cotation, etc. Il ne faut pas confondre coproduit et sous-produit, puisque le sous-produit est non-in-

tentionnel et généralement non valorisable. Il peut néanmoins être parfois utilisé directement ou constituer l'ingrédient d'un autre processus de production. Il devient alors coproduit. C'est le cas aussi du sous-produit intentionnellement récolté pour être valorisé, mais qui ne contribue de manière secondaire aux bénéfiques.

2.3. Expériences à l'international

Plusieurs exemples peuvent illustrer le succès des expériences internationales de valorisation des coproduits de la figue de Barbarie. Sans être exhaustif, nous pouvons citer les exemples du Mexique, de l'Italie et du Maroc. Berceau historique, le Mexique est de loin le pays qui abrite la plus grande diversité génétique mais aussi le plus grand niveau de consommation et de valorisation des coproduits de la figue de Barbarie (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). L'intérêt public pour le développement de cette culture a été marqué dès les années 1950 via des programmes nationaux. Durant les années 1970-1980, l'objectif de ces programmes de subvention, couplés à une vaste campagne de vulgarisation technique et d'expérimentation, était de promouvoir cette culture comme alternative à des cultures comme le maïs et les haricots secs, gourmandes en termes de ressources hydriques.

La croissance de la production au milieu des années 1980 a réorienté les priorités de l'intervention publiques vers l'organisation de la filière, notamment en favorisant l'organisation horizontale de ses acteurs (organisations des producteurs, des grossistes et des industriels). Grâce au soutien continu de cette culture par les pouvoirs publics mexicains, la figue de Barbarie représente aujourd'hui la cinquième culture avec une production annuelle d'environ 428 763 tonnes (Inglese *et al.*, 2018). La filière a connu un progrès technique important avec l'introduction de l'irrigation en goutte-à-goutte, la sélection variétale adaptée aux différentes zones bioclimatiques, la mécanisation de l'opération du nettoyage des fruits, le développement de la logistique et du marketing pour le marché local et international (Corrales-García, 2009). Simultanément, l'accent sur les vertus nutritionnelles de la consommation régulière de ses coproduits a été mis en avant (fruits, cladodes, graines, pulpes) (González-Stuart et Rivera, 2019).

Sur la rive nord de la Méditerranée, la culture de la figue de Barbarie a pris de l'importance en Italie dès le XVIII^{ème} siècle pour ses multiples usages, en plus de ses fruits, comme fourrage et escrime¹ pour la délimitation des parcelles dans les exploitations agricoles (Barbera *et al.*, 1992). Malgré la diversité variétale de cette culture (18 variétés recensées), deux variétés commerciales *Gialla* et *Rossa* sélectionnées pour leur rendement et la qualité de leurs fruits représentent à elles seules 90% de la production (Inglese *et al.*, 2002). La Sicile demeure la principale zone de production de la figue de Barbarie pour la commercialisation de ses fruits, avec notamment plus de 4 000 ha de culture intensive sur les 15 000 ha produisant annuellement 60 000 tonnes (Inglese *et al.*, 2018).

Le développement de cette culture s'est établi sur la base d'une stratégie commerciale de production en automne (90 % de récolte) plutôt qu'en fin d'été (*scozzolatura*)² pour échapper à la concurrence. De par le succès de ce modèle économique, cette technique a été copiée ailleurs dans le monde notamment en Argentine, en Afrique du Sud ou encore en Tunisie et au Maroc et même au Mexique, le leader du marché mondial en la matière. De plus la filière figue de Barbarie italienne bénéficie de bonnes stratégies de marketing tant sur le marché local qu'international pour en faire le deuxième producteur mondial de cette culture (Inglese *et al.*, 2002 ; 2018).

Sur la rive sud de la Méditerranée, le Maroc a procédé à des plantations massives dès les années 1970 (Barthes *et al.*, 2016), à l'origine d'une nette augmentation des surfaces cultivées (140%) surtout durant les deux dernières décennies, celles-ci passant de 50 000 ha à plus de 120 000 ha. Les différents programmes nationaux de lutte contre la sécheresse, soutenus par l'implication de la population rurale sont à l'origine de cette expansion. Alors que son usage a été longtemps réservé à la délimitation des es-

¹ Le terme « escrime » est issu de l'ancien français 'escremie' lui-même dérivé du francique 'skirmjan' signifiant « défendre, protéger ». Formation naturelle de haies défensives (Wikipedia : usage agricole).

² La « scozzolatura » est une technique qui permet de décaler la période de floraison des plants de cactus et la maturité de leurs fruits au-delà de leur période habituelle en supprimant tous les bourgeons floraux et les jeunes cladodes émis au printemps. <https://pampat.ma/wp-content/uploads/2015/09/Scozzolatura-web.pdf>.

paces ruraux et à la production du fourrage avec l'équivalent de 10 à 30 tonnes de matière sèche par hectare, la stratégie de valorisation de cette culture de lutte contre la sécheresse a évolué durant la dernière décennie et s'est orientée vers la diversification des produits transformés.

Au Maroc, c'est grâce à la multiplication des initiatives entrepreneuriales privées et de coopératives de femmes rurales que les nouveaux coproduits (vinaigre, huile, farine, confiture, jus...) ont pu émerger sur le marché local et international, en particulier pour l'huile des graines de la figue de Barbarie vendue à 1 000€ le litre (Boutakiout, 2015 ; Barthes *et al.*, 2016 ; Inglese *et al.*, 2018). Le développement de la transformation du fruit au détriment de sa commercialisation en frais s'explique par la recherche d'une plus grande valeur ajoutée. En effet les intermédiaires (grossistes) dominent le marché marocain du frais et ne proposent que des prix faibles à la récolte. Pour tirer profit de la dynamique économique créée par les activités de transformation du figuier, les autorités marocaines prévoient dans le cadre du Plan Maroc Vert, l'extension de sa culture sur 120 000 ha supplémentaires, doublant la surface consacrée à cette culture.

Ce bref panorama des différentes expériences internationales de valorisation des coproduits de la figue de Barbarie rend compte du potentiel important d'une telle démarche en Algérie. Ici, l'intérêt de cette culture pour la lutte contre la désertification, pour les usages traditionnels de ses fruits frais en alimentation humaine et l'utilisation des cladodes en aliment d'appoint pour les animaux d'élevage, ont conduit les pouvoirs publics, depuis 2013, à mener une campagne de réflexion et d'expérimentation sur de nouvelles voies de valorisation des coproduits du figuier de Barbarie. L'extraction de l'huile des graines semble la voie la plus prometteuse de par sa valeur ajoutée et, en particulier, l'activité créée pour son extraction et sa vente à l'industrie cosmétique européenne. Cette dernière activité génère la production de sous-produits comme le vinaigre de figue de Barbarie recherché en milieu pharmaceutique, auxquels s'ajoutent les tourteaux des graines, les enveloppes déshydratées et la mélasse, intrants potentiels pour l'industrie de l'aliment du bétail.

3. Démarches et méthodes empiriques

3.1. Démarche empirique et recueil des données

Les résultats empiriques de ce travail s'appuient sur des données documentaires (revues de presse, recherches empiriques antérieures, monographies d'entreprises, Sites internet, observations sur le terrain...), sur 24 entretiens semi-directifs avec les principaux acteurs intervenants (Tableau 3) dans le développement et la valorisation de la figue de Barbarie, mais aussi sur des entretiens auprès des experts (4 interviews) pour identifier le potentiel technique de production et de valorisation. La combinaison des données récoltées par les enquêtes empiriques et des informations issues des sources secondaires, s'inscrit dans une démarche de triangulation des sources et permet de renforcer la pertinence de notre analyse (Yin, 2017).

Les entretiens semi directifs ont été menés de 2018 à 2020, avec une durée moyenne de deux heures. Ils ont concerné des acteurs de la production, de la transformation et de la commercialisation, des agents des institutions (Ministère, Chambre d'Agriculture, conseil technique) ainsi que des organisations professionnelles (association de producteurs, coopérative). Cette enquête a été complétée par une étude de cas basée sur la collecte des données qualitatives et quantitatives (Yin, 2017) relatives au fonctionnement technique de la transformation de la figue de Barbarie par la coopérative Nopaltec située dans localité de Sidi Fradj à Souk Ahras, région qui abrite la plus grande surface de cette culture en Algérie.

3.2. Traitement des données

Le traitement des données a été fait en suivant une démarche qualitative qui avait pour objectif d'évaluer le gisement réel, ou technique, de valorisation des différents usages de la figue de Barbarie en Algérie. Ainsi, il s'agit d'abord d'évaluer les gisements potentiels de production des différents produits et coproduits du figuier de Barbarie à la lumière des résultats techniques obtenus par les différentes études

Tableau 3 - Les sources de données et acteurs enquêtés.

<i>Fonction dans la filière</i>	<i>Acteurs enquêtés</i>	<i>Principaux thèmes de l'entretien</i>
Transformateurs	<ul style="list-style-type: none"> - 11 unités fonctionnelles dont la coopérative Nopaltec - 2 unités en cours de réalisation - 2 unités en cessation d'activité 	<ul style="list-style-type: none"> - Historique de création de l'unité - Raison sociale et forme juridique - Capacité de transformation technique - Production (gamme et quantité) - Stratégies commerciales - Atouts perçus de l'entreprise - Contraintes perçues de l'entreprise
Soutien technique	<ul style="list-style-type: none"> - Chambre d'Agriculture (Souk Ahras) - Haut-Commissariat du Développement des Steppes (Djelfa) - Institut Technique d'Élevage (Annaba) 	<ul style="list-style-type: none"> - Contexte passé et actuel de la filière - Rôle de la structure dans la filière - Identification et description des moteurs et des obstacles spécifiques à la filière - Perspectives du développement de la filière
Établissements publics	<ul style="list-style-type: none"> - Ministère d'Agriculture et du Développement Rural (Alger) - Direction des Services Agricoles (Souk Ahras) - Direction de l'Environnement (Souk Ahras) 	
Autres	<ul style="list-style-type: none"> - Associations Nationale de cactus « Cactus DZ » (Tebessa) - GIZ (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) (délégation de Souk Ahras) 	
Experts de la filière	<ul style="list-style-type: none"> - 2 professeurs d'universités (Ghardaïa et Bejaïa) - 2 haut-responsables professionnels du secteur (Alger) 	

menées en Algérie. Selon Spezzani (2014), l'évaluation des gisements en coproduits agricoles doit distinguer deux types de gisement à savoir :

- *le gisement théorique* qui représente les quantités de coproduits disponibles sur un territoire donné sans faire référence à un usage spécifique. Ici, il englobe les quantités à la fois des cladodes et des fruits en faisant référence aux surfaces cultivées et aux rendements respectifs par hectare ; il s'agit d'une vision brute globale.
- *le gisement technique* qui peut être inférieur ou égal au gisement théorique du fait qu'il fait l'abstraction des usages non spécifiques envisagés par les stratégies de valorisation du potentiel théorique. Il identifie donc les usages spécifiques des coproduits selon le profil de ses usagers actifs sur un territoire. Ici nous estimons les quantités des cladodes

exploitables en alimentation animale, puis les quantités de fruits transformables en coproduits en tenant compte des technologies et des stratégies effectives mises en place par les différents opérateurs économiques en Algérie. Il s'agit ici des volumes potentiellement et raisonnablement « récupérables ».

En lien avec cette dernière évaluation, nous analysons par la suite le positionnement stratégique des unités de transformation de la figue de Barbarie pour en tirer des informations sur l'état du développement des activités de transformation et les obstacles qui se dressent face à l'émergence de sa filière. A la lumière de cette deuxième partie des résultats, nous analyserons les freins et leviers du développement de la filière. De cette façon, des éléments de discussion du contexte structurel et politique ont été formulés à l'image des recherches antérieures et des expériences internationales.

4. Résultats et discussions

4.1. Gisements potentiels des différents usages de la figue de Barbarie en Algérie

Les gisements théorique et technique de valorisation des produits, coproduits et sous-produits ont été évalués à la fois sur la base des entretiens auprès des acteurs et des experts et des recherches antérieures menées en Algérie. Ces évaluations se basent sur les caractéristiques agronomiques des surfaces potentielles ou exploitées et sur les données recueillies en termes de rendement et de transformation.

Dans l'évaluation théorique des gisements de produits à l'échelle nationale, nous considérons à la fois la surface cultivée (150 000 ha) en figues de Barbarie rapportée dans la littérature en Algérie, puis son rendement en matière première (fraîche ou séchée) pour les cladodes à usage alimentaire pour le bétail, mais aussi le rendement en fruits pour l'alimentation humaine et l'industrie de transformation agroalimentaire. Le Tableau 4 nous fournit un aperçu du gisement théorique de production en cladodes et en fruits.

Le premier constat que nous pouvons dresser de l'évaluation des gisements, concerne le grand écart entre les gisements théoriques et techniques. Si l'on considère le seul facteur de prélèvement du fourrage vert qui ne s'exerce quasiment que sur une seule variété sans épines appelée « cactus inerme » dont la surface est d'environ 15% de la surface cultivée totale (l'équivalent de 22 500 ha), seul un gisement de 96 750 tonnes de matière sèche est réellement exploité annuellement par les animaux d'élevage. Cette situation engendre pour la variété inerme une surexploitation (surpâturage) et une dégradation des cultures de figue de Barbarie surtout dans certaines régions du centre du pays. Il faut donc reconsidérer la finalité de cette culture et surtout les possibilités d'exploitation des autres variétés (pour une production équiva-

lant à 548 250 tonnes de matière sèche) par des voies alternatives afin d'utiliser pleinement leur potentiel fourrager. Des solutions techniques efficaces ont été développées notamment au Mexique (machines d'enlèvement des épines au laser pulsé) pour exploiter les cladodes épineux et augmenter leur valeur sur le marché (Cabrera *et al.*, 2016).

Le constat n'en est pas moins nuancé pour l'exploitation des fruits du figuier de Barbarie. Le potentiel de production de 4,5 millions de tonnes de ce fruit représente presque l'équivalent du total de toute la production arboricole en Algérie, évaluée 5 millions de tonnes en 2017³. En raison de la cueillette manuelle exercée exclusivement par une main d'œuvre familiale, mais aussi de la concentration de la saison de maturation en fin d'été et en l'absence de circuits de commercialisation structurés, le taux de collecte ne dépasse guère les 10%. Ces fruits sont essentiellement destinés à l'autoconsommation et la vente à la sauvette. Ceci peut s'expliquer par sa faible valorisation (200 DA/kg pour le prix de vente au consommateur, soit l'équivalent de 1 € contre 3 € en moyenne en Europe⁴). Cela montre qu'il y a de la marge pour le développement de ce segment de la filière au regard de la place de la consommation du fruit dans les traditions culinaires en Algérie et aux opportunités d'exportation sur le marché international, notamment en Europe.

L'usage industriel des fruits, sous réserve de son développement à grande échelle, est directement en concurrence avec la consommation humaine en frais car il peut offrir des prix plus attractifs (au regard des intérêts industriels cités plus haut) et épargne aux producteurs de pratiquer la vente au détail à la sauvette. D'après nos enquêtes les deux usages sont actuellement complémentaires du fait des contraintes techniques de la cueillette et de la collecte qui ne permettent d'exploiter que 10% de la production dans la transformation. Avec ce taux de transformation, l'extraction de l'huile pourrait atteindre 450 000

³ Statistiques du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural disponibles en ligne sur le lien : <http://madrp.gov.dz/agriculture/statistiques-agricoles/>.

⁴ <https://rnm.franceagrimer.fr/prix?FIGUE>. MIN de Strasbourg : fruits et légumes marché du 26/11/20 (cours Grossistes) unité : € HT le kg*. Figue de Barbarie fraîche U.E. : moyenne 3.06 € HT le kg ; min. 2.60 € HT le kg ; max. 3.75€ HT le kg.

Tableau 4 - Gisements des produits et coproduits du figuier de Barbarie en Algérie.

Produits ou coproduits	Usages	Formes	Gisement théorique		Gisement technique				
			Coef. ^{ab}	Quantité	Contraintes techniques	Coef. ^{ab}	Quantité		
Cladodes	Aliment du bétail			Coef. ^{ab}	Quantité	Contraintes techniques	Coef. ^{ab}	Quantité	
		Fourrage vert (Matière Brute)	100%	7 500 000 t	- Taux de prélèvement/ ha (80-100% pour la variété inermes et marginale pour les autres variétés - Qualité des cladodes (âge) - Espèce animale concernée - Saison du pâturage	15%	1 125 000 t		
		Matière Sèche (MS)	8,6%	645 000 t		8,6%	96 750 t		
		Matière Organique (g/kg de MS)	643	482 250 t		6,43%	72 337 t		
		Matière Minérale (g/kg de MS)	357	211 500 t		2,82%	31 725 t		
		Matière Azotée Totale (g/kg de MS)	67	50 250 t		0,67%	7 537 t		
		Sucres Totaux (g/kg de MS)	30,2	226 500 t		3,02%	33 975 t		
		Matière Grasse (g/kg de MS)	9,16	12 000 t		0,16%	1800 t		
Fruits	Consommation humaine	Frais	100%	4 500 000 t		- Taux de récolte - Variabilités interannuelle et variétale des rendements	10 %	300 000 t	
		Usages industriels	Transformés	Huile	1 l/t	4 500 000 l	- Taux de récolte - Variabilités interannuelle et variétale des rendements - Techniques utilisées - Capacité industrielle	10 %	1 l/t
	Vinaigre			12,3 l/t	55 350 000 l	12,3 l/t			5 535 000 l
	Mélasses			3,07 l/t	13 815 000 l	3,07 l/t			1 381 500 l
	Tourteaux			2,02 kg/t	9 090 t	2,02 kg/t			909 t

(a) Calculs basés sur la composition chimique des cladodes en Algérie (Chentli et al., 2013).

(b) Calculs basés sur nos enquêtes techniques auprès de la coopérative Nopaltec et des experts de la filière.

litres. Cette faiblesse du taux de cueillette pour la transformation est la conséquence des difficultés à recruter de la main d'œuvre liées à la pénibilité de cette activité manuelle. L'atomicité de l'offre renforce davantage cette difficulté.

Si nous nous basons sur le seul cas de la coopérative Nopaltec de Souk Ahras, région qui abrite 60% de la surface totale cultivée en figuiers de Barbarie et qui n'a produit que 440 litres d'huile de graines en 2017, nous constatons que le taux de collecte est surestimé ainsi que le taux d'extraction (440 litres d'huile pour 960 tonnes transformées ce qui fait un taux d'extraction de 0,45 l/t au lieu de 1l/t généralement retenu). La maîtrise des paramètres techniques de l'extraction semble nécessaire pour atteindre au moins le rendement prévu, c'est-à-dire le potentiel

technique. Le même constat est à faire pour les autres produits issus de la transformation de la figue de Barbarie. Par exemple, la coopérative Nopaltec n'a produit que 1 000 litres de vinaigre et 875 quintaux d'aliment du bétail à partir des tourteaux issus de l'extraction de l'huile et de la mélasse, mélangés à d'autres matières premières énergétiques (son du blé et maïs). Le potentiel technique de l'usage industriel peut être atteint grâce notamment à l'augmentation de la capacité de transformation des fruits par la mobilisation des infrastructures agroindustrielles existantes. Les experts estiment que les unités de transformation des jus, de confitures, d'extraction d'huile peuvent être mobilisées pour la transformation de la figue de Barbarie en introduisant quelques aménagements des équipements.

A ce stade, nous constatons donc que le potentiel de production et de transformation des coproduits de la figue de Barbarie est important, mais demeure très largement sous-exploité. La production reste en majorité artisanale et relève d'une pratique de collecte traditionnelle. De plus, la commercialisation en aval de la filière est dominée par des circuits peu structurés et informels. Les débouchés sont centrés sur le fruit frais, peu valorisé, même si des tentatives de transformation et de valorisation sont initiées par des acteurs mieux organisés et de plus grande taille comme Nopaltec.

4.2. Positionnement stratégique des transformateurs de la filière de figue de Barbarie

D'après nos enquêtes, exhaustives auprès des unités de transformation, nous pouvons constater que le développement de cette activité est assez récent (dernière décennie, avec une accélération depuis 2016), et reflète un engouement pour cette filière émergente. Il faut retenir que l'extraction de l'huile est considérée à l'unanimité comme la principale activité de transformation et toutes les unités en font le pivot de leur stratégie commerciale. Onze unités sur quinze sont réellement fonctionnelles sur le terrain ; deux unités sont totalement à l'arrêt et ont abandonné l'activité de transformation faute des moyens techniques et financiers appropriés. Signalons enfin, les projets de création de deux unités de transformation qui restent pour le moment à un stade embryonnaire (pas d'installations techniques en vue).

Les onze unités en activité fonctionnent généralement avec une capacité de transformation en moyenne quatre fois supérieure à la quantité

réellement transformée ce qui confirme l'explication des experts sur le taux de collecte qui reste un obstacle à la valorisation de la figue de Barbarie par sa transformation (Tableau 5). A l'exception de la coopérative Nopaltec dont la capacité de transformation (4 160 litres/an) peut être justifiée par sa localisation dans la région la plus productive du pays, toutes les autres unités sont de taille familiale et leur capacité technique d'extraction ne dépasse pas 1 000 litres/an (Tableau 5).

Seules trois unités de petite capacité (moins de 300 litres d'huile par an) atteignent des taux d'utilisation importants de leur capacité de transformation, mais ne souhaitent pas étendre leur activité afin de se concentrer sur la diversification de leur gamme et la fabrication d'autres coproduits comme le vinaigre, la poudre de cactus et le tourteau de graines. A travers notre enquête, nous avons recensé six produits de la transformation de la figue de Barbarie effectivement fabriqués par les unités actives en Algérie ; l'huile de la graine de figue de Barbarie, le vinaigre, le tourteau de graines pour l'alimentation animale, la poudre du cactus, la mélasse, la poudre des tourteaux de graines. Des perspectives de fabrication d'autres produits tels les colorants comme pigments naturels, le jus de fruit, la confiture et les arômes ont aussi été identifiés avec un fort potentiel de valorisation lors des entretiens.

Actuellement, le marché local reste le débouché le plus important. Les quantités d'huile exportées par les unités enquêtées ne représente que 27% de leur production et reflète l'échec relatif de la conquête du marché international, notamment européen. Nos enquêtes pointent du doigt deux obstacles majeurs à cette stratégie ; (i) la gestion inefficace de la qualité, amplifiée par le manque de certification et ; (ii) la lenteur et la complexité des démarches administratives liées à l'exporta-

Tableau 5 - Caractérisation des unités de transformation en huile de la figue de Barbarie.

	<i>Moyenne</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Total</i>
Année de création de l'unité	2016,4	2008	2019	/
Capacité de transformation (litre/an)	638,6	25	4160	7025
Quantités transformées (litre)	157,2	0,00	420	1730
Nombre de coproduits issus de la transformation	1,90	1	4	6
Quantité de l'huile exportée (litre)	42,3	0	400	466

tion, du fait de l'atomicité des quantités. Seules trois unités sur onze ont réussi à franchir ces barrières pour exporter vers le marché européen.

4.3. Examen des freins et des leviers à l'émergence de cette filière

En Algérie, la culture du figuier de Barbarie bénéficie d'une situation géo-climatique qui lui est favorable et permet d'en planter sur des terres arides auparavant très peu exploitées. Les possibilités de son extension sont immenses si l'on tient compte des surfaces steppiques dans les hauts plateaux (7,5 millions d'hectares). Mise à part la contribution du gouvernement par l'augmentation des surfaces dédiées à la culture du figuier de Barbarie, à travers les nouvelles lois de concessions agricoles et les subventions de valorisation des terres dans les régions du sud et des hauts plateaux, les pouvoirs publics algériens misent sur le renforcement des capacités humaines (formation des professionnels de la filière dans le cadre du programme PRCHAT : Renforcement des Capacités Humaines et d'Appui Technique) pour accompagner le développement de la filière figue de Barbarie et de ses coproduits.

Les pouvoirs publics jouent un rôle central dans la mise en place de ce nouveau SST qui implique non seulement les utilisateurs et les marchés, mais aussi les organisations de soutien technique financés par les politiques publiques (Geels, 2005, p. 6). Dans le même sens, les acteurs de la filière peuvent capitaliser les connaissances techniques issues des résultats des recherches engagés dans plusieurs établissements universitaires et de recherche & développement algériens pour identifier les voies de valorisation des produits et des coproduits du figuier de Barbarie. Cette dynamique de capitalisation des connaissances est une étape nécessaire pour préparer l'expansion future de ce SST et ainsi avoir une meilleure adaptabilité malgré des circonstances variables (Flichy, 2008, p. 87).

Le développement de cette filière, qui pour l'heure dépend d'initiatives individuelles, peut s'appuyer sur une gouvernance participative concrétisée par un partenariat entre les pouvoirs publics et des acteurs privés, au niveau local (Chambres d'Agriculture, coopératives agricoles,

associations de producteurs, Direction des Services Agricoles et de l'Environnement), au niveau national (association nationale du cactus, groupement d'intérêt commun pour la figue de Barbarie, Institut d'Élevage ITELV, HCDS) et au niveau international (GIZ, ambassade du Mexique). La participation permanente des différents acteurs de cette filière ne se limite pas au seul développement de la culture de la figue de Barbarie pour ses usages traditionnels mais également à l'encouragement de l'utilisation de ses coproduits issus de la transformation dans des marchés de niches très florissants (huile, vinaigre, tourteaux).

L'association nationale du cactus, en particulier, joue un rôle majeur dans cette gouvernance participative par son rôle d'accompagnement des producteurs, des transformateurs et même de ceux qui en font la commercialisation. Cette association anime actuellement le groupe d'intérêt commun pour la figue de Barbarie et elle était à l'origine de sa création. Elle organise également des événements pour promouvoir la filière comme la fête du figuier de Barbarie qui est une occasion de partager des expériences par ses différents acteurs et de faciliter le transfert de technologies pour la valorisation de ses coproduits. L'association participe également au côté des pouvoirs publics à l'étude des stratégies possibles pour l'organisation et le développement de la filière et en proposer un plan d'action national qui encourage les acteurs économiques notamment les coopératives, à l'industrialisation de la filière.

Toutefois, le potentiel de développement de cette filière fait face à de multiples freins techniques, organisationnels et institutionnels. L'objectif de valorisation du figuier de Barbarie va de pair avec la mise en place d'une culture capable de fournir des produits. Or, dans leur état actuel, les surfaces couvertes par le figuier de Barbarie en Algérie ne sont pas toutes aptes, ni prédisposées à cette finalité. Mises à part les cultures mises en place par les agriculteurs en accompagnement du HCDS, la majorité des surfaces a été soit le fruit de poussées spontanées par « envahissement naturel » de cette plante, soit des cultures anarchiques peu contrôlées et par conséquent très peu exploitables même pour le pâturage des animaux d'élevage. La dimension variétale reste essentielle.

Cela explique en grande partie la surexploitation exercée sur la variété cactus inerme et la sous-exploitation des autres variétés à épines. Toutefois, comme le souligne Geels (2002), les configurations traditionnelles de production qui fonctionnent (actuellement en vigueur) ne peuvent pas être facilement changées indépendamment du système dans son ensemble. Les technologies et les compétences font partie des routines organisationnelles (Dosi, 1982), des modèles de comportement, des organisations qui ne fonctionnent que parce qu'elles sont intégrées dans un SST commun.

La nécessité de maîtriser les techniques de valorisation ne concerne pas que l'amont de la filière, le constat fait lors de cette enquête montre que la chaîne de transformation des coproduits du figuier est aussi concernée par le progrès technique. Les transformateurs peinent à maîtriser les paramètres techniques. La qualité de coproduits de la figue notamment l'huile et le vinaigre, restent en dessous des normes pour franchir le pas vers l'exportation. Une collaboration avec des établissements de recherche scientifique semble plus que nécessaire pour surmonter ces difficultés techniques (Geels, 2004).

En outre, la dispersion de la production mise sur le marché, induite notamment par les difficultés d'exploitation des champs de figuier de Barbarie, n'incite pas les industriels à investir dans sa valorisation. A cela s'ajoute l'absence d'une stratégie commune d'organisation d'une chaîne d'acteurs capables de structurer la filière et de garantir la fluidité des flux de produits. De ce fait, les usages traditionnels restent majoritaires car portés par l'autoconsommation (clados pour les animaux et fruits pour les ménages) et la vente informelle de proximité sur les marchés (fruits). Comme il a été noté plus haut, la progression des activités de transformation industrielle de la figue de Barbarie doit s'appuyer principalement sur l'organisation de la chaîne d'acteurs pour échapper aux circuits de commercialisation traditionnels peu rémunérateurs.

Enfin, et en plus des contraintes identifiées au niveau de l'amont (cueillette et collecte) et de la transformation, d'autres difficultés portent sur le stade de la commercialisation. En Algérie, la faiblesse de la production valorisée à l'échelle in-

dustrielle sur le marché international, notamment l'huile et le vinaigre de figue de Barbarie, est due à l'absence de certification. Le pays ne dispose pas à ce jour d'un organisme certificateur spécialisé pour garantir la qualité, élément essentiel pour réussir la mise en marché des coproduits du figuier. Il n'existe par ailleurs, aucune entreprise qui propose un packaging approprié aux produits et aux coproduits du figuier, d'où également des difficultés d'accès au marché international.

L'ensemble de ces problèmes techniques, logistiques et commerciaux limitent la valorisation des produits de cette filière. Par exemple, la coopérative Nopaltec n'a pu vendre son huile qu'à 550 €/litre au lieu de 1 000 € et ce malgré le certificat « Agriculture biologique » dont elle dispose. Ceci souligne l'importance de la place de la gestion de la qualité dans les filières émergentes comme celle de la figue de Barbarie en Algérie. Selon Akrich (1991), les acteurs de cette filière innovante doivent repenser leur *business model* traditionnel pour s'adapter aux exigences du marché pour en créer de nouveaux allant de pair avec les changements techniques liées aux différentes voies de valorisations des coproduits du figuier de Barbarie.

5. Conclusion : implications en termes de structuration de la filière

Dans le contexte du changement climatique et ses conséquences sur la vulnérabilité des ressources naturelles, l'agriculture algérienne cherche un nouveau souffle lui permettant une meilleure résilience à travers le développement des cultures résistantes à la sécheresse comme le figuier de Barbarie. En plus de sa propre expérience et de l'ancrage historique de cette culture, l'Algérie voulait reproduire le succès qu'a eu la figue de Barbarie ailleurs dans le monde en exploitant les progrès scientifiques sur les techniques de valorisation. Cet article a présenté les potentialités de valorisation de cette culture dans le contexte Algérien, en adoptant une approche SST et évolutionniste afin d'appréhender la nouvelle dynamique de la filière.

Les résultats de cette étude, montrent que le potentiel de production et de transformation des coproduits de la figue de Barbarie est impor-

tant, mais reste très largement sous exploité. La phase industrielle est confrontée aux contraintes de l'amont et de l'aval de la filière, ainsi qu'à une faiblesse de structuration sociotechnique et des interactions entre les acteurs (recherche, accompagnement, institutions, etc.). La production demeure en majorité artisanale et relève d'une pratique de collecte traditionnelle (cueillette manuelle et familiale). La commercialisation est dominée par des circuits peu structurés et informels (vente à la sauvette des fruits frais). Les débouchés sont centrés sur le fruit frais, peu valorisé, même si des tentatives de transformation et de valorisation sont initiées par des acteurs mieux organisés et de plus grandes tailles comme la coopérative Nopaltec.

Cette étude montre également que le développement de ces activités de transformation est assez récent et reflète l'engouement pour cette filière émergente surtout pour l'activité de l'extraction de l'huile des graines. Il est le résultat du développement de recherches techniques sur les coproduits de la filière et de la volonté de certains acteurs de répliquer des modèles déjà observés ailleurs. Cet engouement part donc d'une innovation technique et institutionnelle et l'interrogation porte sur sa diffusion et son utilisation par les acteurs dans le contexte algérien et l'appropriation des pratiques déjà développées dans d'autres pays méditerranéens (Ben Hassen et El Bilali, 2021). L'approche par SST et l'analyse de l'évolution de la filière semblent ainsi pertinentes afin de comprendre le potentiel de valorisation, les contraintes de la filière et les interactions entre les différents acteurs.

Au-delà de l'analyse du potentiel des coproduits de la figue de Barbarie, nos résultats montrent que la capacité de transformation reste également handicapée par ses difficultés d'approvisionnement. En aval et malgré la diversité de la gamme produite, les débouchés locaux restent dominants du fait d'un échec relatif de l'exportation. Notre recherche met en lumière deux obstacles majeurs à cette stratégie ; (i) la gestion inefficace de la qualité, amplifiée par le manque de certification et ; (ii) la lenteur et la complexité des démarches administratives liées à l'exportation du fait de l'atomicité des quantités. Ces constats appellent les opérateurs économiques à repen-

ser leur *business model* et les pouvoirs publics à mieux orienter leur action de soutien sur les maillons défaillants de cette filière.

De plus, et dans une optique d'apprentissage organisationnel et institutionnel, l'accompagnement à l'acquisition des nouvelles compétences serait indispensable pour réussir la transition de ce SST portée principalement par des initiatives privées *via* l'investissement dans les technologies de transformation de la figue de Barbarie. Outre le renforcement des capacités humaines des opérateurs économiques de la filière, les pouvoirs publics pourraient contribuer à lever les freins à cette dynamique par une orientation du système de recherche & développement sur l'amélioration des plantations et les conditions de cueillette en amont. S'appuyer sur les expériences passées dans des contextes similaires (organisation des différents maillons de la filière) et le transfert technique (plantation, cueillette, gestion de la qualité) peut être un levier efficace pour structurer la filière mais ne doit pas se faire sans tenir compte de l'évolution du contexte économique et social spécifique de l'Algérie.

Références

- Akrich M., 1991. *L'analyse socio-technique. La gestion de la recherche*. In: Vinck D. (dir.), *Nouveaux problèmes, nouveaux outils*. Bruxelles: De Boeck.
- Atef A.M., Abou-Zaid N., Ibrahim I., Ramadan M.T., Nadir A., 2013. Quality evaluation of sheets, jam and juice from prickly pear and melon blends. *Life Science Journal*, 10: 200-208.
- Barbera G., Carimi F., Inglese P., 1992. Past and present role of the Indian-fig prickly-pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, Cactaceae) in the agriculture of Sicily. *Economic botany*, 46(1): 10-20.
- Barthes A., Baudot P., Alifriqui M., Michon G., Genin D., Kamil H., Romagne B., Simenel R., 2016. Dynamiques d'innovations des arrière-pays arides marocains : le cas du figuier de Barbarie, une ressource territoriale en émergence ? In: Berriane M., Michon G. (dir.), *Les terroirs au sud, vers un nouveau modèle ? Une expérience marocaine*. Marseille : IRD Editions, Faculté des Lettres et des Sciences humaines de Rabat.
- Belmin R., 2016. *Construction de la qualité de la clémentine de Corse sous Indication Géographique Protégée. Analyse des pratiques agricoles*

- et du système sociotechnique*. Thèse de doctorat de l'Université de Corse Pascal Paoli, France, 429 pp.
- Ben Hassen T., El Bilali H., 2021. Innovation in North African Agriculture and Food. *New Medit*, 20(3): 158-174. <https://doi.org/10.30682/nm2103k>.
- Boutakiout A., 2015. *Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (Opuntia ficus-indica et Opuntia megacantha)*. Thèse de doctorat, Université d'Angers, France, 186 pp.
- Cabrera L.P., Reyes T.F., Delgado A.P., Ornela R.E., Caro D.P., de Posada E., Arronte M., 2016. Removal of Opuntia thorns by pulsed laser ablation: Bromatological and microbiological analysis. *Journal of Food Engineering*, 169: 38-43.
- Chentli A., Bouazza L., Medjekal S., Gillmann L., Bousseboua H., 2013. Evaluation de la valeur nutritionnelle des raduettes d'Opuntia ficus indica d'une région aride de l'Algérie par la technique de production de gaz. *Options Méditerranéennes*, 108: 155-161.
- Cherif I., Arbouche R., Arbouche Y., Mennani A., Arbouche F., 2021. The By-Products of Prickly Pear Processing in Broiler Feed: Case of Dehydrated Husks and Cake. *Research Square*, online pub. DOI: 10.21203/rs.3.rs-136872/v1.
- Chia E., Deffontaines J.P., 1999. Pour une approche sociotechnique de la gestion de la qualité de l'eau par l'agriculture. *Nature Sciences Sociétés*, 7(1): 31-41.
- Comparettia A., Feboa P., Grecoa C., Mammanob M.M., Orlando S., 2017. Potential production of biogas from prickly pear (Opuntia ficus-indica L.) in Sicilian uncultivated areas. *Chemical Engineering Transactions*, 58: 559-564.
- Corrales-García J., 2009. Industrialization of cactus pads and fruit in Mexico: Challenges and perspectives. *Acta Horticulturae*, 811: 103-112. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.811.10>.
- Coutant A., 2015. Les approches sociotechniques dans la sociologie des usages en SIC. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, 6. <https://doi.org/10.4000/rfsic.1271>.
- De Bandt J.D., 2002. L'émergence du nouveau système technique ou socio-technique. *Revue d'économie industrielle*, 100(1): 9-38.
- De Oviedo G.F., 1880. *Las Quinquagenas de la hobleza de España*. Madrid: Real Academia de la Historia.
- Dosi G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3): 147-162.
- Dosi G., 1988. Sources, procedures and microeconomics effects of innovations. *Journal of Economic Literature*, 26: 1126-1171.
- Dos Santos T.C., dos Santos Reis N., Silva T.P., Bonomo R.C.F., Aguiar-Oliveira E., de Oliveira J.R., Franco M., 2018. Production, optimisation and partial characterisation of enzymes from filamentous fungi using dried forage cactus pear as substrate. *Waste and biomass valorization*, 9(4): 571-579.
- Ennouri M., Fetoui H., Bourret E., Zeghal N., Guermazi F., Attia H., 2006. Evaluation of some biological parameters of Opuntia ficus indica. 2. Influence of seed supplemented diet on rats. *Bioresource technology*, 97(16): 2136-2140.
- Flichy P., 2008. *Understanding technological innovation: a socio-technical approach*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 208 pp.
- Fox W.M., 1995. Sociotechnical system principles and guidelines: past and present. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 31(1): 91-105.
- Gallegos-Infante J.A., Rocha-Guzman N.E., González-Laredo R.F., Reynoso-Camacho R., Medina-Torres L., Cervantes-Cardozo V., 2009. Effect of air flow rate on the polyphenols content and antioxidant capacity of convective dried cactus pear cladodes (Opuntia ficus indica). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(sup2): 80-87.
- Geels F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research policy*, 31(8-9): 1257-1274.
- Geels F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy*, 33(6-7): 897-920.
- Geels F.W., 2005. *Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 328 pp.
- González-Stuart A.E., Rivera J.O., 2019. Nutritional and therapeutic applications of prickly pear cacti. In: Ross Watson R., Preedy V.R. (eds.), *Bioactive food as dietary interventions for diabetes*. London: Academic Press, pp. 349-360.
- Gusha J., Halimani T.E., Ngongoni N.T., Ncube S., 2015. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 206: 1-7.
- Inglese P., Basile F., Schirra M., 2002. Cactus pear fruit production. In: Nobel P.S. (ed.), *Cacti: Biology and uses*. Berkeley (CA): University of California Press, pp. 163-183.

- Inglese P., Mondragon C., Nefzaoui A., Sáenz C., 2018. *Ecologie, culture et utilisations du figuier de Barbarie*. Rome: FAO, 231 pp.
- Kumar D., Sharma P.K., 2020. A Review on Opuntia Species and its Chemistry, Pharmacognosy, Pharmacology and Bioapplications. *Current Nutrition & Food Science*, 16(8): 1227-1244.
- Livrea M.A., Tesoriere L., 2006. Health benefits and bioactive components of the fruits from Opuntia ficus-indica [L.] Mill. *Journal of the Professional Association for cactus Development*, 8(1): 73-90.
- Madani K., Remini H., Dahmoune F., Dairi S., Aoun O., Belbahi A., Lefsih K., 2016. *Le figuier de Barbarie : une plante d'intérêt industriel*. Premier séminaire sur la valorisation du figuier de Barbarie. « Une plante pour le climat et le développement durable », 16-17 septembre, Bejaia, Algérie.
- Moll L., 1843. *Colonisation et agriculture de l'Algérie* (2 tomes). Paris: Librairie agricole de la Maison Rustique, 576 pp.
- Montaigne E., 1996. *Théorie évolutionniste, dynamique technologique et systèmes d'approvisionnement alimentaires*. Communication au séminaire sous-régional de la FAO (Dakar), « Approvisionnement et distribution alimentaires des villes de l'Afrique francophone ».
- Nefzaoui A., Ben Salem H., 2006. Cactus: un banco de alimento para ganado en entornos áridos y semiáridos. *CACTUSNET Número Especial*, 10: 41-57.
- Nelson R., Winter S., 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 437 pp.
- Prieto C., Saenz C., Silva P., Loyola E., 2009. *Balsamic type vinegar from colored ecotypes of cactus pear (Opuntia ficus-indica)*. *Acta Horticulturae*, 811: 123-126.
- Ramírez-Moreno E., Marques C.D., Sánchez-Mata M.C., Goñi I., 2011. In vitro calcium bioaccessibility in raw and cooked cladodes of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). *LWT-Food Science and Technology*, 44(7): 1611-1615.
- Reyes-Agüero J.A., Aguirre-Rivera J.R., Hernández H.M., 2005. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (CACTACEAE). *Agrociencia*, 39(4): 395-408.
- Rosny L., 1857. *L'Opuntia, ou Cactus raquette d'Algérie*. Paris: Juste Rouvier & August Goin Éditeurs libraires.
- Sáenz C., Berger H., 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*, 162. Rome: FAO, 165 pp.
- Sáenz C., Sepúlveda E., 2001. Cactus-pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 4: 3-10.
- Sepúlveda E., Saenz C., Álvarez M., 2000. Physical, chemical and sensory characteristics of dried fruit sheets of cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L) Mill) and quince (*Cydonia oblonga* Mill). *Italian journal of food science*, 12(1): 47-54.
- Spezzani L., 2014. *Valorisation énergétique des cultures intermédiaires et coproduits agricoles*. Rapport du projet BioMaSER, Valbiom, Gembloux, Belgique, 36 pp.
- Tegege F., 2000. Fodder potential of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Horticulturae*, 581: 343-346.
- Tilahun Y., Welegerima G., 2018. Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia ficus Indica*): A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3): 1360-1363.
- Yin R.K., 2017. *Case study research and applications: Design and methods*. Thousand Oaks (CA): Sage publications, 352 pp.