

UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal

Centre d'Etudes Doctorales « Sciences et Techniques »
Formation doctorale « Ressources Naturelles, Environnement et Santé »

THESE

Présentée par

Naima ZAKI

Pour obtention du grade du

Doctorat National

Spécialité : Biologie

Option : Environnement et Valorisation des Agro-Ressources

Contribution à la Valorisation de la Niora (*Capsicum annuum* L.) dans la Plaine du Tadla: Production, Diversité Phénotypique et Chimique, Caractérisation Nutritionnelle, Physicochimique et Propriétés Antioxydantes

Soutenue le 25 janvier 2014 devant la commission d'examen :

- | | | |
|---|-----|---|
| - Aziz HASIB (Président) | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |
| - Mohamed MARKOUK (Rapporteur) | PES | Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech |
| - Abderrahim JAOUAD (Rapporteur) | PES | Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech |
| - Abdelali BOULLI (Rapporteur) | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |
| - Juan Pablo FERNANDEZ-TRUJILLO (Examineur) | PHD | Université Polytechnique de Cartagena |
| - Zehor AIT YACINE (Examinatrice) | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |
| - Aziz OUATMANE (Examineur) | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |

AVANT PROPOS

Nom et prénom: ZAKI Naima

Intitulé de travail:

« Contribution à la Valorisation de la Niora (*Capsicum annuum L.*) dans la Plaine du Tadla: Production, Diversité Phénotypique et Chimique, Caractérisation Nutritionnelle, Physicochimique et Propriétés Antioxydantes »

Nom et prénom de l'encadrant: OUATMANE Aziz, Equipe d'Environnement et Valorisation des Agro-Ressources, Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal.

Laboratoires où les travaux ont été réalisés:

- Laboratoire d'Environnement et Valorisation des Agro-Ressources, FST de Béni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal.
- Laboratoire de Valorisation et Sécurité des Produits Agro-Alimentaires, FST de Béni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal.
- Laboratoire relevant du Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena.

Début de travail: 2010.

Rapporteurs autres que l'encadrant (nom, prénom, grade et institution):

- | | | |
|---------------------|-----|---|
| - Mohamed MARKOUK | PES | Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech |
| - Abderrahim JAOUAD | PES | Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech |
| - Abdelali BOULLI | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |

Examineurs autres que l'encadrant (nom, prénom, grade et institution):

- | | | |
|---------------------------------|-----|---|
| - Juan Pablo FERNANDEZ-TRUJILLO | PHD | Université Polytechnique de Cartagena |
| - Zehor AIT YACINE | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |
| - Aziz HASIB | PES | Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal |

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation de la niora au niveau de la région du Tadla, culture industrielle vigoureusement recommandée aussi bien pour ses qualités nutritives, sensorielles et médicinales que pour son importance socio-économique. Les travaux effectués au cours de cette thèse ont fait l'objet de 6 publications et 7 communications orales et affichées:

- Publications:

- **Naima Zaki, Abdelmalek Hakmaoui, Aaziz Ouatmane and Juan Pablo Fernández-Trujillo. 2013.** Quality characteristics of Moroccan sweet paprika (*Capsicum annuum* L.) at different sampling times. *Food Science and Technology, Volume 33, N° 3, 577-585, 2013.*
- **Naima Zaki, Abdelmalek Hakmaoui, Aaziz Ouatmane, Aziz Hasib, Juan Pablo Fernández-Trujillo.** Morphological characterization and quality evaluation of some cultivated paprika morphotypes (*Capsicum annuum* L.) from Tadla-Azilal region of Morocco. *Food Science and Quality Management, Volume 17, 25-33, 2013.*
- **Naima Zaki, Abdelmalek Hakmaoui, Aaziz Ouatmane, Aziz Hasib, Juan Pablo Fernández-Trujillo.** Bioactive components and antioxidant activity of Moroccan Paprika (*Capsicum annuum* L.) at different period of harvesting and processing. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, Volume 3, N° 8, 1-8, 2013.*
- **Naima Zaki, Aziz Hasib, Abdelmalek Hakmaoui, Fatima Dehbi, Aaziz Ouatmane.** Assessment of color, capsaicinoids, carotenoids and fatty acids composition of paprika produced from Moroccan pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Natural Sciences Research, Volume 3, N° 7, 111-117, 2013.*
- **Abdelmalek Hakmaoui, Naima Zaki, Aaziz Ouatmane, yahya Baye.** Techniques de production du piment rouge (Niora) au périmètre irrigué de Tadla: Résultats d'enquêtes. *Bulletin de Transfert de Technologie, n°198, 2013.*
- **Abdelmalek Hakmaoui, Naima Zaki, Aziz Hasib, Aaziz Ouatmane, Juan Pablo Fernández-Trujillo.** Evaluación de la calidad físico-química y nutricional del pimentón dulce de Tadla-Azilal, Marruecos. *Horticultura, 295, 31-35.*

- Communications orales

- **ZAKI N., HAKMAOUI A., DEHBI F., HASIB A. and OUATMANE A. Bioactives constituents and antioxidant activity of paprika Powder produced in Tadla area- Morocco.** Assises Euro-Méditerranéennes, Exploitation et Valorisation des plantes Médicinales et Aromatiques, 23-24 mai 2012.
- **ZAKI N., HAKMAOUI A., HASIB A. and OUATMANE A. Composition en acide gras, capsaïcinoïdes et teneur en caroténoïdes de la poudre du paprika Marocaine.** Workshop international sur la chimie moléculaire & perspectives, à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, les 28 et 29 mai 2013.

- Communications affichées (poster):

- **ZAKI N., HAKMAOUI A. and OUATMANE A. Etude comparative de la qualité du paprika au Maroc.** 3^{ème} Edition du Congrès International sur l'Amélioration de la Production Agricole, à la Faculté des Sciences et Techniques de Settat, les 17 et 18 mars 2011.
- HAKMAOUI A., **ZAKI N.**, MEFTAH H., LATRACHE H., OUATMANE A. **Caractérisation microbiologique du paprika de la région Tadla – Azilal.** Congrès international : « la recherche, la biotechnologie et le consommateur au service de l'environnement et de l'industrie-agroalimentaire, à la Faculté des Sciences de Kénitra, les 19 et 20 mai 2011.
- **ZAKI N., HAKMAOUI A. and OUATMANE A. Evaluation du potentiel antioxydant du paprika provenant de la région du Tadla et les facteurs influençant sa variation.** Journées d'études sous le thème: Agroalimentaire, sécurité sanitaire des aliments et développement, à la Faculté des Sciences d'Oujda les 24 et 25 mai 2011.
- **ZAKI N., HAKMAOUI A., DEHBI F., HASIB A. and OUATMANE A. Valeur nutritionnelle et pouvoir antioxydant du paprika issues de trois régions du Maroc.** Première Edition Internationale de Chimie Médicinale au Maroc, à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, les 24 et 25 mai 2012.
- **ZAKI N., HAKMAOUI A., HASIB A. and OUATMANE A. Quality of commercial ground paprika produced in Tadla-azilal area (morocco).** La 5^{ème} Rencontre Internationale sur la Chimiométrie et la Qualité, Fès du 25 au 27 avril 2013.

DEDICACES

*A mes très chers parents, qu'ils trouvent en
ce mémoire, ma profonde gratitude et
mon éternelle reconnaissance*

*Ma profonde reconnaissance à mon époux Yahya
pour son soutien sans faille, sa compréhension
et surtout sa contribution dans le partage du
stress de la recherche*

A mes enfants : Ismail, Aymane et l'adorable Anass

*Enfin, Je termine en remerciant très
chaleureusement mes frères et
mes sœurs, pour leur soutien,*

Remerciements

Le présent travail n'aurait pu avoir lieu sans la contribution de plusieurs personnes qui m'ont aidé à bien mener ce travail, je saisis cette occasion pour leur exprimer ma profonde gratitude en les remerciant tous.

Je tiens tout d'abord à remercier le Professeur A. ZEGHAL (Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal), le Professeur A. ZYAD (Vice Doyen chargé de la recherche scientifique et la formation continue et Responsable de la formation Doctorale Ressources Naturelles, Environnement et Santé) aux quels nous devons beaucoup, pour l'intérêt qu'ils portent pour le bon déroulement des activités de recherche au sein de notre établissement.

L'encadrement scientifique de ce travail a été assuré par le Professeur Aaziz OUATMANE de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal. Je tiens vivement à lui exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude pour sa disponibilité, sa patience, sa compréhension, ses qualités humaines et ses intérêts portés pour mon sujet de recherche. Merci de m'avoir encouragée et surtout pour la confiance que vous m'avez accordée tout au long de ces années.

J'adresse mes vifs remerciements au Professeur H. LATRACHE pour l'aide qu'il m'a apportée pour mener à bien les analyses microbiologiques, les facilités matérielles qu'ils m'ont accordées au sein du laboratoire de Valorisation et Sécurité des Produits Agro-Alimentaires relevant de la FST-BM.

Mes remerciements vont à Mr Abderrahim JAOUAD, Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech, d'avoir eu l'amabilité d'accepter volontairement et aimablement de critiquer et de juger ce travail. Je suis particulièrement reconnaissante et honorée par sa participation au jury de cette thèse.

Que Mr Mohamed MARKOUK, Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech, trouve ici mes sincères sentiments de gratitude et de respect, d'avoir accepté, malgré ses préoccupations et ses tâches d'enseignement et d'encadrement, de lire et de juger ce travail.

Je tiens à remercier également Mr Abdelali BOULLI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements, d'avoir accepté et ménagé son temps, malgré ses préoccupations et ses tâches d'enseignements pour juger et critiquer ce travail.

Je voudrais également exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Zehor AIT YACINE, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, d'avoir accepté de juger ce travail et surtout de m'avoir proposé une évaluation constructive et éclairée. qu'elle trouve ici le témoignage de mon profond respect.

Mes remerciements les plus chaleureux vont au Professeur Juan Pablo FERNÁNDEZ TRUJILIO, Professeur à l'université de Cartagena. Ses apports scientifiques ainsi que ses apports humains dans le suivi et la réalisation de mes travaux de recherche ont été d'une qualité supérieure.

Je tiens à remercier infiniment, Mr Aziz HASIB, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, que j'ai beaucoup apprécié pour son soutien et pour ses précieux conseils scientifiques éclairés et prodigués.

A vrai dire, je ne sais pas comment vous remercier Dr Abdelmalek HAKMAOUI pour tout ce que vous m'avez apporté, transmis et appris lors de ce travail. Merci pour l'énorme contribution que m'avez apportée afin de mener à bien ce travail. Les échanges fraternels m'ont été très précieux.

J'adresse mes vifs remerciements à tous les membres de la coopérative Ouled ali avec à leur tête Mohammed NOCHI, pour leur aide précieuse dans la collecte des informations autour de la niara ainsi que la collecte des échantillons.

A tous mes amis de travail Fatima Oubrahim, Habiba Bouchakour, Keltoum Makhoukhi, Samira Krimissa, Mehdi Ikrima, et hamid Habbari pour l'encouragement continu.

Au Personnel de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, notamment: Atifa Alimoussa, Rahma Khannouri, Najat Rayhani, pour leur politique de proximité et leur soutien.

Mes sentiments les plus profonds et remerciements infinis à mes collègues et amis de l'EVAR, pour les relations amicales, conviviales, fraternelles et professionnelles qu'ils ont sues tisser en dehors et au sein du laboratoire. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Hicham El Batal qui est exceptionnel, à Fatima DEHBI et à Hassna Meftah

A tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation et au bon déroulement de ce travail.

Liste des abréviations

DRA : Direction Régionale de l'Agriculture.

DPA : Direction Provinciale d'Agriculture.

ORMVAT : Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla.

USDA : National Nutrient Database for Standard Reference 2011.

ABTS : 2,2'-azynobis-[3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonic acid

DPPH : 2,2-diphényl-picrylhydrazyl

FMAT : Flore Mésophile Aérobie Totale.

ICMSF : International Commission on Microbiological Specifications for Foods.

Liste des figures

- Figure 1:** Coupe longitudinale d'un piment fort.
- Figure 2:** Principaux centres de diversification des cinq espèces domestiquées de *Capsicum*.
- Figure 3:** Principaux pays producteurs de piments à l'état frais pour 2007.
- Figure 4:** Principaux pays producteurs mondiaux de piment à l'état sec pour 2007.
- Figure 5:** Principaux pays exportateurs du piment (tonnes) en 2003.
- Figure 6:** Principaux pays importateurs du piment (tonnes) en 2003.
- Figure 7:** Evolution de la superficie (ha) de la culture de la niora au niveau de la Région du Tadla.
- Figure 8:** Evolution de la production (en tonnes de matière fraîche) de la culture de la niora au niveau de la Région du Tadla.
- Figure 9:** Variation de la forme du fruit des principales espèces cultivées de piment (*Capsicum* spp.) d'après la Collection des ressources génétiques de l'INRA d'Avignon.
- Figure 10 :** Les phases de développement de la plante de la niora.
- Figure 11 :** Les différentes étapes du séchage de la niora dans la région du Tadla.
- Figure 12:** Etapes de mouture des fruits déshydratés de la niora au niveau de la plaine du Tadla.
- Figure 13 :** Différentes poudres de paprika produites dans la région du Tadla.
- Figure 14 :** Structure des caroténoïdes majeurs de paprika.
- Figure 15:** Représentation colorimétrique de l'espace chromatique CIELAB (A) et de l'écart de couleur ΔE^* (B).
- Figure 16:** Les capsaïcinoïdes majeurs et leurs unités de Scoville.
- Figure 17:** Présentation de la zone d'étude.
- Figure 18 :** Précipitations, humidités maximales, minimales et moyennes en % enregistrées de septembre 2010 jusqu'à décembre 2011.
- Figure 19 :** Températures minimales, maximales et moyennes enregistrées de septembre 2010 jusqu'à décembre 2011.
- Figure 20 :** Zone de production et de transformation de la niora au niveau du Périmètre du Tadla.
- Figure 21:** Calendrier cultural et itinéraire technique de la Niora dans la région du Tadla.
- Figure 22 :** Pépinière installée par l'agriculteur au bord de la parcelle sous forme d'une cuvette.
- Figure 23 :** Plantation de jeunes plants à racine nue (A) et de plants à motte (B).
- Figure 24 :** Irrigation gravitaire de la Niora (A) et par la méthode goutte à goutte (B) dans la plaine de Tadla.

- Figure 25 :** Quelques mauvaises herbes de la culture de la niora .
- Figure 26 :** (A) Désherbage manuel ; (B) le champ après désherbage à un stade précoce.
- Figure 27:** Buttage à traction animale.
- Figure 28:** Les symptômes de la maladie causés par Phytophthora sur les racines (A) et sur la partie aérienne (B).
- Figure 29:** Morphotypes of *Niora capsicum annum L.* collected from Tadla-azilal Area.
- Figure 30 :** ASTA values (A), Carotenoid content (B), Ascorbic acid content (c) and tint (D) of the 11 morphotypes collected from Tadla-Azilal Area.
- Figure 31:** Teneur du paprika en métabolites secondaires en fonction de la période d'échantillonnage.
- Figure 32:** Coloration de la poudre de paprika en fonction de la période d'échantillonnage, A : Unités d'ASTA, B : Caroténoïdes totaux.
- Figure 33:** Corrélation entre les caroténoïdes totaux et les unités d'ASTA de la poudre de paprika.
- Figure 34:** Activité antioxydante évaluée par le test de DPPH en fonction de la période d'échantillonnage. (Exprimant la concentration efficace IC50% en µg/ml).
- Figure 35:** Activité antioxydante évaluée par le test d'ABTS en fonction de la période d'échantillonnage. (Exprimant la concentration efficace IC50% en µg/ml).
- Figure 36:** Corrélation entre la capacité antioxydante du radical DPPH et la teneur en caroténoïdes totaux (A) et en polyphénols totaux (B).
- Figure 37:** Corrélation entre la capacité antioxydante du radical DPPH et la teneur en Flavonoïdes totaux (A), en Flavonols totaux (B) et en Acide ascorbique (C).
- Figure 38:** Corrélation entre la capacité antioxydante du radical ABTS et la teneur en polyphénols totaux (A) et en caroténoïdes totaux (B).
- Figure 39:** Corrélation entre la capacité antioxydante du radical ABTS et la teneur en Flavonoïdes totaux (A), en Flavonols totaux (B) et en Acide Ascorbique (C).
- Figure 40:** Repartition map of Moroccan paprika powder derived from pepper cultivars (*Capsicum annum L.*) used in the study.
- Figure 41:** A (to the left): the fruits of pepper cultivars (*Capsicum annum L.*) are initially stacked in piles for the post-maturation without exposure to direct sunlight. B (to middle): the fruit is dispersed in the previously clean and compacted soil for a homogeneous drying in the Sun. C (to right): the paprika powder.

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification taxonomique du piment.

Tableau 2: Extraction des éléments NPK par la plante durant son cycle de développement.

Tableau 3 : Les températures critiques à différents stades de développement de la Niora.

Tableau 4: Composition nutritionnelle de la poudre de paprika.

Tableau 5: Echelle de scoville.

Tableau 6 : Recommandations pour la distribution nutritionnelle durant le cycle de Niora.

Tableau 7: Charges de production estimées d'un hectare de Niora.

Table 8: Morphological characteristics of fruits morphotypes collected from Tadla-Azilal area, Morocco.

Table 9: Chromatic coordinates (L^* , a^* , b^*), C , h° values for the different morphotypes samples.

Table 10: Capsaicinoids content and scoville Heat Unit (SHU) in powder obtained from fruit morphotypes.

Table 11: Physical characteristics of paprika powders at different harvest plus sun-drying and milling.

Table 12: Nutritional and chemical composition of paprika powder at different harvest periods.

Table 13: Fatty acid composition of paprika powder in a unique analysis obtained by mixing sub-samples of each replicate.

Table 14: Evolution of microbiological parameters in paprika powders during the sampling time ((mean, n=3). Clostridium, Salmonella and total aflatoxins were not detected (n.d.).

Table 15: Oil content and fatty acids composition (%) of Moroccan paprika powder.

Table 16: Color characteristics and Carotenoids content in Moroccan paprika powder.

Table 17: Capsaicinoids content in Moroccan paprika powder.

RÉSUMÉ

Le présent travail a été mené en vue d'une évaluation de la conduite culturale de la niora *Capsicum annuum* L. (variété de piment rouge) et d'une étude qualitative de son produit final qu'est la poudre de paprika au niveau de la région du Tadla. L'examen de la conduite technique de la culture de la niora dans cette région montre que la filière souffre de nombreuses contraintes aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la transformation. Un itinéraire technique amélioré de production de la niora dans la plaine du Tadla a été proposé et qui est axé sur la préparation des parcelles, le choix des variétés, la production des plants, l'irrigation, la fertilisation, l'entretien phytosanitaire et la récolte.

L'étude de la diversité phénotypique des fruits de la niora dans la plaine du Tadla a permis d'identifier onze morphotypes notés M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10 et M11. Ces morphotypes ont montré des différences statistiquement significatives aussi bien pour les traits morphologiques que les paramètres biochimiques étudiés. La teneur en vitamine C varie dans la gamme de 992 à 2180 mg/100 g PS, celle des capsaïcinoïdes totaux varie du niveau non détectable à 0,9 %. Les valeurs du paramètre de coloration l'ASTA varient de 80,46 à 170,48 unités. Un des Morphotypes a montré les caractères commerciaux les plus désirés (une forte valeur d'ASTA, un rapport élevé de poids sec et poids frais et une teneur en capsaïcinoïdes non détectables).

En aval de la filière, l'étude de l'effet de la période de production et de transformation de la niora montre que les principaux paramètres de qualité de l'épice sont affectés. Les meilleurs paprikas en terme de coloration sont ceux du mois de novembre dont la teneur en caroténoïdes est de 3727,54 mg / kg PS et la valeur d'unité d'ASTA de 167.15. Aussi, la teneur la plus élevée en composés phénoliques totaux (1360 mg/100 g PS) est obtenue pour le paprika produit au mois de novembre. Il en est de même pour les meilleures activités antioxydantes mesurées en DPPH (IC50 de 260µg/ml) et en ABTS (IC50 de 43 µg/ml). Les composés phénoliques totaux et les teneurs en caroténoïdes sont fortement corrélés avec l'activité antioxydante mesurée par le DPPH et l'ABTS avec des valeurs de coefficients de corrélation respectifs de $R^2 = 0,95$ et $R^2 = 0,96$ pour le DPPH et de $R^2=0,95$ et $R^2=0,96$ pour l'ABTS. Les niveaux de vitamine C varient de 1360 à 2020 mg/ 100 g. Les capsaïcinoïdes totaux varient de 25 à 60 µg/ g PS.

La période de production et de transformation de la niora n'a pas d'effet significatif sur les fibres totales, les glucides, les protéines, les lipides, les acides gras, les flavonols, les flavonoïdes et les minéraux (Mg, Fe, K, P, Zn, Cu). Le plomb et le cadmium n'ont pas été détectés. L'acide linoléique, l'acide oléique et l'acide palmitique sont les acides gras prédominants dans l'épice paprika. La charge microbienne pour la majorité des microorganismes étudiés (FMAT, streptocoques, enterocoques, staphylocoques et les coliformes totaux et fécaux) dépasse les taux fixés par la Commission Internationale des Caractéristiques Microbiologiques des Aliments (ICMSF). Toutefois, les aflatoxines, les salmonelles et les clostridium n'ont pas été détectés.

Dans l'ensemble, le paprika marocain objet de cette étude a montré des attributs de qualité nutritionnelle et physico-chimiques qui répondent aux exigences fixées par les normes internationales, en dehors de la charge microbienne qui dépassent parfois les taux fixés par les normes.

Mots-clés: Niora, *Capsicum annuum* L., paprika, traits morphologiques, caroténoïdes, Capsaïcinoïdes, composition physico-chimique; composition en acides gras, composition microbienne, composés phénoliques, flavonoïdes, flavonols, activité antioxydante, Tadla, Maroc.

SUMMARY

This work has been conducted to assess the conduct of the culture of niora (variety of red pepper), and consists of a qualitative study of the paprika powder in the region of Tadla. Examination of the technical conduct of the culture of niora in this region shows that the sector suffers from many constraints both at the production and the transformation levels. An improved technical itinerary production of niora in Tadla plain has been proposed and it is focused on preparing plots, choice of varieties, production plants, irrigation, fertilization, plant maintenance and harvest.

The study of phenotypic diversity of fruit niora in the plain of Tadla has identified eleven morphotypes denoted M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10 and M11. These morphotypes show statistically significant differences for both morphological traits and biochemical parameters studied. The vitamin C content varies in the range of 992 to 2180 mg/100 g DW, the total capsaicinoids varies from non-detectable to 0.9% level. The parameter values of the ASTA color vary from 80.46 to 170.48 units. One of the morphotypes shows the most desired commercial traits (high value of ASTA, a high ratio of dry weight and fresh weight and an undetectable content of capsaicinoids).

Swallows in the sector, and the study of the effect of the period of production and processing of niora show that the main quality parameters of the spice are affected. The best bell peppers in terms of color are those of November with the content of carotenoids is 3727.54 mg / kg DW and the value of ASTA is 167.15 unity. Also, the highest content of total phenolics (1360 mg/100 g DW) is obtained for the paprika produced at november. It is the same for the best antioxidant activities measured in DPPH (IC50 260µg/ml) and ABTS (IC50 of 43 micrograms / ml). Total phenolics and carotenoid contents are strongly correlated with the antioxidant activity measured by the DPPH and ABTS values with respective correlation coefficients of $R^2 = 0.95$ and $R^2 = 0.96$ for DPPH and $R^2 = 0.95$ and $R^2 = 0.96$ for ABTS. Levels of vitamin C vary from 1360 to 2020 mg / 100 g. The total capsaicinoids vary from 25 to 60 mg / g DW.

The period of production and processing of niora has no significant effect on total fiber, carbohydrates, proteins, lipids, fatty acids, flavonols, flavonoids and minerals (Mg, Fe, K, P, Zn, Cu). Lead and cadmium were not detected. Linoleic acid, oleic acid and palmitic acid are predominant in the spice paprika fatty acids. The microbial load for most microorganisms studied (FMAT, streptococci, enterococci, staphylococci and total and fecal coliforms) exceeds the rate set by the International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). However, aflatoxins, salmonella and clostridium were not detected.

Overall, the Moroccan paprika studied displays nutritional attributes and physico-chemical quality that meet the requirements set by international standards, despite the microbial load which exceeds or not the rates set by international standards depending on the sampling time.

Keywords: Niora, *Capsicum annuum* L., paprika, morphological features, carotenoids, Capsaicinoids, physico-chemical composition, fatty acid composition, microbial composition phenolics, flavonoids, flavonols, antioxidant activity, Tadla, Morocco.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم الدورة الزراعية لنبته "النيورة" (فصيلة من الفلفل الأحمر) و إلى إجراء دراسة نوعية لمنتجاتها النهائي أي مسحوق الفلفل الحلو بجهة تادلة. و يتبين من خلال اقتصاص طرق تدبير هذه الزراعة بالجهة بأنها تخضع لعدة إكراهات إما على مستوى الإنتاج أو على مستوى التحويل. و في هذا الإطار تم اقتراح مسار (مخطط) تقني محسن لإنتاج النيورة بسهولة تادلة، و يتمحور هذا المخطط حول تهيئ الأرض، اختيار الفصائل، إنتاج الشتائل، طرق السقي، التسميد، مقاومة الأمراض و عملية القطف.

و قد مكنت دراسة التنوع الشكلي لمنتوج النيورة بجهة تادلة بتحديد 11 نوع تم الترميز لها تسلسليا من M1 إلى M11. و قد أظهرت هذه الأشكال تباينات ذات دلالة إحصائية من حيث الميزات المورفولوجية أو الشكلية، و أيضا من حيث قياسات العناصر البيوكيميائية المحددة للنوع. فمعايير الفيتامين "س" تختلف بدءا بدرجة 992 إلى حدود 2180 مغ في كل 100 غ، و معايير الكابسايسينويد تبتدأ بحالة استحالة اكتشافها و تصل إلى 0.9%. أما عنصر التلوين (I'ASTA) فيبدأ ب 80.46 و يصل إلى 170.48 وحدة. و قد تميز شكل من هذا المنتج بالجمع بين جل الخصائص التجارية المطلوبة (درجة تلوين مرتفعة، نسبة وزن عالية قبل و بعد التجفيف، و شبه غياب للكابسايسينويد).

و من خلال تتبع هذه الزراعة، تبين دراسة فترات الإنتاج و التحويل أن أجود منتج هو محصول شهر نونبر الذي يتميز بأعلى نسبة كاروتينويد (3727.54مغ/100غ) و مؤشر ASTA 167.15. بالإضافة إلى نسبة مرتفعة من مجموع المركبات الفينولية (1360مغ/100غ). كما أن منتج شهر نونبر يتميز كذلك بنسبة جيدة من العناصر المضادة للتأكسد، و إجمالا، يمكن القول بأن مؤشرات مجموع المركبات الفينولية و نسبة الكاروتينويد تتطابق بنسبة مهمة مع العوامل المضادة للتأكسد. لكن فترة الإنتاج ليس لها تأثير قابل للقياس على نسبة الألياف و الكربوهيدرات، والبروتينات، والدهون، والأحماض الدهنية، والفلافون، والفلافونيدات و المعادن (المغنيسيوم، الحديد، الفوسفور، البوتاسيوم، الزنك، النحاس). و لم يتم اكتشاف الرصاص و الكاديوم.

حمض اللينوليك وحمض الأوليك وحمض البالمتيك هي الأحماض الدهنية السائدة في الفلفل الأحمر. و فيما يخص الحمولة الميكروبية بهذا المنتج، و خاصة بالنسبة لمعظم الكائنات الحية التي درست (FMAT، العقديات، المكورات المعوية، المكورات العنقودية والقولونية البرازية) تتجاوز المعدل الذي حددته اللجنة الدولية المكلفة بتحديد المواصفات الميكروبيولوجية للأغذية (ICMSF). لكنه لم يتم اكتشاف الأفلاتوكسين والسالمونيلا والمطثيات.

و عموما، يظهر الفلفل الحلو المغربي من خلال هذه الدراسة سمات غذائية وجودة فيزيكو-كيميائية تستجيب للشروط و المعايير الدولية، باستثناء الحمولة الميكروبية التي تتجاوز أحيانا المواصفات الدولية.

الكلمات المفتاحية: النيورة، مسحوق الفلفل الحلو، تادلا، الميزات المورفولوجية، كاروتينويد، الكابسايسينويد، التركيبة الفيزوكيميائية الأحماض الدهنية، الحمولة الميكروبية، العناصر المضادة للتأكسد.

Sommaire

Introduction Générale.....	1
A- Synthèse Bibliographique	
Partie I: Présentation Générale du Piment.....	4
I.1. Taxonomie.....	4
I.2. Anatomie	5
I.3. Origine	6
I.4. Production mondiale.....	6
I.5. Importance économique et commerciale du piment à l'échelle internationale.....	7
I.6. Introduction de la niora au Maroc.....	10
I.7. Production et importance du piment au Maroc.....	10
I.8. Diversité du piment.....	12
I.9. Caractéristiques morphologiques et physiologiques.....	13
I.10. Formes d'utilisation.....	16
I.11. Produits dérivés	16
I.11.1. Oléorésine.....	16
I.11.2. Poudre du paprika.....	17
Partie II : Production et Transformation du Piment.....	18
II.1. Production du piment.....	18
II.1.1. Nutrition Minérale	18
II.1.2. Caractéristiques agronomiques	21
II.1.3. Récolte.....	22
II.2. Transformation de la niora en paprika.....	22
II.2.1. Postmaturation.....	22
II.2.2. Séchage.....	23
II.2.3. Broyage.....	26
II.2.4. Huilage, malaxage	27
II.2.5. Stockage.....	28
Partie III: La Poudre de Paprika.....	29
III.1. Utilisation du paprika.....	29
III.2. Composition chimique et nutritionnelle.....	29
III.2.1. Les pigments /caroténoïdes.....	33
III.2.1.1. Composition.....	33
III.2.1.2. Usage.....	33
III.2.1.3. Facteurs affectant la coloration.....	35
III.2.1.4. Méthodes d'évaluation de la coloration.....	35
III.2.2. Les Capsaïcinoïdes.....	37
III.2.2.1. Composition.....	37
III.2.2.2. Usage	39
III.2.2.3. Techniques de mesure des capsaïcinoïdes.....	40
III.2.3. L'acide ascorbique	41
III.2.4. Les composés phénoliques et les flavonoïdes.....	42
III.2.5. Les tocophérols.....	45

III.3. Les paramètres de qualité.....	46
III.3.1. Qualité physico-chimique.....	47
III.3.2. Couleur.....	47
III.3.3. Contamination microbienne des épices: qualité microbiologique.....	48
III.3.4. Autres contaminations.....	49
III.3.5. Les falsifications.....	49
III.3.6. Normes de qualité des piments.....	50
III.4. Conclusion.....	51

B-Partie Expérimentale

1. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE: PÉRIMÈTRE IRRIGUE DU TADLA.....	52
1.1. Position géographique.....	52
1.2. Climat.....	53
1.2.1. Précipitations.....	53
1.2.2. Températures.....	54
1.3. Données pédologiques du Tadla.....	54
2. MATERIEL ET METHODES.....	56
2.1. Diagnostic de l'état des lieux de la culture de niora.....	56
2.2. Déroulement de l'échantillonnage.....	57
2.3. Paramètres biométriques mesurés.....	58
2.4. Paramètres physicochimiques (de qualité).....	58
2.4.1. Détermination de l'ASTA.....	58
2.4.2. Détermination de la teinte (R/Y).....	58
2.4.3. Coloration de surface.....	59
2.4.4. Les caroténoïdes totaux.....	59
2.4.5. Les Capsaicinoides.....	59
2.4.6. Vitamine C.....	60
2.4.7. Détermination du pH.....	61
2.4.8. Humidité ou teneur en eau.....	61
2.4.9. Détermination des cendres totales.....	61
2.4.10. Détermination des cendres insolubles dans l'acide.....	62
2.5. Paramètres nutritionnels.....	62
2.5.1. Teneur en fibres.....	62
2.5.2. Teneur en protéines.....	62
2.5.3. Teneur en lipides.....	63
2.5.4. Composition en acide gras.....	63
2.5.5. Teneur en sucres totaux et en sucres réducteurs.....	63
2.5.6. Valeur énergétique.....	64
2.5.7. Teneur en minéraux.....	64
2.6. Caractérisation microbiologique.....	65
2.6.1. Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale.....	65
2.6.2. Dénombrement des coliformes totaux.....	66
2.6.3. Dénombrement des coliformes thermotolérants.....	66
2.6.4. Dénombrement des levures et des moisissures.....	66
2.6.5. Dénombrement des Entérobactéries.....	66
2.6.6. Dénombrement de Clostridium.....	67
2.6.7. Dénombrement des Staphylocoques.....	67
2.6.8. Dénombrement des Streptococcacés.....	67
2.6.9. Dénombrement des salmonelles.....	67
2.6.10. Dénombrement des aflatoxines.....	68

2.7. Activité antioxydante et composition du paprika en certains métabolites secondaires.....	68
2.7.1. Préparation de l'extrait méthanolique.....	69
2.7.2. Dosage des composés polyphénoliques.....	69
2.7.3. Dosage des flavonoïdes	69
2.7.4. Dosage des flavonols.....	70
2.7.5. Evaluation de l'activité antioxydante.....	70
2.7.5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH	70
2.7.5.2. Test d'ABTS.....	70
2.8. Analyses statistiques.....	71

C-Résultats et Discussion

Chapitre 1 : Techniques de production du piment rouge (Niora) au périmètre irrigué de Tadla

1. Introduction.....	73
2. Diagnostic de la situation actuelle de la filière de niora.....	74
3. Proposition de conduite et pratiques culturales.....	78
Publication 1 : « Techniques de production du piment rouge (Niora) au périmètre irrigué de Tadla : Résultats d'enquêtes ».....	78

Chapitre 2 : Caractérisation morphologique et chimique de certains morphotypes de la niora (*Capsicum annuum L.*) cultivés dans la plaine du Tadla

1. Présentation.....	95
2. Publication 2: «Morphologic characterization and quality evaluation of some cultivated paprika morphotypes (<i>Capsicum annuum</i>) from Tadla-Azilal, Morocco».....	96

Chapitre 3: Effet de la période de production du paprika de la région du Tadla sur sa composition physico-chimique, nutritionnelle et microbiologique

1. Présentation.....	114
2. Publication 3 : « Quality characteristics of Moroccan sweet paprika (<i>Capsicum annuum L.</i>) at different sampling times ».....	115

Chapitre 4 : Effet de la période de production du paprika de la région du Tadla sur sa composition en certains métabolites et son activité antioxydante

1. Introduction.....	137
2. Résultats et discussion.....	139
2.1. Composés phénoliques totaux.....	139
2.2. Les flavonoïdes et les flavonols totaux	140
2.3. ASTA Unit	141
2.4. La teneur totale en caroténoïdes	142
2.5. Activité antioxydante.....	143
2.5.1. Test du radical DPPH.....	144
2.5.2. Test du radical ABTS.....	145

2.6. Etude de la corrélation entre la capacité antioxydante des différents paprikas et leurs teneurs en polyphénols, flavonoïdes, flavonols et caroténoïdes totaux.....	146
2.7. Conclusion.....	149

**Chapitre 5: Etude comparative des paramètres de qualité du paprika
provenant de 3 régions du Maroc : Tadla, El Gharb et
Elkalâa des Sraghna.**

1. Présentation.....	151
2. Publication 5: « Assessment of Color, Capsaicinoids, Carotenoids and Fatty Acids Composition of Paprika Produced from Moroccan Pepper Cultivars (Capsicum Annuum L.) ».....	152
DISCUSSION ET CONCLUSION GÉNÉRALE.....	169
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	178
ANNEXE.....	200

INTRODUCTION GENERALE

Le piment est un aliment de base largement consommé dans de nombreux pays et compte parmi les cinq premiers légumes consommés en Afrique. Son importance tient aux différents usages dont il est l'objet. Le terme "piment" désigne indistinctement la plante, la gousse, les graines, les épices et les condiments qui sont tirés de ce fruit.

Le piment (*Capsicum* spp.) est un condiment de haute valeur commerciale et aussi de valeurs médicinales, aux regards de ses propriétés antioxydantes, anti-cancéreuses et de nombreuses autres propriétés. Originnaire de l'Amérique, la culture s'est étendue aux différents coins du monde. Aujourd'hui, différentes espèces sont cultivées dans plusieurs pays et sont utilisées à l'état frais ou sec. L'opération de séchage traditionnel est majoritairement assurée par un séchage au soleil (Öztekin et al., 1999; Condori et Saravia, 2001).

L'offre mondiale de paprika est estimée à environ 60.000 tonnes par an et 1.400 tonnes supplémentaires de l'oléorésine de paprika (Buckenhüskes, 2003). Le paprika en poudre est de plus en plus utilisé à des fins industrielles, avec de nombreuses applications comme colorant naturel, comme additif d'assaisonnement ou encore comme source d'éléments nutritifs. Il est également utilisé dans les industries pharmaceutiques et cosmétiques (Kaur et Kapoor, 2001 ; Nadeem et al., 2011).

La qualité de paprika est évaluée par un certain nombre de paramètres tels que le goût, le degré de brûlure, l'intensité de la couleur et la stabilité de ses composés phytochimiques (Henderson, 1992; Ruth et al., 2003; Jiang et Kubota, 2004; Kim et al., 2006; Wang et al., 2009; Yaldiz et al., 2010). Tenant compte des exigences de sécurité dans l'industrie agro-alimentaire, d'autres attributs supplémentaires tels que le statut microbien et l'apparition éventuelle de mycotoxines sont aujourd'hui d'une grande importance (Buckenhüskes, 2003).

Les piments en général jouissent d'une valeur nutritive élevée. Ils constituent une source très riche en composés bioactifs comme la vitamine C, B et E, les polyphénols, les chlorophylles, les caroténoïdes et les sucres (Topuz et Ozdemir, 2007; Jadczyk et Grzeszczuk, 2009). Comme ils contiennent aussi de nombreuses substances chimiques, y compris l'eau, les

acides gras, les huiles essentielles, la résine, les protéines, les fibres et les éléments minéraux (Rubio et al., 2002).

La coloration est le paramètre prépondérant de qualité des piments et leurs dérivés (Reeves, 1987; Hornero-Mendez et al., 2000 ; Topuz et Ozdemir, 2007 ; Topuz et al., 2009). Plus de 30 différents pigments ont été identifiés dans les fruits de piment (Matus et al., 1991). Ils comprennent entre autres les pigments rouges tels que la capsanthine, la capsorubine et la cryptocapsine qui sont spécifiques aux fruits de *Capsicum annuum* L. Outre la coloration, les pigments de piments sont appréciés pour leurs propriétés antioxydantes (Stahl et Sies, 2003 ; Daood et al., 2006).

Les capsaïcinoïdes sont un groupe de composants spécifiques aux piments et qui sont derrière la saveur de brûlure de ces derniers (Collins et Bosland, 1994 ; Batchelor et Bradley, 2000). Pour la plupart des variétés de *Capsicum*, le paramètre de brûlure est un attribut de qualité important (Cordell et Araujo, 1993). Les principales composantes sont la capsaïcine, la dihydrocapsaïcine et la nordihydrocapsaïcine (Perucka et Materska, 2001). Les capsaïcinoïdes sont également connus pour leur pouvoir antioxydant ainsi que leurs propriétés antibactériennes et anti-cholestérol, anti-inflammatoire et de nombreuses autres propriétés pharmaceutiques (Cordell et Araujo, 1993 ; Cichewicz et Thorpe, 1996; Kuda et al., 2004; Acero et al., 2005).

Le Maroc est l'un des principaux pays africains producteurs du piment rouge (*Capsicum annuum* L.) nommé localement « Niora ». Il est considéré parmi les premiers pays producteurs et exportateurs de l'oléorisine (Krishna De, 2003). L'introduction de cette culture au Maroc remonte aux années 1925 dans la région de l'Est (Berkane). Grâce à ses atouts agronomiques et économiques, la région du Tadla est actuellement réputée être la première zone productrice de piment rouge, malgré que son introduction dans ce périmètre n'a eu lieu que vers le début des années 1980. La superficie emblavée par cette culture a atteint 7000 ha en 1991 (Skiredj et al., 2002). Aujourd'hui, la niora tient une place importante parmi les cultures maraîchères et industrielles de la région. En effet, elle assure 86 % de la production nationale (ORMVAT, 2010 ; Hakmaoui et al., 2011). Actuellement, la filière de niora est confrontée à plusieurs contraintes, aussi bien en amont qu'en aval qui entravent les bons rendements en termes de quantité et de qualité ainsi qu'une meilleure valorisation du produit et sa promotion en tant que produit phare de la région du Tadla. C'est dans ce sens

que le Plan Agricole Régional (PAR), déclinaison du Plan Maroc Vert au niveau de la région de Tadla –Azilal vise une augmentation de la superficie et de la production pour cette culture de 46 % et 73% respectivement.

L'intérêt croissant pour l'amélioration de cette filière dans la région de Tadla est justifié par ses retombées socio-économiques aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la transformation, en plus de sa réputation liée à sa qualité nutritive. En dépit de ses atouts, la culture de la niora au Maroc reste très peu étudiée par les chercheurs marocains et constitue par conséquent un champ d'investigation justifié pour la recherche.

Sur la base de l'ensemble de ces considérations, l'originalité de ce travail est qu'il est la première étude s'intéressant à la valorisation de cette spéculon cultivée au Maroc. Il s'agit d'une étude de reconnaissance, qui a été entreprise afin de générer des informations de base sur la filière de niora cultivée dans la région de Tadla.

Ainsi, le présent travail a pour objectif d'établir un diagnostic approfondi de la filière de niora au niveau de toute sa chaîne de valeur d'une part et d'étudier la composition physico-chimique ainsi que la qualité nutritionnelle et phytochimique du paprika d'autre part.

En amont de la filière, nous avons abordé l'aspect agronomique de la culture de la niora à travers:

- Le diagnostic de l'état des lieux de la conduite culturale « itinéraire technique » de cette culture d'une part et les voies d'amélioration de la productivité et la compétitivité de cette filière vis à vis des cultures industrielles d'autre part.
- L'étude de la diversité morphologique et biochimique des fruits de la niora dans le périmètre irrigué de Tadla.

En aval de la filière, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'effet de la période de production et de transformation du paprika sur: sa composition nutritionnelle, ses propriétés physico-chimiques, sa charge microbienne, sa composition en certains métabolites secondaires et leur pouvoir antioxydant.

Enfin, une étude comparative de la qualité du paprika provenant de trois régions productrices de l'épice au Maroc a été abordée.

Synthèse Bibliographique

Partie I: Présentation Générale du piment

Le piment est originaire d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud où il a été domestiqué il y a 9000 ans. Le nom générique piment désigne aussi bien les variétés à petits fruits brûlants tout comme celles à gros fruits doux encore appelés poivron. Il appartient au genre *Capsicum* du grecque *kapsa* qui signifie capsule (en référence à la forme en boîte du fruit). Le système de classification pour ce genre est en quelque confusion dans la littérature (Purseglove, 1984; Nadeem et al., 2011). En effet, en Espagne, le mot castillan «pimiento» se réfère à toute espèce du genre *Capsicum*, mais aux Etats-Unis, "piment" ou 'pimento» se réfère uniquement aux fruits des espèces de *Capsicum annuum* à paroi épaisse, en forme de cœur et non piquantes. Les marocains lui donnent le nom de niora, ce nom est relatif à une localité espagnole dans la Provence de Murcia appelée Añora où s'est cultivée *Capsicum annuum* pour la première fois. Les Hongrois appellent tous les fruits de *Capsicum annuum* « paprika ». Toutefois, le paprika est défini dans le marché mondial en tant que poudre rouge séchée provenant des fruits de *Capsicum annuum* L. avec une couleur souhaitée et des qualités gustatives. La «chile» est le nom commun pour toutes les espèces de *Capsicum* au Mexique, en Amérique centrale et occidentale et le sud des Etats-Unis. En Asie, le mot « chilli » est toujours associé à des variétés très piquantes de *Capsicum annuum* et de *Capsicum frutescens*. En anglais américain, il est communément connu sous le nom Chili Pepper ou Bell Pepper. En anglais britannique, ils sont tous appelés Peppers, tandis que pour l'anglais australien et indien, le nom couramment utilisé est le *Capsicum*. Au Pakistan, il est localement connu sous le nom « Shimla Mirch » (Grubben et Denton, 2004). Les espèces brûlantes sont nommées chillies selon la FAO (Anonyme, 1997). Bird's eye sont des piments cultivés principalement en Afrique orientale, et qui sont extrêmement piquantes.

I.1. Taxonomie

Le piment appartient au genre *Capsicum* de la grande famille des *Solanaceae* (Tableau 1). Dans la sous-classe des *Aristidae* du groupe des Dicotylédones évoluées caractérisées par la gamopétalie (pétales soudés), les *Solanaceae* appartiennent à l'ordre des Polémoniales, à port herbacé et à ovaire supère (Guignard, 1996). Tous les *Capsicum* ont un nombre identique de chromosomes: $2n = 2x = 24$, bien qu'un nombre très limité d'espèces sauvages aient $2n=2x=26$ (Moscone et al., 1995, 2003).

Tableau 1: Classification taxonomique du piment (Gerhardt, 1975)

Règne	Eucaryotes
Division	Spermatophytes
Subdivision	Angiosperme
Classe	Dicotylédones
Ordre	Polémoniales
Famille	Solanaceae
Genre	<i>Capsicum</i>
Espèce	<i>Capsicum annuum L.</i>

I.2. Anatomie

Le fruit du piment de *Capsicum* est composé de 58 % de péricarpe, de 34 % de graines et de 7 % pour le pédoncule et le calice ensemble (Govindarajan, 1985; Zarc, 2003). La figure 1 présente les parties qui composent un piment fort.

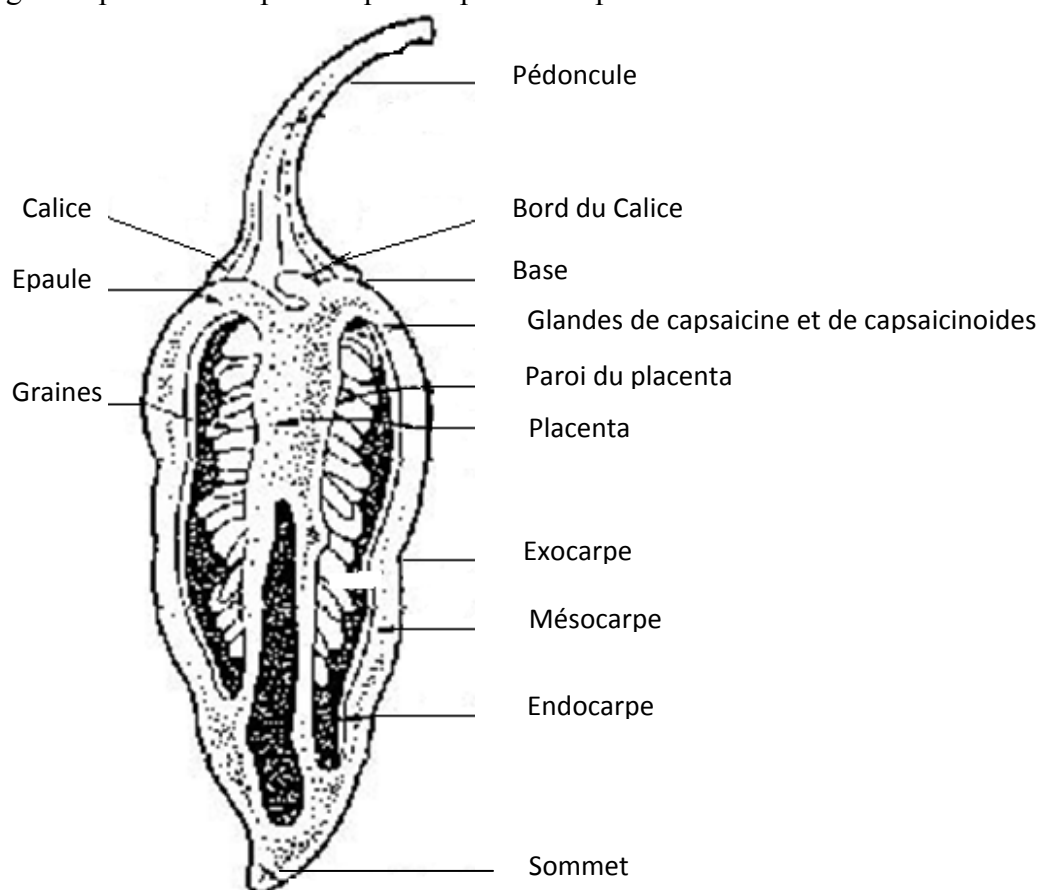


Figure 1: Coupe longitudinale d'un piment fort (Jolicoeur, 2001)

I.3. Origine

Les piments sont originaires d'Amérique Central et d'Amérique du Sud (Pickersgill, 1969). Ils sont introduits en Europe à travers l'Espagne au XVème siècle, grâce à Christophe

Colomb (Andrews, 1999). Le piment a été introduit en Europe à travers le Portugal et l'Espagne. A partir de ce continent, le piment s'est réparti dans le reste du monde (De Candolle, 1883). A la faveur des expéditions commerciales menées par les Portugais et les Espagnols entre le XVIème et XVIIème, il sera introduit en Afrique, via les comptoirs commerciaux du golfe de Guinée et de l'Angola jusqu'en Inde, Indonésie et en Chine (Somos, 1984 ; Palloix et al., 2004). Et pour boucler son tour du monde, il est réintroduit en Amérique, dans ses nouvelles variétés, avec les immigrants (et esclaves) du XVIIème siècle (Andrews, 1999) (**Fig. 2**).

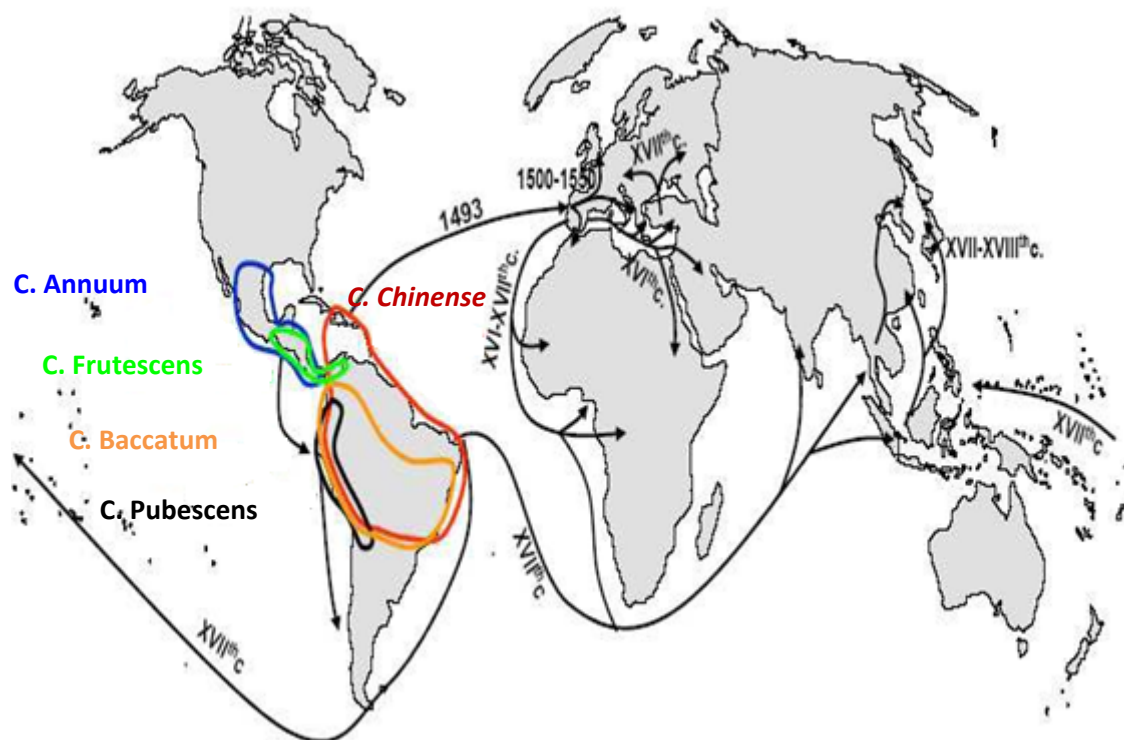


Figure 2: Principaux centres de diversification des cinq espèces domestiquées de Capsicum (source: Pickergill, 1984).

I.4. Production mondiale

La production mondiale de piment a été estimée à 30 millions de tonnes en 2007. Les principaux producteurs mondiaux de piments frais sont la Chine (14 millions tonnes, 54 % de la production mondiale), le Mexique (1,8 millions, 7%) et la Turquie, l'Espagne et l'Indonésie avec 4 % de la production mondiale (**Fig. 3**) (FAOSTAT, 2009). La performance de la Chine est réalisée grâce à l'étendue des surfaces cultivées dans ce pays. Selon les données de ce site de la FAO, le Cameroun a produit 9 500 tonnes de piment frais en 2007. En Afrique, le Nigeria et l'Égypte sont les premiers producteurs africains de piment frais

alors que l’Ethiopie est le premier producteur de piment sec avec 115 000 t (soit 25% de la production africaine de piment sec).

Avec 1,2 millions de tonne, l’Inde est le premier producteur mondial de piment séché suivi de la Chine (**Fig. 4**). Le Bangladesh, le Perou, le Ghana et l’Ethiopie contribuent à la production mondiale avec des pourcentages de 5 à 7 %.

I.5. Importance économique et commerciale du piment à l’échelle internationale

L’industrie alimentaire est le plus grand consommateur de *Capsicum*, où l’épice est utilisée pour ses caractéristiques de coloration, de saveur et sensorielles (Castro-Ramos, 1981; Nosti-Vega et al., 1982; Aczel, 1986; Bajaj et Kaur, 1986; Govindarajan et al., 1987). On utilise le fruit soit complet, soit en poudre ou comme oléorésine (extrait concentré). Selon les données de la FAO (2006), les exportations mondiales de piment (**Fig. 5**) ont atteint 368950 tonnes. L’Asie a été exportateur net avec 66 %, suivie de l’Amérique (15 %), de l’Europe (13 %) et de l’Afrique (6 %). La Chine a contribué pour un peu plus de 49 % des exportations de l’Asie et l’Inde pour 35 %.

Les importations mondiales ont atteint 384 653 tonnes, représentées par l’Asie avec 44 %, l’Amérique avec 30 %, l’Europe avec 22 % et l’Afrique avec 3 %. Les principaux pays importateurs sont les États Unis, la Malaisie, le Sri Lanka, l’Espagne et le Mexique qui totalisent 56,5 % du total (**Fig. 6**).

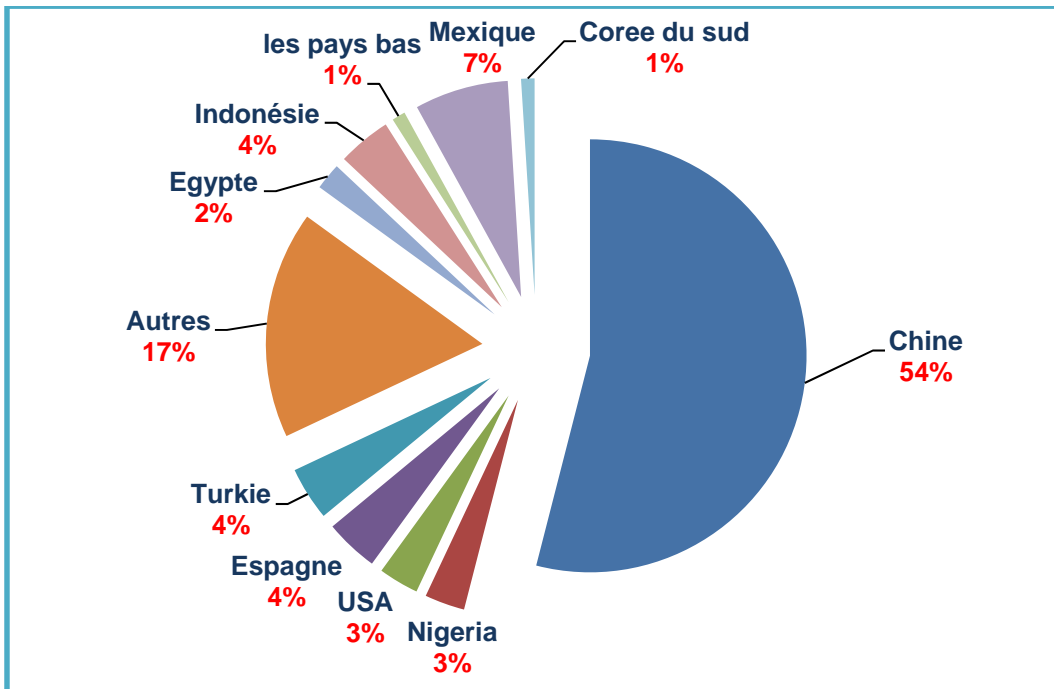


Figure 3: Principaux pays producteurs de piments à l'état frais pour 2007 (Source: FAOSTAT, 2009).

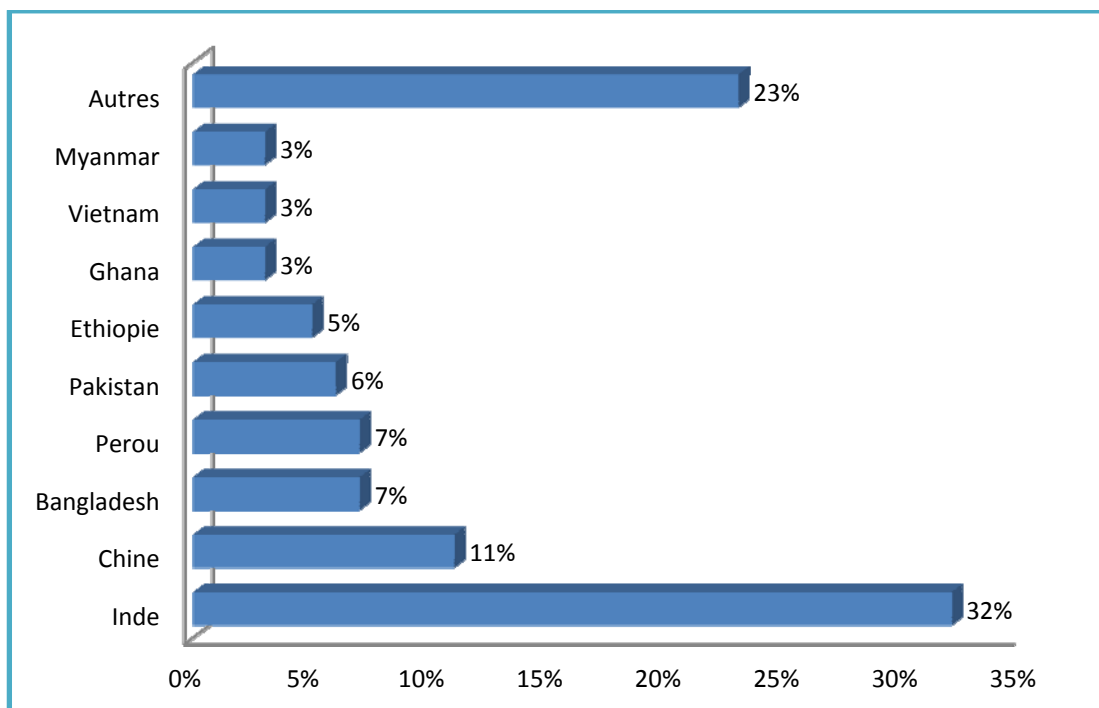


Figure 4: Principaux pays producteurs mondiaux de piments à l'état sec pour 2007 (Source: FAOSTAT, 2009).

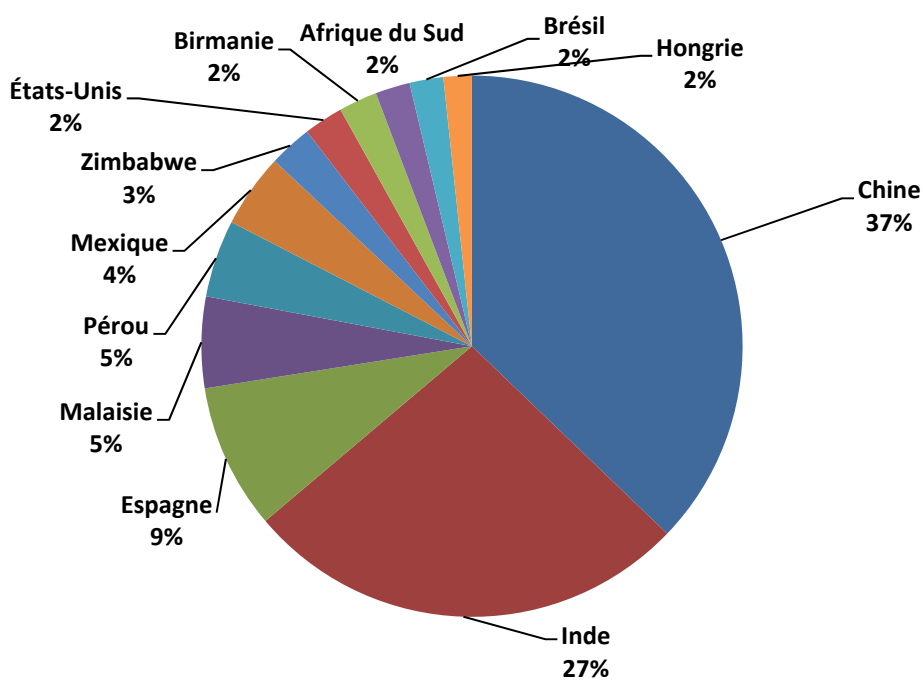


Figure 5: Principaux pays exportateurs du piment (tonnes) en 2003.
(FAOSTAT, 2006)

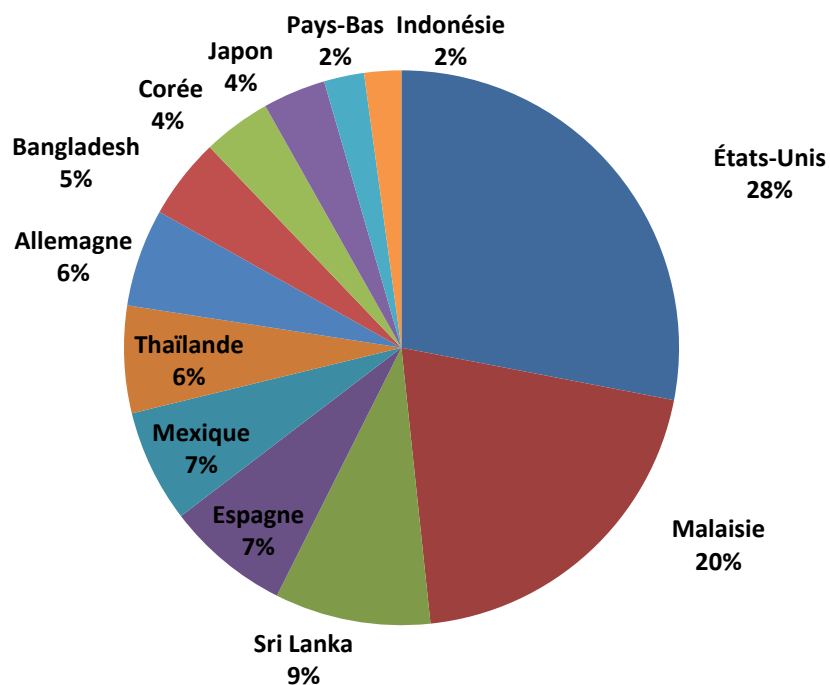


Fig. 6: Principaux pays importateurs du piment (tonnes) en 2003
(FAOSTAT, 2006)

I.6. Introduction de la niora au Maroc

Le Maroc est l'un des principaux pays africains producteurs du piment rouge nommé localement « Niora » (ASTA, 1995 in Shongwe et al. 2010 ; Hakmaoui et al., 2011). Son introduction au Maroc remonte vers les années 1925 dans la région de l'Est (Slassi Moutabir, 1987). Toutefois, sa culture dans la région de Tadla-Azilal n'a eu lieu que vers les années 1980. Les variétés qui ont été introduites à cette époque sont de type Bola et Lukus.

I.7. Production et importance du piment au Maroc

La culture de la Niora a connu un large succès depuis son introduction dans les années quatre vingt dans le cadre des efforts de diversification des cultures. La zone principale de production et de commercialisation de cette culture est située dans le périmètre irrigué du Tadla plus de 80% de la production nationale (DRA, 2012). Les autres zones de production sont El Kalâa des Sraghna, Gharb et dans certaines zones de l'Oriental (Enquête personnelle). Au Maroc, l'importance de cette plante est surtout due au fait que sa culture génère des revenus substantiels à des milliers de familles. Le piment arrive en 2^{ème} rang en terme de production (tonnes/ha) dans le secteur horticole industriel après la tomate et en première position dans le groupe des épices (DRA, 2012). Les superficies emblavées par la niora et les productions respectives dans la région Tadla-Azilal sont données par les **figures 7 et 8** (ORMVAT, 2010; DRA, 2012).

Selon les statistiques de l'ORMVAT (2010), l'évolution de la superficie consacrée à la culture de la Niora dans la région de Tadla a été ascendante, en atteignant le maximum historique en 1992 avec 6.788 ha et une production de l'ordre de 162.912 T. Cette superficie a progressivement diminué en raison des conditions de sécheresse qu'a connues le périmètre et qui ont obligé l'ORMVAT à opérer des restrictions hydriques et la faible rentabilité de la culture. Actuellement, la superficie moyenne est de 930 Ha/an durant les cinq années précédentes. En 2006-2007, la production moyenne a été de l'ordre de 18.233 T en matière fraîche, soit 86% de la production nationale (21000 T en matière fraîche).

Dans la région du Tadla, la production locale du piment est destinée surtout à la production de la poudre de paprika. Les productions des régions du Gharb et du Saïss sont utilisées surtout pour la production de l'oléorésine. Le Maroc est considéré parmi les premiers pays exportateurs de cette huile (Krishna De, 2003).

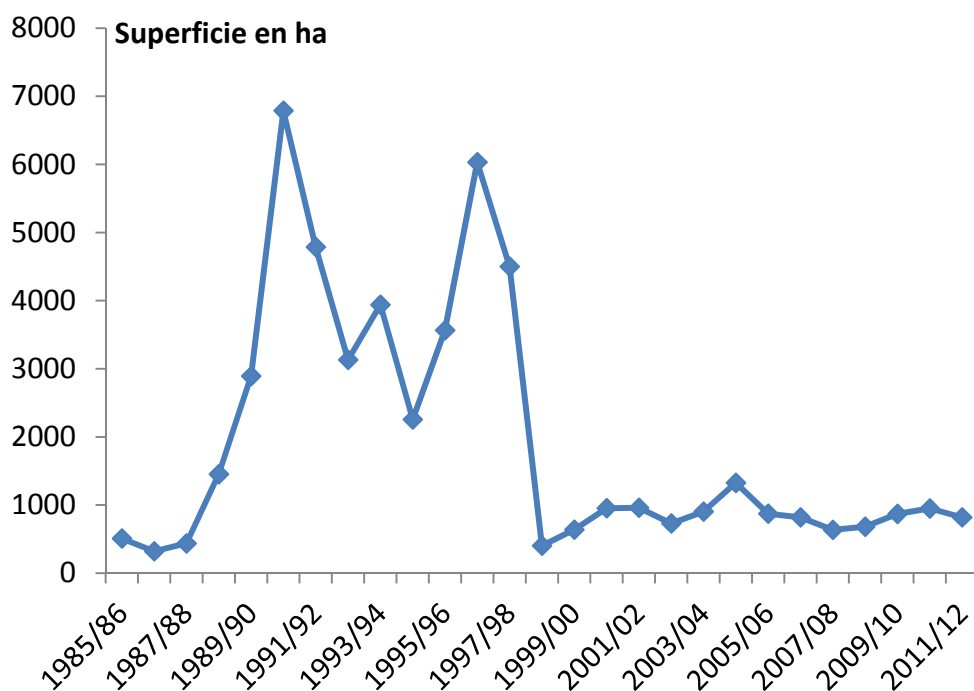


Figure 7: Evolution de la superficie (ha) de la culture de la niora au niveau de la Région du Tadla (ORMVAT, 2010; DRA, 2012)

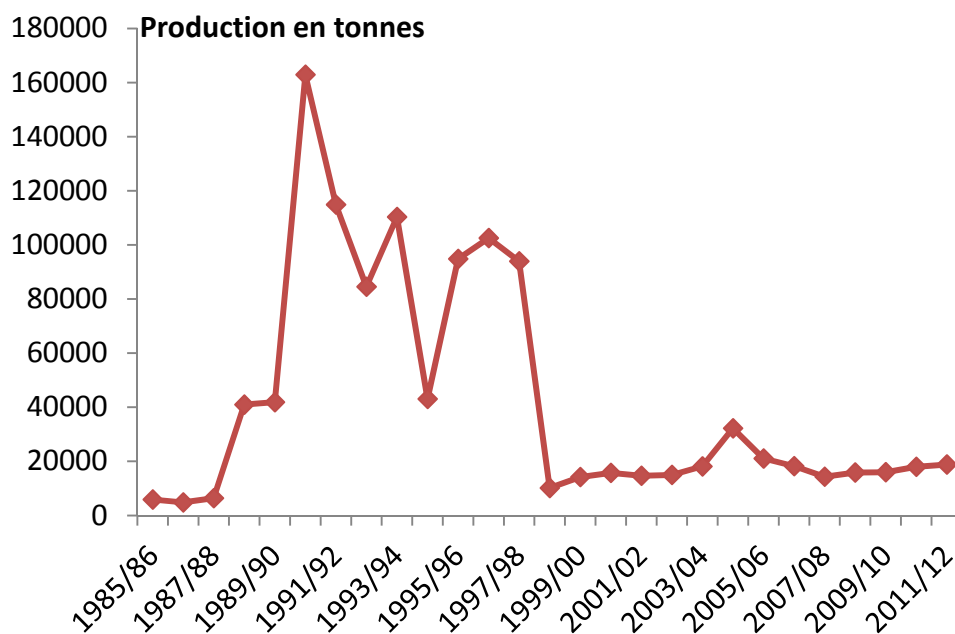


Figure 8: Evolution de la production (en tonnes de matière fraîche) de la culture de la niora au niveau de la Région du Tadla (ORMVAT, 2010; DRA, 2012)

I.8. Diversité du piment

A travers le monde, le genre *Capsicum* compte 25 espèces officiellement admises (Pickersgill, 1984; Baral et Bosland, 2002) dont 5 domestiquées (Pruthi, 1980). Les plus cultivées sont *Capsicum annuum* L., *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum pubescens* et *Capsicum baccatum* var *pendulum* (Eshbaugh, 1977). Le genre *Capsicum* comprend plus de 200 variétés (Pruthi, 1980). Les fruits varient énormément en taille, en forme (Fig 9), en saveur et en chaleur sensorielle.

- *C. annuum* est actuellement la plus diversifiée et cultivée parmi les cinq espèces. Sa culture s'étend sur les cinq continents. Elle est originaire du Mexique, du Guatemala et du sud des États-Unis. Cette espèce se caractérise par une corolle de couleur blanche, des anthères bleues ou violettes, un calice dentelé et la présence d'une seule fleur par nœud. Comme son nom l'indique, c'est une plante annuelle. On rencontre dans cette espèce en général des variétés à fruits doux mais aussi quelques variétés à fruits piquants.
- *C. chinense*, originaire de l'Amazonie, est génétiquement l'espèce la plus proche de *C. annuum*. Sa caractéristique la plus distinctive est la présence d'une constriction entre le calice et le pédoncule et l'insertion de plusieurs fleurs (fruits) par nœud. Il est plus vivace que *C. frutescens* et peut donner au bout de 3 à 4 ans des arbustes de 1,5 m de haut. Il est admis que *C. annuum* et *C. chinense* auraient divergé d'un ancêtre commun.
- *C. frutescens* serait originaire du Mexique. Sa particularité est de disposer de fleurs de couleur verdâtre érigées formant un angle aigu à la jonction calice pédoncule. C'est une espèce vivace à feuillage fin, à fleurs souvent en bouquets insérées par paires et dont la hauteur des plants dépend du climat (Williams et al., 1991).
- *C. baccatum* est caractéristique des Andes, zone dans laquelle on rencontre également sa forme sauvage (Pickersgill, 1971 citée par Chaine-Dogimont, 1993). Elle se distingue par des fleurs blanches et par la présence de spots jaunes sur la corolle et des étamines libres. Les plants de *C. baccatum* ont du fait de leur persistance, une tendance arbustive. De Witt et Bosland (1993) ont défini dans ce groupe deux formes sauvages (*baccatum* et *microcarpum*) ainsi qu'une forme domestiquée (*pendulum*).

- *C. pubescens* se différencie des autres espèces par des feuilles velues et des graines noires de forme irrégulières. Sa culture est confinée exclusivement dans les Andes et les Hauts plateaux d'Amérique centrale. Comme *C. Baccatum*, cette espèce est originaire du Pérou et/ou de la Bolivie (Pickersgill, 1969).



Figure 9: Variation de la forme du fruit des principales espèces cultivées de piment (*Capsicum* spp.) d'après la Collection des ressources génétiques de l'INRA d'avignon. (Djian Caporalino et al., 2006)

I.9. Caractéristiques morphologiques et physiologiques

La Niora est une plante annuelle herbacée (**Fig. 10**), qui peut atteindre une longueur de 70-120 cm, a un système racinaire pivotant et profond, fourni et renforcé d'un grand nombre de racines adventives. La tige est de croissance limitée et dressée. Lorsque la plante atteint un certain âge, les tiges sont légèrement lignifiées. Les feuilles sont lancéolées, avec un apex très pointu et un pétiole long. Les fleurs ont une corolle blanche, apparaissent solitaires à chaque

nœud et apparemment sont d'insertion axillaire. Le fruit est une capsule en maturité. Les graines sont arrondies et insérées dans un placenta central.

Durant le développement de la plante de Niora, on distingue quatre phases (**Fig. 10**):

- Reprise et développement de la plantule jusqu'à la première ramification qui se produit à une hauteur comprise entre 15-20 cm.
- Phase de croissance rapide des pousses et la formation des fleurs.
- Phase de croissance lente et développement des fruits.
- Phase de maturation des fruits.

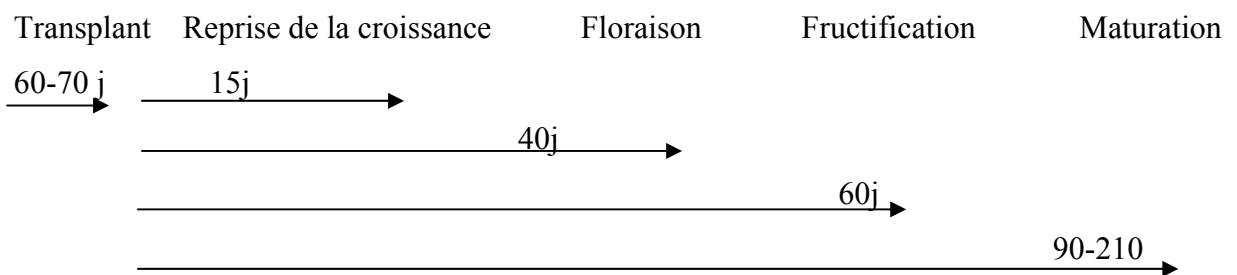


Fig. 10 : Les phases de développement de la plante de la Niora.

L'espèce *C. annuum* L. est autogame ou encore autogame facultatif (Pochard et al., 1992). Ses fleurs sont pentamériques et hermaphrodites (Bosland et Votava, 2000), et elles sont fréquemment visitées par les insectes d'où une allogamie résiduelle qui en résulte (OECD, 2006).

Après un développement végétatif monopodial sur 7 à 9 étages, le message floral est perçu au niveau du méristème terminal qui donne une à deux fleurs isolées. Les bourgeons subterminaux (bourgeons axillaires des dernières feuilles formées) donnent ensuite un axe qui ne porte qu'une seule feuille et se termine à son tour par une fleur unique.

Le nombre de jours requis pour la floraison dépend principalement de la variété et des conditions environnementales. Rajput et Parulekar (1998) estiment que pour la plupart des

variétés, la floraison commence au bout de 40 jours après le repiquage. Normalement, les plantes *C. annuum* peuvent produire des centaines de fleurs et le facteur exogène le plus important qui détermine la différenciation florale est la température nocturne (Polowick et Sawhney, 1985; Olareweju, 1988; Aloni et al., 1999). Il se produit également la diminution progressive de la nouaison au cours du cycle de la plante (Bosland et Votava, 2000). Il ya des facteurs externes et internes qui influent sur la nouaison. Parmi les facteurs externes, la diminution de la radiation solaire et la température élevée qui réduisent la nouaison. Parmi les facteurs internes, les auxines qui facilitent la nouaison et ralentissent la chute des fleurs (Bosland et Votava, 2000).

L'abscission des organes reproducteurs, encore appelée « coulure », est un phénomène majeur caractérisé par la chute des boutons floraux, des fleurs et des jeunes fruits chez *C. annuum* dont il constitue un facteur limitant de la production (Marcelis et al., 2004). Les principales causes de ce phénomène sont liées à des contraintes environnementales extrêmes (température, humidité, luminosité) mais aussi à la pression parasitaire (Wien et al., 1988).

Les fleurs ouvertes puis les boutons floraux sont les premiers organes reproducteurs perdus après un ombrage de plus de 90 %. Pour Chaux et Foury (1994), une profusion de fleurs par rapport à la surface assimilatrice représente un risque constitutif de coulure. Wien (1997) impute un rôle central à l'interaction entre différents régulateurs de croissance dans le mécanisme général de la chute des organes reproducteurs mais aussi végétatifs. Les feuilles ou boutons floraux fonctionnels et non sénescents produisent une auxine ainsi que d'autres promoteurs de croissance qui diffusent en dehors de l'organe, le long du pétiole ou du pédicelle et de cette façon empêchent toute abscission (Wien, 1997). En réalité, en conditions difficiles ou sous l'influence d'une maladie ou des dommages d'insectes, les feuilles ou boutons floraux infectés accroissent leur production d'éthylène, un gaz régulateur de croissance qui va réduire le taux d'auxine produite par l'organe considéré, diminuer le taux d'auxine transporté vers le pédicelle ou le pétiole et ainsi accélérer le phénomène d'abscission (Saltveit (1977). Autrement dit, selon Wien et al. (1988), c'est l'équilibre entre les niveaux d'éthylène et d'auxine et probablement d'autres promoteurs de croissance produits par l'organe en développement qui détermine le maintien ou l'abscission des boutons floraux et des feuilles.

La maturation des fruits provoque des changements quantitatifs dans leurs compositions associés à des changements qualitatifs dans la couleur, la saveur, la texture et l'odeur (Contreras-Padilla et Yahia, 1998). Lorsque le fruit atteint la taille et la forme finale, la plupart de la croissance cellulaire cesse. Le changement de la couleur des fruits est dû à

l'apparition des chromoplastes qui portent les pigments d'abord dans les cellules entourant les vaisseaux, puis dans les couches extérieures du péricarpe. Les pigments caroténoïdes s'accumulent associés aux protéines (Breithaupt et Schwack, 2000). Dans ces mêmes cellules, s'accumulent des substances aromatiques, des huiles essentielles et autres substances phytochimiques.

I.10. Formes d'utilisation

Les piments sont utilisés en tant que colorant, agent aromatisant, et / ou en tant que source de brûlure, ceci en fonction du produit traité. Les piments peuvent être consommés soit à l'état frais, séché, dans une sauce, fermenté ou sous forme d'extrait d'oléorésine (Poulos, 1993). Elles peuvent être utilisées soit entières, hachées, grossièrement moulues, ou finement broyé, avec ou sans graines. Plusieurs produits transformés dans l'industrie peuvent contenir les fruits de piments soit comme sauce chili, piment en poudre (également connu comme le poivre de Cayenne en poudre), flocons de piment rouge (avec ou sans graines), trois types d'oléorésine. D'autres produits transformés qui contiennent une proportion importante de poivrons comprennent salsas fraîches et transformées, des poudres de curry, assaisonnement barbecue, poudre de chili (un mélange de poudre de chili, l'origan, le cumin et la poudre d'ail), et de nombreux autres aliments (Govindarajan, 1986).

I.11. Produits dérivés

I.11.1. Oléorésine

L'oléorésine est une matière visqueuse liquide ou semi-solide obtenu par extraction à partir de la poudre finement broyée de piment. Il s'agit d'un sombre liquide rouge d'apparence huileuse avec l'odeur et la saveur caractéristique de paprika (Tepic et al., 2008). Les solvants généralement utilisés pour extraire l'oléorésine sont l'hexane, l'acétate d'éthyle ou le dichlorure d'éthylène. Son arôme et sa saveur restent relatif à sa source de production. Ainsi, trois types d'oléorésine sont produites (Govindarajan, 1986) :

- Oléorésine très piquante: elle est produite en Inde, en Afrique et en chine à partir de piment très piquant (Environ 18 à 20 kilos de piment de Cayenne produisent un kilogramme d'oléorésine (Jolicoeur, 2001).
- Oléorésine modérément piquante: elle est produite dans de nombreuses régions du monde (un kilo de ce produit remplace 10 kg de piments moins forts (Caballero et al., 2003).

-
- Oléorésine non piquante : produite en Espagne, Ethiopie, Maroc, Israël, Inde, Etats-Unis, Mexique et en Afrique du sud (Lillian, 2011 ; Krishna De, 2003). Un kilo de cette oléorésine remplace 10 à 20 kg de paprika (Caballero et al., 2003; Kannan et al., 2009).

Le rendement typique d'oléorésine dépend du solvant utilisé pour son extraction et varie de 11,5-16,5% (Govindarajan, 1986). L'importance de l'oléorésine de paprika est principalement due à sa puissance colorative. Comme il s'agit d'un produit naturel non toxique, il est utilisé principalement dans l'industrie alimentaire, cosmétique, pharmaceutique, ...etc. En 2002, les experts de la FAO/OMS des additifs alimentaires dans le 55^{ème} rapport ont accepté l'utilisation de l'oléorésine du paprika comme épice.

I.11.2. Poudre de Paprika

Le Paprika est la poudre rouge vif provenant des capsules séchées (fruits) de l'espèce *Capsicum annuum*, appelé aussi poivre doux ou poivre de hongrois. Le nom varie suivant le continent et les traditions locales (Derera et al., 2005). Le nom paprika est une variation du mot bulgare "piperka", dérivé du latin "piper" pour poivre. Bien que, du point de vue botanique, il n'ait rien en commun avec le poivre, qui est le fruit du *Piper Nigrum*, le nom a perduré en raison de la similitude piquante de son goût. Paprika est l'un des colorants alimentaires naturel le plus largement utilisé. Sa qualité est directement liée à des facteurs comme la variété des fruits utilisés dans sa préparation, les conditions de culture, le taux de maturité, la date de récolte ...etc., qui vont conditionner l'obtention d'un produit final avec une meilleure qualité. Un autre aspect de grande importance est l'ensemble des opérations qui doivent s'appliquer aux fruits jusqu'à l'obtention du paprika, principalement la post-maturation, le séchage, la mouture et le conditionnement. Les principaux producteurs sont l'Espagne, la Hongrie, la Bulgarie, le Mexique, l'Inde, l'Afrique du sud et les Etats-Unis (principalement en Californie).

Partie II. Production et Transformation du piment

II.1. Production du piment

La première étape de la production des piments est la préparation appropriée des terres de culture qui est suivie, selon le mode de production choisi, d'un repiquage des plants. La production des plants a lieu entre fin février et début avril (Hakmaoui et al., 2011). Les plants sont repiqués en pleine terre à la main au début avril. Chaque producteur sélectionne les graines issues des plus beaux fruits de sa récolte. Ce mode de production basé sur la sélection fermière est pratiqué dans toute la région et distingue cette filière. Idéalement pour le périmètre irrigué du Tadla, les graines de piment sont mises en germination en février. La température optimale de germination se situe entre 20 et 25°C. Il faudra attendre une quinzaine de jours pour que le piment atteigne le stade 2 cotylédons. La période de production de plants en pépinière dure environ 60 à 70 jours. La culture comporte des opérations, manuelles, mécaniques et ou chimiques nécessaires au développement optimal des plantes: irrigation, fertilisation, binage, traitements phytosanitaires etc....

II.1.1. Nutrition minérale

L'utilisation des éléments nutritifs à savoir l'Azote, le Phosphore et le Potassium par différents organes de la plante au cours de son cycle productif est donnée dans le **tableau 2**. La connaissance de ces données est une exigence essentielle pour l'établissement des programmes de fertilisation, en particulier lorsque le critère de la fertilisation se fait par la restitution dans le but de reconstituer le sol en éléments épuisés par la culture.

Tableau 2. Extraction des éléments NPK par la plante durant son cycle de développement (Escalona et Pire, 2008).

	Feuilles (g/plante)	Tiges (g/plante)	Racines (g/plante)	Fruits (g/plante)	Plante entière (g)	Extraction * (kg/ha)
N	0.71	0.29	0.10	0.65	1.76	88-150
P	0.041	0.024	0.006	0.068	0.139	7-11
K	0.65	0.36	0.09	0.63	1.73	87-138

* La valeur d'extraction est calculée pour une densité de 50 000 à 80 000 pieds par hectare.

- **L'azote**

C'est un élément de croissance dont l'excès doit être évité notamment en phase de floraison et de fructification. Toutefois, la carence apparaît à moins de 4% (Thomas et Heilman, 1964). La carence est à l'origine de branches courtes, rabougries et peu nombreuses avec des petites feuilles déformées (Mitra et al., 1990). La couleur de ces dernières évolue progressivement du vert clair à un vert plus ou moins jaunâtre et elles se détachent prématurément. De plus, les fruits sont petits, maigres et chlorosés.

- **Le phosphore**

C'est un élément de stabilisation de la plante (croissance racinaire) et de fructification. Il doit être optimisé en phase de développement (floraison - fructification).

En cas de carence de cet élément, les feuilles deviennent petites, resserrées et incurvées de l'intérieur (Mitra et al., 1990). Les vieilles feuilles jaunissent avec des bords roses. Les fruits sont menus et déformés. Une nutrition correcte en cet élément influence par conséquent positivement la résistance de la plante à certaines maladies.

- **Le potassium**

La carence en potassium peut se produire dans les sols sablonneux et acides dans lesquels se traduit par la mort prématurée des feuilles ainsi que les défauts de pigmentation dans les fruits et une plus grande sensibilité de la plante au stress hydrique. Une carence en K, se traduit également par une réduction de la photosynthèse et une augmentation de la transpiration des plantes. Il réduit l'accumulation d'hydrates de carbone avec des conséquences négatives sur la croissance et la production des plantes. L'excès en potassium réduit l'absorption du calcium et du magnésium, en gardant les fruits plus sensibles à la nécrose apicale.

- **Le magnésium**

Comme le magnésium est un élément constitutif fondamental de la chlorophylle, les symptômes de sa carence commencent sur les feuilles adultes sous forme des taches chlorotiques et nécrotiques quand le déficit est plus sévère. Les fruits sont plus petits et moins nombreux et peuvent être confondus à un stade précoce avec des virus. L'excès en magnésium augmente la susceptibilité et la gravité de la tache bactérienne *Xanthomonas vesicatoria*.

- **Le calcium**

Le calcium est absorbé par les racines et transporté vers les parties aériennes de la plante, soit les pousses, les fleurs et les fruits en formation. Des fluctuations de la teneur en eau du sol dues à une sur-irrigation ou à une sécheresse, une fertilisation azotée forte, et une dégradation des racines par des pratiques culturales et le déséquilibre entre la mise à fruits et la charge fructifère par rapport à la croissance végétative, sont des facteurs pouvant provoquer une carence en calcium dans le fruit en développement. Ce qui cause ultérieurement la pourriture apicale (Marcelis et Ho, 1999). Sur les plants ainsi touchés, l'extrémité apicale est jaune blanchâtre, molle et déprimée. Elle peut ultérieurement virer au brun ou au noir. Parfois, la décoloration ne se manifeste qu'à l'intérieur du fruit. On peut prévenir ce désordre en atténuant le stress hydrique et en assurant un apport convenable en calcium aux jeunes plantes.

L'excès en calcium dans les sols à pH élevé à partir de 6,8 peut entraîner l'immobilisation du phosphore et du fer. La faible disponibilité du fer produit une carence nutritionnelle appelée chlorose ferrique qui se caractérise par une légère chlorose sur les jeunes feuilles. Cette chlorose dans les cas graves devient blanche. Si la carence en fer est sévère, la plante arrête le développement, avec la chute partielle des fleurs et fruits. Ceux qui restent sur la plante sont de petite taille et de mal coloration.

- **Le bore**

La carence en bore se produit lorsque la teneur disponible déterminée par l'extraction du bore à l'eau chaude est d'environ 0,5 ppm dans un sol à texture moyenne et de 0,3 ppm dans un sol sablonneux à texture légère. Dans les sols lourds, cette carence peut avoir lieu à des teneurs de 0,8 ppm et dans les sols calcaires à des teneurs plus de 1,0 ppm. La carence est fréquente dans les sols légèrement acides.

Les symptômes typiques de la carence en bore comprennent la mort des pousses, des tiges et le développement des bourgeons axillaires. Les feuilles sont ondulées et deviennent chlorotiques, épaisses et cassantes. Les tiges sont courtes, la fructification défectueuse et les fruits ont des taches liégeuses et un mûrissement inégal. Le bore en excès cause une chlorose marginale avec nécrose des pointes des feuilles.

II.1.2. Caractéristiques agronomiques

Les meilleurs sols pour la culture de la Niora sont les sols profonds, de texture légère, bien drainés avec bonne proportion de matière organique (Bosland et al., 1994; Matta et Cotter, 1994). Le pH doit être compris entre 5,5 et 7 (Berke et al., 2003 ; Zapata et al., 1992) et la teneur en sel dans le sol ne doit pas dépasser 1920 ppm (Carter, 1994).

Parmi les facteurs environnementaux qui exercent une forte influence sur la croissance, le développement et la production de la Niora est la température.

La Niora ainsi que d'autres variétés de *Capsicum annuum* nécessitent des températures relativement élevée pour le développement. La germination des graines est optimale à des températures entre 20-25° C. En dessous de 10°C et au-dessus de 35°C, le taux de germination est nul ou très faible (Lorenz et Maynard, 1980). La vitesse d'élongation de la tige est fortement influencée par la température et le thermopériodisme. Les basses températures ralentissent la croissance et celles hautes produisent des tiges minces. La température journalière optimale se situe à 25 ° C (Matta et Cotter, 1994).

Pour une croissance végétative soutenue avec une production accrue des fleurs et de fructification, la température optimale diurne est de 21 à 24 ° C (Bakker et Van Uffelen, 1988 ; Berke et al., 2003). La différence optimale de la température jour-nuit varie entre 5-8 °C, tandis que son ampleur augmente avec l'état ou le développement de la plante (Bosland et al., 1994). A des températures de 15-25 ° C, la croissance de la plante est maintenue. Le zéro de végétation se situe à environ 10°C et la diminution de la croissance est sensible dès 15°C. Les jeunes feuilles jaunissent et dessèchent. Les fleurs sont très sensibles à la coulure causée par les vents chauds et peu humides. Les *Capsicum* sont des plantes qui requièrent une bonne luminosité. Les exigences photopériodiques varient de 12 à 15 heures (Berke et al., 2003).

La différenciation des fleurs est précoce dans les jours de 12 h. Le nombre et le pourcentage des fruits atteints sont plus élevés pendant des jours courts que ce soit à des températures moyenne entre 15-20°C ou à des températures élevées (21-27°C). La production des fruits et des graines est plus élevée dans les jours de 12 heures que dans les jours longs. Le tableau 3 récapitule les températures optimales pour chaque stade de développement de la niora.

Tableau 3 : Les températures critiques à différents stades de développement de la Niora (Bosland et al., 1994 ; Berke et al., 2003)

Phases de la culture	Température (° C)		
	Optimale	Minimale	Maximale
Germination	20-25	13	40
La croissance végétative	20-25 (jours) 16-18 (nuit)	15	32
La floraison et la fructification	26-28 (jours) 18-20 (nuit)	18	35

La culture est lancée généralement dans la saison sèche pour que le calendrier de la plantation ne coïncide pas avec les fortes précipitations qui affectent les cultures.

Une combinaison de l'humidité relative faible avec des températures élevées provoque une transpiration excessive et un déficit en eau produisant la formation des petits fruits.

II.1.3. Récolte

Lorsqu'il atteint sa taille finale, le piment se colore en rouge. La période de récolte des piments à maturité débute alors. Elle se fait à la main de manière échelonnée de fin août jusqu'au 30 Décembre. Elle s'effectue en plusieurs fois au fur et à mesure que les fruits viennent à maturité après avoir atteint son intensité maximale de coloration. Ce qui indique une forte teneur en pigments naturels et une faible teneur en eau. La déshydratation partielle des fruits sur les plantes est recommandée car la stabilité des couleurs dans le paprika est meilleure lorsque la récolte est tardive (Anonyme, 2011). Au fur et à mesure que la maturité augmente, la teneur en matière sèche augmente parallèlement ainsi que l'intensité de la coloration.

II.2. Transformation de piments en poudre de paprika

II.2.1. Post maturation

Les gousses récoltées sont entreposées dans un endroit bien aéré en amas pour subir une postmaturation pendant une période de 3 jours. La post-maturation des fruits contribue au développement d'autres propriétés intrinsèques déterminantes pour la qualité du paprika. Pendant la post-maturation, à côté de la dessiccation des fruits (perte d'eau) s'opère une réduction de la teneur en sucres, mais toujours de telle sorte que les résidus garantissent la saveur caractéristique des fruits. Parallèlement, outre l'augmentation du taux de pigments rouges, la teneur totale en pigments augmente de 30 à 50 % (Klieber, 2000). La teneur en

pigments de la poudre de paprika produite à partir de fruits ayant subi une post maturation est plus élevée et plus stable qu'en cas de séchage immédiat des fruits frais. Cette opération a une influence déterminante sur la qualité du produit final

II.2.2. Séchage

Les épices ont toujours été commercialisées sous forme de produits séchés pour des raisons de conservation et de transport. Les principales spécifications de qualité sont aussi basées principalement sur les épices séchées (Muggeridge et al., 2000). A cet effet, diverses méthodes de séchage (au soleil, et par les séchoirs,..) sont utilisées à cette fin. Toutefois, le séchage naturel à l'air libre est la méthode de conservation traditionnelle et ancienne pratiquée surtout dans les pays pauvres en ressources énergétiques conventionnelles, en particulier les pays de la région Méditerranéenne. Cette technique de séchage est la plus utilisée dans tout le monde (Shirvastava et al., 1990).

Au Tadla, le séchage du paprika se fait selon la méthode traditionnelle de séchage à l'air libre en raison de son faible coût. Dans un premier temps, les fruits sont entassés en plusieurs amas pour subir une postmaturation pour une durée de 4 jours (Klieber, 2000). Ensuite, les fruits sont dispersés sur le sol, exposés au soleil, régulièrement retournés pour assurer un séchage uniforme et pour réduire la décoloration et la moisissure. La présence d'un épicarpe épais de cire dans les fruits de niora empêche leur séchage rapide. Ainsi, les fruits déjà exposés au soleil sont concassés par un concasseur afin d'augmenter leurs surfaces de contact avec le soleil. Les fruits ainsi concassés sont étalés sur des films en plastiques et laissés durant quelques jours pour atteindre un taux d'humidité de 11% (Wall et Bosland, 1993). A la fin du séchage, la teneur en eau des gousses de paprika est passée d'environ 80 à moins de 10 %. La coquille obtenue par séchage du soleil a une humidité moyenne finale de 18%. Cette dernière est douce au toucher et légèrement élastique (Anonyme, 2000). Le processus de séchage aboutit à un produit déshydraté sur la base de la composition séchée qui est d'environ 8%, 33% et 58,5% respectivement pour le pédoncule, les semences et l'épicarpe (Salmeron et Ro-mojaro, 1975). L'opération de séchage peut prendre jusqu'à 15 jours selon les heures d'ensoleillement et les conditions météorologiques. Le rendement en sec varie de 2 à 5 tonnes/ha.

Environ 25-35 kg de poudre de paprika peuvent être produits à partir de 100 kg de fruits frais (Minguez-Mosquera et al., 2000). Le système de séchage industriel influe sur les paramètres physico-chimiques et la concentration relative des caroténoïdes du paprika et ses dérivés (Pérez-Gálvez et al., 2004b). Selon les résultats de Simal et al. (2005), le séchage dans la gamme de 50 à 75 ° C serait les conditions optimales pour obtenir un produit final avec les meilleures caractéristiques de coloration (une valeur d'ASTA plus élevée et de meilleures valeurs de coloration de surface et aussi une capacité antioxydante élevée). Le paprika obtenu par le séchage au soleil a des caractéristiques lumineuses rouges contre les autres obtenus dans des séchoirs à air chaud (Lomas et al., 1995; Minguez-Mosquera et al., 1996; Zapata et al., 1992). Les différentes étapes de séchage de la niora dans la région du Tadla sont illustrées dans la figure 11. Toutefois, le produit sec obtenu par séchage au soleil est infecté par des insectes, des poussières et soumis aux intempéries pendant le séchage.

Ainsi, d'autres alternatives de séchage sont utilisées dans d'autres pays comme le séchage au soleil sous des serres en plastique, le séchage à la fumée avec un arôme et un goût très apprécié par le consommateur et le séchage par des séchoirs (Zapata et al., 1992; Lomas et al., 1995; Minguez-Mosquera et al., 1996). Cette dernière technique consiste à utiliser des séchoirs solaires indirects qui permettent de contrôler les conditions de l'air asséchant et assurent une meilleure qualité du produit séché en peu de temps, à moindre coût et à basse consommation d'énergie (Tiris et al., 1995). Les températures de séchage doivent rester inférieures à 60 ° C et l'opération se poursuit jusqu'à ce qu'une teneur en eau soit inférieure à 10% tout en conservant la couleur et la composition en capsaïcinoïdes (Simal et al., 2005).

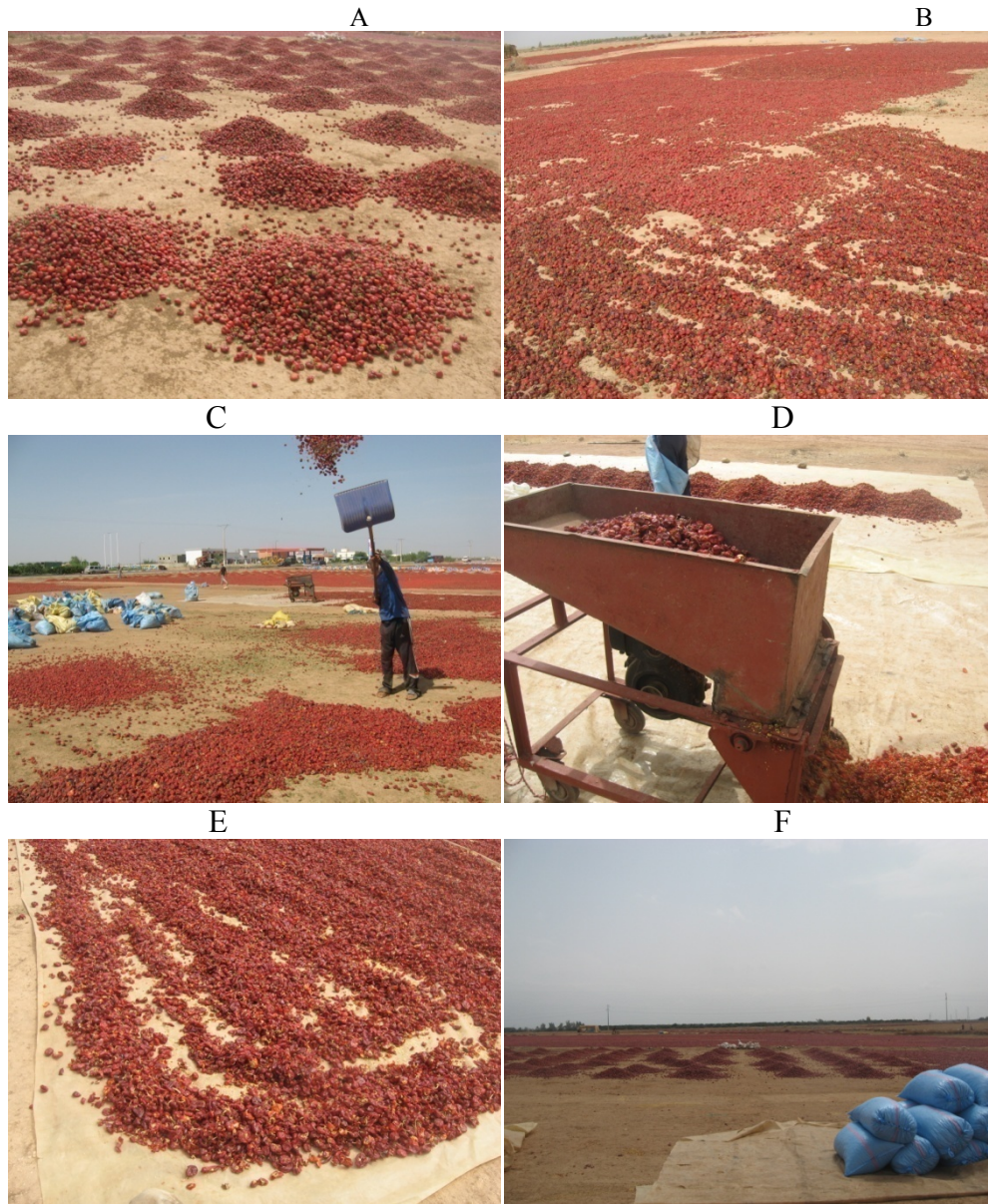


Fig. 11 : Les différentes étapes du séchage de la niora dans la région du Tadla.
(Hakmaoui et al., 2011)

Pendant la transformation, la détérioration de la coloration de la poudre de paprika est un sérieux problème. Cette détérioration dépend de nombreux facteurs tels que la teneur en humidité, la variété, le stade de maturité et la qualité des fruits secs avant la transformation (Biacs et al., 1992). Une fois les gousses déshydratées et moulues, la stabilité des pigments diminue (Biacs et al., 1992). Cette instabilité peut être liée à la structure du pigment, tel que le degré d'estérification avec les acides gras ou le type d'acides gras estérifiés qui sont présents (Minguez-Mosquera et al., 1993).

II.2.3. Broyage (mouture)

Au Tadla, les fruits entiers de niora séchés sont broyés dans des unités de transformation pour avoir des particules de moins de 0,5 mm (Hakmaoui et al., 2011). Parfois, sur demande du client le pédoncule est enlevé et le reste du fruit est broyé. Dans les autres pays producteurs de l'épice paprika, on assiste à l'enlèvement du pédoncule dès le début et l'addition des graines est contrôlée puisque leur pourcentage dans les fruits est variable de 10 à 40% du poids du fruit. Leur présence à fort pourcentage dilue la coloration de l'épice (Pérez Galvez et al., 1999b). Dans le processus d'obtention de la poudre de piment, le goût du produit final varie selon que le calice et le pédoncule ont été enlevés ou non (Casali et Stringheta, 1984).

Les unités de transformations sont équipées par des broyeurs à marteaux. La première étape (Fig. 12A) consiste à aspirer les gousses séchées et de les séparer de toutes parties étrangères (pierres, métal...). Ensuite, elles sont passées dans la chambre de broyage (Fig. 12B et 12C).

L'importance de la mouture dans des broyeurs à marteaux réside dans le fait que lors du passage entre ces derniers, le paprika s'échauffe et que cet échauffement couplé au broyage provoque l'extraction de l'huile contenue dans les graines et la dissolution des pigments liposolubles de la pulpe qui vont enrober les particules végétales de paprika et leur donner ainsi une couleur uniforme. Après la mouture, le paprika en poudre est étalé pendant une nuit dans une chambre fraîche où il pourrait absorber la quantité d'eau appropriée de l'air. La technique actuelle utilisée pour le conditionnement du paprika est basée sur cette méthode de traitement traditionnelle employée par les paysans. A la fin de la mouture, le produit doit passer à travers un tamis d'une ouverture $\leq 0,5$ mm et être emballé suivant des méthodes et dans des matériaux répondant aux exigences en matière d'hygiène alimentaire.

L'élimination complète des graines diminuerait la capacité antioxydante du paprika en éliminant les tocophérols composant les semences et ne laisse que ceux existant dans la coquille (Biacs et al., 1992; Daood et al., 1996) et de l'acide ascorbique, ainsi que l'acide citrique, la lécithine et la céphaline. Ces derniers composés exercent des effets synergiques de pouvoir séquestrant des métaux avec d'autres antioxydants (Szanto-Nemeth, 1980). Ils maintiennent également la stabilité de la coloration (Klieber et Bagnato, 1999; Pérez-Gálvez et al., 1999b). L'ajout de semences à la chair de poivron rouge avant le broyage et le stockage

sous atmosphère d'azote, ralentit également le taux d'oxydation des caroténoïdes dans le paprika (Klieber et Bagnato, 1999).

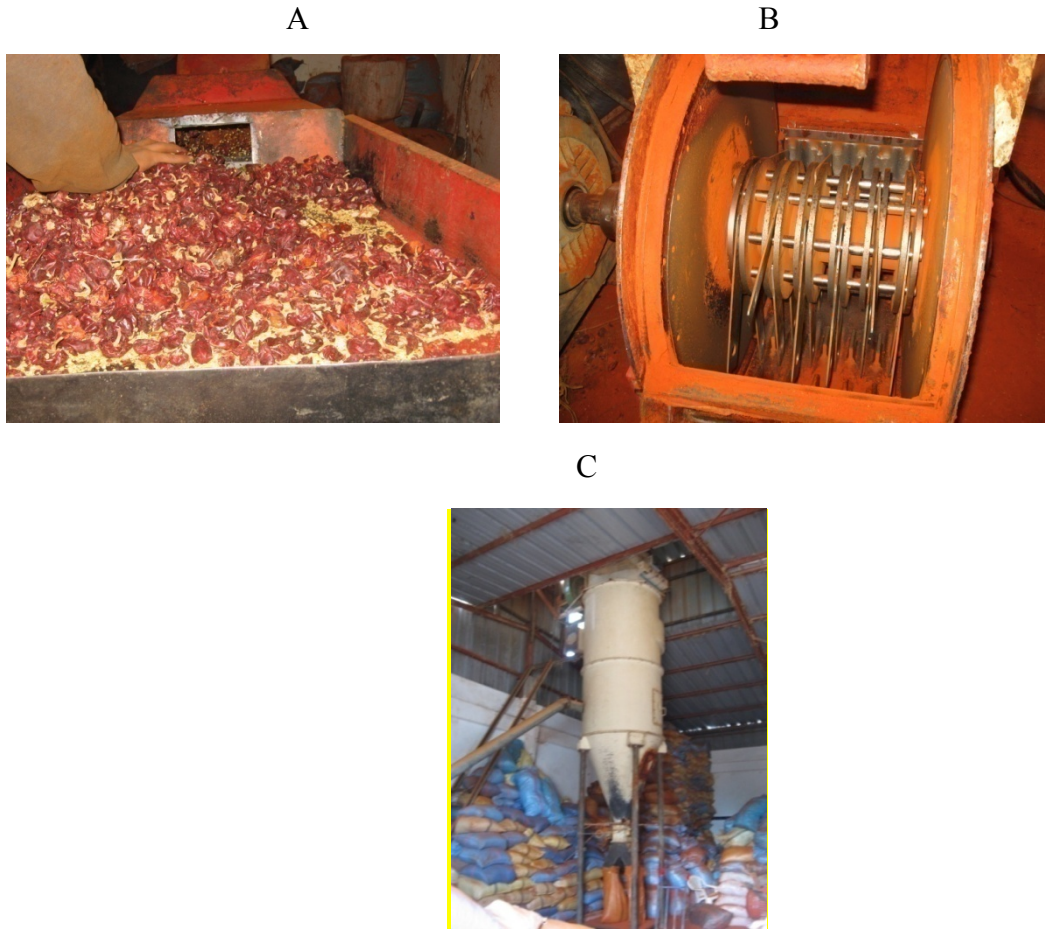


Figure 12: Etapes de mouture des fruits déshydratés de la niora au niveau de la plaine du Tadla. (Photos personnelles)

II.2.4. Huilage, Malaxage

Après l'opération de mouture, la poudre de paprika est additionnée généralement d'huile de table. On aboutit ainsi à une agglomération des particules fines de paprika. En effet, cette opération réduit l'oxydation de l'épice et ce en diminuant la surface exposée à l'air. L'huile joue donc un rôle conservateur du paprika et lui confère également la brillance. Des études ont montré que des quantités d'huile de 2 à 6% sont suffisantes pour garantir une meilleure stabilisation des couleurs de paprika. Cependant, dans la région de Tadla, la quantité d'huile ajoutée par les transformateurs varie entre 18% et 37%, selon la période de transformation d'après nos investigations sur le terrain. Une fois l'huile ajoutée, le produit doit passer dans un malaxeur pour qu'il soit bien mélangé et par la suite tamiser à travers un

tamis d'une ouverture $\leq 0,5$ mm pour ensuite être emballer dans des sacs normalement de 5 ou 25Kg et ainsi être prêt à la délivrance aux commerçants.

Les graines des fruits contiennent une grande quantité en huile qui varie entre 8.5g/100g à 32.6g/100g (Matthäus et Özcan, 2009). Cette huile permet la dissolution des pigments liposolubles lors du broyage ce qui donne ainsi une couleur uniforme et stabilise les caroténoïdes dans la poudre du paprika (Pérez-Gálvez et al., 2000).

Le produit final obtenu peut présenter des couleurs différentes (**Fig. 13**) du jaune au rouge suivant les exigences du client.

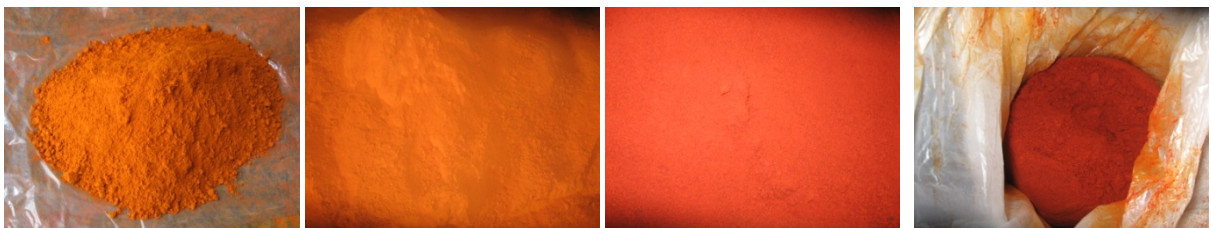


Figure 13 : Différentes poudres de paprika produites dans la région du Tadla

II.2.5. Stockage:

La qualité des produits à base de Capsicum dépend de sa couleur, de sa flaveur et de son « caractère brûlant ». Ces derniers sont influencés par les conditions de stockage et de conservation des fruits. Le principal facteur qui influence la rétention de la couleur pendant le stockage est la température, suivie de la teneur en humidité. L'effet de l'air, de la lumière et du type de conteneur est minime. Les conditions de stockage optimales pour la rétention de la couleur du piment en poudre sont des températures de 13 à 16 ° C, absence de lumière et 10-11% d'humidité (Malchev et al., 1982, Klieber, 2000). Le stockage du paprika sous forme d'une poudre grossière avec des graines, à une activité d'eau de 0,3-0,5 dans une atmosphère d'azote est recommandée. Des activités d'eau supérieures à 0,70 ne sont pas recommandées en raison des problèmes de contaminations microbiologiques (Kim et al., 1984).

La stabilité de la coloration au cours du stockage dépend aussi des conditions de séchage où les taux de dégradation augmentent avec les températures de séchage élevées (Ramesh et al., 2001).

Pendant le stockage du paprika, outre la coloration et la qualité hygiénique, d'autres constituants métaboliques sont affectés. La teneur en acide ascorbique et en tocophérol diminue de 90% pendant 5 et 2 mois respectivement de stockage (Biacs et al., 1992).

Partie III : La poudre de paprika

III.1. Utilisation du paprika

Dans la transformation des aliments, le paprika peut être utilisé en tant que colorant alimentaire, source de brûlure à l'alimentation, source d'arôme, source de soulagement de la douleur pour l'usage pharmaceutique et comme répulsif. Dans de nombreux cas, deux ou plusieurs de ces propriétés sont incluses dans un même produit, par exemple, le paprika peut être une source de couleur, piquant, et de saveur à la fois (Berke et Shieh, 2001).

Il est utilisé pour la préparation des conserves (légumes cuits, entiers ou en lanières) et à la transformation en condiments. Les piments séchés et moulus donnent le paprika à base de piment doux. Ils entrent dans la composition du curry, du tabasco, de la harissa, du pili-pili africain

Le paprika est utilisé comme une épice pour sa capacité à changer la couleur des aliments et améliorer leurs apparences et aussi pour ses caractéristiques organoleptiques particulières (Downham et Collins, 2000). Face à des politiques de protection de l'environnement et les tendances dans l'utilisation des colorants naturels à la place des colorants synthétiques, la consommation du paprika ne cesse d'augmenter. Actuellement, les extraits de paprika sont largement utilisés comme aromatisants naturels et colorants dans divers produits, y compris les produits laitiers (fromage, beurre, etc.), dans l'industrie de l'alimentation (aviculture, pisciculture, l'élevage du bétail, etc.), l'industrie des conserves (les plantes, les hydro-biologiques et de la viande), l'industrie de panification (gâteaux, biscuits, etc.) et dans d'autres produits comme les soupes, les boissons gazeuses et les produits cosmétiques (rouges à lèvres, poudres pour le visage, etc.).

En plus, le paprika jouit d'une valeur nutritive élevée. Il constitue une source très riche en composés bioactifs comme la vitamine C, B et E, les polyphénols, les chlorophylles, les caroténoïdes et les sucres (Topuz et Ozdemir, 2007; Jadcak et Grzeszczuk, 2009).

Enfin, le paprika et l'oléorésine de paprika sont utilisés actuellement dans un large assortiment d'aliments, de médicaments et de cosmétiques, aussi pour l'amélioration de la couleur des plumes de flamants roses dans les zoos.

III.2. Composition chimique et nutritionnelle

Le paprika contient de nombreux produits chimiques, y compris l'eau, les lipides, les huiles volatiles, les hydrates de carbone, les caroténoïdes, les capsaïcinoïdes, la résine, les protéines, les fibres et les éléments minéraux (Rubio et al., 2002). La valeur nutritionnelle, le goût, la couleur et l'arôme des paprikas dérivent de nombreux produits chimiques cités

précédemment. Les deux groupes de produits chimiques spécifiques des piments sont les caroténoïdes (la capsantine et la capsorbine) et les capsaïcinoïdes (Bosland et Votava, 2000)

Les *Capsicum* sont une source de minéraux (Govindarajan, 1985). Le potassium est le minéral le plus abondant mais des teneurs élevées en magnésium, en phosphore et en fer ont été aussi notées. Autres micro-éléments ont été trouvés en traces dans le piment à savoir le cadmium, le calcium, le cobalt, le cuivre, le sodium et le zinc (Zachariah et Gobinath, 2008).

Le fructose et le glucose totalisent environ 70 % des sucres réducteurs, mais on trouve aussi du galactose et du saccharose. Les sucres libres sont plus abondants dans les graines que dans le péricarpe et le placenta. L'acide citrique est le plus important, suivi des acides succinique, fumarique, malique et quinique (Govindarajan, 1985).

La composition de paprika en acide gras est un paramètre de qualité très important puisque qu'il joue un rôle important dans la dissolution des composés responsables de la coloration de l'épicerpe et donne une couleur rouge homogène aux produits séchés (Pérez-Gálvez et al., 2000). Les acides gras sont accumulés à la fois dans le péricarpe et dans les graines (Marion et Dempsey, 1964; Nosti Vega et al., 1982) et présentent des compositions quantitatives différentes (Perez-Galvez et al., 1999a). Dans la littérature, les teneurs en lipides totaux dans les poudres de paprika varient de 7,5 à 22% (Winton et Winton, 1939; Govindarajan, 1985; Labuza et al., 1970; Camara et Delamou, 2003). Les huiles de piment sont constituées principalement de triglycérides (environ 60%) dont l'acide linoléique est le dominant avec d'autres acides gras insaturés (Govindarajan, 1985). Chang Cai-ping et al. (2010) ont indiqué l'existence de 34 sortes d'acides gras dans l'épice paprika. Les graines des fruits contiennent une grande quantité en huile qui varie entre 8.5g/100g à 32.6g/100g (Matthäus et Özcan, 2009). La composition qualitative et quantitative de la poudre de paprika en matière grasse dépend de la quantité des graines de fruits ajoutées lors de la transformation des piments (Anu et Peter, 2000).

L'asparagine, la glutamine, l'acide glutamique et le tryptophane compte pour 95% des acides aminés libres identifiés dans le piment. La lysine, l'arginine, la proline, la tyrosine, le tryptophane, la méthionine, la valine, la phénylalanine, la leucine, la glycine, la thréonine, l'acide aspartique et l'alanine se trouvent en petite quantité dans le paprika (Zachariah et Gobinath, 2008). Des études hongroises ont montré que le péricarpe de paprika contient entre

16 et 17% de protéines et les graines en contiennent 18% (Zachariah et Gobinath, 2008). La teneur en fibre varie en fonction de leur provenance et reflète la quantité de pédicelle incluse dans l'échantillon (Govindarajan, 1985).

En plus de sa couleur, le paprika est également apprécié, pour sa saveur dans de nombreux produits. Le principe aromatisant est associé à des composés aromatiques volatiles et aussi à la coloration. En tant que règle générale, lorsque la couleur de paprika ou de piment en poudre s'estompe, la saveur aussi disparaît (Berke et Shie, 2001). L'arôme et la saveur, caractéristiques du paprika lui sont conférés par des huiles essentielles volatiles dont la teneur varie de 0,1% à 2,6% (Perez-Galvez et al. 1999a; Pruthi, 2003). Selon Kocsis et al. (2002, 2003), les classes chimiques rencontrées dans l'huile essentielle de paprika sont les suivantes: les terpènes et leurs dérivés, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les acides, les esters, les dérivés du benzène, des composés squelette naphthalène, des hydrocarbures, des composés soufrés, des composés phénoliques et les dérivés de caroténoïdes. Ils ont un arôme spécifique, qui peut être détecté par l'homme à des concentrations relativement faibles. Une vingtaine d'aldéhydes ont été identifiés par Kevrešan et al., (2009). Six d'entre elles sont communes aux échantillons à la fois frais et secs (benzaldéhyde, le 2-nonéanal, le décanal, le 2,4-décadienal tétradécanal et 9,17 octadécadiéanal), tandis que la présence d'hexanal fait une différence entre les échantillons séchés immédiatement après récolte et ceux qui ont subi une postmaturation après récolte. Toutefois, la composition en huiles essentielles du paprika diffère selon l'origine géographique du piment (Mateo et al., 1997; Zimmerman et schieberle, 2000). Les conditions de séchage et les types de cultivars du piment peuvent aussi influencer cette composition.

Les piments *Capsicum* ont une haute teneur en vitamine C et provitamine A comparable à celle des agrumes et des carottes (Pastor et al., 2001). Ils contiennent également la plupart des vitamines B, en particulier la vitamine B6. En raison de leur teneur relativement élevée en vitamine C, en vitamine E, en provitamine A, ainsi qu'en flavonoïdes et en capsaïcinoïdes, les fruits paprika peuvent être un additif alimentaire de grande valeur.

Les piments sont une excellente source de promotion de la santé humaine. La forte concentration des constituants chimiques à activité antioxydante dans les plantes (Velioglu et al., 1998) leur confère le rôle considérable dans la prévention de diverses maladies dégénératives (Diplock et al., 1998). Les piments sont une bonne source de vitamine C et E, ProVitamin A, d'acide ascorbique et de caroténoïdes (Materska et Perucka, 2005). Les

piments doux sont très riche en polyphénols qui comprennent les hydroxycyanmates, les flavonols et les flavones (Marin et al., 2004). Ainsi, elles sont une source d'antioxydants naturels à la fois hydrophiles et hydrophobes. Ces métabolites se caractérisent par une forte capacité de neutraliser les espèces actives de l'oxygène (Howard et al., 2000). Ils sont par conséquent préférés aux antioxydants synthétiques considérés comme cancérogènes (Branen, 1975). Le pouvoir antioxydant des fruits de Capsicum peut être affecté par différents paramètres comme le stade de maturité, le génotype et les postransformations (Howard et al., 1994; Maiani et al., 2008). La composition nutritionnelle de la poudre de paprika est donnée dans le tableau 4 (USDA, 2011).

Tableau 4: Composition nutritionnelle de la poudre de paprika.
(USDA, 2011) National Nutrient Database for Standard Reference
Release 25 Software v.1.2.2 2011

Nutriment	Unité	Valeur par 100g	Nutriment	Unité	Valeur par 100g
Eau	g	11,24	Calcium	mg	229
Energie	Kcal	282	Fer	mg	21,14
Protéines	g	14,14	Magnesium	mg	178
Lipides totaux	g	12,89	Phosphore	mg	314
Carbohydrates par différence	g	53,99	Potassium	mg	2280
Fibres totales	g	34,9	Sodium	mg	68
Sucres totaux	g	10,34	Zinc	mg	4,33
Vitamine C	Mg	0,9	Vitamine K (Phylloquinone)	µg	80,3
Thiamine	mg	0,33	Niacine	mg	10,06
Riboflavine	mg	1,230	Vitamine B6	mg	2,141
Folate	µg	49	Les acides gras totaux saturés	g	2,140
Vitamine B12	µg	0,00	Les acides gras totaux monoinsaturés	g	1,695
Vitamine A	IU	49254	Les acides gras totaux polyinsaturés	g	7,766
Vitamine E (alpha tocophérol)	Mg	29,10	Cholesterol	mg	0,00
Vitamine D (D2+D3)	µg	0,00	Caffeine	Mg	0,00

III.2.1. Les Pigments /caroténoïdes

III.2.1.1. Composition

La couleur des piments est principalement due aux pigments caroténoïdes formés dans le fruit pendant la maturation (Topuz et al., 2009). Les structures des principaux pigments rouges spécifiques au genre capsicum sont illustrées dans la **figure 14**. Les piments contiennent aussi les chlorophylles vertes, les pigments jaune-oranges comme la lutéine, la zéaxanthine, la violaxanthine, l'antheraxanthine et 95 % de la coloration se trouve presque dans le péricarpe (Govindarajan, 1985).

La teneur en pigment de paprika en poudre peut varier d'environ 0,1 à 0,8 % (Reeves, 1987). L'estimation quantitative des composantes rouges de paprika hongrois a indiqué une teneur de pigment totale allant de 4,07 à 5,49 g par kg. Les teneurs en capsantine varient de 2,19 à 3,49 g par kg, la capsorubine de 0,42 à 0,98 g par kg de péricarpe. Ainsi, ces 2 pigmentst majeurs représentent 65 à 80% de la couleur totale (Govindarajan, 1986; Howard et al., 2000; Buckenhuskes, 2003; Marin et al., 2004; Minquez-Mosquera et al., 1984). Les piments rouges contiennent 280 µg/g de caroténoïdes totaux, tandis que les composants oranges représentent entre 20 à 30% des caroténoïdes totaux (dont 11% de β-carotène et 20% de capsorubine (Schweiggert et al., 2005). Les teneurs en caroténoïdes totaux varient de 950 à 13200 mg/kg PS (Deli et al., 1992 ; Markus et al., 1999; Hornero-Mendez et al., 2000; Minguez Mosquera et al., 2000; Kims et al., 2002; Topuz et Ozdemir, 2007 ; Hervert-Hernandez et al., 2010).

La composition qualitative et quantitative en pigments est tributaire de plusieurs facteurs notamment la variété et le degré de maturité (Minguez-Mosquera et al., 2000; Biacs et al., 1992 et Markus et al., 1999). De très grandes variations qualitatives et quantitatives ont été observées dans les fruits de Capsicum (Hart et Scott, 1995). La stabilité des caroténoïdes dans les épices de piments dépend dans une large mesure du génotype (Gnayfeed et al., 2001). Kandlakunta et al. (2008) ont constaté que la concentration totale de caroténoïdes était de 2,41 mg/100g dans les piments verts (teneur en humidité de 85%), alors que pour les piments rouges elle est de 113 mg/ 100g (10,1% d'humidité).

III.2.1.2. Usage

Des liens ont été mis en évidence entre les caroténoïdes et la diminution des risques de maladies chroniques (Krinsky et Johnson, 2005). En effet, c'est particulièrement dans les cas de cancer qu'un effet de prévention a pu être démontré lors de la consommation de caroténoïdes (Nishino et al., 2002 ; Maoka et al., 2001). L'importance de la provitamine A dans la prévention de la xérophtalmie est évidente à l'heure actuelle (Edge et al., 1997),

Minguez-Mosquera et Hornero-Méndez, (1994); Daood et al., 2006). La relation de β -carotène avec les maladies cardio-vasculaires et l'athérosclérose a fait l'objet de plusieurs études, en particulier leur effet inhibiteur sur l'oxydation des LDL (Hinds et al., 1997). Selon Gonzalez et al., (1998), les caroténoïdes de Capsicum peuvent agir comme des anti-inflammatoires, agents anti-tumoraux et induire des systèmes enzymatiques de détoxification. Ces effets bénéfiques des pigments de paprika ont été attribués aux propriétés antioxydantes des caroténoïdes (Stahl et Sies, 2003).

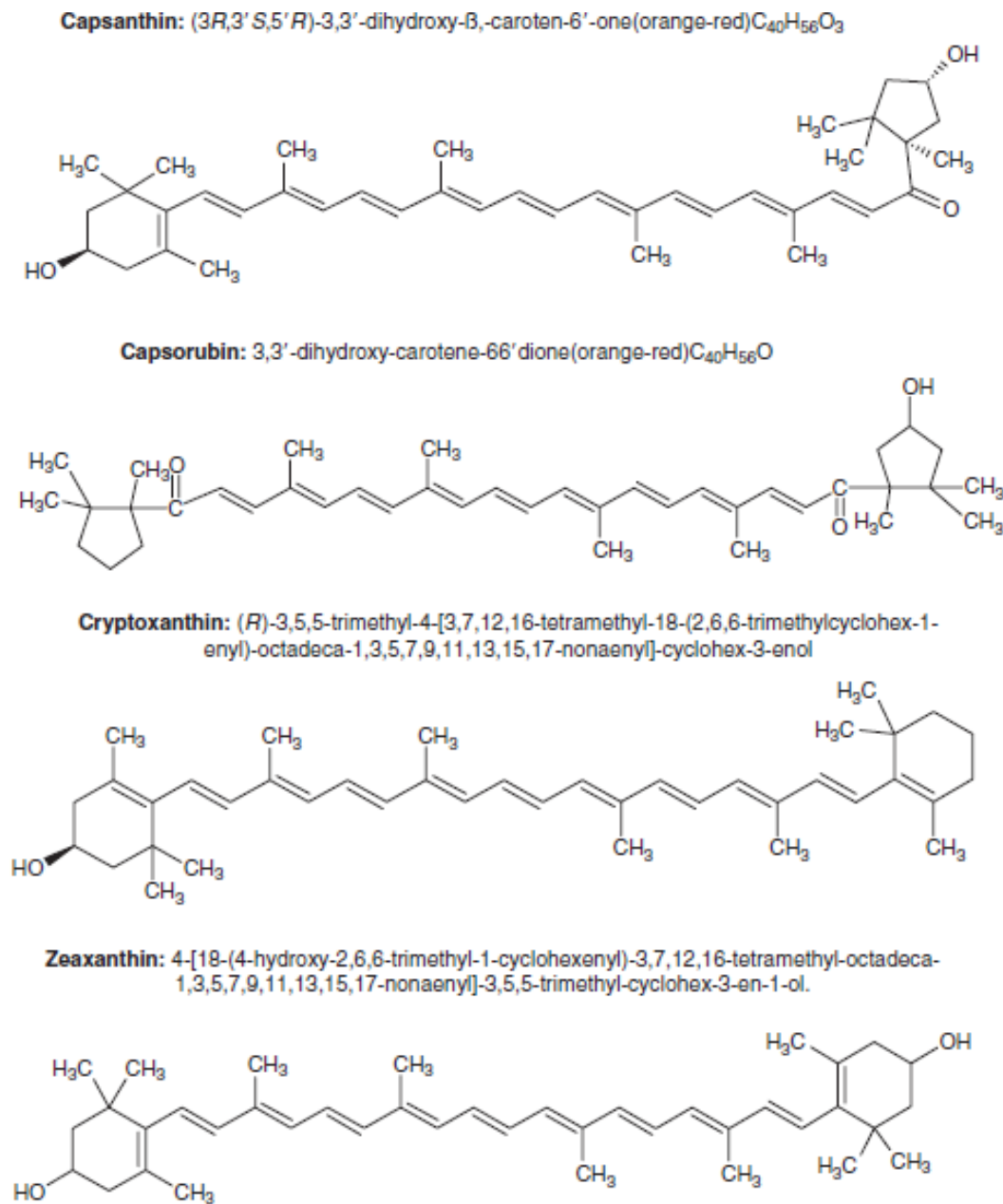


Fig. 14 : Structure des caroténoïdes majeurs de paprika.

III.2.1.3. Facteurs affectant la coloration

La dégradation de la couleur constitue un problème sérieux pour l'industrie de production des épices. Les caroténoïdes s'auto-oxydent facilement, suite à des effets de la chaleur, de la lumière et de l'oxygène. Ceci dévalorise la poudre de l'épice. D'autres facteurs peuvent influencer la stabilité des caroténoïdes dans les poudres de paprika à savoir les teneurs en antioxydants naturels, l'activité de l'eau, la technique de séchage, la taille des particules, l'atmosphère d'emballage et le stockage (Daood et al., 1996).

Des études menées par Mínguez-Mosquera et Hornero-Méndez, (1994) sur les variétés les plus courantes à savoir Bola et Agridulce ont montré que l'impact de la procédure de séchage sur la teneur en caroténoïdes dépend de la variété utilisée et que le séchage à l'air chaud par les séchoirs réduit la concentration totale de caroténoïdes dans les deux variétés.

Pendant le stockage, une forte variation de la concentration en caroténoïdes a été notée. Lee et al. (1992) ont constaté que la destruction des caroténoïdes dans les piments rouges est fortement influencée par l'activité de l'eau et la température de stockage. Schweiggert et al. (2007b) ont signalé que la concentration totale de caroténoïdes diminue de 16,7 et de 9,6% dans le piment et de 39,7 et 38,8% dans le paprika en poudre pendant quatre mois de stockage à température ambiante avec et sans éclairage. Topuz et Ozdemir (2004) ont constaté que la réduction de caroténoïdes due à l'irradiation dans le paprika est probablement provoquée par une augmentation de la réaction d'oxydation sous les rayons gamma. De même, ils ont également conclu que la perte de la teneur en caroténoïdes de paprika était plus élevée dans les échantillons non irradiés que dans ceux ayant reçus des rayons.

III.2.1.4. Methodes d'évaluation de la coloration

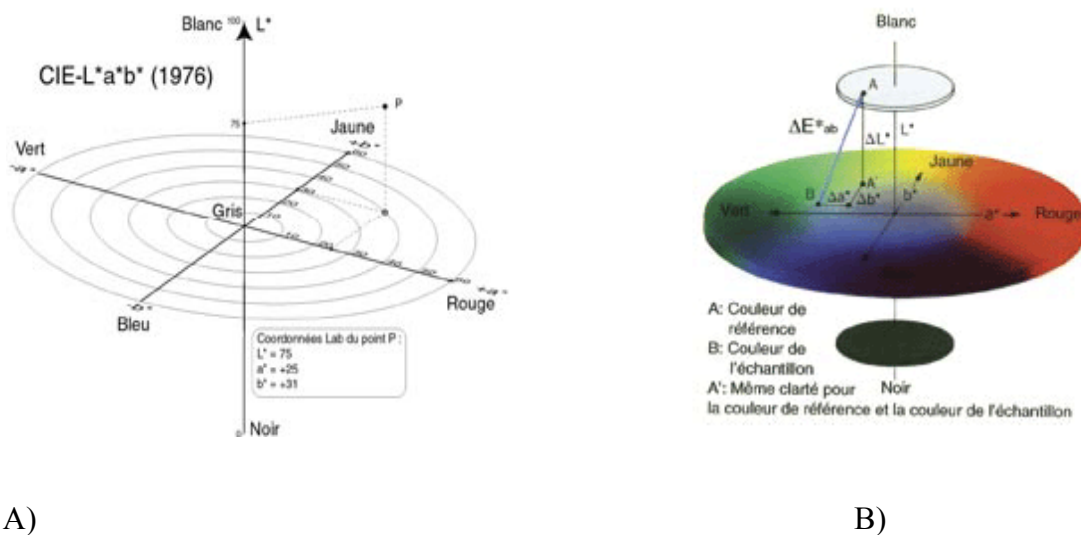
La couleur du paprika peut être évaluée par différentes techniques. Mais les plus couramment utilisées sont la couleur apparente, la couleur extractible et le dosage des pigments (Levy et al., 1995; Weissenberg et al., 1997; Wall et Bosland, 1998; Breithaupt et Schwack, 2000; Cserhádi et al., 2000, Deli et al., 2001). La mesure de la couleur apparente et la couleur extractible sont des évaluations standard de la qualité du paprika dans l'industrie des épices (Halász-Fekete, 1984; Gómez et al., 1997; Klieber et Baguato, 1999; Krajayklang et al., 2000, Madrid et al., 1999, Mínguez-Mosquera et al., 1992; Niento-Sandoval et al., 1999).

a- Coloration de surface

La couleur de surface est une grandeur sensorielle complexe que l'on décompose, pour être quantifiée en trois grandeurs simples : luminance ou clarté, chrominance ou teinte et saturation (S.S.H.A., 1998). La teinte est liée à la longueur d'onde réelle sur le spectre visible ; elle est le terme utilisé pour classer les couleurs dans la roue des couleurs. La luminance est déterminée par le pourcentage de lumière réfléchiée par l'objet coloré ; elle peut varier du sombre au clair et être mesurée indépendamment de la teinte. La saturation mesure l'indice de pureté d'une couleur ; elle est indépendante des deux précédentes.

Cette colorimétrie permet de mesurer la couleur objectivement. L'espace couleur $L^*a^*b^*$ (appelé aussi CIELAB), défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) en 1976 est actuellement l'un des plus utilisés pour mesurer la couleur des objets dans pratiquement tous les domaines. C'est un espace à trois dimensions où la combinaison L^* indique la luminance qui va de 0 (noir) à 100% (blanc), la composante a^* représente la gamme de l'axe rouge-vert et la composante b^* représente la gamme de l'axe jaune-bleu

D'après www.kleocolor.com. (Fig.: 15)



A)

B)

Figure 15 : Représentation colorimétrique de l'espace chromatique CIELAB (A) et de l'écart de couleur ΔE^* (B).

La mesure de la couleur apparente est utilisée pour spécifier les couleurs perçues par l'œil humain. Cette couleur peut être quantifiée à l'aide d'un analyseur de couleur, tel que le chromamètre MINOLTA CR-300. Les paramètres de la couleur de l'échantillon (L , a , b)

sont lus à partir de l'afficheur de l'appareil. La valeur de la luminosité (L) peut donner une indication des différences de couleur, les poudres ayant des intensités de couleur plus élevée auront une valeur de «L» élevée. Toutefois, pour une valeur de «L» plus faible, l'épice apparaît plus sombre. Pour la poudre de paprika ayant un angle de teinte (h°) de 0° indique qu'elle est rouge et s'il est de 90° , sa coloration est jaune (Jorge et al., 1997). Comme il est difficile d'interpréter le complexe 'L' et les données des h° , la norme technique la plus utilisée par l'industrie des épices est de mesurer la couleur extractible

b- ASTA: La couleur extractible est la mesure du contenu des pigments totaux. Les procédures actuelles de mesure de la couleur extractible (pigments totaux) du paprika et d'oléorésines ont été élaborées et approuvées par « Association of Official Analytical Chemists » et «The American Spice Trade Association (ASTA)». La couleur extractible est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre exprimée en unité ASTA. Généralement, plus la valeur d'ASTA est élevée, plus le paprika est de meilleure qualité. D'autre part, la valeur d'ASTA est bien corrélée à la concentration totale de caroténoïdes (Pérez-Gálvez et al., 2004a). En règle générale, dans le commerce, la limite inférieure autorisée pour la poudre de piment est de 100 unités ASTA. Plus le niveau de la coloration est meilleur, plus l'épice est appréciée pour sa qualité. Et vu qu'au cours du stockage, la coloration se dégrade, il faut veiller à ce que l'épice doit être de couleur acceptable quand elle atteint le consommateur (Govindarajan et Sathyanarayana, 1991; Hari et al., 2005).

c- L'estimation quantitative des pigments composant l'épice paprika se fait par plusieurs techniques, dosage colorimétrique au spectrophotomètre selon des techniques appropriées (Fekete et al., 1976; Horvath et Kafka, 1973; Haspel-Horatovic et Horickova, 1976; Malchev et al., 1982), par HPLC (Biacs et al., 1989, 1992; Mínguez-Mosquera et Hornero-Méndez, 1994; Deli et al., 1996)

III.2.2. Capsaicinoides

III.2.2.1. Composition

Les capsaïcinoïdes sont un groupe de composants qui donnent au piment la saveur de brûlure (Collins et Bosland, 1994; Batchelor et Bradley, 2000). Ces substances sont synthétisées principalement dans le placenta par la condensation enzymatique de vanillylamine et d'une chaîne d'acide gras (Iwai et al., 1979; Fujiwake et al., 1982) et sont également retrouvées dans les graines (Purseglove et al., 1981). Pour la plupart des

variétés de *Capsicum*, le paramètre de brûlure est un attribut de qualité important (Cordell et Araujo, 1993). Les capsaïcinoïdes totaux sont représentés par 5 composants principaux en l'occurrence: la capsaïcine (69%), la dihydrocapsaïcine (22%), la nordihydrocapsaïcine (7%), l'homocapsaïcine (1%), et l'homodihydrocapsaïcine (1%) (Govindarajan et al. 1987).

Les capsaïcinoïdes sont synthétisés dans les cellules épidermiques du placenta de fruit de genre *Capsicum* (Diaz et al., 2004) où ils sont accumulés progressivement dans des blisters le long de l'épiderme (Sung et al., 2005) au fur et à mesure du développement des fruits (Contreras-Padella et Yahia, 1998). Les capsaïcinoïdes se trouvent uniquement dans les fruits des plantes de genre *Capsicum*. Bien que leur biosynthèse soit largement établie, l'accumulation et la dégradation ne sont pas encore complètement connues.

La teneur en capsaïcinoïdes augmente avec l'âge et le stade de développement des fruits et atteint un maximum (Estrada et al., 2002) puis diminue graduellement sous l'effet de son oxydation par une enzyme appelée peroxydase qui semble contrôler la teneur en capsaïcinoïdes (Contreras-Padella et Yahia, 1998 ; Diaz et al., 2004). Dans le même contexte, Iwai et al. (1979) ont suggéré que la production des capsaïcinoïdes augmente avec la maturité des fruits avec un maximum obtenu entre deux à quatre semaines après la floraison, puis ces métabolites se dégradent rapidement (plus que 60%). Certains chercheurs supposent que les peroxydases de piment sont responsables de la dégradation de la capsaïcine (Bernal et al., 1993a ; 1993b ; Contreras-Padella et Yahia, 1998). L'intensité de la dégradation varie avec l'âge des fruits (Hielper, 2004).

Govindarajan (1985) et Bosland (1994) ont pu conclure qu'il y a une grande diversité dans le contenu et la composition des capsaïcinoïdes des fruits de l'espèce *Capsicum* et voire entre les cultivars. Les conditions environnementales au cours de la croissance des plantes de *Capsicum*, notamment le climat, la lumière, le sol, l'humidité, la fertilisation et la température, sont considérés avoir un impact sur les niveaux de capsaïcinoïdes de même que l'âge du fruit (Estrada et al., 1999, Estrada et al., 2002; Titze et al., 2002).

En général, les fruits de *C. annum* contiennent des teneurs de 0,0003 à 0,01% de capsaïcinoïdes et ceux de *Capsicum frutescens* en contiennent 0,3-1% (Perucka et Oleszek, 2000). Toutefois, les conditions de transformation jouent également un rôle important sur le niveau de capsaïcinoïdes dans la mesure où les conditions de séchage et le nombre de graines semblent influencer l'âcreté du produit final (Titze et al., 2002). Quelques auteurs précédents ont constaté que les teneurs en composants ont un large éventail de variance (Perucka et Oleszek, 2000; Peusch et al., 1997). Les capsaïcinoïdes majeurs et leurs unités de Scoville sont donnés dans la figure 16.

Capsaicinoid	Abbreviation	Typical relative amount (%)	Scoville heat units (SHU)	Chemical structure
Capsaicin	C	69	16,000,000	
Dihydrocapsaicin	DHC	22	16,000,000	
Nordihydrocapsaicin	NDHC	7	9,100,000	
Homodihydrocapsaicin	HDHC	1	8,600,000	
Homocapsaicin	HC	1	8,600,000	

Figure 16: Les capsaicinoides majeurs et leurs unités de Scoville
(Govindarajan et al., 1987)

III.2.2.2. Usages

Les piments sont la source exclusive pour l'extraction de la capsaïcine et des capsaïcinoïdes, qui sont des molécules principalement utilisées dans des applications médicales ou non alimentaires. L'usage le plus important est dans la pharmacie pour des préparations toniques et de crèmes pour le traitement de la douleur causée par l'arthrite, les rhumatismes, l'ostéoarthritis, le lumbago, etc (Cordell et Araujo, 1993). Les capsaïcinoïdes sont connues pour leur pouvoir antioxydant ainsi que leurs propriétés antibactériennes et anti-cholestérol (Cichewicz et Thorpe, 1996; Dorantes et al., 2000; Careaga et al., 2003; Leuschner et Ielsch, 2003; Kuda et al., 2004; Acero et al., 2005). Certaines études ont montré que les capsaïcines ont un effet protectif, anti-ulcère de l'estomac infecté par *H. pylori* (Satyanarayana, 2006). Récemment, il a été montré que la capsaïcine semble avoir un avenir prometteur dans le traitement des douleurs chroniques grâce à sa capacité anesthésiante et de ses effets sur la reprise de poids. Seule la capsaïcine naturelle est autorisée pour la défense en tant que bombes lacrymogènes (Manirakiza et al., 2003). Il est à noter que la capsaïcine pure donne une mesure de 16.000.000 et que le produit contenu dans les bombes aérosol d'autodéfense a une valeur comprise entre 2.000.000 et 5.300.000 SHU.

III.2.2.3. Techniques de mesure des capsaïcinoides

a- Unités Scoville ou Units Heat Scoville

La force piquante est mesurée selon l'échelle de Scoville inventée par le pharmacien Scoville en 1912 en utilisant une méthode organoleptique (**Tableau 5**). Son but est d'apprécier la teneur en capsaïcine, molécule responsable de la force du piment.

Ce test organoléptique a été utilisé pour longtemps mais son inconvénient est qu'il n'est ni précis ni reproductible et influencé par la sensibilité des jurys (Govindarajan *et al.*, 1987; Cooper *et al.*, 1991). D'autres modifications de la méthode ont été proposées par Govindarajan *et al.* (1977); Todd *et al.* (1977); Bosland et Votava (1999).

Selon la classification de Bosland et Votava (1999), les poudres de piment séchées aux États-Unis ont été classées en cinq groupes selon le niveau d'âcreté (brulure):

- 1- les piments neutres ou paprika : 0-700 SHU (Scoville Heat Unit)
- 2- légèrement piquante : 700-3,000 SHU
- 3- Moyennement piquante : 3,000-25, 000 SHU
- 4- Très piquante : 25,000-70,000 SHU
- 5- Très très piquante : > 80.000 SHU

Tableau 5: Echelle de scoville (Scoville, 1912)

Exemple de variétés	Appréciation	Valeur	Mesure
Poivron	Neutre	0	0
Paprika	Doux	1	100-1 000
Anaheim	Chaleureux	2	1.000-1.500
Ancho	Relevé	3	1.500-2.500
Espelette	Chaud	4	2.500- 5.000
Chimayo	Fort	5	5.000-15.000
Piment de Cayenne	Ardent	6	15.000-30.000
Cascabella	Brûlant	7	30.000-50.000
De Arbol	torride	8	50.000-100.000
Tabasco	volcanique	9	100.000-350.000
Habanero	explosif	10	350.000

b- Autres techniques

Pour l'industrie alimentaire, il est essentiel d'avoir des méthodes plus précises, fiables et reproductibles pour séparer et quantifier les capsaïcinoïdes. C'est ainsi que d'autres techniques de mesure des teneurs en capsaïcinoïdes ont été mises au point principalement:

- Les méthodes colorimétriques (Awasthi et Singh, 1979; Maurya et al., 1984),
- La chromatographie sur papier (Trejo-González et Wild-Altamirano, 1973; Nagin et Govindarajan, 1981; Nagin et Govindarajan, 1985),
- Les méthodes spectrophotométriques (Rymal et al., 1984; Ogbadu et al., 1989; Gbolade et al., 1997),
- Des techniques plus performantes et plus précises ont été utilisées pour quantifier et séparer les capsaïcinoïdes à savoir: la chromatographie en phase gazeuse (Todd et al., 1977; Harrison et Harris, 1985), la chromatographie liquide d'haute performance (Cooper et al., 1991; Jinpin et al., 1994; Collins et al., 1995; Estrada et al., 1999) et la chromatographie de couche mince à haute performance (Cserhádi et al., 2000).

III.2.3. L'acide ascorbique (Vitamine C)

Les fruits de *Capsicum* ont été reconnus pour longtemps comme une excellente source d'acide ascorbique, qui est un composé nutritif nécessaire pour les êtres humains. Svent-Gyorgyi était le premier à isoler l'acide ascorbique à partir des fruits de paprika au début des années 1930, et par la suite il a été identifié par Haworth et Svent-Gyorgyi en 1933. La vitamine C est très sensible en présence d'oxygène. Lors de son oxydation, elle perd son activité vitaminique.

L'acide ascorbique est une composante nutritionnelle des fruits de piment et reconnu comme un antioxydant et composé biologiquement actif (Simmons et al., 1997; McCall et Frei, 1999; Rietjens et al., 2002). Les piments présentent une concentration d'acide ascorbique très élevée par rapport aux fruits et légumes qui sont généralement reconnues comme source enrichie de cet antioxydant (Fawell, 1998). Les conditions de stockage et la durée de postmaturation peuvent également avoir un impact négatif important sur ce composé bioactif (Kalt, 2005; Daood et al., 1996). Il en est de même pour les rayonnements radioactifs (Bibi et al., 2007; Khattak et al., 2005).

De nombreuses études ont montré son effet dans la prévention des maladies dégénératives telles que le cancer, les maladies cardiaques, cataractes et la stimulation du système immunitaire (Sauberlich, 1994) et aussi la prévention des maladies chroniques.

Jiang et al. (1985) ont constaté que les fruits de piments rouge ont des teneurs en acide ascorbique 3 à 4 fois plus élevées par rapport aux piments verts. Ahmed et al. (1986) ont rapporté des teneurs de vitamine C de 98 à 1616 mg/100 g au stade vert, de 905 à 2254 mg/100 g au stade de maturité rouge et de 240 à 4550 mg/100 g après séchage au soleil. Purseglove et al. (1981) rapportent que la vitamine C peut être présente jusqu'à 340 mg/100 g dans certaines variétés. Pour Markus et al. (1999), la teneur en acide ascorbique a été de 540 mg/100g PS. D'autres auteurs ont rapporté des concentrations d'acide ascorbique allant de 46.6 à 243.0 mg/ 100g de poids sec (Nisperos-Carriedos et al., 1992; Howard et al., 1994; Lee et al., 1995; Gibbis et O 'Garro, 2004). En poids frais, la teneur en vitamine C varie de 100 à 200 mg/100g (Perucka et Bubicz, 1990; Lee et al., 1995).

De ces différentes études, il ressort que de grandes variations de la teneur en vitamine C sont observées chez les piments qui peuvent être attribuées aux cultivars, aux stades de récolte, aux conditions agroclimatiques, aux pratiques culturales, aux opérations de post-récolte ainsi qu'aux méthodes d'analyses (Mozafar, 1994).

III.2.4. Les composés phénoliques et flavonoïdes

- Les composés Phénoliques:

Les composés phénoliques sont synthétisés naturellement dans les plantes et sont considérés comme des métabolites secondaires en raison de l'adaptation aux stress biotiques et abiotiques (Harborne et Williams, 2000 et Pitchersky et Gang, 2000.). Ils sont composés d'acides phénoliques (phénols avec groupe carboxyle) et les polyphénols incluant les flavonoïdes. Ils comptent parmi les antioxydants phytochimiques les plus puissants en raison de leurs propriétés de piégeage des radicaux libres (Halliwell, 1996; Duan et al., 2007; Nadeem et al., 2011). Toutefois, Ils sont relativement instables (Zhang et al., 2000). La stabilité de ces métabolites secondaires dépend de divers facteurs, tels que la valeur du pH et de la température (Zhang et al., 2001, Yazdizadeh-Shotorbani et al., 2013).

L'activité antioxydante des composés phénoliques et des flavonoïdes dépend du groupe hydroxyle fixé (Rice-Evans et al., 1997). Des effets bénéfiques de ces composés antioxydants ont été notés dans la prévention de nombreuses maladies comme le cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies neurodégénératives (Lee et al., 1995; Hollman et Katan, 1999; Burda et Oleszek, 2001; Marinova et al., 2005; Maiani et al., 2008).

La maturité est un facteur important pour déterminer la concentration de polyphénols dans les fruits et légumes. Toutefois, les résultats rapportés dans ce sens diffèrent d'une étude à l'autre. [Howard et al. \(2000\)](#) et [Materska et Perucka \(2005\)](#) ont indiqué que la concentration des polyphénols dans les piments augmente avec la maturité des fruits. Par contre, [Marin et al. \(2004\)](#); [Conforti et al. \(2007\)](#) ont rapporté que le contenu des piments en polyphénols diminue au fur et à mesure que le fruit atteint sa maturité. Par conséquent, ces changements phytochimiques qui se produisent pendant la maturité affectent l'activité antioxydante qui est une considération importante dans l'alimentation qui peut influencer sur la consommation de piments.

Jusqu'à présent, aucune information n'est disponible dans la littérature sur l'effet des irradiations sur le contenu phénolique total de piments séchés. Sur d'autres épices, les effets de l'irradiation sur diverses matières phénoliques totaux ont été signalés. [Variyar et al. \(1998\)](#) ont rapporté une augmentation de la concentration en acide phénolique après irradiation des clous de girofle et de la muscade. De même, une augmentation des teneurs phénoliques totaux dans la peau d'amande après avoir été irradiée à 4 kGy a été démontrée par [Harrison et Were \(2007\)](#).

Être sous-produit naturel du métabolisme végétal ([Hammer et al., 1999](#)), les polyphénols peuvent être utilisés comme des composés antifongiques dans des conditions de pré et de post-récolte, ceci par la prévention de la croissance des champignons ainsi que par la production des toxines. [Bircan \(2006\)](#) a signalé que des olives stockées à une température de 30 ° C et une humidité relative de 75% pendant 3 mois n'ont pas présenté d'aflatoxines. Ce constat est attribué à la présence de fortes concentrations de polyphénols qui entraîne une inhibition complète de la croissance fongique. Des enquêtes récentes sur les polyphénols ont déclaré que leur concentration dans les plantes donne une résistance systématique au corps de la plante quand il est envahi par des attaques fongiques ([El Modafar et al., 2000](#); [Siranidou et al., 2002](#)). En outre, les composés phénoliques peuvent également inhiber la production de plusieurs mycotoxines, y compris les fumonisines, les trichothécènes et les aflatoxines ([Bakan et al., 2003](#)).

[Talcott et al. \(2000\)](#); [Mustapha et Ghalem \(2007\)](#) ont rapporté que la propriété antioxydante des polyphénols est fortement réduite quand ils sont traités ou stockés à de très hautes ou de très basses températures.

- Les flavonoïdes

Les piments sont une bonne source de plusieurs composés pour la promotion de la santé tels que les flavonoïdes, les caroténoïdes, la vitamine C et les capsaïcinoïdes. Parmi ces composés phytochimiques, les flavonoïdes sont omniprésents dans les piments doux et brûlants (Lee et al., 1995). Les flavonoïdes montrent des propriétés antioxydantes qui dépendent du nombre et de l'emplacement des groupes hydroxyles (Rice-Evans et al., 1996). En plus de l'effet antioxydant des flavonoïdes, d'autres propriétés médicinales, pharmacologiques et biologiques ont été démontrées incluant les effets de vasodilatateurs, anti-carcinogènes, immuno-stimulants, antiallergiques, antiviraux et oestrogéniques (Hollman et al., 1996). En outre, de nombreuses études épidémiologiques indiquent une relation inverse entre la consommation des flavonols et des flavones et le risque de maladies coronariennes (Hertog et al., 1993; Knekt et al., 1996) et le cancer des poumons (Knekt et al., 1997; Garcia-Closas et al., 1998).

Les teneurs en flavonoïdes varient grandement entre les différentes variétés de piment avec des teneurs totales allant de 1 à 852 mg / kg (Lee et al., 1995; Howard et Wildman, 2007). Les cultivars de *C. annuum* contiennent des niveaux de flavonoïdes plus élevés que ceux de *C. chinense*. Les faibles niveaux de flavonoïdes dans les poivrons piquants (*C. chinense*) peuvent indiquer le détournement des précurseurs phénoliques de flavonoïdes à la synthèse des capsaïcinoïdes. Pour Perucka et Materska (2003), les teneurs en flavonoïdes ont varié de 81 à 90 mg/100 g de masse sèche dans les fruits de quatre paprikas.

Lee et al. (1995) ont tout d'abord identifié les flavonoïdes aglycones, la quercétine, et la lutéoline comme flavonoïdes majeurs présents sous des formes conjuguées dans les cultivars de *Capsicum annuum* L.. Marin et al. (2004) ont caractérisé et quantifié chez la variété *Capsicum annuum* L. cv. Vergasa 5 dérivés hydroxycinnamiques et 23 flavonoïdes (dérivés hydroxycinnamiques, O-glycosides de quercétine, lutéoline, et chrysoeriol, et C-glycosyl flavones)

La myricétine a été considérée comme le plus puissant flavonoïde (Gordon et Roedig-Penman, 1998; Tonin, 2005). La myricétine, la quercétine, la lutéoline, le kaempferol et l'apigénine sont trouvés dans le genre *Capsicum*. Toutefois, d'après Howard et al., (2000), la quercétine et la lutéoline dominent parmi les flavonoïdes. Un nombre important de dérivés de l'acide hydroxycinnamique et acides benzoïques substitués ont également été observés dans les tissus du fruit de *Capsicum*.

Les niveaux exceptionnellement élevés de flavonoïdes rapportés par Lee et al. (1995) pourraient être expliqués par les différences dans la génétique et les conditions

environnementales dans lesquelles les poivrons ont été cultivés. Le stress environnemental au cours de la croissance des plantes peut stimuler la voie des phénylpropanoïdes et la production de divers composés phénoliques.

Peu d'informations sont disponibles sur les effets des opérations post-récolte et de transformation sur la teneur en flavonoïdes des fruits de piment. D'après [Lee et Howard \(1999\)](#), les teneurs de quercétine et de lutéoline ont diminué de 40 à 45% après 4 mois de stockage. Ainsi, de nombreuses études ont porté sur les niveaux de flavonoïdes dans différents poivrons ([Alvarez-Parrilla et al., 2011](#); [Kim et al., 2011](#); [Sim et Sil, 2008](#)).

III.2.5. Tocophérols

Les fruits de *Capsicum*, en particulier sous la forme déshydratée, sont une excellente source de tocophérols. Des composés de vitamine E, y compris tocophérols et tocotriénols sont reconnus pour leur inhibition efficace de l'oxydation des lipides dans les aliments biologiques. L'activité anti-oxydante des tocophérols est due à leur capacité de donner des ions hydrogène aux radicaux libres lipidiques, neutralisant ainsi le radical et formant le radical tocophéroxyl. Bien que le paprika soit ajouté généralement en petites quantités pour la préparation des aliments, leurs niveaux exceptionnellement élevés de tocophérols peuvent être une source importante de vitamine E dans l'alimentation humaine.

Les γ -tocophérol se trouvent dans les graines de piment, tandis que les α -tocophérols sont présent dans les tissus du péricarpe. Toutefois, de nouveaux cultivars de type Mexique contiennent des niveaux plus élevés de γ -tocophérol dans les graines que dans le paprika ([Osuna-Garcia et al., 1998](#)). L'épice paprika, forme séchée de piment fortement demandée, est une excellente source d' α -tocophérol et moyenne pour les γ -tocophérols. Au stade succulente rouge, la teneur en γ -tocophérol de graines de cultivars mexicains allaient de 35,2 à 47,5 mg/100 g ([Osuna-Garcia et al., 1998](#)).

La teneur en α -tocophérol du péricarpe du paprika hongrois est exceptionnellement élevée en comparaison avec celle des cultivars mexicains. La teneur en vitamine E varie de 3,7 à 236 mg/100 g en poids sec ([Perucka et Materska, 2003](#); [Ching et Mohamed, 2001](#); [Daood et al., 1996](#); [Kanner et al., 1979](#); [Daood et al., 1989](#); [Biacs et al., 1992](#), [Markus et al., 1999](#)). Sur la base du poids frais, les résultats des études effectuées par [Horbowicz \(1989\)](#) ont montré que la teneur en vitamine E dans les fruits de paprika doux variait de 3 à 8 mg/100g.

En général, de grandes variations dans les niveaux de la vitamine E ont été notées et peuvent être attribuées aux cultivars, à la maturité, aux pratiques de culture, au climat, à l'origine géographique, aux transformations de post-récolte (méthode de séchage) et aux

méthodes d'analyse (Mozafar, 1994; Osuna-Garcia et al., 1998; Markus et al., 1999; Daood et al., 1996). La teneur en α -tocophérol dépend aussi de la teneur en lipides qui varie en fonction du stade de maturation et de la variété du piment (Kanner et al., 1979). Une forte corrélation existe entre la teneur en huile et α -tocophérol.

La stabilité de la coloration des poudres de paprika séché peut être liée à la présence des γ -tocophérol dans les graines (Biacs et al., 1994), puisque l'ajout des graines a amélioré la rétention de la coloration (Markus et al., 1999; Wall et al., 1994). La rétention des tocophérols a été plus faible dans les échantillons séchés à l'air libre que dans ceux séchés à l'air forcé. Toutefois, des résultats contradictoires ont été rapportés par Biacs et al. (1994).

Des études épidémiologiques suggèrent que la vitamine E peut réduire le risque des maladies coronariennes, certains cancers, le cataracte et le diabète et de ralentir la progression des maladies neurologiques. Ces effets bénéfiques pour la santé humaine peuvent être liés à de nombreux mécanismes en particulier la protection des cellules contre les dommages oxydatifs, la protection des LDL contre l'oxydation, le renforcement du système immunitaire, la réduction des dommages oxydatifs des tissus spécialisés tels que le cristallin, le tissu nerveux, les vaisseaux sanguins et du cartilage, la réduction de la synthèse du cholestérol (Papas, 1999).

III.3. Paramètres de qualité du paprika

La qualité d'un produit sec en poudre est déterminée par les caractéristiques des produits divers telles que la couleur, la texture, la porosité, la densité et la capacité de réhydratation du produit (Krokida et Maroulis, 1997) et leurs normes de référence dépendent du type de produit et son application. D'autres problèmes de qualité tels que la valeur nutritive et l'état microbiologique sont également importants bien que n'étant pas liés à la perception des consommateurs. Les conditions dans lesquelles la poudre alimentaire est traitée dégradent également souvent la qualité du produit.

La couleur, le degré de brûlure et la contamination microbienne sont les principaux paramètres de qualité de paprika, d'oléorésine et de piment séché. Toutefois, ces derniers varient selon le produit et son utilisation finale prévue (Carvajal et al., 1998; Govindarijan, 1986; Govindarijan et al., 1987) et ce n'est que récemment que les chercheurs se sont intéressés à l'arôme (Mateo et al., 1997; Cremer et Eichner, 2000; Kocsis et al., 2002; 2003).

La qualité de paprika moulu est déterminée par sa teneur en capsaïcine et en caroténoïdes, la taille des particules, la teneur en eau et la qualité microbiologique. La qualité du paprika est souvent affectée par le séchage, mais dépend également d'autres facteurs, y compris le

cultivar, la teneur en humidité, la maturité et l'état sanitaire des fruits secs avant le broyage et le séchage.

III.3.1. Qualité physico-chimique

Les critères de la qualité peuvent concerner essentiellement l'humidité et la finesse du broyage, l'absence des impuretés et des déchets (pesticides, métaux lourds, nitrates et nitrites). Les problèmes associés à la poussière sont plus fréquents au cours de la production, cette industrie est considérée alors comme une activité soumise à la qualification environnementale (Fernández-Trujillo et Escarabajal, 2006).

III.3.2. Couleur

La couleur est le premier critère d'appréciation du paprika par le consommateur et l'industrie agroalimentaire. La couleur du paprika va du rouge vif au rouge plus clair. Elle est déterminée par la proportion des pigments rouges aux pigments jaunes (Hornero-Méndez et al., 2000; Jarén-Galán et Minguez-Mosquera, 1999). Un paprika de haute qualité est caractérisé par une couleur rouge foncé et une teneur faible en capsaïcinoïdes. En Hongrie, on note 8 grades de paprika. Les paprikas grade 1 sont préparés avec les meilleurs fruits. Les fruits de la fin de saison donnent des paprikas de qualité moyenne. Le meilleur paprika est en Espagne qui est doux, catégorie extra, sans âcreté, lumineux et de couleur rouge ardent et avec seulement 8,0% d'humidité (Govindarajan, 1986).

Comme déjà cité, les pigments sont concentrés essentiellement dans le péricarpe. Ainsi une poudre de paprika préparée seulement avec le péricarpe présente une teneur très élevée en pigment donc une qualité meilleure. Tandis que la poudre fine résultante du fruit entier est moins riche en pigment.

La perte de la couleur est due principalement à la détérioration de ces pigments qui résulte de plusieurs facteurs (Reinecke et al., 1995) à savoir l'autoxydation causée par l'exposition à la chaleur, à la lumière et ou à l'oxygène, la présence des huiles hautement insaturées (Kanner et al., 1976, 1977), le stress thermique et mécanique ainsi que les dégradations enzymatiques comme les peroxydases, les polyphénoloxydases ou par des enzymes microbiennes.

La perte des caroténoïdes de paprika en poudre est également affectée par son activité d'eau (a_w), la température de stockage, la lumière, l'exposition à l'air (Lee et al., 1992; Minguez-Mosquera et al., 2000). Le séchage produit plus de dégradation des caroténoïdes à des températures de 80 à 90°C qu'à des températures de 60 à 70 °C (Malchev et al., 1982).

III.3.3. La contamination microbienne des épices: Qualité microbiologique

Les herbes et les épices sont connues pour être une source importante de contamination microbienne en raison de leur contact avec le sol, la poussière, les excréments, les insectes et autres contaminants pendant la croissance, la récolte, la transformation, le stockage et le transport. Une telle contamination est également liée à la chaleur et l'humidité des pays d'origine, combinée aux conditions de stockage (unités très modestes). Typiquement, les épices peuvent être récoltées et triées par la main, puis séchées en étant réparties sur une surface en plein air exposée au soleil. Dans les herbes séchées et les épices, on trouve principalement des spores de micro-organismes qui sont en mesure de survivre principalement celles de *Bacillus cereus*, *Bacillus stearothermophilus* et *Bacillus coagulans* et les conidies de moules des espèces d'*Aspergillus* (Modlich et Weber, 1993).

Le Paprika est connu pour sa contamination microbienne élevée de 6 à 8 log 10 UFC / g. Les contaminants typiques sont *Echerichia coli*, *Salmonella*, *B. cereus*, et d'autres sporulés (McKee, 1995).

La contamination microbienne par des bactéries telles que *Bacillus cereus*, *B. subtilis* et *Clostridium perfringens* a été rapportée par Smith (1963), Baxter et Halzapfel (1982). Des contaminations par les levures et les moisissures productrices d'aflatoxines telles que *Aspergillus flavus*, *A. glaucus* et *A. Niger* ont été signalées par Flannigan et Hui (1976).

La poudre du paprika est susceptible à la contamination par les mycotoxines (Santos et al., 2008), en particulier les aflatoxines, les ochratoxines, les fumonisines, les trichothécènes. Les aflatoxines de paprika sont de type B1, B2, G1, G2, et les normes sont de 1,7 à 7,1 µg g⁻¹ déterminées selon la norme européenne EN14132, ou de l'AOAC ou la norme UNE EN 14123:2004 (Gilbert et Anklan, 2002). Parfois, on trouve l'ochratoxine produite par *A. ochraceus* ou *A. carbonarius* (Fazekas et al., 2005). Il est recommandé de pratiquer un séchage à faible humidité et à 45-50°C pour empêcher la prolifération des mycotoxines (Fernández-Trujillo et Escarabajal, 2006). Parmi les contaminations microbiologiques les plus remarquables non pathogènes naturelles, on note les Enterobacteriaceae Gram+ d'origine fécale, en particulier *Escherichia coli*. D'autres bactéries qui présentent de sérieux problèmes sont *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* et des espèces de *Salmonella* et de micro-organismes sulforéducteurs anaérobies sporulés (*Clostridium perfringens* essentiellement), mais sont pratiquement absentes lorsque les échantillons sont stérilisés. D'autres bactéries anaérobies sporulées et des levures peuvent également être trouvées dans le paprika. En plus des spores du genre *Bacillus* et *Clostridium*, on peut trouver des bactéries non sporulées du

genre *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* et d'autres. Le paprika peut aussi contenir d'autres genres de champignons tels que *Rhizopus* et *Cladosporium* (Fernández-Trujillo et Escarabajal, 2006).

III.3.4. Autres contaminations

Les saletés, telles que des fragments d'insectes, les excréments des rongeurs et des poils et des spores fongiques sont une indication de mauvaise manipulation et de stockage. Les métaux lourds et les résidus chimiques des pesticides représentent aussi un autre problème d'adultération.

Les résidus de pesticides rencontrés dans la poudre de piment comprennent les hydrocarbures chlorés, le DDT, le dieldrine, l'endrine, et le lindane, généralement en très faibles concentrations. L'oléorésine peut être altérée par l'ajout des acides vanillylamides synthétiques saturés tels que le vanillylamide pélargonique.

III.3.5. Les falsifications

Plusieurs types d'altération sont possibles et ont été signalées à plusieurs reprises (Govindarajan, 1986). Les fruits entiers de piments séchés peuvent être falsifiés par l'ajout des fruits rejetés par les normes standards qui sont soit obscurcis ou blanchis par l'adjonction d'humidité afin d'augmenter le poids d'une charge, ou par enrobage avec de l'huile minérale (Chakrabarti et Roy, 2003) ou des colorants synthétiques tels que le goudron de houille rouge pour améliorer la couleur et l'aspect. Un problème aussi sérieux est l'ajout de variétés dont la teneur en capsaïcinoïdes est très variable, mais dont la forme, la taille et la couleur visuelle sont similaires. Le piment en poudre peut être falsifié par l'ajout de quantités supplémentaires de péricarpe blanchis, de graines, de calice et de pédoncule pour augmenter le volume sans affecter visiblement l'apparence. D'autres adultérants signalés comprennent les colorants synthétiques, les coquilles d'amandes en poussière ainsi que la pulpe séchée de betteraves rouges (Berke et Shieh, 2001). La détection de ces adultérants peut être faite soit par chromatographie en phase gazeuse sophistiquée ou par chromatographie sur couche mince couplée avec HPLC (Berke et Shieh, 2001).

III.3.6. Normes de qualité des piments

Les épices ont toujours été des produits vendus à des prix élevés et sont sujets à l'altération. En conséquence, des normes de qualité ont été établies parallèlement. De nos jours, les deux principales normes internationales pour les épices sont celles fixées par les États-Unis et par l'Union européenne (UE). Ces normes reposent sur les mêmes paramètres généraux élaborés par les pays producteurs de ces épices.

Il existe différents paramètres qui composent la série de normes internationales:

1- Propreté: Il s'agit d'une mesure de la quantité de matières étrangères, la contamination par les insectes, par exemple, les excréments des rongeurs,...etc. La mesure de contamination est d'ordre physique.

2- Teneur en cendres: Il s'agit d'une mesure de la quantité d'impuretés dans un produit, obtenue par la combustion de la matière organique en mesurant le résidu de cendres. Il existe des valeurs maximales pour la plupart des herbes et des épices.

3- Cendres insolubles dans l'acide (AIA) (ou de sable): Il s'agit d'une détermination classique de la propreté de l'herbe ou une épice. Les limites chiffrées existent pour la plupart des herbes et des épices. La détermination de la teneur en cendres totaux permet de contrôler la charge des épices en produits minéraux divers.

Les épices sont considérées comme des matières premières par les industries de l'alimentation, de la parfumerie et de la pharmacie. Ainsi, le contrôle de la qualité est une nécessité d'autant plus grande que leurs origines commerciales sont très souvent différentes et géographiquement très hétérogènes.

Les méthodes générales d'analyse des épices concernent les déterminations des teneurs en matières étrangères, en eau et en cendres.

La détermination de la teneur en matières étrangères peut donc être utilisée à l'occasion du commerce des épices. Certaines épices, telles que le piment enragé, la coriandre, etc., ne doivent pas renfermer de matières étrangères (fragment de terre, débris d'insectes ou d'excréments d'animaux) en proportions notables. Leur teneur ne doit pas dépasser une certaine valeur ($10 \pm 2\%$), fixée avec précision pour chaque épice.

La détermination de la teneur en eau montre qu'une trop forte humidité nuit à la bonne conservation des épices en facilitant l'apparition de moisissures, de levures et en favorisant le développement bactérien. A titre d'indication, le piment ne doit pas contenir plus de 11 % d'eau.

III.4. Conclusion

De cette étude bibliographique, il ressort que les piments (*Capsicum annuum* en particulier) sont originaires d'Amérique Centrale et d'Amérique du Sud où ils ont été domestiqués il y a environ 9000 ans. Ils sont introduits en Europe à travers l'Espagne et le Portugal au XVème siècle. A partir de ce continent, le piment s'est réparti dans le reste du monde et son introduction au Maroc remonte vers les années 1925 dans la région de l'Est et sa culture (Niora) dans la région de Tadla-Azilal n'a eu lieu que vers les années 1980 (80 % de la production nationale actuellement).

Les principaux produits dérivés du piment sont la poudre de paprika et l'oléorésine. Il est signalé que l'agro-industrie liée à la culture du piment (poudre de paprika essentiellement) joue un rôle extrêmement important sur le plan économique et commercial et ce au niveau mondial. Les principaux producteurs, exportateurs et importateurs de ces produits sont mis en exergue. Les processus de production au champ de la culture (Conduite technique) et de transformation (production de paprika) sont largement décrits dans cette étude bibliographique. Il en est de même pour l'utilisation de cette poudre en tant que colorant, nutriments ou source de composés chimiques utilisés dans l'industrie agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique. Cette épice contient de nombreux produits chimiques à savoir des lipides, des huiles volatiles, des hydrates de carbone, des caroténoïdes, des capsaïcinoïdes, de la résine, des protéines, des fibres et des éléments minéraux. Les piments sont une excellente source de promotion de la santé humaine. La forte concentration des constituants chimiques à activité antioxydante lui confère le rôle considérable dans la prévention de diverses maladies dégénératives. Les facteurs affectant la coloration du paprika ainsi que les méthodes de son évaluation sont rapportés. Les capsaïcinoïdes sont un groupe de composants qui donnent au piment la saveur de brûlure. Quarante cinq pour cent de la teneur totale en capsaïcinoïdes est représenté par les 3 composants principaux. Elles sont principalement utilisées dans des applications médicales et non alimentaires. Les techniques de mesure de ces substances sont évoquées. La composition en acide ascorbique, les composés phénoliques, les flavonoïdes et les tocophérols ainsi que les paramètres de qualité de paprika (Physico-chimie, couleur, contamination microbienne etc..) sont largement décrits.

Les principaux travaux de recherche sur la culture de *Capsicum annuum* et sur la transformation et la qualité du paprika ont été menés à l'étranger et sont très rares au Maroc. Par conséquent, l'objectif de ce travail est de développer certains aspects liés à la culture de la niora et son produit final après transformation le paprika à savoir principalement:

- Diagnostic sur la conduite technique de la culture au Tadla, et étude de la diversité phénotypique,
- Etude de la qualité du paprika.

Partie Expérimentale

Les travaux de recherche sur la culture de la niora présentés dans cette thèse ont été menés au niveau de la plaine du Tadla. Par conséquent, une approche des conditions climatiques et une présentation du site d'étude sera présentée dans cette partie.

1. Présentation du site d'étude: périmètre irrigué du Tadla

1.1. Position géographique

Le périmètre irrigué du Tadla occupe une partie centrale sur la carte géographique du Maroc. Il est limité par le Moyen Atlas au Sud, le plateau phosphaté de Khouribga-Oued Zem au Nord, par la dépression du Tadla à l'Est et les régions des Chaouia et El kalâa des Sraghna à l'Ouest (**Fig. 17**). Le Tadla est considéré parmi les périmètres irrigués les plus anciens et les plus importants du pays (EL Faiz et Seddiki, 1981). Il est traversé par l'oued Oum-Rbiâ qui divise la plaine en deux vastes parties: la rive gauche des Béni-Moussa au Sud, irriguée par le barrage Bine el Ouidane et la rive droite des Béni-Amir au Nord, irriguée par l'Oum Rbiâ.



Figure 17: Présentation de la zone d'étude

1.2. Climat

Le climat de la Région est de type continental en général mais caractérisé par deux étages bioclimatiques :

- Un climat aride à semi aride dans la plaine et le piémont de la montagne avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 350 mm en moyenne,
- Un climat de type subhumide dans la zone montagneuse caractérisée par des hivers froids et humides et des étés tempérés. Les gelées sont fréquentes avec des chutes de neige de moins en moins importantes. Cet étage est caractérisé par une moyenne des minima de température pendant les mois les plus froids souvent en dessous de zéro. Quant à l'évapotranspiration, elle peut avoisiner les 1500 mm annuellement.

L'examen du climagramme pluviothermique d'Emberger établi pour la région ([Missante, 1963](#)) a permis de préciser que le Tadla se situe dans l'étage aride, sous-étage à hiver tempéré au Nord, et sous étage à hiver frais au Centre et à l'Ouest ; le Sud et l'Est jouissent d'un climat semi-aride, sous étage à hiver frais.

Les données climatiques proviennent de la station météorologique de Had Elbradia, station la plus proche du site d'étude. Les paramètres climatiques enregistrés au niveau de cette station peuvent être considérés comme valable pour le site d'étude. Les paramètres relevés sont les précipitations, les températures minimales, maximales, moyennes et les températures absolues ainsi que l'humidité relative de l'air minimale, maximale et moyenne mensuelles.

1.2.1. Précipitations

Les précipitations sont abondantes au Tadla pendant les saisons d'automne et d'hiver, et sont rares en été et au printemps. Le régime pluviométrique du périmètre est irrégulier d'un mois à l'autre, d'une année à l'autre et d'une partie de la plaine à l'autre. Un gradient croissant des précipitations est noté du Nord vers le Sud. Ceci s'explique par l'augmentation de l'altitude tout en se dirigeant vers le Moyen Atlas au Sud de la plaine. De même qu'un gradient croissant de précipitations est noté de l'Ouest vers l'Est.

Les précipitations annuelles enregistrées au cours des 2 campagnes d'études 2009/2010 et 2010/2011, l'humidité minimale, maximale et moyenne sont illustrées dans la **figure 18**.

1.2.2. Températures

Les fortes températures sont enregistrées pendant la saison estivale en particulier aux mois de juillet et d'aout. Alors que les minima les plus basses sont relevés en hiver au mois de janvier. Les températures minimales, moyennes et maximales sont présentées dans la **figure 19**.

1.3. Données pédologiques du Tadla

La plaine du Tadla est constituée par une vaste formation essentiellement alluviale très hétérogène. L'analyse de la carte pédologique établie par [Missante \(1963\)](#) permet de distinguer cinq types de sols :

- 1- sols minéraux bruts: soit des dalles, soit des croûtes ou des marnes ;
- 2- sols isohumiques: soit de type chatain ou de type brun ;
- 3- sols tirs ;
- 4- sols d'apport: les apports peuvent être alluviaux ou coalluviaux ;
- 5- sols calcomagnésimorphes : soit des sols à tendance rendziniques, soit des sols bruns calcaires ou des sols pseudorendziniques.

Les sols isohumiques et calcomagnésiques sont les plus dominants dans la région du Tadla et les sols tirsifiés sont localisés essentiellement dans le périmètre de Béni Moussa. Dans cette région, les sols sont généralement de deux types :

- Type fertisol : Etendue sur toute la plaine irriguée et sont globalement favorable à la mise en valeur agricole sous irrigation en raison de leur profondeur et de leur texture équilibrée, mais ils sont pauvre en matière organique dont la teneur est de l'ordre de 1.7% en moyenne.
- Type fersiallitique : Caractérisant le piémont et la montagne. Ces types de sols sont constitués de dépôts riches en calcaire très caillouteux et fortement encroûtés en général.

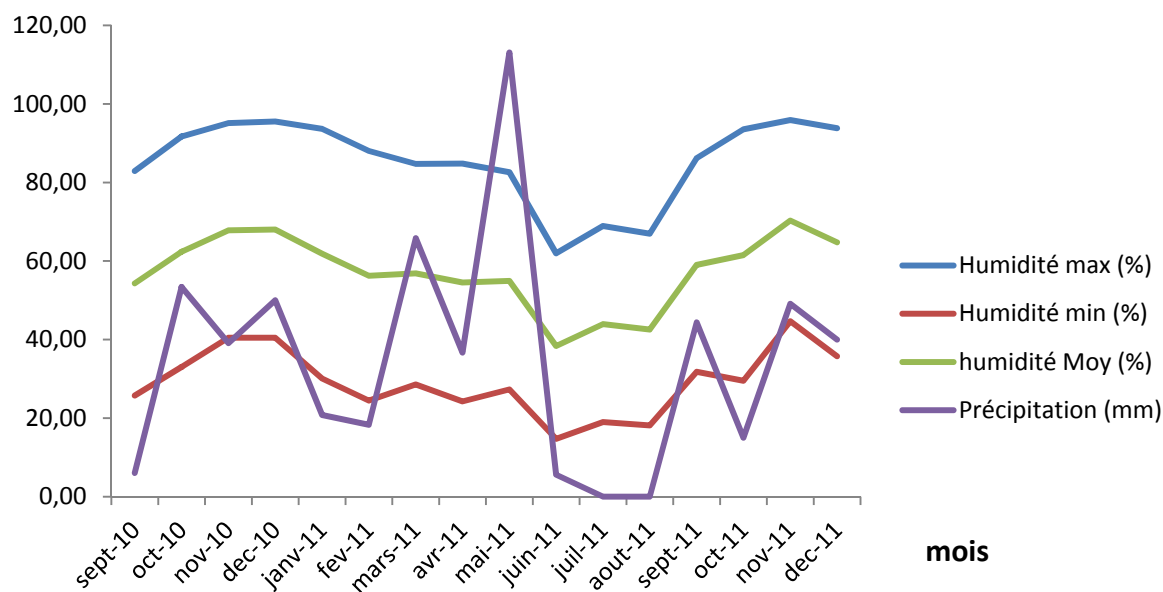


Figure 18 : Précipitations, humidités maximales, minimales et moyennes en % enregistrées de septembre 2010 jusqu'à décembre 2011

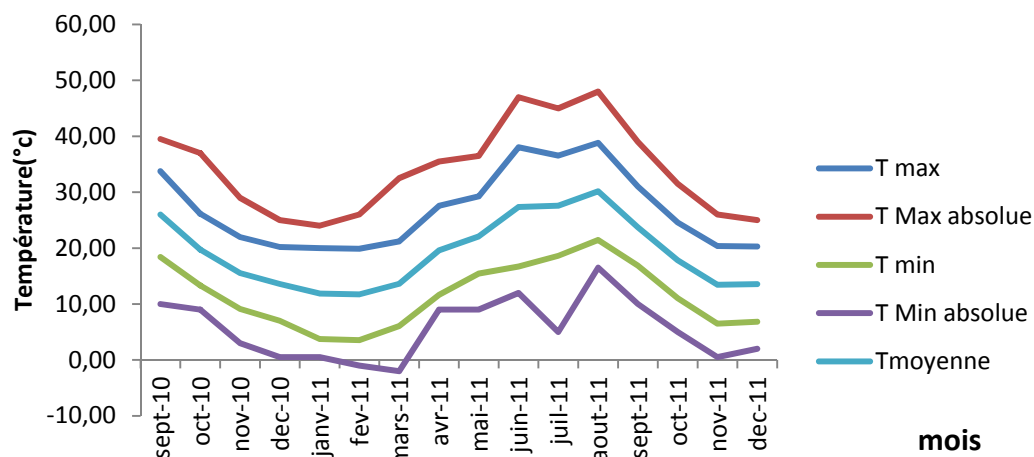


Figure 19 : Températures minimales, maximales et moyennes enregistrées de septembre 2010 jusqu'à décembre 2011

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Diagnostic de l'état des lieux de la culture de niora

Afin de dresser l'état des lieux de la conduite culturale (itinéraire technique), délimiter la zone de production de la niora et déceler les différentes contraintes à la bonne conduite de la culture au niveau de la région de Tadla depuis son installation jusqu'à sa transformation, la méthodologie adoptée a consisté en la collecte et l'analyse d'informations disponibles sur la filière de la niora auprès des structures publiques ou semi publiques dont l'ORMVAT, la DRA, la DPA. Des enquêtes auprès des acteurs de la filière ont été également entreprises. Elles ont touché tous les maillons de la chaîne de production du paprika (les producteurs, les collecteurs et les transformateurs). Nous avons fait des entretiens avec plus d'une centaine de personnes. Un questionnaire a été élaboré dans ce sens (voir annexe). Ainsi, des sorties de terrain pour la collecte des données au niveau des champs ont été menées durant deux campagnes 2009/2010 et 2010/2011 (Fig. 20).

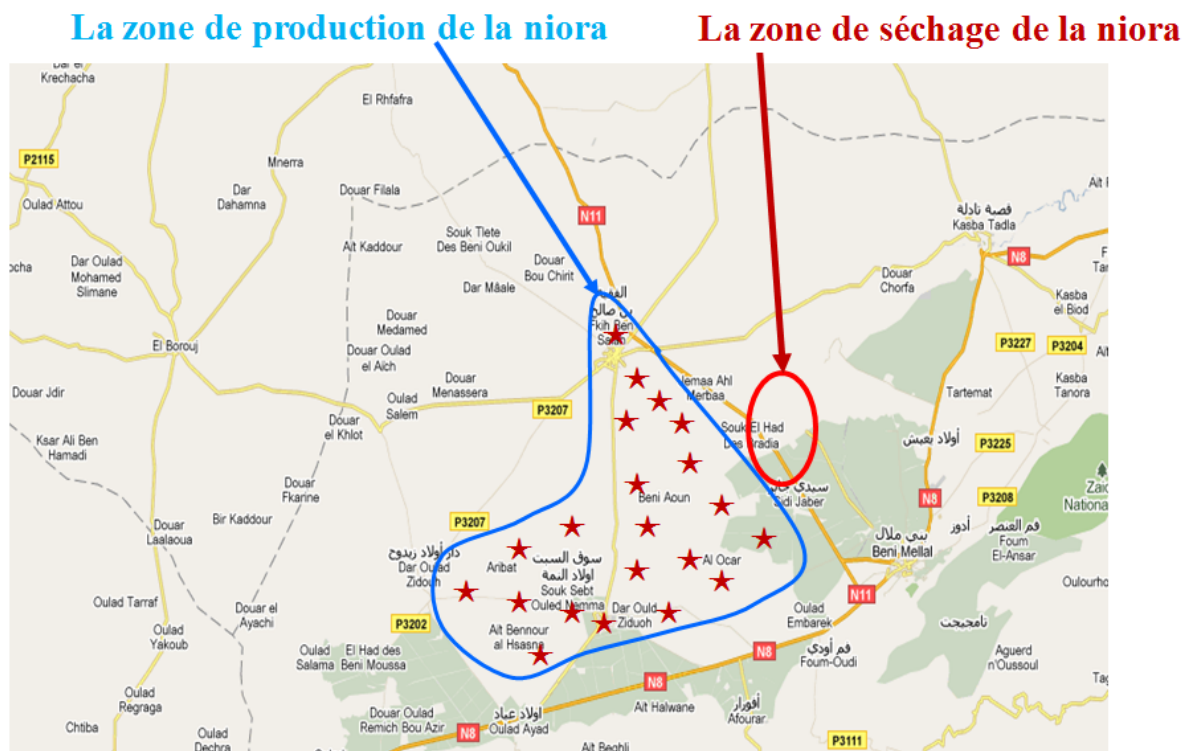


Figure 20 : Zone de production et de transformation de la niora au niveau du Périmètre du Tadla

2.2. Déroulement de l'échantillonnage

1- A travers des visites régulières aux sites de séchage, des prospections, des enquêtes auprès des agriculteurs et des commerçants et des visites des champs cultivés par la niora, on a pu identifier 11 morphotypes qui se distinguent clairement par la morphologie de leur fruit. Après le choix des 11 morphotypes, les fruits ont été récoltés à l'état frais au hasard à partir des champs de la niora installés dans les Béni Amir et les Béni Moussa et emballés dans des sachets en papier pour conserver leurs humidités. Les fruits récoltés ont été caractérisés pour leurs paramètres biométriques et aussi pour leurs paramètres de qualité.

Les paramètres de qualité des 11 morphotypes ont été déterminés sur le produit sec des fruits. Ainsi, les fruits frais collectés ont été séchés à une température de 55 ° C dans un flux d'air forcé pendant 48 h jusqu'à stabilité du poids sec. Ensuite, la matière sèche a été broyée et tamisée pour obtenir des particules de 0,4 mm. Les poudres issues des différents morphotypes ont été placées dans des bocaux à couvercle fermés hermétiquement et conservées à 4 °C jusqu'à analyse.

2- Les échantillons de paprika produit dans la région du Tadla et plus précisément dans la zone des Béni amir (Ouled Ali) ont été collectés de manière aléatoire pendant les campagnes 2010 et 2011. Les prélèvements d'échantillons ont été répartis sur toute la période de production et de transformation de la niora qui s'étale du mois de septembre à décembre (Hakmaoui et al. 2011). Les échantillons ont été pris durant la première semaine de Septembre, Octobre, Novembre et Décembre sans ajout d'huile et ont été mélangés et emballés séparément. Les échantillons emballés ont été transportés au laboratoire où ils ont été stockés dans des bocaux fermés hermétiquement dans l'obscurité et au froid (4 ° C) jusqu'à l'analyse. Toutes les analyses ont été effectuées en utilisant des produits chimiques et réactifs de qualité analytique.

2.3. Paramètres biométriques mesurés:

Un lot de 10 fruits a été pris pour chaque morphotype pour mesurer les caractéristiques morphologiques des fruits. Les mesures biométriques sont réalisées à l'aide d'un pied à coulisse et d'une balance analytique. Les paramètres étudiés sont : la longueur du fruit (cm), le poids frais et sec des fruits (g), le nombre de graines, le volume des fruits, la densité du fruit, le poids de 100 graines (g), le poids du péricarpe (g), la longueur du pédoncule (cm).

2.4. Paramètres physico-chimiques (qualité)

L'ASTA, la coloration de surface, la teneur en caroténoïdes, la teneur en vitamine C (acide ascorbique), la teneur et la composition en capsaïcinoïdes sont les principaux paramètres de qualité étudiés au cours de ce travail aussi bien pour les poudres de paprika produit dans la région de Tadla que pour les morphotypes étudiés.

2.4.1. Détermination de l'ASTA

L'ASTA de la poudre de paprika a été déterminé selon la méthode AOAC officielle 971.26 (Horwitz, 2002). Des échantillons de 0,1 g ont été extraits avec 20 ml d'acétone pendant 3h sous agitation et à l'obscurité. Ensuite, l'extrait a été dilué au 1/5 avec l'acétone. L'absorbance de l'extrait dilué a été mesurée à 460 nm par spectrophotomètre contre un blanc à l'acétone. La couleur extractible des échantillons a été exprimée en unités ASTA :

$$\text{ASTA} = \text{Absorbance} * 16,4 * \text{DEVF} / \text{poids}$$

où DEVF est le facteur de déviation du spectrophotomètre, qui a été calculée en divisant l'absorbance théorique par l'absorbance de la coloration de la solution standard (0,001M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ et 0,09 M $(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dans 1,8 M d' H_2SO_4) à 460 nm.

2.4.2. Détermination de la teinte (R/Y)

La couleur des produits chimiques (Teinte) ou le quotient de la densité optique entre les caroténoïdes jaunes et rouges (R / Y) a été déterminée en divisant l'absorption à 470 nm

sur l'absorption à 455 nm des extraits de chacun des échantillons dans l'acétone (De Guevara et Pardo 1996). $T = \text{absorbance à 470 nm} / \text{absorbance à 455 nm}$.

2.4.3. Coloration de surface

La colorimétrie permet de mesurer la couleur objectivement. L'espace couleur $L^*a^*b^*$ (appelé aussi CIELAB), défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) en 1976, est actuellement l'un des plus utilisés pour mesurer la couleur des objets dans pratiquement tous les domaines. C'est un espace à trois dimensions où la combinaison L^* indique la luminance qui va de 0 (noir) à 100% (blanc), la composante a^* représente la gamme de l'axe rouge-vert et la composante b^* représente la gamme de l'axe jaune-bleu.

Pour mesurer la couleur de surface de la poudre de paprika, un CR-300 chromamètre (Minolta, Osaka, Japon) a été utilisé. Une boîte de Pétri en verre contenant les échantillons a été placée au-dessous de la source de lumière. Les valeurs des paramètres L , a et b de chaque échantillon ont été déterminées en trois exemplaires. La chrominance (C) et l'angle Hue (h°) ont été calculés (McGuire, 1992).

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{et} \quad h^\circ = \text{arc tang}(b/a).$$

2.4.4. Les caroténoïdes totaux

La teneur en caroténoïdes totaux a été déterminée selon la méthode citée par Alasalvar et al. (2005). En bref, une quantité de 0,5 g a été extraite avec 5 ml d'acétone et d'eau (9:1, v/v) et centrifugée à 3000 rpm pendant 10 min à 4 ° C. Le surnageant clair a été retiré et l'extraction a été répétée pendant 5 ou 6 fois jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de couleur à extraire. L'ensemble des extraits a été mélangé et l'absorbance à 471 nm en utilisant un spectrophotomètre UV-2100 a été mesurée.

$$\text{Caroténoïdes totaux (\%)} = (\text{Abs max} * 25 \text{ ml d'acetone} * 100) / \text{poids de l'échantillon}$$

2.4.5. Les Capsaïcinoides

La capsaïcine (C), la dihydrocapsaïcine (DC) et la nordihydrocapsaïcine (NDH) ont fait l'objet d'analyse étant donné qu'elles représentent plus de 90 % des capsaïcinoïdes totaux selon la littérature.

La teneur en capsaïcinoïdes a été déterminée selon la technique décrite par [Collins et al., \(1995\)](#). 1g de paprika en poudre a été mélangé avec 10 ml d'acétonitrile et maintenu pendant 4 h à 80 ° C sous agitation dans un flacon Erlenmeyer bouché. Le surnageant a été filtré à l'aide de 0,45 µm filtre à membrane (Millipore), puis conservé jusqu'à utilisation (en HPLC). La capsaïcine et La dihydrocapsaïcine ont été quantifiés à partir de courbes d'étalonnage obtenues à partir des solutions étalons. Comme il n'existe pas de Nordihydrocapsaïcine dans le commerce, il a été identifié sur la base de la courbe d'étalonnage de la dihydrocapsaïcine tel qu'il a été rapporté dans la littérature ([Cooper et al., 1991](#); [Schweiggert et al., 2006](#)). La teneur totale en capsaïcinoïdes a été déterminée comme étant la somme du contenu de la capsaïcine, la dihydrocapsaïcine et nordihydrocapsaïcine.

Les Unités Scoville sont généralement utilisées pour indiquer le caractère brûlant des piments. [Govindarajan et al. \(1987\)](#) considèrent un seuil moyen du brûlant de 15 millions d'UHS pour l'ensemble des capsaïcinoïdes. En général, il est établi que 1 ppm de capsaïcinoïdes équivaut à 15 UHS (Units Heat Scoville ou Unités Scoville). [Todd et al. \(1977\)](#) ont signalé un seuil du brûlant différent pour les divers capsaïcinoïdes, dont 16,1 millions d'UHS pour la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine. Dans cette étude, les teneurs en capsaïcinoïdes ont été converties en Scoville Heat Value (SHV) en multipliant la concentration de capsaïcinoïdes (ppm) par le coefficient de la puissance calorifique pour chaque composé capsaïcinoïdique à savoir 9,3 pour la nordihydrocapsaïcine et 16,1 pour la capsaïcine et dihydrocapsaïcine ([Todd et al., 1977](#)).

$$\text{Total des SHV} = [\text{CAPS (ppm)} + \text{DHCAPS (ppm)}] \times 16,1 + [\text{NorhydCS (ppm)} \times 9,3]$$

2.4.6. Teneur en vitamine C.

La teneur en vitamine C a été estimée à l'aide de 2,4- Dinitrophénylhydrazine ([Sadasivam et Manickham, 1992](#), [Benderitter et al. 1998](#), [Obob et al., \(2007\)](#)). Ainsi, 75 µl de DNPH (2 g d'hydrazine dinitrophényle, 230 mg et 270 mg de thiourée, CuSO₄ 5H₂O dans 100 ml d'H₂SO₄ 5M) a été ajouté à 500 µl du mélange réactionnel (300 µl de l'extrait de paprika avec 100 µl d'acide trichloroacétique (TCA) 13,3% et de l'eau, respectivement). Le mélange réactionnel a ensuite été incubé pendant 3 heures à 37 ° C. Ensuite, 0,5 ml H₂SO₄ 65% (v / v)

a été ajouté au milieu. La densité optique a été mesurée à 520 nm et la teneur en vitamine C de l'échantillon a ensuite été calculée à l'aide d'une courbe standard de la vitamine C.

2.4.7. Détermination du pH

Le pH a été déterminé selon la méthode de l'AOAC ([Hortwitz 2002](#)). On prend 10 g de la poudre de paprika que l'on mélange avec 50 ml d'eau distillée. On introduit les électrodes préalablement étalonnées dans la prise d'essai et on règle le système de correction de la température de pH-mètre à la température de mesurage (20 °C ±2 °C). Lorsqu'une valeur constante a été obtenue, on lit le pH directement sur l'échelle de l'appareil à 0,05 unité.

2.4.8. Humidité ou teneur en eau.

La teneur en eau est la perte de masse exprimée en pourcentage subie par le produit dans des conditions spécifiées. Elle a été analysée selon la méthode AOAC officielle 925,05 ([Horwitz, 2002](#)). Pour ce faire, le creuset à vide est d'abord nettoyé, séché et pesé. Après cela, ce dernier contenant l'échantillon (5g) est de nouveau pesé (m_1) puis placé à l'étuve à 105°C pendant 3 heures. Après ce temps de séchage, le creuset est sorti de l'étuve, puis refroidi dans un dessiccateur (P_2O_5) avant d'être pesé (m_2) à nouveau. Les résultats exprimés représentent la moyenne de trois essais et la teneur en eau est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (m_1 - m_2) \times 100 / m_1$$

Où m_0 : masse en grammes de la prise d'essai avant étuvage. m_1 : masse en grammes de la prise d'essai après étuvage

2.4.9. Détermination des cendres totales

Le principe de la méthode est la destruction des matières organiques par chauffage de l'échantillon à une température de (550±25) °C jusqu'à obtention d'une masse constante. La teneur totale en cendres des échantillons a été déterminée selon la méthode AOAC officielle 941,12 ([Horwitz, 2002](#)) par minéralisation de 5 g de poudre (contenu dans des creusets en porcelaine préalablement séchés) dans un four NAGAT (Tignac, France). Le creuset de minéralisation à vide est d'abord nettoyé, séché et pesé (M_0). Le creuset contenant le

produit humide (5g) est de nouveau pesé (M1) et placé dans l'étuve à 105 °C pendant 3 heures. Après séchage, la coupelle est sortie de l'étuve puis refroidie dans un dessiccateur (P2O5) avant d'être pesée (M2). Une fois pesé, le creuset est introduit dans le four à 550 °C pendant environ 6 h, refroidi dans le dessiccateur et pesé à nouveau. La teneur en cendres est la masse du produit restant dans le creuset après minéralisation rapportée à la masse sèche totale du produit. Les résultats exprimés représentent la moyenne de 3 essais.

2.4.10. Détermination des cendres insolubles dans l'acide (ISO 930 ; 1997)

C'est la partie des cendres totales restant après traitement à l'acide chlorhydrique. Le principe de la technique est le traitement des cendres totales obtenues avec de l'acide chlorhydrique, filtration, incinération et pesée du résidu.

2.5. Paramètres nutritionnels

2.5.1. Teneur en fibres

La teneur en fibres totales a été déterminée selon la méthode AOAC 982,29 (Prosky et al., 1992). Elle repose sur la précipitation sélective des fibres par l'addition de différentes concentrations d'éthanol. Pour ce faire, 10 ml d'eau sont ajoutés à 0,5 g de l'échantillon dans un tube falcon. Après incubation à 100 °C dans un bain marie pendant 10min, la solution est refroidie et 40 ml d'éthanol absolu sont ajoutés. Le mélange est incubé pendant 30 min à 0°C. Après une première centrifugation à 5000 t/min pendant 10 min, le surnageant est éliminé et le précipité est lavé avec 50 ml d'éthanol à 85%. Le précipité obtenu subit par la suite deux lavages avec 50 ml d'éthanol absolu et centrifugation à 5000 t/min. Le culot récupéré est lavé avec 50 ml d'acétone pour être séché à température ambiante pendant 24 h.

2.5.2. Teneur en protéines.

L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl (Pomeranz et Clifton, 1987). La teneur en azote est déterminée par titrimétrie à l'aide de l'acide sulfurique 0,2 mol.L⁻¹ après minéralisation de 100 mg d'échantillon. La distillation est effectuée au moyen d'un appareil Kjeldhall semi-automatique (GERHARDT, Paris, France). La teneur en protéines totale est calculée en utilisant le facteur de conversion 6,25. Les résultats exprimés représentent la moyenne de 3 essais (exprimée en g/100 g poids sec de paprika).

2.5.3. Teneur en lipides.

La méthode Soxhlet est la méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse dans les aliments solides déshydratés (Horwitz, 2002). C'est une méthode gravimétrique, puisqu'on pèse l'échantillon au début et la matière grasse à la fin de l'extraction. Pour ce faire, les lipides contenus dans 5 g de poudre (emballée dans de petits sachets en papier filtre préalablement séchée 1 heure dans une étuve à 105°C et refroidie dans un dessiccateur) sont extraits durant 8 heures à l'hexane, à l'aide d'un soxhlet. Après extraction, le solvant est concentré au rotavapeur.

2.5.4. Composition en acide gras

La composition en acide gras des échantillons de paprika a été déterminée suite à la méthode européenne standard ISO 12966:2011. Brièvement, 0,1 g d'huile a été dissous dans 2 mL d'isooctane en présence de 0,1 ml de KOH (2N). La réaction a été effectuée par chauffage pendant 15 min à 80 ° C dans un bain d'eau. Après refroidissement, 0,2 mL d'une solution de MeOH/H₂SO₄ (15%) et le mélange est chauffé à nouveau pendant 15 min. 1 ml d'isooctane est ainsi additionné après le 2^{ème} refroidissement. Ensuite, 2 ml de NaCl (40%) est ajouté au mélange pour aider au transfert des esters méthyliques dans la phase organique. Le tube a été centrifugé à 4500 tours par minute pendant 10 min. La fraction de l'isooctane est éliminée dans un tube à essai, auquel 1 g de Monohydrate bisulfate de sodium est ajouté. Après centrifugation à 4 500 rpm pendant 10 min, la phase isooctane dessus a été transférée dans un flacon et injectée dans un chromatographe Varian 5890 (Varian Deutschland, Darmstadt, Allemagne). Les surfaces des pics ont été calculées par le logiciel d'intégration, et les pourcentages des esters méthyliques d'acides gras (EMAG) ont été obtenus.

2.5.5. Teneur en sucres totaux et en sucres réducteurs

La teneur en sucre a été établie en utilisant la méthode de Bertrand (Browne et Zerban, 1955). Ce dosage consiste à recueillir le précipité de l'oxyde de cuivre (II) Cu₂O formé par réduction de la liqueur cupro-alkaline, en présence de sucres réducteurs et de le mesurer par manganimétrie. Les tables de BERTRAND donnent directement la correspondance entre le volume de KMnO₄ (0,1N) utilisé et la teneur en sucres réducteurs de la prise d'essai. Cependant, il s'agit d'une méthode empirique et pour que ces tables soient utilisables, il faut

travailler dans les mêmes conditions opératoires (temps d'ébullition et volumes de solutions) et éviter l'oxydation à l'air et par l'oxygène dissous dans les eaux de lavage par emploi d'eau bouillie et refroidie.

2.5.6. Valeur énergétique

La valeur énergétique de la poudre de paprika a été calculée par la multiplication et la sommation des valeurs obtenues pour les protéines, les carbohydrates et les lipides totaux multipliés par 4.00, 3.75, et 9.00, respectivement ([Durucasu et Tokusoglu \(2007\)](#)). Les résultats obtenus ont été multipliés par 4,1868 pour les exprimer en kJ.

2.5.7. Teneur en minéraux

Le contenu des échantillons de paprika en minéraux a été déterminé selon la méthode d'[Osborne et Voogt \(1978\)](#). Les cendres ont été diluées avec 0,1 N d'acide chlorhydrique et de l'eau distillée et déminéralisée. Le dosage du Calcium, Potassium et Sodium a été effectué par spectrophotométrie à flamme (SEDEL). Le dosage est effectué sur les filtrats préparés à partir des cendres de paprika. L'échantillon est atomisé dans une flamme chaude obtenue par un mélange butane/air. En pratique, les mesures s'effectuent simultanément pour des solutions étalons et les échantillons à doser.

Les oligoéléments : Zinc, Cuivre, Cadmium, Plomb, Fer et Magnésium ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique (UNICAM 929 AA Spectrometer "ATIUNICAM") sur les filtrats préparés à partir des cendres totales. Le spectrophotomètre d'absorption atomique est muni de lampes à cathode creuse spécifiques de chacun des éléments à doser et réglé à une longueur d'onde optimale. Les mesures effectuées sont comparées à celles des étalons réalisés pour chaque cation. Ces derniers sont préparés au moment de l'analyse. Les résultats exprimés représentent la moyenne de trois essais.

Le phosphore a été déterminé par la méthode vanadomolybdophosphorique ([Jackson, 1958](#)). Ce dosage a été effectué sur les filtrats préparés à partir des cendres de paprika. Le principe de la présente méthode repose sur la réduction du phosphomolybdate d'ammonium par le vanadate d'ammonium. Cette réduction provoque la formation d'un composé dont la

coloration est proportionnelle à la teneur en phosphates. Les solutions étalons ont été préparées en même temps que les solutions à doser.

2.6. Caractérisation microbiologique

Tous les échantillons ont été analysés pour les bactéries aérobies totales, les levures et moisissures, les entérobactéries, les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les Streptocoques, les Staphylocoques, les Salmonelles, les Clostridium et les Aflatoxines. Dix grammes de poudre de paprika ont été mélangés avec 90 ml de peptone solution d'eau stérile dans un Stomacher 400 Circulator (Seward, Londres, Royaume-Uni). Des dilutions en série (1:10) de chaque échantillon homogénéisé ont été réalisées dans les mêmes diluants. Toutes les analyses ont été faites selon les méthodes Officielles d'analyses (AOAC) ([Horwitz, 2002](#)).

2.6.1. Dénombrement de la flore aérobie mésophile totale (FMAT)

La flore aérobie mésophile totale est l'ensemble des microorganismes capables de se multiplier en présence d'oxygène à une température située entre 25 et 40 °C. L'ensemencement se fait en surface d'un milieu de culture défini PCA, coulé dans deux boîtes de pétri avec une quantité déterminée de suspension mère. Dans les mêmes conditions, on réalise l'ensemencement des dilutions décimales obtenues à partir de la suspension mère. Les boîtes sont incubées à 30 °C ± 1 °C pendant 72 h ± 3 h.

Pour toutes les analyses microbiologiques réalisées, le nombre de micro-organismes est calculé par gramme de paprika en tant que moyenne pondérée à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \Sigma C / [(n_1 + 0.1n_2) d]$$

ΣC : est la somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues.

n_1 : est le nombre de boîtes retenues à la première dilution.

n_2 : est le nombre de boîtes retenues à la seconde dilution.

d : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.

2.6.2. Dénombrement des coliformes totaux

Ce sont des bactéries, qui à la température spécifiée (30 °C, 35 °C ou 37 °C), forment des colonies violacées ou pourpres d'un diamètre supérieur ou égal à 0.5 mm dans l'agar désoxycolate. Il s'agit d'un ensemencement en profondeur, coulé dans deux boites de Pétri avec une quantité déterminée de suspension mère. Dans les mêmes conditions, on réalise l'ensemencement des dilutions décimales obtenues à partir de la suspension mère. Les boites sont incubées à 30°C pendant 24h. L'expression des résultats est identique à celle de la flore aérobie mésophile totale.

2.6.3. Dénombrement des coliformes thermotolérants

Les coliformes thermotolérants sont des coliformes fermentant le lactose avec production de gaz à la température de 44 °C. Le même protocole que celui des coliformes totaux a été utilisé, cependant, les boites de pétri sont incubées à 44,5°C pendant 24 h. Il s'agit de colonies rouges roses de 0.5 mm de diamètres. L'expression des résultats est identique à celle de la flore aérobie mésophile totale.

2.6.4. Dénombrement des levures et des moisissures

Les levures et moisissures sont des micro-organismes qui, après ensemencement en surface sur le milieu d'extrait de malt inhibiteur pour les bactéries aérobies, forment des colonies après une incubation à 20° C pendant 5 jours. L'ensemencement se fait en surface.

2.6.5. Dénombrement des entérobactéries

Les entérobactéries sont des micro-organismes formant des colonies caractéristiques sur gélose au cristal violet, à la bile et au glucose (VRBG), fermentent le glucose (colonies rouges) et donnant une réaction oxydase négative. Il s'agit d'un ensemencement en profondeur du milieu sélectif (VRBG), coulé dans deux boites de Pétri avec une quantité déterminée de suspension mère. Dans les mêmes conditions, on réalise l'ensemencement des dilutions décimales obtenues à partir de la suspension mère. Les boites sont incubées à 37 °C

± 1 °C pendant 24 h \pm 2 h. Les colonies caractéristiques sont rouges aux violettes. L'expression des résultats est identique à celle de la flore aérobie mésophile totale.

2.6.6. Dénombrement de Clostridium

Le milieu SPS (Sulfite de Sodium –Polymixine -Sulfite de Cystéine) est utilisé pour la recherche et le dénombrement des anaérobies strictes sulfito-réducteurs particulièrement *Clostridium perfringens*. La solution mère subit un traitement thermique à 80°C pendant 10 min. Ensuite, l'ensemble est incubé à 46°C pendant 24 h à 48 h. Seules les colonies noires sont comptées.

2.6.7. Dénombrement des Staphylocoques

Les staphylocoques ont été dénombrés sur le milieu Baird Parker qui est un milieu sélectif des *Staphylococcus* à coagulase positive en particulier des *Staphylococcus aureus* et incubées à 37 ° C pendant 48 h. Pour la vérification, on procède par le test de DNASE qui consiste en une incubation à 37°C pendant 24 à 48 h, puis on coule la solution d'acide chlorydrique.

2.6.8. Dénombrement des Streptocoques

Les streptocoques ont été dénombrés en milieu Slanetz et incubés à 37 ° C pendant 24-48 h. Les streptocoques fécaux donnent sur ce milieu de petites colonies rouges ou marrons avec ou sans auréole blanche.

2.6.9. Dénombrement des salmonelles

La recherche et le dénombrement des *Salmonella* ont été réalisés après pré-enrichissement de la solution mère en milieu eau peptonée tamponnée à 37 °C pendant 24 heures, après enrichissement de 2 ml d'échantillon pré-enrichi dans 20 ml de bouillon au milieu sulfite -bismuth à 37 °C pendant 48 heures et ensemencement en surface avec 0,1 ml d'échantillon enrichi de la gélose SS (*Salmonella-Shigella*) et incubation à 37 °C pendant 24 heures. Les colonies incolores et jaunâtres de diamètres supérieurs à 5 mm mesurés à l'aide d'une règle graduée avec ou sans centre noir (lactose négatif; uréase négatif; indole négatif) sont des colonies présomptives de *Salmonella*.

2.6.10. Dénombrement des aflatoxines

Les aflatoxines dans les échantillons de paprika ont été analysées en utilisant la méthode rapportée par [Gilbert et Anklam \(2002\)](#) avec de légères modifications. 50 g d'échantillon ont été additionnés de 5g de NaCl et extraits par 250 ml du mélange méthanol/eau (60:40 v/v) en utilisant un blinder à grande vitesse pendant 3 minutes. Après filtration sur papier Wattman n°4, 10 ml du filtrat sont dilués par 60 ml d'une solution de tampon phosphate (PBS, pH 7.3). Une colonne d'immuno-affinité (Aflaprep®, R-Biopharm Rhône LTD, Glasgow, Royaume-Uni) est conditionnée par 10 ml du tampon PBS. 66 ml du filtrat dilué ont été appliqués à la colonne d'immuno-affinité à un flux de 3 ml.min⁻¹. La colonne a été lavée par 15 ml d'eau bidistillée et l'air dans la colonne a été éliminé par une seringue jusqu'au sec. Les aflatoxines ont été éluées par application en premier de 1250 µl de méthanol à la colonne. L'éluat a été dilué avec 1750 µl d'eau bidistillée et mélangé au vortex. 100 µl de l'éluat dilué ont été injectés à un HPLC. La colonne C18 Phenomenex (250 x 4.6 mm, 5µm) a été utilisée. La phase mobile utilisée était le mélange acétonitrile-eau-méthanol (17:54:29, v/v/v) à un flux de 1 ml.min⁻¹. Le fluorimètre a été opéré à des longueurs d'ondes d'excitation et d'émission respectivement de 362 nm et 440 nm.

2.7. Activité antioxydante et composition du paprika en certains métabolites

La poudre de paprika produite en 2011 à partir des fruits de la niora a été utilisée pour cette étude. Les échantillons ont été pris immédiatement après broyage à quatre périodes de production et de transformation (Septembre, Octobre, Novembre et Décembre). La taille moyenne des particules des poudres était de 400 µm. Les échantillons ont été stockés à 4 ° C jusqu'à utilisation. Pour chaque paramètre d'analyse, trois répétitions ont été considérées. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide de produits chimiques et réactifs de qualité analytique.

2.7.1. Préparation de l'extrait méthanolique

Les extraits méthanoliques de paprika ont été obtenus par macération d'un g de poudre paprika avec 10 ml de méthanol / eau (80:20) sous agitation magnétique pendant 30 min et ils ont été laissés macérés à température ambiante pendant 24 heures. Après filtration et centrifugation, les surnageants ont été concentrés à l'aide d'un rotavapeur à une température de 35 ° C et une pression de 70 mbar (Peruka et Materska, 2007). Les extraits ont été enfin ajustés à une concentration d'un mg/ml puis conservés à 4 ° C jusqu'à l'analyse.

2.7.2. Dosage des composés polyphénoliques

Les composés phénoliques totaux ont été estimés par la méthode de Singleton et al.(1999) citée par Wolfe et al. (2003). Elle évalue l'ensemble des composés phénoliques réducteurs du réactif phosphomolybdotungstique ou réactif de Folin-Ciocalteu (FCR). Elle est basée sur une réaction d'oxydoréduction au cours de laquelle, la fonction OH des phénols est oxydée pendant que le FCR est réduit. Une prise de 50 µl de l'extrait méthanolique de paprika a été combinée avec 250 µl de réactif de Folin-Ciocalteu. Les tubes ont été agités au vortex pendant 15 secondes. Puis, 500 µl de carbonate de sodium (20%) est ensuite ajouté aux tubes et enfin le mélange a été dilué par 5 ml d'eau distillée et désionisée. Les tubes ont été conservés à l'obscurité pendant 30 min et l'absorbance a été mesurée à 727 nm. Les teneurs en phénoliques totaux sont exprimées en mg Equivalent d'Acide Gallique (EAG) pour 100 g de poids sec de paprika.

2.7.3. Dosage des flavonoïdes totaux.

La teneur en flavonoïdes totaux a été déterminée en utilisant la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium (Zhishen et al., 1999). Une quantité de 1ml de l'extrait méthanolique a été mélangée avec 5ml d'eau bidistillée et 300µl d'une solution de nitrite de sodium (NaNO₂) à 5% a été ajoutée au mélange. Après 5 min, 300 µl d'une solution d'AlCl₃ (10%) a été ajoutée. A la sixième minute, on ajoute 2 ml de NaOH (1M) au milieu réactionnel. Le volume de la solution est immédiatement ajusté à 10 ml par l'eau distillée. L'ensemble est agité à l'aide d'un vortex et l'absorbance a été mesurée à 510 nm. Le

contenu en flavonoïdes a été calculé à partir de l'équation de la courbe étalon à la quercitine. Les flavonoïdes totaux sont exprimés en mg de quercitine par 100g de poids sec de paprika.

2.7.4. Dosage des flavonols

Les flavonols ont été dosés par la méthode de [Kumaran et Joel \(2007\)](#). Dans un tube à essai, on additionne 2 ml d'extrait et 2 ml de la solution de trichlorure d'aluminium à 20% (préparé dans de l'éthanol). 6 ml de la solution d'acétate de sodium (50%) a été ajoutée à l'ensemble. L'absorbance est lue à 420 nm après 2h et demi d'incubation à température ambiante. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent de rutine par 100 g de poids sec de paprika.

2.7.5. Evaluation de l'activité antioxydante

2.7.5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH

L'activité antioxydante est basée sur la réduction de l'absorbance à 517 nm lorsqu'un radical libre stable de 2,2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH[•]) est réduit. La méthode utilisée est celle décrite par [Campos et al. \(2003\)](#). 1 ml de chaque solution méthanolique des extraits à différentes concentrations sont ajoutés à 250 µl de la solution méthanolique du DPPH (6 mg/100ml). La lecture de l'absorbance est faite pour chaque concentration à 515 nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (I%).

$$I\% = \frac{(\text{Abs contrôle} - \text{Abs test})}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

La concentration d'extrait réduisant 50% de DPPH (IC₅₀) a été déterminée graphiquement par la régression linéaire à partir de la courbe donnant l'AAR en fonction de la concentration d'extrait.

2.7.5.2. Test d' ABTS

La méthode de [Re et al. \(1999\)](#) rapporté par [Pellegrini et al. \(1999\)](#) a été utilisée. Elle est basée sur la décoloration d'un cation radicalaire stable, ABTS^{•+} (2,2'-azynobis-[3-ethylbenzothiazoline-6- sulfonic acid]) en ABTS en présence de composés anti radicalaires à 734 nm car le cation radicalaire chromophore ABTS^{•+} de couleur bleu-vert

directement produit par réaction entre l'ABTS et le persulfate de potassium a une absorption maximale à cette grandeur.

Préparation de la solution de ABTS^{•+} :

Une solution de persulfate de potassium à 2,45 mM est ajoutée à une solution de 7 mM d'ABTS dans l'eau pour obtenir une concentration finale de 3,5 mM. Le mélange est agité pendant 16 h à l'obscurité et à température ambiante pour former le radical cation ABTS. Le mélange a été ensuite dilué dans le méthanol jusqu'à obtention d'une absorbance de $0,70 \pm 0,02$ à 730 nm. 2,9 ml de la solution ABTS^{•+} (immédiatement utilisé après préparation) ont été ajoutés à 100 μ l de l'extrait méthanolique. Le mélange est ainsi conservé à l'obscurité pendant 6 minutes et les absorbances sont lues à 734 nm au spectrophotomètre.

Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (I%).

$$I\% = [(Abs\ contrôle - Abs\ test) / Abs\ contrôle] \times 100$$

La concentration d'extrait réduisant 50% d'ABTS (IC50) a été déterminée graphiquement par la régression linéaire à partir de la courbe donnant l'AAR en fonction de la concentration d'extrait.

2.8. Analyses statistiques

Les données obtenues ont été traitées par analyse de la variance et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Duncan à un seuil de probabilité de 5 % en utilisant le logiciel SPSS version 10.0.

[Tapez le titre du document]

Résultats et Discussion

Chapitre 1 :
Techniques de production du piment rouge
(Niora) au périmètre irrigué de Tadla

1- Introduction

L'intérêt croissant pour l'amélioration de la filière niora dans la région de Tadla est justifié par son importance socio-économique. Elle est considérée comme une culture stratégique pour les exportations des produits agricoles et comme moyen de lutte contre la pauvreté en milieu rural. Elle contribue à la mise à niveau du secteur agro-industriel de la région. Le Plan Agricole Régional (PAR), déclinaison du Plan Maroc Vert au niveau de la région de Tadla –Azilal vise une augmentation de la superficie et de la production pour cette culture à l'horizon 2020.

Au regard de sa conduite culturelle actuelle, la filière de niora au Maroc recèle des atouts et des opportunités qui permettent une amélioration du rendement et de la qualité de la production. Ceci passe nécessairement par la mise en place d'un itinéraire technique adéquat en amont de la culture et d'une diversification des débouchés à même de garantir des revenus importants et durables aux communautés productrices.

Le présent travail présente un diagnostic détaillé de l'état actuel de la filière de la niora au niveau du périmètre irrigué du Tadla et ce depuis l'installation de la culture jusqu'à sa transformation dans un but essentiel de répertorier l'ensemble des contraintes techniques entravant l'ouverture de la filière sur son environnement socio-économique et de proposer des recommandations d'améliorations de la conduite technique de cette culture tout en répondant aux rigueurs du marché.

Une partie de ce travail a fait l'objet d'une publication dans un numéro spécial du Bulletin Mensuel du Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture :

**« Techniques de production du piment rouge (Niora) au périmètre irrigué
de Tadla: Résultats d'enquêtes »**

2- Diagnostic de la situation actuelle de la filière de niora

L'examen de la conduite technique de la culture de la niora dans la région du Tadla montre que cette culture industrielle souffre de nombreuses faiblesses aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la transformation.

A- Au niveau de la production, les principales contraintes de la filière de la niora concernent sa culture en extensive et se résument comme suit:

- **En amont de la production**

- Un mélange variétal au niveau des produits commercialisés qui compromet la pureté et défavorise la niora sur le marché intérieur et/ou extérieur et affecte négativement sa valeur commerciale. Il est à noter que les agriculteurs essaient eux même de sélectionner leurs propres semences à partir des meilleurs fruits, d'où un mélange de variété,
- L'hétérogénéité des variétés occasionnant des récoltes prématurées,
- La persistance et la dominance du système de production traditionnel avec des rendements moyens,
- La non maîtrise de l'itinéraire technique et surtout quant il s'agit d'une production à grande échelle (époque de plantation, densité, technique de récolte),
- Le non respect de la date de semis recommandé et du peuplement. Ces deux facteurs peuvent influencer le niveau de la production aussi bien sur le plan quantité que qualité.
- La non maîtrise de la fertilisation et de l'apport des engrais qui n'est pas basé sur les besoins de la culture (doses et époques de l'apport) et ce, en absence de recommandations établies sur la bases d'essais dans les conditions pédoclimatiques locales qui tiendraient compte de la diversité des sols dans le périmètre de culture de la niora au Tadla. De plus, la majorité des producteurs ne procèdent pas à des analyses du sol et on assiste donc à un non raisonnement de la fertilisation et les doses apportées varient largement d'un agriculteur à l'autre.
- La non maîtrise des techniques d'applications des produits phytosanitaires pour le désherbage, pour la lutte contre les ravageurs (pucerons, vert gris, mollusques), les maladies (Phytophthora, Oidium...etc) ce qui se répercute négativement sur le rendement de la culture.

- La chétivité des plants préparés dans les pépinières pour la transplantation, entraînent une mortalité élevée de la population et favorise ainsi le développement des mauvaises herbes, augmente la charge de la production et entrave aussi le rendement et la qualité du produit.

- **En aval de la culture**

Les mauvaises pratiques identifiées peuvent se résumer dans les points suivants:

- Les critères de maturité et donc de récolte restent assez mal définis dans la mesure où le prix de vente peut anticiper ou au contraire retarder la récolte indépendamment de la maturité physiologique requise.

- La phase post-récolte est mal organisé et encore traditionnelle. La transformation de la niora en paprika commence par le séchage des fruits. Dans cette étape, il faut signaler que les conditions de propreté et d'hygiène exigées pour produire une qualité meilleure ne sont pas respectées par les transformateurs. En effet, la niora à sécher est manipulée à la pelle, exposée à la poussière, aux pierres, au piétinement, aux débris en plastique et en métaux, aux rongeurs et aux déchets des animaux...etc. En plus, les unités de broyage qui existent sont traditionnelles et ne respectent pas les normes d'hygiène. Les conditions de stockage ne sont pas respectées. Toutes ces constatations influencent négativement la valeur commerciale de la niora et son produit dérivé notamment sur le marché international, où il fait l'objet de concurrence avec le paprika venant d'autres pays.

- Le manque d'infrastructures de conditionnement et d'emballage de la production, implique que le produit est délivré directement aux marchés locaux, nationaux selon le modèle traditionnel ne respectant pas les normes (l'emballage, les mesures de stockage, pas d'information sur le produit délivré (origine, composition, la date limite de consommation...)). La traçabilité du produit dans ces conditions n'est pas tenue en considération.

B- Sur le plan de la commercialisation de la récolte, il ya lieu de mentionner que la filière niora souffre aussi d'une multiplicité des intervenants et d'intermédiaires ce qui se répercute négativement sur la marge bénéficiaire des agriculteurs et par là même sur l'attractivité de la filière. L'absence d'organisations professionnelles constitue une des grandes contraintes qui entrave l'épanouissement de la filière au niveau de la Région Tadla-Azilal (Existence d'une seule coopérative peu fonctionnelle).

- L'absence d'un contrôle systémique de la qualité par les services concernés encourage certains transformateurs à la falsification de leurs produits. Certains collecteurs mouillent le produit à fin d'augmenter son poids avant de le vendre; ce qui lui fait perdre sa qualité et l'expose ainsi à la moisissure. D'autres ajoutent des colorants artificiels nocifs pour la santé,..etc. Ceci influe négativement sur la qualité commerciale du produit final.

L'absence de schéma de financement local de la campagne de commercialisation renforce la dépendance des producteurs vis-à-vis des exportateurs qui injectent de l'argent, maîtrisant ainsi le marché et en dictant leurs conditions.

De ce qui précède, il ressort que l'absence de la qualité, du contrôle sanitaire et la faible industrialisation sont les principales contraintes du secteur de la filière de la niora dans la région du Tadla. Dans ce sens, les actions et les mesures à entreprendre pour relancer ce secteur porteur doit commencer par :

- L'inventaire des variétés locales de la région en vue de sélectionner les meilleures du point de vue commercial,
- L'épuration et la diffusion des meilleures variétés appréciées sur les marchés locaux, nationaux et internationaux,
- L'introduction et l'évaluation de variétés performantes répondant aux exigences du marché,
- La mise au point d'un itinéraire technique adapté,
- L'appui à la production d'une semence homogène et de qualité suivi des tests participatifs de démonstration et de la formation des encadreurs et des paysans leaders

Ces actions visent à lever les principales contraintes qui affectent la valeur commerciale des piments produits au Tadla à savoir le mélange variétal, le système de culture traditionnel avec peu de soins et la méconnaissance des variétés répondant au marché européen.

En post production, les actions suivantes sont à préconiser :

- Introduction et adaptation d'équipement de transformation (tunnel photovoltaïque, etc.) du piment en poudre, de séchoir artisanal de piment pendant la saison des pluies en vue d'une amélioration de la qualité du produit final,
- Organisation des tests d'exportation de qualité vers les marchés internationaux,
- Renforcement des capacités des producteurs et des commerçants/exportateurs pour leur permettre de vendre leurs produits sur le marché sous-régional et international à des prix raisonnables,
- Établissement des plans de promotion commerciale,
- Mise en place d'un système d'information sur le marché de piment en faveur des producteurs et commerçants/exportateurs potentiels,
- Appui à l'établissement des dispositifs de contrôle de qualité, de certification de piment séché biologique.
- Appui à la création d'un label ou origine « ouled ali » du piment,

3- Proposition de Conduite et pratiques culturales :

Publication 1 : Techniques de production du piment rouge (Niora) au périmètre irrigué de Tadla : Résultats d'enquêtes

Revue: Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison du PNTTA
TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE, n° 198, mars 2013.

La conduite de la Niora dans la région du Tadla s'étale sur environ toute l'année. Elle commence par la préparation des parcelles destinées à la plantation en automne et se termine par la récolte en fin d'été-début automne conformément au calendrier ci-dessous (**Fig. 21**) La préparation des plants a lieu à la sortie de l'hiver et leur transplantation se fait en début du printemps. Une plantation précoce a généralement l'avantage de faire la récolte avant les fortes précipitations de l'hiver suivant.

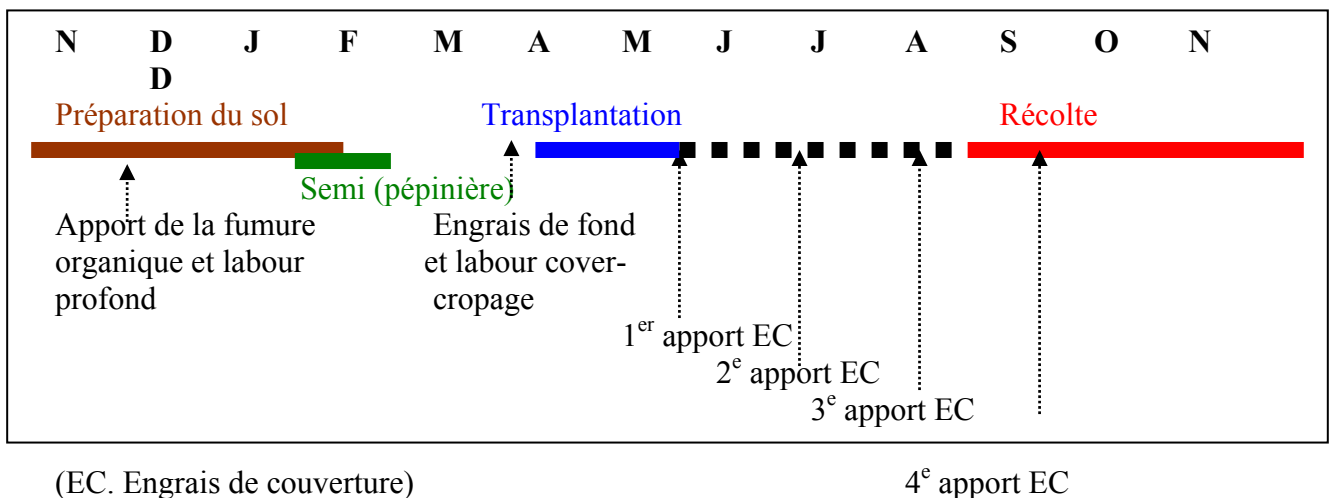


Figure 21: Calendrier culturel et itinéraire technique de la Niora dans la région du Tadla

1-Préparation des parcelles à la plantation :

La Niora fatigue rapidement le sol. Elle est très exigeante en rotation des cultures. Les meilleurs rendements sont obtenus dans les terrains vierges ou nouvellement acquis, n'ayant pas été occupés par une autre solanacée pendant les 4 ou 5 dernières années (Klieber, 2000). Les parcelles destinées à la culture de Niora doivent être préalablement préparées par

l'établissement d'une période minimale de 4 mois de récupération et de repos des sols (CARM, 2007). Durant cette période, il est souhaitable que le terrain soit maintenu en jachère ou cultivé à base de graminées ou légumineuse fourrages. La rotation avec les céréales est également recommandée pour la culture de la Niora (CARM, 2007). De plus, l'importante pression parasitaire que connaît cette culture fait que le choix du terrain participe déjà à la lutte phytosanitaire préventive intégrée contre les nuisibles telluriques.

2- Préparation du sol

Le sol destiné à la culture de la Niora doit être nettoyé de tout débris ou restes de la culture précédente et d'herbes. Le labour se fait le plus souvent par la charrue à disques ou la charrue à socs, de préférence en automne, bêché tout en y enfouissant des engrais organiques. Il doit être travaillé jusqu'à une profondeur de 30 à 40 cm. Un cover-cropage suit cette opération avec 2 à 3 passages pour un travail superficiel jusqu'à ce que le terrain soit bien pelucheux puis on y trace des billons d'une hauteur de 20 à 25 cm.

Dans le but de raisonner la fertilisation, il est conseillé de réaliser des analyses physico-chimiques du sol d'autant plus que les besoins en éléments fertilisants du Niora sont assez importants.

3- Choix de la variété

Pour le choix de la variété, en plus d'un bon rendement et une meilleure qualité du produit notamment une teneur élevée en caroténoïdes (Hornero-Méndez et al., 2000), il est essentiel de savoir à l'avance son comportement aux maladies existantes. Vu que la production est destinée exclusivement à la fabrication du paprika, le choix de la variété repose sur les critères suivants :

- La productivité soit le rendement à l'hectare,
- Une forte coloration telle que donnée par l'indice ASTA. Cela signifie que les variétés privilégiées sont aussi celles dont les parties du fruit qui n'apportent pas de coloration (placenta, graines, pédoncule et calice) ne représentent qu'une faible proportion du fruit entier
- Faible teneur en capsaïcine,
- Faible teneur en eau des fruits, ce qui raccourci la durée du processus de séchage,
- Résistance aux maladies.

Les variétés utilisées au Maroc sont : 'Bola Roja', 'Bola chata' 'Bola larga' et 'Lukus'.

4- Production des plants en pépinière

La préparation des plants en pépinière se fait en Janvier-Février et dure environ 60 à 70 jours. La culture par plants repiqués assure des rendements nettement plus élevés et une qualité supérieure. Cette façon de faire présente de grandes possibilités pour une exploitation plus intensive et rationnelle.

a- Techniques de semis

On distingue deux techniques de semis en pépinière:

- *Semis sur les planches de pépinière :*

La production des plants destinés à la transplantation à racines nues est généralement réalisée par l'agriculteur lui-même en aménageant au bord de la parcelle une pépinière temporaire sous forme de cuvettes ou planches de 2 m² chacune (**Fig. 22**).

Le terrain pour la pépinière temporaire doit être nivelé, le sol fertile, de texture légère, débarrassé de mauvaises herbes, bien drainé, à l'abri des vents forts et de préférence non précédé d'une culture horticole au cours des quatre dernières années. Il est recommandé de tracer des lignes de 10 cm d'intervalle, de faible profondeur et de semer très clair en répandant les graines régulièrement au fond des lignes, tasser ensuite légèrement et arroser copieusement. Après le semis, il faut veiller à couvrir par un film plastique qui sera enlevé à l'apparition des premières plantules émergentes.

Pour les pépinières temporaires, la superficie doit être calculée en fonction de la superficie à cultiver, la densité et la variété utilisée. Généralement, on compte 30 m² de pépinière pour planter 1 ha environ. Il est souhaitable d'avoir 500 plants/m².



Fig. 22 : Pépinière installée par l'agriculteur au bord de la parcelle sous forme d'une cuvette

- *Semis sur plateaux alvéolés* :

C'est la technique la plus rationnelle. Les semis se font en mottes, en pots fertiles, en galette de tourbe et de godets plastiques. Il s'agit d'obtenir des plantes individuelles dans des récipients transportables et que l'on peut mettre en place dès que les conditions de l'environnement sont favorables. Dans ce cas là, les racines ne se cassent pas, ce qui évite le stress de la transplantation et le retard dans la reprise de la croissance avec une meilleure uniformité de la culture. Cependant, cette technique bien qu'elle présente plusieurs avantages, elle nécessite un budget supplémentaire assez lourd pour l'agriculteur.

4-2. Entretien des plants en pépinière

Il faut veiller à ce que les racines trouvent un endroit humide sans excès. Pour cela, il faut apporter de légères et fréquentes irrigations (6 litres / m² / 2 jours). La température de l'eau doit être voisine de 12°C. Les besoins en eau sont surtout importants à partir de la 4^{ème} ou 5^{ème} feuille.

Pour obtenir des plants sains à partir des semences désinfectées, il est indispensable qu'ils ne soient contaminés en pépinière, d'où la nécessité d'effectuer des traitements chimiques en post-levée pour lutter contre les larves de noctuelle, les pucerons et les rongeurs.

5- Transplantation

La meilleure période de transplantation est en mi-printemps pour que la récolte soit en fin d'été (Bosland et al., 1994). Lors de la transplantation, les plants doivent être au stade de 6 à 8 feuilles et avoir environ 15 cm en hauteur. Les plants doivent être transplantés, dans les bords des billons à une profondeur de cinq cm. On préconise une plantation pas très profonde, le collet légèrement au-dessus du sol car la plante est très sensible à un certain nombre de maladies du collet. Les écartements adoptés sont de l'ordre de 60 à 90 cm entre les lignes et 20 à 30 cm entre les plants (Carter, 1994). La densité résultante varie de 50 000 à 80 000 pieds/ha. La possibilité d'utiliser de petites distances est limitée car cela peut produire l'ancrage de la plante, affecter l'absorption de l'eau et des nutriments, induire la synthèse de certaines phytohormones, donnant un changement dans le développement des racines et une diminution de la qualité des fruits ou la productivité des plantes.

L'opération de transplantation de la pépinière aux champs est très délicate, du fait qu'elle conditionne la bonne reprise des plants et leur précocité. Aussi, doit-elle être menée avec le maximum de soins. En vue d'habituer progressivement le jeune plant à son nouveau milieu de vie, on doit procéder à un durcissement des plants une semaine environ avant la

plantation. Le durcissement consiste à habituer les plants à une température et une humidité plus basses que celles dans lesquelles ils ont été élevés ce qui permet de réduire le choc physiologique lors de la transplantation. Cette pratique de pré-conditionnement ou acclimatation est normalement conçue pour les plants élevés en pépinière à l'abri, où ils seraient exposés à des conditions du milieu différentes à celles de la pépinière. La pratique adoptée pour les semis de la Niora est de retirer l'approvisionnement en eau au cours d'une phase particulière de la croissance dans les pépinières.

Le pré-conditionnement des plants nutritionnellement est une autre procédure qui a été utilisée avec succès pour durcir les plants de poivron (Dufault et Schultheis, 1994). Cela implique l'arrêt de l'administration de certains éléments nutritifs comme l'azote et le phosphore pour ralentir la croissance avant le moment de transplantation. La pratique recommandée est de durcir continuellement les plants par des arrêts d'irrigation durant les deux dernières semaines (semaines 7 et 8) avant la transplantation afin d'assurer une croissance uniforme dans le temps et l'espace.

L'opération de plantation est réalisée en présence d'une dose d'irrigation qui dépasse souvent 100 mm pour les plants à racines nues (**Fig. 23 A**). Mais lorsque les plants sont issus d'une pépinière dont les semences sont entretenues dans des bacs de germination, il est préférable de les transplanter sur un sol sec. Juste après, il faut les arroser (**Fig. 23B**). Les manquants doivent être remplacés immédiatement après la reprise.

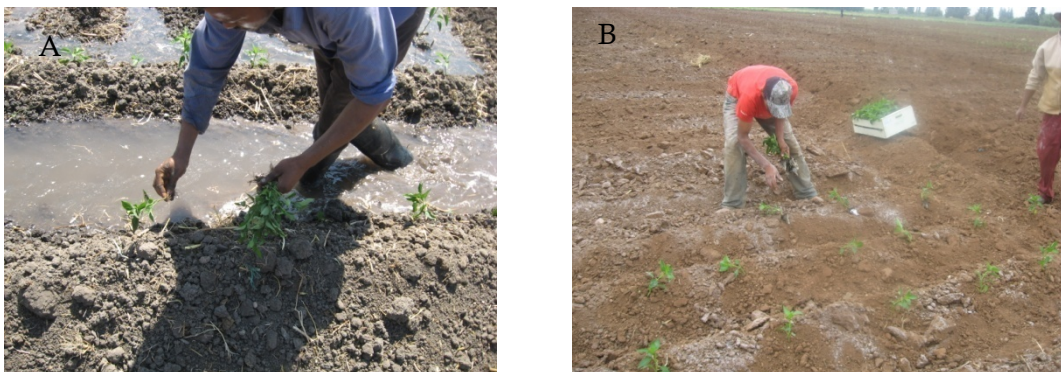


Fig. 23 : *Plantation de jeunes plants à racine nue (A) et de plants à motte (B).*

6- Irrigation

La Niora nécessite un bon approvisionnement en eau. Un stress hydrique réduit énormément le rendement. Une irrigation insuffisante provoque l'abscission des fleurs et fruits alors qu'une irrigation excessive augmente le risque d'apparition des maladies (Dickerson, 1994 ; Katerji et al., 1993). Le taux d'irrigation généralement varie en fonction de la taille des plantes, la température et l'humidité de l'air.

Afin d'assurer une restauration normale des racines et une bonne reprise des plants, il faut procéder de la manière suivante: on irrigue durant ou juste après la plantation et on arrête l'irrigation. La plante commence à montrer des symptômes de soif, surtout à midi. On doit observer attentivement l'attitude des plantes : la restauration des racines commence lorsque la couleur verte foncée des feuilles apparaît. C'est alors à ce moment là qu'il faut apporter la 2ème irrigation. En cas de fortes chaleurs, il ne faut pas laisser se dessécher la plante; il est recommandé de l'arroser par de légères irrigations, surtout en terre sableuse. Entre les deux premières irrigations, il ne faut pas biner afin de ne pas déranger le système racinaire. A partir de la 2ème irrigation, les arrosages doivent toujours rester rares jusqu'à la pleine floraison où l'irrigation devient normale. A ce stade, tout déficit hydrique risque de provoquer des chutes de rendement. Les besoins de la culture se situent aux environs de 400 mm pendant la période végétative et de 200 à 400 mm pendant la période de cueillettes, soit 600 à 800 mm/cycle. L'irrigation est faite en générale par la méthode gravitaire au moyen de sillons (**Fig. 24A**). Les périodes d'irrigation sont de cinq à dix jours. On estime en moyenne 25 irrigations durant tout le cycle. Récemment, certains producteurs ont eu recours à l'utilisation du système goutte à goutte pour l'irrigation (**Fig. 24B**). Les coûts d'installation sont relativement élevés, mais les frais de main-d'œuvre durant la saison sont très faibles. L'un des principaux avantages de ce système est qu'il permet une bonne économie en eau et un apport en eau uniforme durant la saison, en plus de la fertigation.

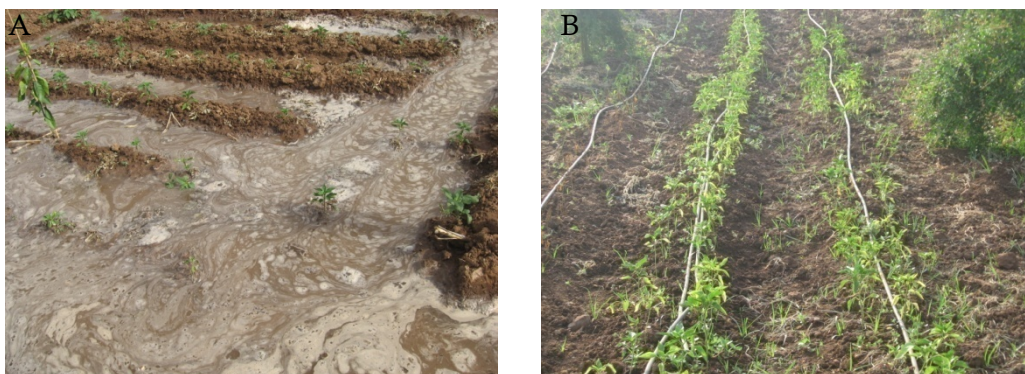


Fig. 24 : Irrigation gravitaire de la Niora (A) et par la méthode goutte à goutte (B) dans la plaine de Tadla

7- Fertilisation

a- Fumure organique

C'est à l'automne qu'il est souhaitable d'incorporer au sol la plus grande partie du fumier disponible, avant la préparation des terres destinées à la culture de la Niora. Cette plante exige une grande quantité de fumure. Il ne supporte pas le fumier récent. Il donne plutôt de bons résultats lorsque le fumier est bien décomposé. Les doses d'emploi seront naturellement liées aux disponibilités; elles doivent être aussi généreuses que possible pour atteindre un niveau minimum de 1% de la matière organique dans les premiers 25 cm du sol (CARM, 2007).

En fonction des analyses de sol, des quantités variables peuvent être apportées en tête de rotation:

- sur les parcelles normalement pourvues en matières organiques (et n'ayant pas subi de défoncement trop profond) : de 2 à 5 tonnes d'humus, soit 20 à 50 tonnes de compost fermier ou 8 à 20 tonnes de compost industriel par hectare.
- sur les parcelles pauvres en matières organiques ou ayant subi un défoncement profond : de 5 à 15 tonnes/ha d'humus, soit 50 à 150 tonnes de compost fermier ou 20 à 60 tonnes de compost industriel.

7-2. Engrais minéraux

Le régime des engrais doit être fondé sur des analyses préalables du sol pour fournir tous les éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. La disponibilité des ces nutriments dépend du type de sol et des conditions de milieu, et de ce fait les recommandations locales pour l'application d'engrais varient énormément. Il existe plusieurs formes d'engrais dans le marché dont le choix doit être basé sur les critères suivants :

- Type d'irrigation gravitaires ou localisée
- Economie (coût/bénéfice)
- Connaissance sur le produit et son utilisation

✓ *L'azote*

La Niora est très exigeante en azote durant les premiers stades de la culture. Il est préférable d'administrer les engrais azotés avant la transplantation. Ceci aide les plants de se maintenir vigoureux (Bosland et al., 1994). Au cours de la croissance, plus d'azote doit être appliqué pour obtenir de meilleurs rendements. Après la première récolte, il faut contrôler la

dose pour ne pas retarder le mûrissement des fruits et favoriser l'apparition des maladies (Bosland et al., 1994). Lorsque les boutons floraux commencent à apparaître, il faut appliquer 22-34 kg/ha d'azote et reprendre la même dose lors de la nouaison (Klieber, 2000).

✓ *Le phosphore*

Les engrais phosphatés n'étant pas lessivés, ils peuvent être employés à n'importe quelle période de l'année. Il est préférable de les apporter pendant l'automne et de les enfouir pour qu'ils soient disponibles au niveau des racines au printemps. Selon leur forme, ils sont plus ou moins solubles et donc ont une rapidité d'action plus ou moins grande. Les superphosphates sont les formes les plus solubles, les phosphates naturels sont les moins solubles.

✓ *Le potassium*

Les engrais potassiques sont plus ou moins lessivés selon la capacité du complexe argilo-humique du sol. Plus le sol est lourd, plus la potasse est retenue. Dans ce cas, il vaut mieux apporter la fumure potassique à l'automne et si possible l'enfouir pour qu'elle se trouve plus rapidement au niveau des racines. En sol filtrant, le potassium est rapidement lessivé, il doit donc être apporté au printemps, pour être encore au niveau des racines au moment où elles en ont besoin.

La composition des engrais dépend du cycle végétatif de la Niora qui est de 210 jours en moyenne. Ainsi, les apports des engrais devront être fractionnés (**Tableau 6**):

Tableau 6 : Recommandations pour la distribution nutritionnelle durant le cycle de Niora (CARM, 2007)

Intervalle (jours après transplantation)	Nutriment en unité fertilisante/ha		
	Azote*	Phosphore**	Potassium***
0-30	10	10	15
30-60	35	20	50
60-90	55	30	80
90-120	65	25	85
120-150	35	15	70
Total	200	100	300

* Sulfate d'Ammoniaque 21% ou l'Urée

** Triple Super Phosphate (TSP)

*** Sulfate de Potasse

8- Lutte contre les mauvaises herbes et entretien mécanique des plantes

Les plantes de Niora se développent lentement et recouvrent le sol de façon éparse, souffrant fortement de la compétition des mauvaises herbes (**Fig. 25**) qui les concurrencent pour l'eau, les substances nutritives, la lumière et même pour l'espace. Ainsi, si le contrôle des mauvaises herbes n'est pas effectué en temps opportun, la production sera fortement affectée ([Labrada, 1996](#)). Le contrôle de mauvaises herbes aux premiers stades de développement de la culture est fortement recommandé ([Lee & Schroeder, 1995](#)).

Les mauvaises herbes les plus rencontrées dans la culture de la Niora sont le pourpier (*Portulaca oleracea*), la digitale (*Digitaria spp*), la sétaire (*Setaria spp*), *Brachiaria eruciformis*, le chenopode (*Chenopodium spp*), l'amarante (*Amaranthus spp*), la morelle jaune (*Solanum elaeagnifolium Cav.*), le souchet (*Cyperus rotundus*), le chiendent (*Cynodon dactylon*), le liseron (*convolvulus arvensis*) (**Fig.25**). Le contrôle peut se faire soit manuellement soit mécaniquement. Mais, l'utilisation d'herbicides devient de plus en plus fréquente. Il est recommandé l'utilisation des herbicides foliaires de faible rémanence (glyphosate, sulphosate et gluphosinate d'ammonium) contre le peuplement des plantes vivaces avant la transplantation ([De Liñán, 2002](#)). Le désherbage est également important pour lutter contre certaines maladies dont les vecteurs utilisent ces mauvaises herbes comme des hôtes alternatifs ([Klieber, 2000](#)).

Aux stades jeunes, un binage peut s'avérer utile pour minimiser l'effet des mauvaises herbes et ameublir le sol pour en améliorer l'aération. Plusieurs désherbages seront nécessaires.



Fig. 25 : Quelques mauvaises herbes de la culture de la Niora

Le désherbage (**Fig. 26**) se fait conjointement avec un premier binage. On ne doit pas effectuer cette tâche à plus de cinq à six cm de profondeur, puisque le système racinaire de la Niora est superficiel. Deux à trois semaines après, il faut effectuer un autre désherbage. Les opérations de binage servent principalement comme support des plantes. Le binage consiste à ameublir la couche superficielle du sol autour des plantes cultivées. Si le sarclage à la houe ou à la binette s'accompagne d'un léger travail du sol, cette opération s'appelle un sarclo-binage qui casse la croûte de battance, favorise l'aération du sol et facilite par la suite la pénétration de l'eau de pluie ou d'irrigation

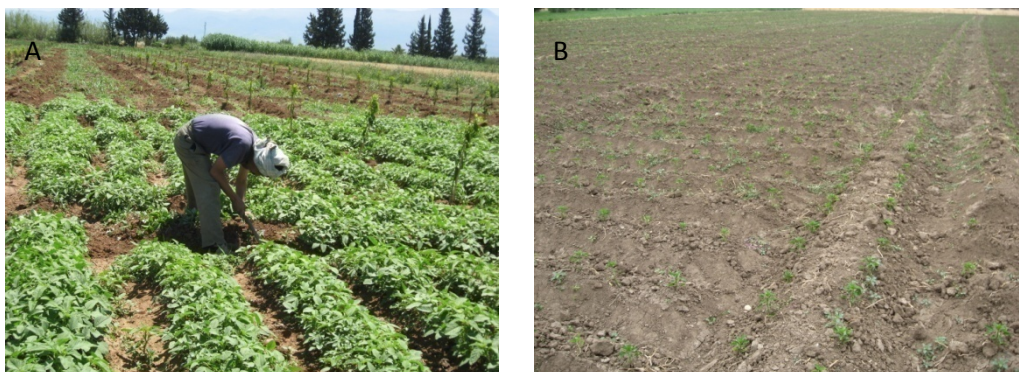


Fig. 26 : (A) Désherbage manuel ; (B) le champ après désherbage à un stade précoce.

Deux à trois semaines après transplantation, il faut procéder également à un buttage. Cette opération consiste à ramener la terre en forme de «butte» au pied des plantes. Il a différents objectifs : il peut s'agir de renforcer l'émission de racines adventives pour faciliter la croissance, ou bien de recouvrir une partie des plantes pour les forcer à blanchir. Le buttage a lieu 2–3 fois, souvent manuellement à la houe ou à travers l'attraction animale (**Fig. 27**). Le buttage manuel améliore les rendements, mais consomme de la main d'œuvre. C'est pour cette raison que les agriculteurs préfèrent le buttage à traction animal car il apporte les avantages suivants :

- Un gain de temps
- Une réduction de la pénibilité du travail par rapport au buttage manuel
- L'absence d'intrants : hormis le coût de l'investissement, la mise en œuvre du buttage à traction animal n'induit pas de mouvement de trésorerie, puisque le travail est généralement fait par des membres de l'exploitation ;
- La combinaison des interventions : l'enfouissement de l'engrais peut être effectué par un buttage.

Toutefois, cette pratique impose certaines contraintes à partir d'un certain stade de développement, la culture ne permet plus le passage de l'animal sans risque de dégâts;

La lutte contre les mauvaises herbes peut également passer par le travail du sol avant l'installation de la culture par la technique du faux- semis. Cette technique consiste à réaliser une préparation du sol semblable à un lit de semences 10 à 15 jours avant le semis. Les graines de mauvaises herbes se trouvent alors dans de bonnes conditions de germinations, et les jeunes plantules peuvent être détruites par le passage superficiel d'un outil mécanique ou par une application d'herbicide. Une pré- irrigation permettra la même opération en absence des pluies.



Fig. 27: Buttage à traction animale

9- Lutte contre les maladies et ravageurs

La Niora, comme les autres variétés du *Capsicum*, est sensible à un grand nombre de maladies notamment à la pourriture du collet causée par *Phytophthora capsici* (**Fig. 28**). Cette maladie provoque des dégâts importants (Swaine et al., 1991). La culture est également sujette à de nombreuses attaques d'insectes et de parasites et d'accidents physiologiques (Goldberg, 1995).

Il est recommandé de lutter contre les principaux agents pathogènes par des traitements préventifs. En particulier, la culture doit être protégée contre l'oidium, la pourriture grise (*Botrytis Cinerea*), les acariens en temps chaud, le mildiou, *Rhizoctonia* et le coup de soleil (en cas de fort effeuillage). Il faut protéger les jeunes plants des limaces et escargots ainsi que des noctuelles et des pucerons. Les produits de traitement sont disponibles sur le marché et les doses d'utilisation sont prescrites sur les emballages. Les principales matières actives utilisées sont comme suit :

Lutte contre les Insectes :

- Thrips : spinosad, formétanate, abamectine
- Acariens : dicofol, abamectine
- Mouche des fruits : deltaméthrine, trichlorfon
- Puceron : Azadirachtine, pyrimicarbe
- Autre : chenilles, mineuses, altises, bêtes jaunes : azadirachtine, cyperméthrine, lambda-cyhalothrine.

Lutte contre les maladies :

- Bactériose : cuivre
- Anthracnose : cuivre, azoxystrobine, chlorothalonil
- Agents des pourritures du collet : thirame, cryptonol, préveur



Fig. 28: Les symptômes de la maladie causés par *Phytophthora* sur les racines (A) et sur la partie aérienne (B)

10- Récolte

La récolte des fruits débute normalement 3 mois après la transplantation en plusieurs reprises (3-5 récoltes). Les fruits arrivent à maturité progressivement prenant une couleur rouge profonde (couleur du sang). Les fruits qui se trouvent sur les côtés lumineux et ensoleillés entrent les premiers en maturation par rapport à ceux se trouvant à l'ombre et l'intérieur du feuillage. La déshydratation partielle des fruits sur les plantes est recommandée car la stabilité des couleurs dans le paprika est meilleure lorsque la récolte est tardive. Au fur et à mesure que la maturité augmente, la teneur en matière sèche augmente parallèlement, ainsi que l'intensité de la couleur.

La récolte est une opération importante dans la conduite culturale de la Niora. Elle doit être pratiquée avec beaucoup de soin. La récolte doit se faire tôt le matin et doit être évitée pendant ou juste après les pluies. En récoltant les fruits, il faut prendre soin de tenir fermement les tiges et les fruits doivent être tirés vers le haut doucement en rompant à la base de la tige et en évitant d'endommager les fruits et les plantes.

III- Rendements, charges de production et marges bénéficiaires

Plusieurs variables peuvent influencer le coût de production comme l'itinéraire technique, la gestion de l'eau, le niveau de mécanisation, le programme de fertilisation, le type de sol, les conditions météorologiques...etc. Les différents éléments entrant en ligne de compte pour l'estimation du coût de production sont : la main d'œuvre, la terre, les semences, les engrais minéraux et organiques, les produits phytosanitaires, le carburant...etc. (**Tableau 7**). Les rendements en fruits frais varient entre 10 à 30 tonnes à l'hectare mais théoriquement des rendements potentiels de 40 tonnes par hectare sont possibles.

Tableau 7: Charges de production estimées d'un hectare de Niora

Opérations	Quantité	P.U.(DH)	Coût (DH)
Travaux mécanique :			
Labour profond	1	500	500
Cover cropage	2	200	400
Confection séguias et billons	1	150	150
Traction animale :			
Entretien-butage	1	100	100
Intrants :			
Fumure organique	20 T	2000	2000
Engrais de fond	3 qx	280	840
Engrais de couverture	4 qx	250	1000
Semences ou plants (forfait)	-	-	2100
Produits phytosanitaires	-	-	1500
Irrigation :	20	150	3000
Main d'œuvre :			
Epannage engrais	2 J	70	140
Semis	20 J	70	1400
Binage	20 J	70	1400
Butage	03 J	70	210
Traitements phytosanitaires	20 J	70	1400
Irrigation	20 J	100	2000
Récolte	120 J	70	8400
Transport et chargement :			1000
Charge de structure :			
Valeur locative de la terre	1ha	4000	4000
Charge totale (Dh) :			31.540,00
Recettes :			
Rendement (T/Ha):	25		
Prix unitaire (Dh/T):		2500	
Valeur de la production (Dh)			62.500,00
Marge bénéficiaire	20.670,00		30.960,00

V- Commercialisation

L'agriculteur vend la production avant la récolte sur pied ou bien après récolte pour négocier le prix soit avec des intermédiaires ou directement avec des transformateurs.

La vente des fruits se fait à l'état frais avec des prix qui oscillent entre 1 et 4 DH le kilo. Le prix est fonction de l'offre et la demande, le prix du paprika dans le marché, la qualité des fruits et l'époque de la récolte. Les fruits des dernières récoltes qui coïncident avec le début de l'hiver sont d'une qualité inférieure et se vendent à bas prix.

Les relations entre agriculteurs et transformateurs sont fondées le plus souvent sur la confiance réciproque sans contrat écrit. Dans certains cas, les relations entre ces acteurs s'établissent par le biais d'intermédiaires.

Le marketing direct est un concept novateur, qui implique la commercialisation des produits par l'agriculteur directement aux processeurs sans intermédiaires. Le marketing direct permet aux producteurs et aux transformateurs d'économiser les coûts de transport et d'améliorer les bénéfices. Il fournit également des incitations à la commercialisation à grande échelle et encourage les exportateurs d'acheter directement à partir des zones de production.

VI- Conclusion et recommandations

Le présent travail a procédé à un diagnostic détaillé de l'état actuel de la filière de la niora au niveau de la région Tadla-Azilal, et ce depuis l'installation de la culture jusqu'à la transformation de la production dans un but essentiel de répertorier l'ensemble des défaillances techniques entravant l'ouverture de la filière sur son environnement socio-économique auquel elle s'adresse, puis proposer des recommandations d'améliorations des performances de cette filière spécifique de la région.

Dans la perspective de valoriser la production agricole régionale, de relancer l'activité agro-industrielle en tant que locomotive de développement économique de la Région et de mettre en place un agro-pôle régional, à visibilité nationale, voire internationale, avec des conditions privilégiées pour les investisseurs désirant s'implanter dans la Région de Tadla, le plan d'action suivant pourrait être proposé:

Le plan d'action suivant pourrait être proposé:

- Améliorer le train technique de la culture depuis le travail du sol jusqu'à la récolte et ce par des activités de recherche permettant le raisonnement, l'optimisation et la gestion intégrée des moyens de production (semences, engrais, produits phytosanitaires, eau etc...) tout en prenant compte des acquis déjà réalisés par la recherche dans ce domaine,
- Organiser les producteurs, commerçants et transformateurs de la Niora dans le cadre de coopératives agricoles gérées par une forme d'agrégation autour d'une Unité Régionale de Transformation et de Conditionnement de Niora, conformément aux projections du Plan Maroc et sa déclinaison régionale,
- Veiller sur une production de quantité et de qualité de la Niora via des contrats de production entre le privé, les agriculteurs et l'ORMVAT tout en tirant les renseignements de l'ancienne expérience avec la Société espagnole « Lukus »,
- Suivre le programme de reconversion de l'irrigation gravitaire du la niora en irrigation localisée.
- En raison de l'importance que joue le piment sur les plans médical, alimentaire et économique, il est indispensable qu'une attention toute particulière soit accordée à la conservation des semences de cette plante, en vue d'assurer la régénération végétale d'une campagne agricole à une autre. Cet objectif sera atteint à travers l'assistance technique et la formation dans les fonctions clés de la filière, et le renforcement des liens de tous les intervenants dans la chaîne. Les appuis prioritaires que l'état pourrait apporter concerneront en premier lieu, l'organisation du secteur d'exportation sur le marché international, la mise en place d'une filière Bio, la formation sur les normes de qualité, ...etc.

Chapitre 2 :
Caractérisation morphologique et chimique de certains
morphotypes de la niora (*Capsicum annum L.*)
cultivés dans la Plaine du Tadla

1- Présentation

Le genre *Capsicum* comprend un groupe très diversifié de piments doux au très fort, Les principales espèces domestiquées sont : *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum* et *Capsicum pubescens* (Pruthi, 1980). Le genre *Capsicum* comprend plus de 200 espèces (Pruthi, 1980). Les fruits varient énormément en taille, en forme, en saveur et en chaleur sensorielle.

Au Maroc, les variétés de *Capsicum annuum* introduites et cultivées à nos jours sont : Bola Roja, Bola chata, Bola larga et LUKUS 1 et LUKUS 2 (ORMVAT, 2010 ; Skiredj et al., 2002). Depuis leur introduction qui datent pour les variétés Bola de 1925 et pour les variétés lukus de 1991 (date d'installation de la société loukkous dans la région du Tadla), aucune autre variété n'a été importée. Les agriculteurs assurent eux même la production de leurs semences. Ils sélectionnent les bons pieds qui présentent les meilleurs fruits (en terme de taille, de couleurs, indemne de déformation et de maladies) puis ils les dessèchent et conservent leurs graines pour les campagnes suivantes. Ces variétés ont été confrontées à plusieurs conditions écologiques en particulier la température, l'eau et les conditions édaphiques. En plus sur le terrain, les croisements naturelles qui se répètent dans le temps sont derrière une hétérogénéité phénotypique apparente des dites variétés. Ceci peut être à l'origine d'une diversification génétique non contrôlée. Comme il a été signalé par Falconner (1981) les variations phénotypiques sont le résultat des actions génétiques et des conditions environnementales déterminés par les conditions pédoclimatiques.

La diversité génétique de l'espèce *Capsicum annuum* a été étudiée en utilisant les caractères morphologiques (He et Wang, 1989; Munchi et al, 2000), biochimiques (Rodriguez et al., 1999; Odeigah et al., 1999; Lanteri et al., 2003) et enfin les marqueurs moléculaires (Kochieva et Ryzhova 2003; Panda et al., 1986).

Afin de commencer un programme de sélection génétique de la niora dans la région du Tadla, il est nécessaire de dépister les cultivars existants. Ainsi, notre travail était axé principalement sur la caractérisation morphologique et biochimique de onze différents morphotypes de fruits de la niora. Les résultats obtenus pour cette étude ont abouti à une publication :

Morphologic characterization and quality evaluation of some cultivated paprika morphotypes (*Capsicum annuum*) from Tadla-Azilal, Morocco.

2- Publication 2: Morphologic characterization and quality evaluation of some cultivated paprika morphotypes (*Capsicum annuum L.*) from Tadla-Azilal region of Morocco

Naima Zaki^a, Abdelmalek Hakmaoui^b, Aaziz Ouatmane^{a*}, Aziz HASIB^a, Juan Pablo Fernández-Trujillo^b

a- Laboratoire d'Environnement et de Valorisation des Agroressources, Faculté des Sciences et Techniques, *Université Sultan Moulay Slimane*. Mghila, B.P: 523, *Beni Mellal* Maroc.

b- Departamento de Ingeniería de Alimentos y Equipamiento Agrícola- Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Paseo Alfonso XIII, 48. ETSIA. 30203. Cartagena (Murcia), Spain.

* Corresponding author.

Tel.: +34 968 32 54 36; fax: +34 968 32 57 32.

E-mail address: ouatmane67@yahoo.fr , naimazaki24@yahoo.fr

Journal: *Food Science and Quality Management*, Volume 17, 25-33, 2013

Résumé

La diversité phénotypique des fruits de la niora cultivée dans la région du Tadla a été évaluée pour 11 morphotypes. Des différences significatives ont été notées aussi bien pour les paramètres morphologiques que pour les paramètres biochimiques analysés. Les morphotypes étudiés diffèrent en teneur de vitamine C, de capsaïcinoïdes, d'unités d'ASTA et de coordonnées chromatiques de la couleur. La teneur en vitamine C variait de 992 à 2180 mg 100 g⁻¹ ps. Le contenu en capsaïcinoïdes variait de 0 à 0,9%. Les valeurs d'unités d'ASTA étaient de 80,46 à 170,48 unités de l'ASTA. Les fruits des morphotypes évalués avaient une grande diversité génétique et le potentiel de satisfaire aux exigences de l'industrie. Les résultats obtenus dans cette étude peuvent être utilisés comme sources d'informations précises pour établir un programme de sélection génétique pour le développement de nouveaux hybrides commerciaux présentant des traits commerciales souhaitables.

Mots clés: *Capsicum annuum L.*, Traits morphologiques, Traits commerciales, ASTA, Vitamine C, Caroténoïdes, Capsaïcinoïdes.

Summary

To characterize eleven different morphological forms of Moroccan paprika grown under field conditions in Tadla-Azilal region, analysis of morphometric data of different morphotypes (variants) was performed. The 11 morphotypes were evaluated for their qualitative traits of ripe fruits. Statistically significant differences among these variants were found for all the fruit characters studied. The evaluated morphotypes differed also in vitamin C, capsaicin, ASTA value and coordinated chromatic of color. The morphotype fruits evaluated had high genetic diversity and potential to fulfill the industry requirements. Morphotype 1 had the most desired commercial trait such as high ASTA value, high DW/FW ratio and low pungency. The results obtained in this study can be used as accurate information to establish a program of breeding to develop new commercial hybrids with fruits enriched for more desired commercial traits.

Keywords: Paprika, Morphological traits, commercial traits, Vitamin C, ASTA; Carotenoids, Capsaïcinoïdes.

1. Introduction

The *Capsicum* genus comprises a highly diverse group of sweet and hot peppers that are originated from the tropics of the American continent (Paik et al. 2003). It comprises more than 200 varieties (Pruthi 1980) which the most cultivated species are *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum* and *Capsicum pubescens* (Pruthi 1980). *Capsicum annuum* is the most diverse and cultivated pepper, and is comprised of both sweet and hot peppers varieties.

In Morocco, sweet pepper (*Capsicum annuum L.*) called Niora is used for making paprika. The main production area is Tadla Region with more than 80% of the national production (Hakmaoui et al. 2011).

Pepper fruits vary in size and shape and contain a broad variety of carotenoids, flavonoids, phenols, ascorbic acid, capsaicin, and other components, which determine the great variability of the fruit's smell, flavor, taste and consequently consumer preference. The fruit quality and composition change according to the ripeness stage (Navarro et al. 2006; Conforti et al. 2007; Deepa et al. 2007), and the environmental conditions in which the fruit was grown and in the case of cultivated varieties, the crop management (Medina-Lara et al. 2008; Monforte-González et al. 2010).

The physical appearance and presentation of paprika, like most foodstuffs, significantly influence a prospective consumer's sensory evaluation and play a prominent role in final selection and consumption (Clydesdale 1993). The color of paprika is very important and is the principal criterion for assessing its quality and value, because its color largely determines the price which a producer receives (Minguez-Mosquera et al. 1992). The color of paprika mainly comes from the carotenoids formed in the fruit during ripening, with more than 30 different pigments identified (Deli et al. 2002; Topuz et al. 2009).

The high concentration of the antioxidant ascorbic acid in paprika plays a positive role in ensuring the stability of the final product (Fernández-Trujillo & Escarabajal 2006). Pungency, a commercially important attribute of paprika, is due to the presence of alkaloid compounds in the fruit known as capsaicinoids (Hoffman et al. 1983; Zaki et al. 2013). The two most abundant capsaicinoids in pepper are capsaicin and dihydrocapsaicin, accounting for 69 and 22% respectively of the total capsaicinoids in most of the pungent varieties (Kosuge & Furuta 1970). Usually, sweet paprika, the most commonly grown pepper in Morocco and Spain, has very low capsaicinoid content (Fernández-Trujillo & Escarabajal 2006).

Because of its popularity in the Tadla-Azilal region of Morocco (Hakmaoui et al. 2011; Zaki et al. 2013), *Capsicum* “Niora” has been the main focus of researchers. Nevertheless, little is known about the composition of the fruits; neither the accession, nor the landraces of those which are cultivated and gathered in the region of study. In addition, the expansion of the crop is limited by some factors, such as the lack of clear differentiation among varieties, low fruit quality (heterogeneity and phytosanitary problems), use of inappropriate varieties, or substitution of local varieties with materials from other origins. As a first measure to improve the quality factors of cultivars, it is necessary to screen existing cultivars, in order to start a program of breeding. Therefore, the purpose of this study was to determine the morphological and the chemical diversity of eleven morphotypes of fruits of paprika cultivated in Tadla-Azilal region.

2. Materiel & methods

Based on preliminary investigation, we could differentiate in drying site and in fields of cultivated niora many morphotypes from which 11 are characterized clearly by high morphological variability (figure 29). The fruits were collected in a fresh state from the fields at the middle of September 2011 at the first harvest. The entire sample was dried at 55 °C in a forced air-flow oven.

2.1. Morphological traits measurement

A sample of 10 ripe fruits of each morphotype was used to measure the morphological traits such as fruit length, fresh and dry weight fruit, length of pedicel, fruit density, seeds number and weight and percentage of dry seed to entire fruit dry weight. The fresh samples were dried at 55 °C in a forced air-flow oven during 48h until dry weight stabilized to determine dry weights percent.

2.2. Measurement of paprika color and chemical composition

Powder derived from the eleven paprika fruit collected was used for this investigation. Only the pedicels were removed and the entire sample was dried at 55 °C in a forced air-flow oven and was ground together. The average particle size of the powders was 400 µm. The

samples were stocked in hermetic containers in darkness and under refrigeration (4 °C) until analysis.

The ASTA color value of paprika powders was determined according to the official AOAC method 971.26 (Horwitz 2002) with a slight modification. Samples (0.1 g) were extracted with 20 ml acetone for 3 h by using a water bath (axially shaken at 140 rpm) maintained at 25 °C. Then the extract was diluted 1/5 with acetone. The absorbance of the diluted extract was measured against acetone at 460 nm by spectrophotometer. The extractable color of the samples was expressed in ASTA units:

ASTA= Absorbance *16.4 * devf/ weight,

where devf is the deviation factor of the spectrophotometer, which was calculated by dividing the theoretical absorbance by the real absorbance of standard color solution (0.001 M $K_2Cr_2O_7$ and 0.09 M $(NH_4)_2Co (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ in 1.8M H_2SO_4) at 460 nm.

Chemical color determination (Tint) was evaluated by dividing the absorption at 470 nm by the absorption at 455 nm of the acetone extracts (De Guevara & Pardo 1996; Hornero-Méndez & Mínguez-Mosquera 2001).

To measure skin color, a CR-300 chromameter (Minolta, Osaka, Japan) was used for (C illuminant, 0° viewing) previously calibrating it with a white-plate standard. A glass Petri dish containing the samples was placed below the light source. The L, a, and b values of each sample were determined in triplicate. Because chroma (C) and Hue angle (h°) have been shown to be more practical measures of color from an human sensorial point of view (Mcguire 1992), both parameters were calculated: $C = (a^2 + b^2)^{1/2}$ and $h^\circ = \arctan (b/a)$.

The capsinoid content was determined as described by Collins et al. (1995) and the results were converted to the Scoville Heat Units (SHU) by multiplying the individual capsinoid composition (in mg kg^{-1} dry weight of the paprika) by the coefficient of the heat value for each individual compound, 9.3 for nordihydrocapsaicin (NDHCAPS) and 16.1 for both capsaicin (CAPS) and dihydrocapsaicin (DHPS) (Todd et al. 1977).

Total SHU= [CAPS + DHCAPS] × 16.1+ [NDHCAPS x 9.3]

Total carotenoids content was determined by the method of Ala-salvar et al. (2005) with slight modification. In brief, dried samples (0,500 g) were extracted with 5 ml of

acetone–water (9:1, v/v) and centrifuged at 3000 rpm for 10 min at 4 °C. The clear supernatant was withdrawn and extraction was repeated for another five or six times with 3 ml of acetone–water until no colour was extracted. Extracts obtained were pooled and measured against an acetone blank at 471 nm using a UV-2100 spectrophotometer.

The vitamin C was determined using the method of Benderitter et al. (1998).

2.3. Statistical analysis

Analysis of variance of the data from each attribute was computed using the SPSS logiciel software version 10.0. When the effect of morphotype was significant, the Duncan test at 5% level of probability was used to test the differences among mean values.

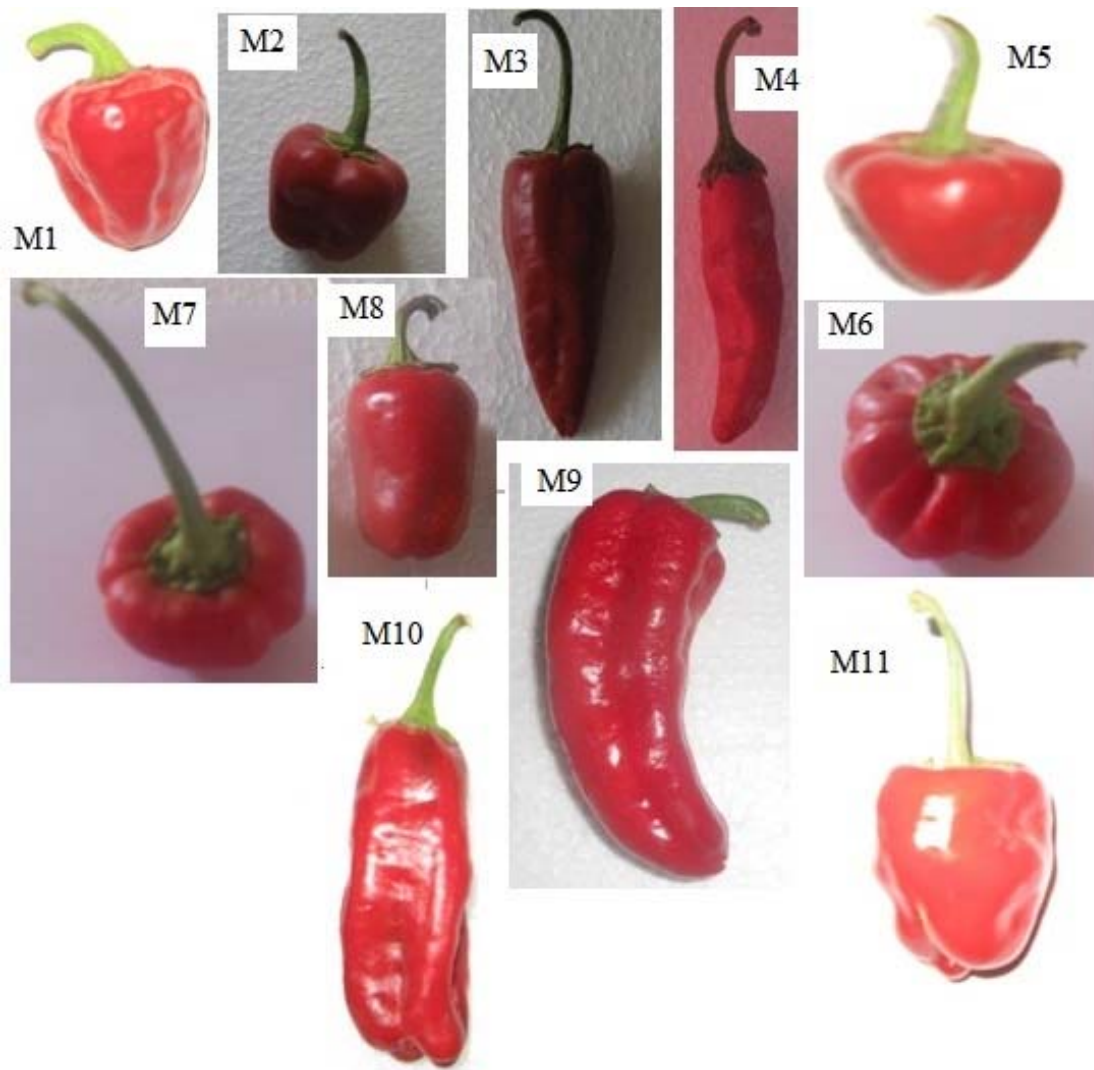


Fig. 29: Morphotypes of *Niora capsicum annum L.* collected from Tadla-azilal Area.

3. Results

3.1. Morphological parameters

The eleven morphotypes of “Niora” (*Capsicum annuum* L.) were significantly different ($P < 0.05$) in fruit characteristics such as fresh and dried fruit weight, fruit length, , number of seeds per fruit, seed weight, fruits density, and pedicel length (Table 8). The average fresh fruit weight ranged from 5.14 to 26.23 g with M 8 and M 10 having significantly lower and higher fresh fruit weight, respectively. For DW/FW ratio, the highest (25.29%) and lowest (15%) one were observed in M 8 and M10, respectively. Number of seeds per pod ranged between 114 to 266, highest being in M11 and lowest in M4, M6 and M8. Percent of seed in dry weight varied between 14.16 to 43.69%. Maximum was noticed in M7 and minimum in M10. The length of pedicel varied from 1.96 to 5.73 cm. the highest was found in M7 and lowest in M8. The flavor of the final product may be changed if during the milling process of obtaining pepper powder, calyx and pedicel were added (Casali & Stringheta 1984).

The fruits of M6 showed the highest 100 seeds weight (0.759g). The fruits of M2 and M11 showed the highest number of seeds.

In this study statistically significant differences were found for most traits, which indicate that a wide variation exists and that it is possible to select materials with fruit characteristics more appropriate for the market. The commercial value of paprika fruits depends primarily on its content of dry matter. The high content of dry weight was recorded in M8 (26%) and M1 (24%). The DW/FW ratio is oppositely related to the fruit weight, so the longer is the fruit, the lower is its DW/FW ratio (data not shown). Dry matter content is an important trait for breeding *Capsicum* for industry, since the higher dry matter content per fruit, the higher the yield in the use of dry or powder of chili and peppers (Lannes *et al.*, 2007). The variations in fruit dry weight among varieties may be due to the genetic and to the agro-ecological variations in which the varieties were evaluated. Guerpinar & Mordogan (2002) reported that pod dry matter content of peppers was directly related to the amount of nutrient taken from the soil, which was proportional to the nutrients present in the soil or the amount of organic and inorganic fertilizers applied to the soil.

Table 8: Morphological characteristics of fruits morphotypes collected from Tadla-Azilal area, Morocco

Parameters	Fresh weight	DW/FW	Density	pedicel length	fruit length	(%) of seeds	number of seeds	weight of 100 seeds
Morphotype	(g)	(%)	(g /cm ³)	(cm)	(cm)	per fruit		(g)
M1	11.42±3.32 ^{de}	23.52±2.99 ^{ab}	0.54±0.07 ^{bc}	3.04±0.47 ^{def}	4.31±0.89 ^{cd}	39.49±6.41 ^{ab}	180±56 ^{bcd}	0.645±0.07 ^{bc}
M2	18.35±4.59 ^{bc}	20.53±3.08 ^{cd}	0.51±0.04 ^c	3.25±0.54 ^{cde}	3.20±0.35 ^{de}	36.25±1.27 ^{abc}	230±58 ^{ab}	0.566±0.09 ^{bcd}
M3	9.43±2.68 ^e	19.61±3.44 ^d	0.38±0.04 ^e	3.73±0.84 ^c	6.10±0.31 ^b	37.56±7.28 ^{abc}	133±49 ^{de}	0.541±0.15 ^{de}
M4	9.39±2.27 ^e	18.65±1.73 ^d	0.49±0.05 ^{cd}	2.86±0.59 ^{ef}	6.25±0.25 ^b	36.80±5.48 ^{abc}	115±37 ^e	0.566±0.06 ^{bcd}
M5	14.54±5.52 ^{cd}	19.46±3.45 ^d	0.59±0.10 ^{ab}	2.65±0.68 ^f	2.47±0.24 ^{ef}	33.73±10.6 ^{bc}	197±72 ^{bc}	0.625±0.14 ^{bcd}
M6	15.53±5.52 ^{cd}	17.58±2.85 ^d	0.55±0.08 ^{abc}	2.50±0.58 ^f	2.35±0.14 ^f	31.79±7.24 ^c	114±60 ^e	0.759±0.08 ^a
M7	13.16±3.17 ^{de}	22.64±3.52 ^{bc}	0.62±0.09 ^a	5.73±0.73 ^a	1.95±0.25 ^g	43.69±5.94 ^a	198±48 ^{bc}	0.658±0.12 ^b
M8	5.14±0.56 ^f	25.69±2.42 ^a	0.61±0.03 ^a	1.96±0.24 ^g	3.05±0.22 ^{de}	38.81±3.21 ^{abc}	118±19 ^e	0.436±0.04 ^f
M9	12.13±4.02 ^{de}	20.11±5.07 ^{cd}	0.49±0.08 ^d	3.50±0.85 ^{cd}	5.50±0.77 ^{bc}	34.56±10.1 ^{bc}	155±52 ^{cde}	0.569±0.03 ^{bcd}
M10	26.23±6.79 ^a	15.00±3.89 ^e	0.53±0.04 ^{bc}	2.83±0.39 ^{ef}	8.25±0.34 ^a	14.16±7.08 ^d	132±78 ^{de}	0.482±0.03 ^{ef}
M11	19.62±2.22 ^b	19.47±0.97 ^d	0.53±0.04 ^{bc}	4.69±0.37 ^b	4.12±0.51 ^{cd}	37.71±3.08 ^{abc}	266±48 ^a	0.548±0.06 ^{cde}
ANOVA	***	***	***	***	***	***	***	***

Values are mean ± SD of 3 replicates. Means within the same row carrying different superscript letter were significantly different at $p < 0.05$

according to a Duncan multiple range test

3.2. Color of paprika

The color of paprika powder is measured either as extractable red color (Figure 30A) or surface color (Table 9). Extractable color is the official method used by the American Spice Trade Association (ASTA 1999) and in international trade. The ASTA extractable color results reflected in figure 1A showed significant differences between morphotypes. The ASTA values ranged from 170 (M1) to 80 (M10). Only M7 and M10 had ASTA valor below 100 ASTA units.

The values of reflected color parameters are presented in table 9, as means with standard errors. Visual color of the samples investigated was measured by coordinates CIE Lab L^* (lightness), a^* (redness) and b^* (yellowness) and estimators Hue (h°) and chroma (C). The values of these coordinates varied between morphotypes. The L^* values varied in a wide interval, which indicates that color brightness also differed between hybrids. It varied from 24.37 to 29.75 respectively in M2 and M1. The value of a^* varied from 25.59 (M7) to 34.55 (M8) and the b^* value varied from 42.03 (M2) to 50.75 (M8). For the valor of chroma (C), the morphotype M9 had the lowest (50.88) and M8 had the highest (61.39) valor. The Hue (h°) valor varied slightly among morphotypes from 0.97 (M8) to 1.08 (M7).

For the tint, the ratio Red/Yellow values averaged from 0.96-0.99 without any significant difference between paprika fruits morphotypes (Fig. 30D). Carvajal et al. (1997) and Topuz et al. (2009) reported similar R/Y values in paprika.

The carotenoids contents varied significantly among morphotype (Fig 30B). The highest and lowest values were found in M1 (3807 mg kg⁻¹ DW) and M10 (1796 mg kg⁻¹ DW), respectively.

Surface color measurements will give some indication as to how the paprika powder will look to the eye. As it is difficult to interpret complex 'L' and 'h°' data, the standard technique used by the spice industry is to measure extractable color and to observe the powder visually for defects. The ASTA method is the most widely used to measure the commercial quality of paprika. This quantifies the total carotenoid content indirectly, and has been used as a parameter of quality in selection, breeding, and cultivar characterization work (Costa et al. 2001; Kim et al. 2002). M7 presented the lowest values, in carotenoid content as

well as in ASTA, which are the opposite to the values found in M1. Carotenoid values found in this study are within the ranges reported by KIMS et al. (2002), Topuz & Ozdemir (2007), Howard *et al.* (2000) for *C. annuum* cultivars. Except M7 and M10 which had valor ASTA lower slightly than 100, the rest are considered acceptable (ASTA 1999). High quality and expensive paprika powders usually show ASTA values of above 100. As a rule, when the ASTA color is higher, the paprika is more expensive. The ASTA color is strongly correlated with the carotenoid pigment content (Perez-Galvez et al. 2004). Peppers are a good source of carotenoids, which can vary in composition and concentration owing to differences in genetics and maturation (Markus et al. 1999; Russo & Howard 2002).

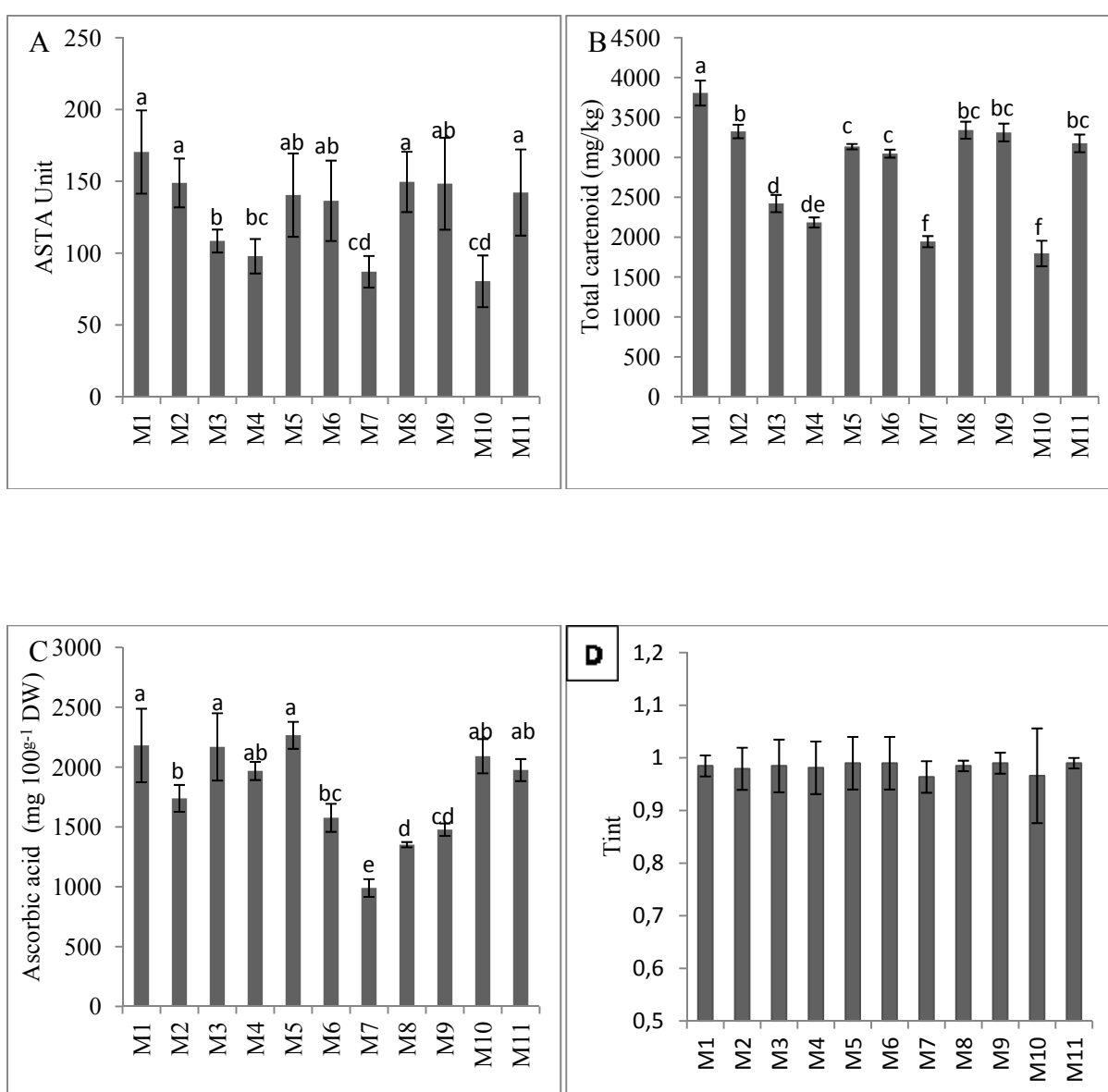


Figure 30 : ASTA values (A), Carotenoid content (B), Ascorbic acid content (c) and tint (D) of the 11 morphotypes collected from Tadla-Azilal Area.

Table 9: Chromatic coordinates (L^* , a^* , b^*), C , h° values for the different morphotypes samples

Morphotypes	L^*	a^*	b^*	C	h°
M1	29.75±0.12 ^a	32.61±0.09 ^a	49.75±0.06 ^a	59.49±0.26 ^a	0.99±0.05 ^a
M2	24.37±0.21 ^c	28.97±0.14 ^b	42.03±0.13 ^c	51.05±0.13 ^{bc}	0.97±0.11 ^a
M3	28.55±0.15 ^a	28.56±0.27 ^b	48.27±0.26 ^{ab}	56.09±0.25 ^{ab}	1.04±0.08 ^a
M4	25.68±0.19 ^a	26.89±0.43 ^c	44.28±0.23 ^{bc}	51.81±0.19 ^{bc}	1.03±0.06 ^a
M5	26.17±0.22 ^{bc}	29.41±0.28 ^{ab}	45.14±0.18 ^{bc}	53.88±0.37 ^b	0.99±0.02 ^a
M6	25.98±0.32 ^{bc}	27.21±0.16 ^{bc}	44.81±0.22 ^{bc}	52.42±0.22 ^{bc}	1.03±0.06 ^a
M7	27.87±0.20 ^{ab}	25.59±0.27 ^c	47.44±0.32 ^{ab}	53.90±0.45 ^b	1.08±0.03 ^a
M8	29.74±0.18 ^a	34.55±0.35 ^a	50.75±0.08 ^a	61.39±0.27 ^a	0.97±0.03 ^a
M9	24.72±0.14 ^c	27.78±0.15 ^{bc}	42.63±0.10 ^c	50.88±0.36 ^{bc}	0.99±0.07 ^a
M10	27.46±0.41 ^{ab}	27.53±0.32 ^{bc}	46.67±0.39 ^b	54.18±0.17 ^b	1.04±0.02 ^a
M11	26.9±0.26 ^b	29.05±0.25 ^{ab}	46.39±0.19 ^b	54.74±0.22 ^b	1.01±0.04 ^a

Values are mean ± SD of 3 replicates. Means within the same row carrying different superscript letter were significantly different at $p < 0.05$ according to a Duncan multiple range test

3.3. Chemical composition of paprika

Vitamin C (**Fig 30C**) was also found to vary significantly ($P < 0.005$) among paprika morphotype, with values ranging from 992 to 2180 mg 100 g⁻¹ dw. The maximum vitamin C content was noticed in M1, M3, M5 and the minimum in M7. The vitamin C content found in this study agrees with the values obtained by [KIM et al. \(2011\)](#) (1987 mg 100 g⁻¹ dry weight). [DEEPA et al. \(2007\)](#) reported that sweet pepper genotypes harvested at the red stage used for paprika processing may show values that range from 647 to 2135 mg 100 g⁻¹ DW. As other studies have shown, the content of vitamin C in *C. annum* is dependent on the varieties and the maturity stage of the fruits ([Khadi et al., 1987](#); [Howard et al., 2000](#)).

Pungency or the hot taste of pepper fruits is attributed mainly to capsaicinoid

concentration. In this study, three compounds of capsaicinoid (capsaicin (CAP), dihydrocapsaicin (DH) and norhydrocapsaicin (NDH)) were analyzed (**Table 10**). The capsaicin is the most abundant capsaicinoids. Its concentration was higher than dihydrocapsaicin and norhydrocapsaicin in all morphotypes.

Considering total capsaicinoid content, the eleven morphotypes presented different patterns levels. Fruits from M1, M5, M6 and M7 not showed detectable levels. M2, M3, M4 and M10 had low capsaicinoid content (15-96 mg kg⁻¹ dw). M9 and M8 had high content of capsaicinoid (2525 and 8583 mg kg⁻¹ dw, respectively). The capsaicinoids levels observed in those morphotypes were in line with those reported by [Gahungu et al. \(2011\)](#) and [Topuz and Ozdemir \(2007\)](#).

The present morphotypes were also compared with the value of SHU, which was estimated by the method of [Todd et al. \(1977\)](#). The SHU values of the cultivars changed between 223.14 and 122238.76. Naturally, the cultivars which had higher capsaicin and dihydrocapsaicin contents result in higher SHU values. Consequently, the SHU value of the morphotypes M8 and M9 were higher than those of other morphotypes. Likewise, the lowest SHU value was calculated in the morphotypes M2, M3, M4 and M10, and attributed to their low content of the capsaicinoids.

The presence of capsaicin, dihydrocapsaicin and norhydrocapsaicin showing their maximum contribution in pungency of the morphotypes (Table 10). Capsaicin, dihydrocapsaicin and nordihydrocapsaicin were also reported to be the major capsaicinoids in *Capsicum* by [Gnayfeed et al. \(2001\)](#). The literature indicates that capsaicinoids content of pepper fruits varied according to ontogenetic variety and to the ecological conditions of its habitat ([Bosland, 1994](#); [Hundal and Khanna, 2002](#)). The use of SHU is the traditional method to evaluate paprika pungency ([Collins et al., 1995](#)). There are five pungency levels classified using Scoville Heat Units (SHU): non-pungent (0- 700 SHU), mildly pungent (700-3,000 SHU), moderately pungent (3000-25,000 SHU), highly pungent (25,000-70,000 SHU) and very highly pungent (> 80,000 SHU) ([Weiss, 2002](#)). Referring to this scale, M1, M3, M4, M5, M6, and M7 were classified as non-pungent; M2 and M10 as mildly pungent and M8, M9 and M11 as moderately pungent.

Table 10: Capsaicinoids content and scoville Heat Unit (SHU) in powder obtained from fruit morphotypes

Morphotypes	Capsaicine	Dihydrocapsaicin	Nordihydrocapsaicin	Total Capsaicinoids	SHU
	(mgkg ⁻¹ DW)				
M1	Nd	Nd	nd	nd	nd
M2	32±1.25 ^d	27±2.32 ^d	17.6±1.04 ^d	76.6±1.75 ^d	1113.58±22.19 ^d
M3	12.1±0.29 ^c	8.7±0.35 ^c	11.5±0.98 ^c	32.3±0.69 ^c	441.83±18.27 ^c
M4	9.2±0.76 ^c	3.1±0.46 ^c	2.7±0.36 ^c	15±0.94 ^c	223.14±6.82 ^c
M5	Nd	Nd	nd	nd	nd
M6	Nd	Nd	nd	nd	nd
M7	Nd	Nd	nd	nd	nd
M8	4008.2±32.54 ^a	2229.3±13.21 ^a	2345.7±12.89 ^a	8583.2±46.65 ^a	122238.76±65.87 ^a
M9	2493± 10,54 ^b	19.2±0.24 ^b	13.2±0.76 ^b	2525.4±10.63 ^b	40569.18±13.46 ^b
M10	36.7±3.28 ^d	30.6±1.49 ^d	28.5±1.98 ^d	95.8±2.84 ^d	1348.58±22.26 ^d
M11	315±14.27 ^c	178±6.87 ^c	187±3.89 ^c	680.4±14.69 ^c	9676.4±32.47 ^c

nd. : not detected

Values are mean ± SD of 3 replicates. Means within the same row carrying different superscript letter were significantly different at $p < 0.05$ according to a Duncan multiple range test

3. CONCLUSIONS

Morphotypes of paprika studied here differed in fruits morphology, color and chemical composition. Considering the data obtained from this study, morphotype M1 was considered the most appropriate for the development of food industries, demonstrating the high potential for more desired commercial traits such as color, pungency and DW/FW ratio. Morphotype M8 is suggested for the pharmaceutical industries for its high capsaicin yield under ecological conditions found in the region of Morocco. In the other hand the results showed that the content of the metabolites analyzed vary greatly among fruits of the 11 different morphotypes, demonstrating the potential of the current germplasm collection for genetic improvement of metabolic traits. The current findings are essential as new information to the scientific database and it may contribute to the breeders in cultivar development not only in terms of their yield, cultivation cycle, production in cool area and resistance for disease and pests, but also in the nutritional and functional composition of the product. Genetic improvement and further studies on the agronomy of these morphotypes are recommended so as to encourage its cultivation.

Acknowledgements

Authors are thankful to the University of Sultan Moulay Slimane of Morocco for their financial support. We thank Jamal Koubali, Professor at the University Sultan Moulay Slimane for reading this paper.

Reference

- Alasalvar, C.; Al-Farsi, M.; Quantick, P. C.; Shahidi, F.; Wiktorowicz, R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chemistry*, 89, 69–76.
- American Spice Trade Association. (1999). ASTA cleanliness specifications for spices, seeds, and herbs. Rev. April 28, 1999. In: ASTA Inc. (Eds.), Engelwoods Cliff., New Jersey, NJ, USA.
- Bosland, P.W. (1994). Chiles: History, Cultivation, and Uses. In: Charalambous, G. (Ed.), *Spices, Herbs, and Edible Fungi*. Elsevier Publications, New York, pp: 347-366.
- Bosland, P.W.; Votava. E.J. (2000). *Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*. Crop Production Science in Horticulture 12. Wallingford, England, UK: CAB International Publishing.
- Carvajal, M., Martínez, M.R., Martínez-Sánchez, F. & Alcaraz, C.F. (1997), “Effect of ascorbic acid addition peppers on paprika quality”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75, 442-446.
- Casali, V. W. D.; Stringheta, P. C., (1984). Breeding Capsicum for processing. *Informe Agropecuario* 10(113): 23-25.
- Collins, M. D.; Mayer Wasmund, L.; Bosland, P. W. (1995). Improved method for quantifying capsaicinoids in Capsicum using high performance liquid chromatography. *HortScience*, 30, 137–139.
- Conforti, F.; Statti, G. A. ; Menichini, F. (2007). Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry*, 102(4), 1096–1104.
- Costa, J.; Catala, M.S.; Tomas, M.; Mayor, P.; Picazo, M.I.; Montero, F.; Gomez, R. (2001). Comportamiento productivo de líneas experimentales de pimiento para pimiento en dos fechas de recogida, con diferentes riesgos de heladas, en la provincia de Albacete. *Actas de Horticult.* 36, 693–700.
- Daood, H. G.; Vinkler, M.; Markus, F.; Hebshi, E. A.; Biacs, P. A. (1996). Antioxidant vitamin content of spiced red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. *Food Chemistry*, 55, 365–372.
- Deepa, N.; Kaur, C.; George, B.; Singh, B.; Kapoor, H.C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes during maturity. *Food Science and Technology*, 40, 121-129.
- Ergu nesx, G.; Tarhan, S. (2006). Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. *Journal of Food Engineering*, 76, 446–452.
- Gahungu, A.; Ruganintwali, E.; Karangwa, E.; Zhang, X.; Mukunzi, D. (2011). Volatile Compounds and Capsaicinoid Content of Fresh Hot Peppers (*Capsicum Chinense*) Scotch Bonnet Variety at Red Stage. *Journal of Food Science and Technology* 3(3): 211-218.
- Govindarajan, V.S.; Sathyanarayana, M.N. (1991). Capsicum production, technology, chemistry, and quality. Part V. Impact on physiology, pharmacology, nutrition, and metabolism structure, pungency, pain, and desensitization sequences. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 29(6), 435–473.
- Govindarajan, V.S. (1985). Capsicum production. Technology, chemistry and quality, part I: History, botany, cultivation and primary processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 22, 109-176.
- Guerpinar, A.; Mordogan, N. (2002). The effect of different compost applications on organically produced red peppers (*Capsicum annum* L.). Republic of Turkey. Ministry

- of Agriculture and Rural Affairs. Aegean, Agricultural Research Institute Mencevirmir. /Turkey. www.isofar.org/. Accessed on 15/07/2010.
- Hakmaoui, A. ; Ouatmane, A ; Fernández-Trujillo, J.P. (2011). El cultivo de la ñora y la industria del pimentón en la región de Tadmira-Azilal (Marruecos). *Horticultura*, 295, 31-35.
- Hart, D.J.; Scott, K.J. (1995). Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry*, 54: 101-111.
- Hornero-Méndez, D.; Minguez-Mosquera, M.I. (2001). Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic carotenoid fractions in paprika and red pepper oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:3584-3588.
- Horwitz, W. (Eds.) (2002). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International (AOAC), vol. II, 43 Spices and Other Condiments, 43. 1. 02 Color Extractable in Spices. 17th ed. Gaithersburg, Maryland.
- Howard, L. R.; Smith, R. T.; Wagner, A. B.; Villalon, B.; Burns, E. E. (1994). Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapeños. *Journal of Food Science*, 59, 362–365.
- Howard, L.R.; Talcott, S.T.; Brenes, C.H.; Villalon, B. (2000). Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivar (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 48:1713-1720.
- Hundal, J.S.; Khanna, D.S. (2002). A New Hybrid Of Chili "Ch-3"--Suitable for Processing. *Journal of Research, Punjab Agricultural University*, 39(2): 326.
- Jorge, A.; Osuna, G.; Marisa, M.W.; Cynthia, A.W. (1997). Natural antioxidants for preventing color loss in stored paprika. *Journal of Food Science* 62(5), 1017–1021.
- Khadi, B.M.; Goud, J.V.; Patil, V.B. (1987). Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition* 37:915.
- Kim, S.; Park, J.B.; Hwang, I.K. (2002). Quality attributes of various varieties of Korean red pepper powders (*Capsicum annuum*L.) and color stability during sunlight exposure. *J.Food Sci.* 67 (8), 2957–2961.
- Kim, J.S.; Ahn, J.; Lee, S.J.; Moon, B.; Ha, T.Y.; Kim, S. (2011). Phytochemicals and Antioxidant Activity of Fruits and Leaves of Paprika (*Capsicum Annuum* L., var. Special) Cultivated in Korea. *Journal of Food Science* 76(2): 193-198.
- Lannes S.D.; Finger F.L.; Schuelter A.R.; Casali V.W.D. (2007). Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. *Scientia Horticulturae* 112: 266-270.
- Lee, J.J.; Crosby, K.M.; Pike, L.M.; Yoo, K.S.; Leskovar, D.I. (2005). Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Sci. Hortic.* 106, 341–352.
- Markus, F.; Daood, H. G.; Kapitany, J.; Biacs, P. A. (1999). Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 100–107.
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27, 1254-1255.
- Medina-Lara, F.; Echevarria-Machado, I.; Pacheco-Arjona, R.; Ruiz-Lau, N.; Guzmán-Antonio, A.; Martínez-Estevéz, M. (2008). Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience* 43:1549-1554.
- Monforte-González, M.; Guzmán-Antonio, A.; Uuh-Chim, F.; Vázquez-Flota, F. (2010). Capsaicin accumulation is related to nitrate content in placentas of habanero peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:764768.

- Navarro, J.M.; Flores, P.; Garrido, C. ; Martinez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry* 96:66-73.
- Ricardo, G.; Jose, P. (1996). Evolution of color during the ripening of selected varieties of paprika pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal Agricultural of Food Chemistry*, 44, 2049-2052.
- Paik, S.Y.; Soo, R. k., Chang, I.S.; Chang, P.Y., Sung, P.H.; Suk, B. H.; Yun, W.J.; Choi W.J. (2003). Purification and Characterization of Complement-activating Acidic polysaccharides fro the Fruits of *Capsicum annum*. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology* 36(2): 230-236.
- Perez-Galvez, A. ; Minguez-Mosquera, M.I. ; Garrido-Fernandez, J. ; Lozano-Ruiz, M. ; Montero-de-Espinosa, V. (2004). Correlacion entre unidades ASTA-Concentracion carotenoides en pimentones Prediccion de la estabilidad del color durante el almacenamiento. *Grasas y aceites* 55 (3), 213–218.
- Pino, J.; González, M.; Ceballos, L.; Centurión – Yah, AR.; Trujillo – Aguirre, J.; Latowonerie – Moreno, L.; Sauri – Duch, E. (2007). Characterization of total capsaicinoids, colour and volatile compounds of habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* jack) cultivars grown in yucatan. *Food Chemistry* 104, 1682- 1686
- Pruthi, J. S. (1980). Spices and condiments. In E. M. Chichester & G. F. Stewart (Eds.) (pp. 13). New York: Academic Press.
- Rego, E.R.; Rego, M.M.; Finger, F.L.; Cruz, C.D.; Casali, V.W.D. (2010). Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). *Genetic Resources and Crop Evolution*. doi: 10.1007/s10681-009-9947-y.
- Russo, V. M.; Howard, L. R. (2002). Carotenoids in pungent and non- pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glass house. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 82, 614–615.
- Scoville, W.L., 1912. Note *Capsicum*. *J. Am. Pharm. Assoc.*, 1: 453
- Slassi Moutabir, D. (1987). Pour une amélioration de la productivité de la niora (*Capsicum annum* L.). Mémoire de Fin d'Etude. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 92p.
- Soysal, Y.; Oztekin, S.; Isxikber, A.A.; Duman, A.D.; Dayisoğlu, K.S. (2005). Assessing the colour quality attributes of Turkish red chilli peppers (*Capsicum annum* L.) and colour stability during storage. In *Proceedings of the 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. 27th International Conference of CIGR SECTION IV: The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources in Agriculture, _Izmir, Turkey*, pp. 99–104.
- Surh, Y.; Lee, S. S. (1996). Capsaicin in hot chilli pepper, carcinogen or anticarcinogen. *Food and Chemical Toxicology*, 34, 313–316.
- Tainter, D. R.; Grenis, A. T. (1995). Spices and seasonings. *A food technology handbook*, VCH Publishers. New Delhi, p. 43.
- Todd, P.H. Jr.; Bensinger, M.G.; Biftu, T. (1977). Determination of pungency due to capsaicin by gas-liquid chromatography. *Journal of Food Science*, 42: 660-680.
- Topuz, A.; Ozdemir, F. (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis* 20:596-602.
- Topuz, A.; Feng, H.; Kushad, M. (2009). The effect of drying method and storage on colour characteristics of paprika, *Food Science and Technology*, 42, 1667-1673.
- Zaki N., Hasib A., Hakmaoui A., Dehbi F. and Ouatmane A. (2013), “Assessment of color, capsaicinoids, carotenoids and fatty acids composition of paprika produced from Moroccan pepper cultivars (*Capsicum Annum* L.)”, *Journal of Natural Sciences Research*, 3(7):111-118.

Chapitre 3 :

Etude de l'effet de la période de production du paprika sur ses caractéristiques physico-chimiques, nutritionnelles et microbiologiques

1- Présentation :

Les piments occupent le 2^{ème} rang après la tomate en terme de production aussi bien localement que mondialement (DPA, 2012). La poudre de paprika obtenue à partir du piment a de nombreuses propriétés nutritionnelles, pharmaceutiques, nutraceutiques (Topuz et Ozdemir, 2007 ; Jadcak et Grzeszczuk, 2009). C'est l'épice la plus utilisée pour aromatiser et colorer les aliments tout en fournissant des vitamines et des minéraux (Esayas et al., 2011). En conséquence, la connaissance des propriétés physicochimiques des aliments additifs est très importante pour l'optimisation des procédés de conservation et ou de transformation.

Toutefois, au Maroc les travaux de recherche sur la niora qui est à la fois nutritionnelle et industrielle sont très limités. Dans la région du Tadla, la campagne de la niora s'étale généralement sur 4 mois de septembre à décembre (Hakmaoui et al., 2011) en termes de récolte et de transformation. Cette période connaît des changements climatiques. En plus toutes les opérations de transformation se font d'une manière traditionnelle (séchage à l'air libre, mouture dans des unités de transformation traditionnelles). Tous ces facteurs peuvent influencer la qualité (la coloration, la teneur en capsaïcinoïdes, la charge microbienne,...etc) de la niora et ses produits dérivés.

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet de la période de production et de transformation de la niora sur la composition nutritionnelle, les propriétés physico-chimiques et microbiologiques du paprika produit dans la région du Tadla.

Les résultats de cette étude ont aboutis à la publication suivante:

**« Quality characteristics of Moroccan sweet paprika (*Capsicum annuum* L.)
at different sampling times »**

**2- Publication 3: Quality characteristics of Moroccan sweet paprika
(*Capsicum annuum* L.) at different sampling times**

Naima Zaki^a, Abdelmalek Hakmaoui^b, Aaziz Ouatmane^a, Juan Pablo
Fernandèz-Trujillo^b

a- Laboratory of Environment and Valorisation of Agro resources. University Sultan Moulay Slimane. Faculty of Science and Technology. Beni-Mellal, Mghila, B.P.:523, Béni Mellal Morocco.

b- Departamento de Ingeniería de Alimentos y Equipamiento Agrícola- Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Paseo Alfonso XIII, 48. ETSIA. 30203. Cartagena (Murcia), Spain.

* Corresponding author.

Tel.: +34 968 32 54 36; fax: +34 968 32 57 32.

E-mail address: Juanp.fdez@upct.es

Journal: *Food Science and Technology*, Volume 33, N° 3, 2013.

RÉSUMÉ

"La Niora" est une variété de piment rouge cultivée dans la région du Tadla (Maroc). Elle est utilisée pour la fabrication du paprika après séchage au soleil. Les paramètres de qualité nutritionnelle, physico-chimique et microbiologique du paprika ont été évalués immédiatement après son broyage pour 4 périodes (septembre, octobre, novembre et décembre). La couleur du paprika, sa teneur en capsaïcinoïdes totaux et en vitamine C se trouvent affectées par la période de production et de transformation. La qualité commerciale est acceptable. La charge microbienne dépasse parfois les niveaux autorisés, les aflatoxines n'ont été pas détectés.

Mots-clés: Paprika - Composition nutritionnelle - propriétés physico-chimiques et microbiologiques.

ABSTRACT

"La Niora" is a red pepper variety cultivated in Tadla Region (Morocco) that is used for manufacturing paprika after sun drying. The paprika quality (nutritional, chemical and microbiological) was evaluated immediately after milling from September to December. Sampling time mainly affected paprika color and the total capsaicinoid and vitamin C contents. The commercial quality was acceptable and no aflatoxins were found, but the microbial load sometimes exceeded permitted levels.

Keywords: *Paprika – nutritional composition – physical-chemical and microbiological properties.*

RESUMO

Características de qualidade da paprika doce marroquina (*Capsicum annuum* L.) em diferentes tempos de amostragem

"La Niora" é uma variedade de pimento vermelho cultivado na região de Tadla (Marrocos), que é utilizada na produção de paprika, após secagem ao sol. A qualidade da paprika (nutricional, química e microbiológica) foi avaliada imediatamente após a moagem de Setembro a Dezembro. O tempo de amostragem afetou principalmente a cor da paprika, o conteúdo em capsinoides totais e os teores em vitamina C. A qualidade comercial foi aceitável e não foram encontradas aflatoxinas, mas a carga microbiana ultrapassou, por vezes, os níveis permitidos.

Palavras-chave: Paprika - *composição nutricional - propriedades microbiológicas e físico-químicas.*

1. Introduction

Pepper (*Capsicum sp.*) is grown in many countries of the world. In Morocco, red pepper (*Capsicum annuum* L.) for paprika is called “Niora” (similar to the Spanish name “ñora”, which is given to a certain group of pepper cultivars used for cooking and making paprika). The main production area is Tadla Region with more than 80% of the national production (HAKMAOUI et al. 2011). The plant material and the sun drying method used means that the paprika produced in Tadla resembles the paprika produced in Murcia (southeastern Spain) (ESCARABAJAL and FERNÁNDEZ-TRUJILLO 2009; FERNÁNDEZ-TRUJILLO and ESCARABAJAL 2006). Given the geographical situation of Tadla, there is great interest in exporting paprika for distribution in Europe.

Paprika is a widely consumed condiment. The world supply is estimated at approximately 60,000 t per annum, with an additional 1,400 t of paprika oleoresin (BUCKENHÜSKES 2003). Paprika powder is used both domestically and for industrial purposes. In the food industry it is mainly used as a natural colorant to correct or reinforce the color of foodstuffs or to provide flavoring. It is also used in the pharmaceutical and cosmetic industries (FERNÁNDEZ-TRUJILLO 2007; FERNÁNDEZ-TRUJILLO and ESCARABAJAL 2006).

To obtain paprika, the pepper must be dehydrated by heating and then ground. Traditionally in Morocco and southeastern Spain, paprika is obtained by sun drying (SD) (CONDORI and SARAVIA 2001). It takes about 7-20 days (depending on the weather conditions) to reduce the moisture content to 10-15% (OBEROI et al. 2005). In Morocco, harvesting and sun drying is usually carried out over the four months from September to December (HAKMAOUI et al. 2011).

In paprika, food safety concerns usually refer to its microbial status and the possible presence of mycotoxins (BUCKENHÜSKES 2003; FERNÁNDEZ-TRUJILLO and ESCARABAJAL 2006; VALLE-ALGARRA et al. 2011). Other quality attributes in paprika include its color intensity, taste, stability, pungency, ascorbic acid content and chemical compounds (ESCARABAJAL and FERNÁNDEZ-TRUJILLO 2009; YALDIZ et al. 2010).

The color of paprika mainly comes from the carotenoids formed in the fruit during ripening, with more than 20 different pigments identified (DELI et al. 2002; TOPUZ et al. 2009). During processing and storage, color degradation kinetics can be modeled depending on temperature and water activity (TOPUZ 2008). Capsanthin is the principal carotenoids in paprika, followed by capsorubin and provitamin A carotenoids (GALLARDO-GUERRERO et al. 2010). In rats, capsanthin has positive effects on health by increasing the high density

lipoprotein (HDL) cholesterol in plasma and can increase cholesterol efflux to HDL particles (AIZAWA and INAKUMA 2009). Harvest the fruit in a very advanced stage of maturity can increase pericarp soluble pectin and calcium pectate which has a detrimental effect on paprika quality due to the need of increasing processing time for pepper drying (GALLARDO-GUERRERO et al. 2010).

A high concentration of the antioxidant ascorbic acid in paprika plays a positive role in ensuring the stability of the final product (FERNÁNDEZ-TRUJILLO and ESCARABAJAL 2006). However, paprika stored at 4°C and 70% relative humidity without reconstitution of the antioxidant level shows reduced loss in carotenoids content due to autoxidation and similar quality attributes than before storage (PÉREZ-GÁLVEZ et al. 2009). The stability of the main carotenoids of the red bell pepper during storage has been shown to depend on the drying conditions, with the rate of deterioration increasing as the drying temperature increases (DOYMAZ and PALA 2002; VEGA-GALVEZ et al. 2008). In addition to better color intensity at harvest, partial slow drying improves color retention in spice because of additional recovery of fruit carotenogenesis and oxidative thermal-stress, particularly under illumination and after the first day of this process (PÉREZ-GÁLVEZ et al. 2004), as red pigments are more stable than yellow pigments and beta-carotene is converted to more stable red colored xanthophylls (MARKUS et al. 1999; MÍNGUEZ-MOSQUERA and HORNERO-MÉNDEZ 1994; MÍNGUEZ-MOSQUERA et al. 1994).

The fat content is another quality parameter of paprika pericarp as it is usually present in esterified form with carotenoids, providing a more homogenous and attractive spice (PÉREZ-GALVEZ et al. 1999).

The pungency of *Capsicum* species depends on the concentration of capsacinoids, particularly capsaicin, in the pepper fruit. Usually, sweet paprika, the most commonly grown pepper in Morocco and Spain, has very low capsacinoid content (FERNÁNDEZ-TRUJILLO and ESCARABAJAL 2006). The capsacinoids constitute a class of plant alkaloids, which are all fatty acid amides of vanil-lylamine (SCHWEIGGERT et al. 2006). The major components are capsaicin, dihydrocapsaicin and nordihydrocapsaicin, accompanied by several minor capsacinoids which are present at very low levels and which are not thought to contribute greatly to overall pungency (PERUCKA and MATERSKA 2001).

Paprika, besides imparting pungency and a red color to dishes, is a rich source of provitamin A and vitamins B, C and E, and minerals like K, Ca, P, Fe, Na and Cu in trace amounts. Differences in the nutritional composition are determined by the cultivar, the

growing conditions and fruit maturity, while further changes can occur during postharvest handling and storage (BOSLAND and VOTAVA 2000).

The aim of this study was to evaluate main food composition attributes of Moroccan sweet paprika at four sampling times that can be affecting quality of the product.

2. Material and methods

The pepper fruits were harvested during 2010 in the Tadla Azilal region of Morocco. Paprika powder samples derived from 'Niora' cultivar (*Capsicum anuum* L.) were obtained by means of the process previously reported that essentially includes fruit sun drying and grinding (HAKMAOUI et al. 2011), but no extra oil was added. Powders were taken immediately after milling at four different sampling periods (during first week of September, October, November and December). The average particle size of the powders was 400 µm. The samples were stocked in hermetic containers in darkness and under refrigeration (4 °C) until analysis. Three replicates were used per harvest time obtained from three independent millings without adding oil. The samples for milling were taken randomly from different levels of the piles of sacks in which the collaborating companies store the sun dried peppers.

2.1. Measurement of chemical composition and paprika color.

All analyses were made using analytical grade chemicals and reagents. The pH of the extract was obtained using a pH meter (Thermo Scientific Orion Star Series, USA) according to AOAC methods (HORTWITZ 2002). Pepper extracts were prepared by mixing 2 g powder sample with 80 mL distilled water in a shaker-incubator for 3 h at 200 rpm. Moisture of the samples was analyzed by weighing 5 g of the sample that was dried at 100°C for 6 h (AOAC method 925.05; HORWITZ 2002). The total ash content of the samples was determined according to the official AOAC method 941.12 (HORWITZ 2002), incinerating the samples in a muffle furnace at 525 °C for 24 h. Ashes were quantified gravimetrically.

The ASTA color value of paprika powders was determined according to the official AOAC method 971.26 (HORWITZ 2002) with a slight modification. Samples (0.1 g) were extracted with 20 mL acetone for 3 h by using a water bath (axially shaken at 140 rpm) maintained at 25 °C. Then the extract was diluted 1/5 with acetone. The absorbance of the diluted extract was measured against acetone at 460 nm by spectrophotometer. The extractable color of the samples was expressed in ASTA units: $ASTA = Absorbance * 16.4 * devf / weight$ (1), where devf is the deviation factor of the spectrophotometer, which was calculated by dividing

the theoretical absorbance by the real absorbance of standard color solution (0.001 M $K_2Cr_2O_7$ and 0.09 M $(NH_4)_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ in 1.8M H_2SO_4) at 460 nm.

Chemical color determination (Tint) was evaluated by dividing the absorption at 470 nm by the absorption at 455 nm of the acetone extracts (DE GUEVARA and PARDO 1996; HORNERO-MÉNDEZ and MÍNGUEZ-MOSQUERA, 2001).

To measure skin color, a CR-300 chromameter (Minolta, Osaka, Japan) was used for (C illuminant, 0° viewing) previously calibrating it with a white-plate standard. A glass Petri dish containing the samples was placed below the light source. The values of the coordinates L^* , a^* , and b^* of each sample were determined in triplicate. Because chroma (C) and Hue angle (h°) have been shown to be more practical measures of color from an human sensorial point of view (MCGUIRE 1992), both parameters were calculated: $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ and $h^\circ = \arctan(b^*/a^*)$.

2.2. Determination of nutritional attributes and chemical composition of paprika powders.

The sugar content was determined using the Bertrand method by collecting the precipitate of the copper (II) oxide Cu_2O formed by reduction of the copper-alkaline solution, in presence of reducing sugars, and to measure it out by manganimetry (BROWNE and ZERBAN 1955). The crude fiber content of the raw *Capsicum* flour samples was determined by adding different concentrations of ethanol to cause selective precipitation of dietary fibers and then determined gravimetrically by weighing the mass of an insoluble fiber fraction isolated from a sample (AOAC 982.29 method (PROSKY et al. 1992). The oil content was analyzed gravimetrically after Soxhlet extraction using 10 g of paprika powder and 100 mL hexane as solvent following the AOAC No. 960.39 (HORTWITZ 2002). The solvent was removed by a rotary evaporator at $40^\circ C$. The fatty acid composition of oil was determined in a mixture of subsamples of the three replicates following the European Standard ISO 12966:2011. Briefly 0.1 g of the oil was dissolved in 2 mL isooctane and 0.1 mL de KOH (2N). The closed tube was agitated vigorously for 1 min at room temperature. The reaction of methylation was carried out after heating the mixture for 15 min at $80^\circ C$ in a water bath and then allowing the tube to cool at $25^\circ C$. Then, 0.2 mL of 15% MeOH/ H_2SO_4 was added and the mixture was heated again for 15 min with a subsequent cooling at $25^\circ C$ before adding 1 mL of isooctane together with 2 mL of a 6.83 M solution of sodium chloride to help in the transfer of the methyl esters to the organic phase. Then the tube was centrifuged at 4500 rpm for 10 min. The fraction of isooctane is removed in a test tube, which 1 g of sodium bisulfate

monohydrate was added. After centrifugation at 4500 rpm for 10 min, the top isooctane phase was transferred to a vial and injected into a Varian 5890 gas chromatograph with a CP-Sil 88 capillary column (100 m long, 0.25 mm ID, film thickness 0.2 mm; Varian Deutschland, Darmstadt, Germany).

Total nitrogen was determined by the Kjeldahl method with two steps (mineralization and distillation) (POMERANZ and CLIFTON 1987). Total nitrogen was converted into protein content by multiplying the N value by the factor 6.25.

The energy content of the red pepper paprika were determined by multiplying the values obtained for protein, total carbohydrates and total fat by 4.00, 3.75, and 9.00, respectively, and adding the results, as described in DURUCASU and TOKUSOGLU (2007). The final results were multiplied by 4.1868 to express the energy content in kJ. The vitamin C was determined using the method of BENDERITTER et al. (1998).

The capsicinoid content was determined mixing paprika powder (1 g) with 10 mL of acetonitrile and kept for 4 h at 80°C with shaking in capped Erlenmeyer flask. The supernatant was filtered into a 2 mL glass vial by using a 0.45 µm membrane filter (Millipore), and then used for HPLC injection (COLLINS et al., 1995).

Capsaicinoid content was converted to the Scoville Heat Value (SHV) by multiplying the individual capsicinoid composition (in mg kg⁻¹ dry weight of the paprika) by the coefficient of the heat value for each individual compound, 9.3 for nordihydrocapsaicin (NDHCAPS) and 16.1 for both capsaicin (CAPS) and dihydrocapsaicin (DHCAPS) (TODD et al. 1977).

$$\text{Total SHV} = [\text{CAPS} + \text{DHCAPS}] \times 16.1 + [\text{NDHCAPS} \times 9.3] \quad (2)$$

The mineral content was determined according to OSBORNE and VOOGT (1978). Zinc, magnesium, iron, cadmium, lead and copper were analyzed by atomic absorption spectrophotometry using an UNICAM 929 AA Spectrometer ("ATIUNICAM"). Phosphorus was determined by the vanadomolybdophosphoric-yellow method (JACKSON 1985).

2.3. Microbiological and aflatoxin analysis

All samples were analyzed following AOAC methods for measuring total aerobic mesophilic bacteria, Enterobacteriaceae, total coliforms, fecal coliforms, Streptococcus, Staphylococcus aureus, Clostridium, yeast and mold (HORWITZ 2002). Five grams of the pepper powder were mixed with 45 mL sterile peptone water solution in a Stomacher 400 Circulator (Seward, London, UK). Serial dilutions (1:10) of each homogenized sample were made in the same diluents and surface spread. Subsequent dilutions were prepared and plated on plate count agar for the total aerobic bacteria and on desoxycholate agar for coliforms.

Microbial counting was performed 24–48 h after incubation at 30°C, 37 °C and 46°C for total aerobic bacteria, total coliforms, and fecal coliforms, respectively. Enterobacteria were counted on VRBG medium and incubated at 37 °C for 24-48 h. *Clostridium* genus was investigated on SPS medium at 46 °C for 24-48 h, *Staphylococcus aureus* were counted on BP medium and incubated at 37 °C for 48 h. Streptococcus were counted in Slanetz medium and incubated at 37 °C for 24-48 h. Detection of Salmonella was performed after enrichment and isolation on bismuth sulfite medium by incubating the plates at 37 °C for at least 48 h. Molds and Yeasts were incubated on malt extract agar added with chloramphenicol at 25 °C for 4-7 d. The results of the analysis were always expressed as colony forming units per gram (CFU/g). The total aflatoxin content was determined according to [GILBERT and ANKLAM \(2002\)](#).

2.4. Statistical analysis

Analysis of variance of the data for each attribute was computed using the SPSS logiciel software version 10.0. When the effect of harvest time was significant, the Duncan test at 5% level of probability was used to test the differences among mean values.

3. Results and discussion

3.1. Physical characteristics of paprika powders

The pH of the paprika ranged from 5.1 to 6.3 and the moisture content between 8.6 and 10.8 % with no significant difference between the times (**Table 11**). Paprika with a moisture content of less than 11% is deemed acceptable for marketing to ensure storage without mold growth ([DOUGLAS et al. 2005](#)). Moreover, the moisture content of paprika is very important because it is strongly correlated with the stability of ascorbic acid and pigment ([KIM et al. 1982](#)). [LEE et al. \(1992\)](#) reported that dried pepper moisture content from 10 to 14% could retard color loss, while a content of less than 4% causes excessive color loss.

The total ash content of the paprika powders analyzed here ranged between 6.06 and 7.2% (**Table 11**), which is below the maximum permissible limit value (10%) according to ISO 7540 standard ([BUCKENHÜSKES 2003](#)).

The ASTA ([AOAC International, 2002](#)) method is the most widely used to measure the commercial quality of paprika because quantifies the total carotenoid content indirectly. ASTA has been used as quality parameter in selection, breeding, and cultivar characterization

(KIM et al. 2002) and during the storage of the paprika under diverse conditions (PÉREZ-GALVEZ et al. 2004).

As regards extractable paprika color, the ASTA values of paprika ranged from 112 ±12 (September) to 144±16 (November) (**Table 11**), both of which are considered acceptable (ASTA 1999). High quality and expensive paprika powders usually show ASTA values of above 100. The extractable red/yellow pigments ratio ranged between 0.989 and 0.993 (**Table 11**), both in the range reported for paprika by CARVAJAL et al. (1997) and TOPUZ et al. (2009).

Table 11. Physical characteristics of paprika powders at different harvest plus sun-drying and milling (mean ± SD, n=3).

Quality parameter	Sampling time (month) ^z			
	September	October	November	December
pH	5.1±0.3 ^b	5.4±0.6 ^b	6.25±0.3 ^a	5.42±0.5 ^b
Moisture (%)	10.80±1.6	8.78±1.4	10.03 ±1.1	8.58 ±1.5
Ash (%)	6.52±0.3	7.16±0.7	6.43±0.2	6.06±0.3
ASTA colour units	112 ±12 ^c	117±5 ^c	144±16 ^a	127 ±6 ^b
Tint ^y	0.989	0.990	0.990	0.993
Powder CIELAB color parameters				
Lightness (L*)	27.79±2 ^a	27.04±1.5 ^a	24.56±0.5 ^b	23.98±0.7 ^b
a* parameter	29.5±1.2	28.76±1.6	29.14±1.4	27.16±1.3
b parameter	34±2.3 ^a	32.73±1.4 ^a	29.77±0.6 ^b	29.52±2.3 ^b
Chroma index (C*)	45.01±1.2	43.57±2.1	41.66±2.3	40.11±2.3
Hue angle index (h ⁰)	0.86±0.02	0.85±0.04	0.8±0.06	0.79±0.03

^z Samples were obtained in triplicate the first week of each month.

^y Chemical color determination calculated by dividing absorbance at 470 nm and at 455 nm of the acetone extracts.

Means within the same row carrying different superscript letter were significantly different at $p < 0.05$ according to a Duncan multiple range test.

The CIELAB color parameters for paprika showed a decrease in lightness from September (27.79%) to December (23.98%) (**Table 11**). The redness values (a^*) did not change with sampling time but the yellowness (b^*) value and the color saturation index C^* decreased from September to December, indicating that the vividness of the powder color can be affected by, and perhaps due to, some ongoing oxidation process. The Chroma index was around 43-45 with no significant effect of harvest time. Any changes in the color parameters could have been the consequence of the agricultural conditions and/or meteorological factors, especially temperature, sunshine and rainfall ([MÁRKUS et al. 1999](#)), which are known to influence pigment levels in pepper fruits.

3.2. Chemical and nutritional qualities of paprika

There was no significant effect of sampling time on the carbohydrate, protein, lipid and dietary fiber contents (**Table 12**). As reported by [FAO \(2009\)](#), dried peppers (*Capsicum annum*) contain 12.8% protein, 11.9% fat, 56.2% carbohydrate and 22.5% fiber. In this study (**Table 12**), the paprika powder exhibited a similar carbohydrate content (around 55%) and lower lipid content (around 8%), but higher fiber (around 36%) and protein (around 21%) values.

In the case of total sugar, a significant difference between sampling times was observed, with a maximum obtained in November (11.19%), which is close to the 10.4% reported by the [NATIONAL NUTRIENT DATABASE FOR STANDARD REFERENCE \(USDA\)](#). The energy value ranged from 1498 to 1573 kJ 100 g⁻¹ DW, while [FAO \(2009\)](#) mention a value of about 1384 kJ 100 g⁻¹ DW.

The vitamin C concentrations in paprika ranged from 1360 to 2020 mg 100 g⁻¹ dry weight, which agrees with the values obtained by [KIM et al. \(2011\)](#) (1987 mg 100 g⁻¹ dry weight). However, vitamin C levels vary greatly among cultivars. For example, [DEEPA et al. \(2007\)](#) reported that sweet pepper genotypes harvested at the red stage used for paprika processing may show values that range from 647 to 2135 mg 100 g⁻¹ DW.

The total capsinoid content varied significantly between harvest dates between 25 and 60 µg g⁻¹. [GOVINDARAJAN et al. \(1977\)](#) indicated that sweet paprika contained 0.01 to 0.1 g 100 g⁻¹ of capsaicin, while [DUMAN \(2010\)](#) obtained 89.8 mg kg⁻¹ of total capsinoid in dried red chili pepper in Turkey. The Scoville index calculated ranged between 398 and 938 heat units, classifying our samples as sweet paprika. Typical pungency ranges of sweet paprika are 0 to 700 Scoville heat units ([BOSLAND and VOTAVA, 2000](#)). The capsaicin

content of pepper fruits varies according to the ontogenetic variety, ecological conditions of the habitat, cultivar adaptation to climate, crop management, the age of the fruit and harvest time, and the position of the fruit on the plant (BHARATHI et al. 2011; GOVINDARAJAN 1985; HUNDAL and KHANNA 2002; PERUCKA and OLESZEK 2000). Particularly precipitation above a certain level during fruit growth and ripening and in this case irrespective of maximum average temperatures had an impact reducing capsaicinoid levels (Table 12), as does the age of the fruit (ESTRADA et al. 2002; TITZE et al. 2002). Perhaps precipitation enhanced peroxidase activities which are frequently associated with stress and inversely correlated with capsaicinoid levels in pepper (CONTRERAS-PADILLA and YAHIA, 1998). Processing (particularly the drying conditions and the number of seeds included) also could have some influence on pungency (TITZE et al. 2002).

Paprika samples were rich in potassium, phosphorus, calcium and magnesium, and relatively poor in sodium, while heavy metals (Pb, Cd) were not detected. TEPIĆ et al. (2008) obtained similar results in Serbian paprika. The concentrations of Cu and Zn were within EU limits (EUROPEAN COMMITTEE EC/1881/2006). The only minerals affected by sampling time were calcium and sodium (Table 2). The level of Na was significantly higher in December samples, while the calcium content decreased gradually from September to December.

Linoleic (18:2), oleic (18:1) and palmitic (16:0) acids were the predominant fatty acids in paprika powders (Table 13), as also reported by ASILBEKOVA (2003). The other fatty acids were detected in lower percentages. Unsaturated fatty acids represented 84.7-88.6% of the total fatty acids present, with unsaturated linoleic acid predominating (70.3-71.7%). Similar results were obtained by GOVINDARAJAN (1985). The fatty acid composition of paprika powder was related to the mixing ratio between the pericarp and the seeds. The origin of linoleic acid is mainly related with the seeds (PÉREZ-GALVEZ et al. 1999). The high amount of linoleic acid in paprika, an omega-6 and well-known essential fatty acid for humans, contributes to its nutritive value. The ratio between saturated and unsaturated fatty acids in the paprika powders ranged from 0.13 to 0.17, in agreement with other paprika powders obtained in Spain (PÉREZ-GALVEZ et al. 1999). A predominance of unsaturated fatty acids is believed to be related with the stability of the powdered product (PÉREZ-GALVEZ et al. 1999).

Table 12. Nutritional and chemical composition of paprika powder at different harvest periods (mean \pm SD, n=3) on a dry weight (DW) basis and maximum temperature and cumulative precipitation per month.

Parameters	Sampling time (month) ^z			
	September	October	November	December
Carbohydrate (g/100g DW)	53.50 \pm 4.8	55.96 \pm 3.3	54.49 \pm 5.3	55.33 \pm 4.8
Protein (g/100g DW)	20.90 \pm 2.1	20.19 \pm 2.6	21.50 \pm 4.5	20.28 \pm 2.6
Lipid (g/100g DW)	8.28 \pm 0.6	7.91 \pm 2.6	7.55 \pm 3.9	9.75 \pm 3.3
Dietary fiber (g/100g DW)	35.05 \pm 1,4	36.35 \pm 7.7	37.07 \pm 3	36.84 \pm 3.7
Total sugar (g/100g DW)	6.88 \pm 0.47 ^a	9.47 \pm 0.21 ^c	11.19 \pm 0.11 ^d	7.73 \pm 0.41 ^b
Energy content (kJ)	1449.55	1512.32	1497.64	1573.17
Vitamin C (mg/100g)	1360.2 \pm 14.3 ^a	1830.2 \pm 39.4 ^b	1680.3 \pm 6.6 ^b	2020 \pm 32.3 ^b
Total capsaicinoids (mg/kg DW)	48.4 \pm 5.7 ^b	33.1 \pm 3.8 ^c	59.7 \pm 6.2 ^a	24.8 \pm 5.5 ^d
Scoville heat value	738	535	938	398
Potassium (mg/100g DW)	2528 \pm 909	2168 \pm 147	2332 \pm 364	2523 \pm 280
Phosphorus (mg/100g DW)	393 \pm 30	423 \pm 60	363 \pm 43	453 \pm 30
Magnesium (mg/100g DW)	146 \pm 49	136 \pm 24	143 \pm 17	130 \pm 15
Calcium (mg/100g DW)	186 \pm 54 ^a	117 \pm 11 ^b	108 \pm 15 ^b	41,62 \pm 10 ^c
Iron (mg/100g DW)	31 \pm 10	53 \pm 15	33 \pm 5	42 \pm 6
Sodium (mg/100g DW)	30 \pm 4 ^b	33 \pm 2 ^b	34 \pm 6 ^b	71 \pm 9 ^a
Copper (mg/100g DW)	1.06 \pm 0.5	1.31 \pm 0.3	1.18 \pm 0.3	1.22 \pm 0.8
Zinc (mg/100g DW)	1.67 \pm 0.2	1.97 \pm 0.6	2 \pm 0.2	1.88 \pm 0.2
Lead (mg/100g DW)	nd	nd	nd	nd
Cadmium (mg/100g DW)	nd	nd	nd	nd

^z Samples were obtained in triplicate the first week of each month.

Means within the same row carrying different superscript letter were significantly different at $p < 0.05$ according to a Duncan multiple range test. nd: non detectable.

Table 13. Fatty acid composition of paprika powder in a unique analysis obtained by mixing sub-samples of each replicate.

Fatty acid (% w/w)	Sampling time (month) ^z			
	September	October	November	December
C ₁₈ ² : Linoleic	71.7	70.3	70.9	71.3
C ₁₈ ¹ : Oleic	9.5	10.3	12.8	9.5
C ₁₆ ⁰ : Palmitic	10.7	10.9	7.7	10.7
C ₁₈ ³ : Linolenic	3.1	3.5	3.6	3.1
C ₁₈ ⁰ : Stearic	2.7	2.7	2.2	2.7
C ₁₄ ⁰ : Myristic	0.1	0.5	1	0.1
C ₁₆ ¹ : Palmitoleic	0.4	0.5	0.4	0.9
C ₂₀ ⁰ : Arachidic	0.4	0.3	0.4	0.4
C ₂₀ ¹ : Gadoléic	0.2	0.1	0.3	0.2
Rest of fatty acids	1.2	0.9	0.7	1.1
% Saturated fatty acid	13.9	14.4	11.4	13.9
% Unsaturated fatty acid	84.9	84.7	88.6	85
Ratio S/U	0,05	0.17	0.13	0.16

3.3. Microbiological quality of paprika powders

The microbial load generally increased with time (**Table 14**). The mesophilic aerobic bacteria counts obtained (Table 4) were above the maximum permitted levels (ICMSF 1986). BANERJEE AND SARKAR (2003) and GALLARDO-GUERRERO et al. (2010) also obtained values above 10^6 cfu g⁻¹ limits.

The levels of total enterobacteria and coliforms in paprika powder are indicators of the hygiene status of both the raw material and the paprika manufacturing process, the bacteria reaching values of 2.7×10^6 and 5.5×10^6 cfu, respectively, in the December samples. These values were higher than those obtained by GALLARDO-GUERRERO et al. (2010), RICO et al. (2010) and CALVO and TORRES (2010). However, the high levels of fecal coliform found indicated that better processing practices should be implemented in order to avoid exceeding the recommended safe level (< 100 coliform/g) (PELCZAR et al. 2005).

The most serious problems in paprika particularly evolve from Salmonella species, *Clostridium perfringens* (CANDLISH et al. 2001). Salmonella and Clostridium could not be detected in all samples investigated. Aflatoxins, considered a major problem in paprika and chili (FLANNIGAN and HUI 1976) were not detected in the samples investigated. Yeasts and moulds were present in lower counts (not quantified) and *Penicillium* sp. and *Aspergillus* sp. were detected. However, *Streptococcus*, an indicator of fecal contamination, was detected only in the samples of November and December at levels also above the results reported by GALLARDO-GUERRERO et al. (2010).

The increase in microbial load can be explained by the decrease in the temperature at which the paprika is dried (in the sun) from September to December. Low temperatures favor the growth of microorganisms and increase the drying time, thereby exposing the drying fruit to various types of contamination and unfavorable meteorological conditions (dew, rain, etc.). Therefore, the high microbial loads measured can be attributed to various sources, including crop management, the environment, and the faeces of birds and other animals, the red pepper fruits being contaminated during cultivation or during the processing time (drying in contact with a compact soil), assuming that the grinding, milling, packaging and other postharvest processing operations were the same (HAKMAOUI et al. 2011).

Table 14. Evolution of microbiological parameters in paprika powders during the sampling time ((mean, n=3). Clostridium, Salmonella and total aflatoxins were not detected (n.d.).

Parameters (cfu/g)	Sampling time (month)			
	September	October	November	December
TAMB ^y	7.4 x 10 ⁶	2.1 x 10 ⁷	2.3 x 10 ⁷	3.6 x 10 ⁷
Total enterobacteria	1.5 x 10 ⁵	8.7 x 10 ⁵	1.5 x 10 ⁶	2.7 x 10 ⁶
Total coliform	4 x 10 ⁵	1.1 x 10 ⁶	1.7 x 10 ⁶	5.5 x 10 ⁶
Fecal coliform	6.9 x 10 ⁴	1.7 x 10 ³	1.3 x 10 ⁵	4.7 x 10 ⁵
Staphylococcus	6.2 x 10 ⁴	2.5 x 10 ⁶	1.8 x 10 ⁶	3.8 x 10 ⁶
Streptococcus	nd	nd	5.7 x 10 ⁴	3 x 10 ⁵

^z Samples were obtained in triplicate the first week of each month.

^y Total aerobic mesophilic bacteria.

4. Conclusions

This is the first report on the composition of paprika from the main production area in Morocco (Tadla Region). This paprika showed the nutritional and physical-chemical quality attributes demanded by international standards, although the microbial load for some of the microorganisms studied exceeded. Maximum paprika ASTA color values were obtained in November samples while the levels of vitamin C were higher from October to December. Sampling time mainly affected coloration, and the total capsinoid and vitamin C content. A change in the drying protocols, accompanied by improved hygiene in the paprika plants, is necessary to reduce the microbial load. If this is not carried out, the paprika of this region should be subjected to treatments to reduce their microbial load without compromising its color and vitamin C content.

Acknowledgements

The authors are very grateful to Prof. Hassan Latrache (*Faculté des Sciences et Techniques, Beni Mellal, Morocco*) for helping in the microbiological analyses.

References

- AIZAWA, K.; INAKUMA, T. Dietary capsanthin, the main carotenoid in paprika (*Capsicum annuum*), alters plasma high-density lipoprotein-cholesterol levels and hepatic gene expression in rats. **British Journal of Nutrition**, v. 102, p. 1760-1766, 2009. DOI: 10.1017/S0007114509991309.
- ASILBEKOVA, D.T. Lipids of *Capsicum annuum* fruit pulp. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 39, p. 442-445, 2003. DOI:10.1023/B:CONC.0000011116.56095.ae.
- AMERICAN SPICE TRADE ASSOCIATION, ASTA Cleanliness specifications for spices, seeds, and herbs. Engelwoods Cliff, New Jersey, USA, 1999.
- BANERJEE, M.; SARKAR, P. Microbiological quality of some retail spices in India. **Food Research International**, v.36, p.469-474, 2003. DOI:10.1016/S0963-9969(02)00194-1.
- BENDERITTER, M.; MAUPOIL, V.; VERGELY, C.; DALLOZ, F.; BRIOT, F.; ROCHETTE, L. Studies by electron paramagnetic resonance of the importance of iron in the hydroxyl scavenging properties of ascorbic acid in plasma: Effects of iron chelators. **Fundamental and Clinical Pharmacology**, v. 12, p. 510–516, 1998. DOI: 10.1111/j.1472-8206.1998.tb00979.x.
- BHARATHI, L.K.; RENGASAMY, S.; SINGH, R.; PRABHU, K.V.; SHARMA, A.; SINGH, A.; BEHERA, T.K.; SIVAKUMAR, P.S. Estimation of capsaicin and capsaicinoid contents of high pungent chilli accessions of Andaman & Nicobar Islands and North-East India. **Indian Journal of Horticulture**, v. 68, p. 551-555, 2011.
- BOSLAND, P.W.; VOTAVA, E.J. Peppers: Vegetable and spice Capsicums. CAB Intl Pub, 2000.
- BROWNE, C.A.; ZERBAN, F.W. Physical and chemical methods of sugar analysis. John Wiley and Sons, New York, USA, 1955.
- BUCKENHÜSKES, H.J. Current requirements on paprika powder for food industry. In KRISHNA, De A. (Ed.) *Capsicum: The genus Capsicum*, Taylor and Francis Ltd. London, p. 223-230, 2003.
- CALVO, L.; TORRES, E. Microbial inactivation of paprika using high-pressure CO₂. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 52, p. 134–141, 2010. DOI: 10.1016/j.supflu.2009.11.002.
- CANDLISH, A. A. G.; PEARSON, S. M.; AIDOO, K. E.; SMITH, J. E., KELLY, B.; IRVINE, H. A survey of ethnic foods for microbial quality and aflatoxin content. **Food Additives and Contaminants**, v. 18,129–136, 2001.
- CARVAJAL, M.; MARTÍNEZ, M.R.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, F.; ALCARAZ, C.F. Effect of ascorbic acid addition peppers on paprika quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 75, p. 442-446, 1997. DOI:10.1002(SICI)1097-0010(199712).
- COLLINS, M.; WASMUND, L.M.; BOSLAND, P.W. Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography. **HortScience**, v. 30, p. 137–139, 1995.
- CONDORI, M.; SARAVIA, L. Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel greenhouse drier. **Renewable Energy**, v. 22, p. 447-460, 2001. DOI:10.1016/S0960-1481(00)00098-7.
- CONTRERAS-PADILLA, M., YAHIA, E.M. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of Chile peppers and relation with peroxidase activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 2075-2079, 1998.
- DEEPA, N.; KAUR, C.; GEORGE, B.; SINGH, B.; KAPOOR, H.C. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum L.*) genotypes during maturity. **Food Science and Technology**, v. 40, p. 121-129, 2007. DOI:10.1016/j.lwt.2005.09.016.
- De GUEVARA, G.L.R; PARDO-GONZÁLEZ, J.E. Evolution of color during the ripening of selected varieties of paprika pepper (*Capsicum annuum L.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, p. 2049-2052, 1996. DOI: 10.1021/jf950465m.

- DELI, J.; PFANDER, H.; TÓTH, G. Investigation of carotenoid composition of paprika paste. **Chromatographia**, v. 56, p. 177-179, 2002.
- DOUGLAS, M.; HEYES, J.; SMALLFIELD, B. Herbs, Spices and Essential oils: Postharvest Operations in Developing Countries, 2005. Retrieved February 10, 2013 from: www.fao.org.
- DOYMAZ, I.; PALA, M. Hot-air drying characteristics of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 55, 331–335, 2002. DOI: 10.1016/S0260-8774(02)00110-3.
- DUMAN, A.D. Storage of red chili pepper under hermetically sealed or vacuum conditions for preservation of its quality and prevention of mycotoxin occurrence. **The Journal of Stored Products Research**, v. 46, p. 155-160, 2010. DOI:10.1016/j.jspr.2010.02.002.
- DURUCASU, I.; TOKUSOGLU, O. Effects of grilling on luteolin (3',4',5,7-tetrahydroxyflavone) content in sweet green bell pepper (*Capsicum annuum*). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 10, p. 3410-3414, 2007. DOI: 10.3923/pjbs.2007.3410.3414.
- ESCARABAJAL, D.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. La tecnología de la fabricación del pimentón en Murcia. **Alimentaria**, v. 400, p. 116-120, 2009.
- ESTRADA, B.; BERNAL, M. A.; DIAZ, J.; POMAR, F.; MERINO, F. Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* L. In relation to fruiting. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, 1188–1191, 2002. DOI: 10.1021/JF011270J.
- EUROPEAN COMMISSION REGULATION No. EC/1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. **Official Journal of the European Union**, 20.12.2006, L 364/5- L 364/24
- EUROPEAN STANDARD ISO 12966-2 Animal and vegetable fats and oils, Gas chromatography of fatty acid methyl esters —Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids. Wien, Austria: Austrian Standards Institute, 2011.
- FAO, Food Composition Table for Vegetables and Fruits. (2009) Retrieved 10 February 2013 from: www.fao.org/infoods/index_en.htm
- 1. FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. Extracción convencional de oleoresina de pimentón dulce y picante I. Generalidades, composición, proceso e innovaciones y aplicaciones. Grasas y Aceites, v. 58, p. 152-163, 2007.**
-
- FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P.; ESCARABAJAL, D. El proceso tradicional de elaboración del pimentón de Murcia y sus posibles innovaciones. **Grasas y Aceites**, v. 57, p. 433-442, 2006.
- FLANNIGAN, B; HUI, S.C. The occurrence of aflatoxin-producing strains of *Aspergillus flavus* in the mould floras of ground spices. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 41, p. 411-418, 1976.
- GALLARDO-GUERRERO, L.; PÉREZ-GALVEZ, A.; ARANDA, E.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Physicochemical and microbiological characterization of the dehydration processing of red pepper fruits for paprika production. **LWT-Food Science and Technology**, v. 43, p. 1359-1367, 2010. DOI:10.1016/j.lwt.2010.04.015.
- GILBERT, J.; ANKLAM, E. Validation of analytical methods for determining mycotoxins in foodstuffs. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, p. 468-486, 2002. DOI:10.1016/S0165-9936(02)00604-0.
- GOVINDARAJAN, V.S. Capsicum production. Technology, chemistry and quality, part I: History, botany, cultivation and primary processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 22, p. 109-176, 1985.
- GOVINDARAJAN, V.S.; NARASIMHAN, S.; DHANARAJ, S. Evaluation of spices and oleoresins, 2. pungency of capsicum by scoville heat units - standardized procedure. **Journal of Food Science and Technology -Mysore**, v. 14, p. 28-34, 1977.

- HAKMAOUI, A.; OUATMANE, A.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. El cultivo de la ñora y la industria del pimentón en la región de Tadla-Azilal (Marruecos). **Horticultura**, v. 295, p.31-35, 2011.
- HORNERO-MÉNDEZ, D.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic carotenoid fractions in paprika and red pepper oleoresins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 3584-3588, 2001. DOI: 10.1021/jf010400l.
- HUNDAL, J.S.; KHANNA, D.S. A new hybrid off Chili "Ch-3" suitable for processing. **Journal of Research of the Punjab Agricultural University**, v. 39, p. 326, 2002.
- HORWITZ, W. Spices and Other Condiments, Color Extractable in Spices. In HORWITZ, W. (Ed.) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International (AOAC) v. II. 17th ed., Gaithersburg, Maryland, 2002.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS – ICMSF-. Microorganisms in foods 2. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications. In ICMSF, (Ed.). Blackwell Scientific Pub., Oxford, UK, 1986.
- JACKSON, M.L. Nanadomolybdophosphoric yellow color method in nitric acid system, In Soil Chemical Analysis. University of Wisconsin, Madison, US, 1985.
- KIM, D.Y.; RHEE, C.O.; SHIN, S.C. Changes in colour of red pepper during drying and milling. **Journal of Korean Agricultural and Chemical Society**, v. 25, p. 1-7. 1982.
- KIM, S.; PARK, J.B.; HWANG, I.K. Quality attributes of various varieties of Korean red pepper powders (*Capsicum annuum* L.) and color stability during sunlight exposure. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 2957–2961, 2002. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08845.x.
- KIM, J.S.; JIYUN, A.; LEE, S.J.; MOON, B.; HA, T.Y., KIM S. Phytochemicals and antioxidant activity of fruits and leaves of paprika (*Capsicum annuum* L., var. special) cultivated in Korea. **Journal of Food Science**, v. 76, p. 193-198, 2011. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01891.x.
- LEE, D.S.; CHUNG, S.K.; YAM, K.L. Carotenoid loss in dried red pepper products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 27, p. 179-185, 1992. DOI:10.1111/j.1365-2621.1992.tb01194.x
- MARKUS, F.; DAOOD, H.G.; KAPITANY, J.; BIACS, P.A. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika as a function of ripening and some technological factors. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 47, p. 100-107, 1999. DOI: 10.1021/jf980485z.
- MCGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, p. 1254-1255, 1992.
- MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I., HORNERO-MÉNDEZ, D. Comparative study of the effect of paprika processing on the carotenoids in peppers (*Capsicum annuum*) of the Bola and Agridulce varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 1555-1560, 1994. DOI: 10.1021/jf00043a031.
- MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I., JARÉN-GALÁN, M., GARRIDO-FERNÁNDEZ, J. Competition between the processes of biosynthesis and degradation of carotenoids during the drying of peppers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 645-648, 1994. DOI: 10.1021/jf00039a008.
- OBEROI, H.S.; KU, M.A.; KAUR, J.; BABOO, B. Quality of red chilli variety as affected by different drying methods. **Journal of Food Science and Technology -Mysore**, v. 42, p. 384-387, 2005.
- OSBORNE, D.; VOOGT, P. Official Methods 6.2, 6.3, In The analysis of nutrients in foods. Academic Press Inc., London, 1978.

- PELCZAR, M. J.; CHAN, E.C.S.; NOEL, R. K.C. Microbiology. (5th Ed.). Tata McGraw Hill, New Delhi, India, 2005.
- PÉREZ-GALVEZ, A.; GARRIDO-FERNÁNDEZ, J.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Fatty acid composition of two new pepper varieties (*Capsicum annuum* L. cv Jaranda and Jariza. Effect of drying process and nutritional aspects. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 76, p. 205-208, 1999. DOI: 10.1007/s11746-999-0219-8.
- PÉREZ-GALVEZ, A.; MINGUEZ-MOSQUERA, M.I.; GARRIDO-FERNÁNDEZ, J.; LOZANO-RUIZ, M.; MONTERO-DE-ESPINOSA, V. Correlación entre unidades astaconcentración carotenóide en pimentones predicción de la estabilidad del color durante el almacenamiento. **Grasas y Aceites**, v. 55, p. 213–218, 2004. DOI: 10.3989/gya.2004.v55.i3.168.
- PÉREZ-GALVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Stability of paprika without supplementary antioxidants during storage under industrial controlled conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 4718-4723, 2009. DOI: 10.1021/jf804058m.
- PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M.I. Changes in the carotenoid metabolism of capsicum fruits during application of modeled slow drying process for paprika production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p. 518-522, 2004. DOI: 10.1021/jf0350616.
- PERUCKA, I.; MATERSKA, M. Phenylalanine ammonia-lyase and antioxidant activities of lipophilic fraction of fresh pepper fruits *Capsicum annuum* L. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 2, p. 189–192, 2001. DOI: 10.1016/S1466-8564(01)00022-4.
- PERUCKA, I.; OLESZEK W. Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annuum* L. By spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. **Food Chemistry**, v. 71, p. 287–91, 2000. doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00153-9.
- POMERANZ, Y.; CLIFTON, M.E. Food Analysis: Theory and Practice. Van Nostrand Reinold, New-York, USA, 1987.
- PROSKY, L.; ASP, N.G.; SCHWEIZER, T.F.; DEVRIES, T.F.; FURDA, I. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 75, p. 360-367, 1992.
- RICO, C.W.; KIM, G.R.; AHN, J.J.; KIM, H.K.; FURUTA, M.; KWON, J.H. The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annuum* L.). **Food Chemistry**, v. 119, p. 1012–1016, 2010. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.08.005.
- SCHWEIGGERT, U.; CARLE, R.; SCHIEBER, A. Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chili pods (*Capsicum frutescens* L.) by high performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, v. 557, p. 236-244, 2006. DOI: 10.1007/s00217-006-0413-y.
- TEPIĆ, A.N.; DIMIĆ, G.R.; VUJIČIĆ, B.L.; KEVREŠAN, Ž.S.; VARGA, M.; ŠUMIĆ, Z.M. Quality of commercial ground paprika and its oleoresins. **Acta Periodica Technologica**, v. 39, p.77-83, 2008.
- TITZE, K.P.; MUELLER-SEITZ, E.; PETZ, M. Pungency in paprika (*capsicum annuum*). 2. Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from one plant. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50 (5), 1264–1266, 2002. DOI: 10.1021/JF0105283.
- TODD, P.H.; BENSINGER, M.G.; BIFTU. T. Determination of pungency due to *Capsicum* by gas–liquid chromatography. **Journal of Chromatography**, v. 367, p. 438-442, 1977. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1977.tb12573.x

- TOPUZ, A. A novel approach for color degradation kinetics of paprika as a function of water activity. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, p. 1672-1677, 2008. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.10.004
- TOPUZ, A.; FENG, H; KUSHAD, M. The effect of drying method and storage on colour characteristics of paprika. **Journal of Food Science and Technology -Mysore**, v. 42, p. 1667-1673, 2009. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.05.014
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. USDA Nutrient Database for Standard Reference, from the Nutrient Data Laboratory 2009. Home Page: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search>
- VALLE-ALGARRA, F.M.; MATEO, E.M.; MATEO, R.; GIMENO-ADELANTADO, J.V.; JIMÉNEZ, M. Determination of type A and type B trichothecenes in paprika and chili pepper using LC-triple quadrupole-MS and GC-ECD. **Talanta**, v. 84, p. 1112-1117, 2011. DOI:10.1016/j.talanta.2011.03.017
- VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; BILBAO-SAINZ, C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Engineering**, v 85, p. 42–50, 2008. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.06.032.
- YALDIZ, G.; OZGUVEN, M.; SEKEROGLU, N. Variation in capsaicin contents of different *Capsicum* species and lines by varying drying parameters. **Industrial Crops and Products**, v. 32, p. 434-438.

Chapitre 4 :

Effet de la période de production de la niora du Tadla sur sa composition en certains métabolites secondaires et son activité antioxydante

1- Introduction

L'utilisation des molécules antioxydantes de synthèse est actuellement remise en cause en raison des risques toxicologiques potentiels. Désormais, de nouvelles sources végétales d'antioxydants naturels à base de polyphénols sont recherchées (Suhaj, 2006 ; Tadhani et al., 2007). En effet, les polyphénols sont des composés naturels largement répandus dans le règne végétal qui ont une importance croissante notamment grâce à leurs effets bénéfiques sur la santé (Koechlin-Ramonatxo, 2006). Leur rôle d'antioxydants naturels suscite de plus en plus d'intérêt pour la prévention et le traitement du cancer, des maladies inflammatoires et cardiovasculaires (Vârban et al., 2009). Ils sont également utilisés comme additifs en industrie agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Suhaj, 2006). Les antioxydants naturels présents dans l'alimentation augmentent la résistance au stress oxydatif et ils peuvent avoir un impact considérable sur la santé humaine (Dimitrios, 2006).

Les piments sont connus non seulement pour leur importance économique, mais aussi pour leur composition en antioxydants naturels, surtout qu'ils sont une excellente source d'acide ascorbique, de colorants naturels et d'autres composés antioxydants (Howard et al., 2000; Lee et al., 1995 ; Nadeem et al., 2011). Un large éventail de vitamines antioxydantes, de caroténoïdes, de capsaïcinoïdes et de composés phénoliques sont présents dans les piments (Lee et al. 1995). Le niveau notable de composés phénoliques et des pigments caroténoïdes contribue également aux propriétés antioxydantes du piment (Topuz et Ozdemir, 2007).

Les composés phénoliques, en particulier les acides phénoliques et les flavonoïdes, sont nettement présents dans les légumes et les fruits, si bien qu'ils font partie intégrante de l'alimentation humaine. Récemment, ils ont reçu beaucoup d'attention et de nombreuses études épidémiologiques suggèrent que la consommation des aliments et des boissons riches en polyphénols, est associée à un risque réduit de maladies cardio-vasculaires, accidents vasculaires cérébraux et certaines formes de cancer (Thompson, 1994 ; Kaur et Kapoor, 2001). Ces effets protecteurs ont été en partie attribués aux propriétés antioxydantes des flavonoïdes.

Les flavonoïdes sont une famille de composés ayant une structure de squelette C6-C3-C6. Les flavanols, les flavonols et les anthocyanes sont inclus dans ce groupe. Parmi les flavanols, les plus communs dans les fruits de piments sont la catéchine, les types

gallocatéchine, la quercitine et ils peuvent exister sous forme de monomère ou polymérisé en donnant lieu à des tanins condensés ou des proanthocyanidines.

Il est également connu que la vitamine C, un composé important des fruits de piment, chélate les ions métalliques lourds (Namiki, 1990), réagit avec l'oxygène singulier et d'autres radicaux libres, et supprime la peroxydation, ce qui réduit le risque d'artériosclérose, les maladies cardio-vasculaires et certaines formes de cancer (Navarro et al., 2006).

Les niveaux des composés bioactifs dans le piment peuvent varier selon le génotype et le stade de maturité (Patthamakanokporn et al., 2008). Le moment de la récolte est un facteur important qui affecte la qualité de conservation et la capacité antioxydante des piments. Les changements phytochimiques qui se produisent pendant la maturation et l'effet résultant sur l'activité antioxydante sont des considérations diététiques importantes qui peuvent influencer sur la consommation des différents types de piments (Patthamakanokporn et al., 2008).

Au Maroc, la période des opérations de récolte, de séchage du piment au soleil et de transformation s'étalent sur quatre mois allant de Septembre à Décembre. Durant cette période, les teneurs du paprika en vitamines antioxydantes et en composés phytochimiques peuvent varier grandement. En terme de qualité du produit final, cette information est d'une grande utilité et peut être importante pour la santé et la nutrition de l'homme en tant consommateur de piment dans son régime alimentaire.

Le but de cette recherche est d'étudier l'effet de la période de production du paprika sur sa teneur en flavonoïdes, en caroténoïdes totaux, en vitamine C, en flavonols et en polyphénols totaux d'une part et la détermination de l'activité antioxydante d'autre part.

Les résultats obtenus pour cette étude ont fait l'objet d'une publication :

« Bioactive constituents and antioxydant activity of Moroccan paprika (*Capsicum annum L.*) »

2- Résultats et discussion

2.1- Composés phénoliques totaux

Les composés polyphénoliques forment un très vaste ensemble de substances qu'il est difficile de définir aisément. L'élément structural fondamental qui les caractérise est la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est lié au moins un groupe hydroxyle libre ou engagé dans une autre fonction (éther, ester, hétéroside ...).

Les Piments doux sont une source importante de phénols totaux, qui sont principalement localisés dans le péricarpe (Marin et al., 2004). Les teneurs en polyphénols totaux des échantillons de paprika sont données dans la **Figure 31A**. Elles varient considérablement en fonction de la période de production de paprika (675 à 1360 mg équivalent d'acide gallique /100 g de paprika). Le paprika produit en novembre a montré les meilleures teneurs en composés phénoliques totaux (1360 mg/100 g de poids sec). Les résultats obtenus sont supérieurs à ceux rapportés par Tripathi et Mishra (2009) pour le paprika d'Inde (500 mg/100 g). Cependant, Hervert-Hernandez et ses collaborateurs (2010) ont détecté des teneurs très élevées de polyphénols totaux chez des piments séchés (> 2000 mg/100 g de matière sèche). Des résultats similaires (843 mg/100 g et 748 DW) ont été obtenus par Tundis et al. (2012) pour deux variétés de *Capsicum annum L.* et par Deepa et al. (2007) (852 mg/100 g). Lee et al. (1995), Howard et al., (2000) et Menichini et al. (2009) ont rapporté que le contenu en polyphénols totaux des piments piquants d'origine mexicaine étaient de l'ordre de 20 à 782 mg/100 g. Néanmoins, les concentrations de composés phénoliques totaux dépendent de plusieurs facteurs telles que la salinité, la maturité, le stockage et le sol (Zhang et Hamazu, 2003; Marinova et al., 2005 ; Navarro et al., 2006). Les composés phénoliques accumulés dans les fruits de piments sont affectés par les conditions de stockage. Les fruits conservés à 8°C accumulent les dérivés d'acides hydroxycinnamiques, alors que pour ceux stockés à 4°C, l'accumulation des composés phénoliques est partiellement inhibée (Ravo et al., 2008).

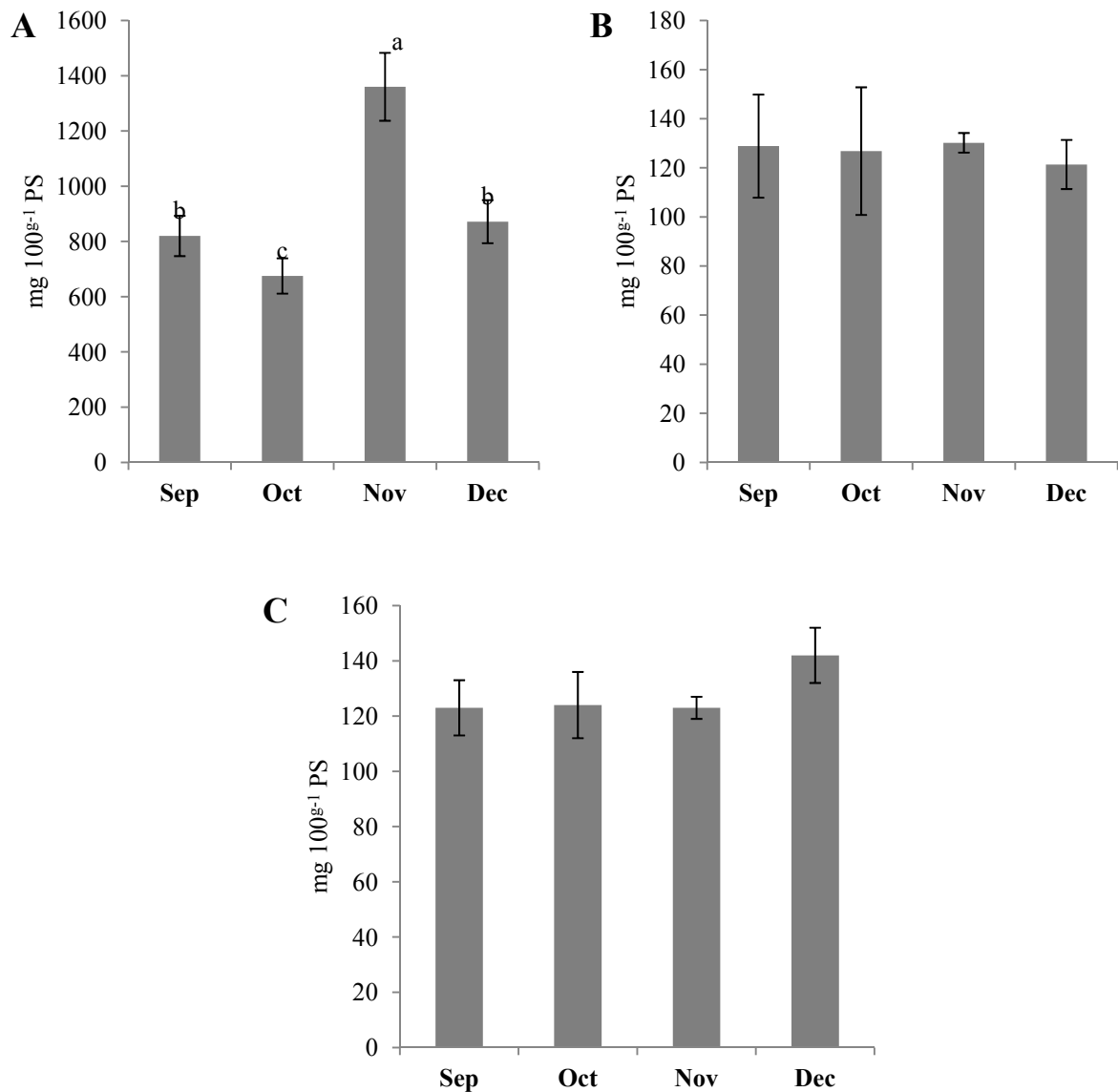


Figure 31: Teneur du paprika en métabolites secondaires en fonction de la période d'échantillonnage.

A : Polyphenols totaux exprimés en mg équivalent acide gallique/100g de paprika
 B : Falvonoides totaux exprimés en mg équivalent quercitine/100g de paprika
 C : Flavonols totaux exprimés en mg équivalent rutine/100g de paprika

2. 2- Les flavonoïdes et les flavonols totaux

Les composés phénoliques, les flavonoïdes en particulier possèdent des activités biologiques différentes dont la plus importante est l'activité antioxydante qui est associée à une réduction du risque de cancer et des maladies cardio-vasculaires (Czeczot, 2000 ; Kaur et Kapoor, 2001). Les Piments doux sont très riches en polyphénols comprenant les hydroxycinnmates, les flavonols et les flavones (Marin et al., 2004). Les flavonoïdes sont une

famille de composés ayant une structure de squelette C6-C3-C6, les flavanols, les flavonols et les anthocyanes sont inclus dans ce groupe. Dans notre étude, les échantillons de paprika collectés dans différentes périodes de production ont été analysés pour leurs teneurs en flavonoides totaux et en flavonols (**Fig.31B et 31C**). Les résultats obtenus montrent que le paprika de Tadla est riche en ces 2 métabolites. La teneur en flavonoides totaux varie de 121 à 130 mg / 100g en poids sec. Celle des flavonols totaux varie de 123 à 142 mg / 100 g en poids sec. Toutefois, les résultats obtenus aussi bien pour les flavonoides que pour les flavonols ont montré une faible variation par rapport à la période de récolte et de transformation. Des résultats similaires ont été rapportés pour les flavonoides totaux par [Chassy et al. \(2006\)](#) ; [Kim et al. \(2011\)](#) et [Tundis et al. \(2012\)](#). Au contraire, [Bae et al. \(2012\)](#) ont rapporté des teneurs en flavonoides relativement basses (62 mg/100g PS).

2.3. ASTA Unit

La couleur de la poudre de paprika peut être mesurée aussi bien par la coloration extractible que par la mesure de la coloration de surface. La Couleur extractible est la méthode officielle utilisée par l'American Spice Trade Association ([ASTA, 1985](#)). Il montre la concentration en pigments globaux synthétisés dans le fruit et la relation entre les caroténoïdes rouges et jaunes. Les résultats de la coloration extractible mesurée en unités d'ASTA sont présentés dans la **figure 32A**. Les valeurs d'ASTA de paprika marocaine variaient de 117 à 167. Les résultats obtenus pour les différentes périodes de production ont été significativement différents. Pour le paprika récolté et transformé en novembre, l'ASTA a montré une valeur élevée (167). Des résultats similaires ont été obtenus par [Garcia et al. \(2007\)](#). Le paprika en poudre de haute qualité montre habituellement des valeurs supérieures à 100 unités ASTA ([Tevini, 1997](#)). Ainsi, le paprika du Tadla est considéré comme acceptable pour toute utilisation culinaire ou industrielle. Cependant, de nombreux facteurs peuvent affecter les valeurs d'ASTA dont les plus importants sont : le cultivar, le stade de maturation, la présence de semences, la localité ([Garcia et al., 2007](#)). Aussi, les valeurs d'ASTA peuvent varier d'une année à l'autre pour la même variété ([Garcia et al., 2007](#)).

Les différentes colorations jaune, orange, et rouge des fruits de piments proviennent des pigments produits pendant la maturation. Plus de 30 différents pigments ont été identifiés ([Matus et al., 1991](#)). L'apport de ces composés dans les aliments est un facteur important pour la protection de la santé. Ils ont été reconnus comme étant bénéfique pour la prévention des maladies répandues chez l'homme, y compris le cancer, les maladies cardio-vasculaires

lorsqu'ils sont pris quotidiennement en quantités suffisantes (Bramley, 2000). La valeur commerciale de paprika est en étroite liaison avec sa couleur, une qualité appréciée par le consommateur.

2.4. Caroténoïdes totaux

La teneur totale en caroténoïdes varie de 2500 à 3200 mg / kg ps avec un maximum obtenu pour le paprika produit au mois de novembre (Fig. 32B). Des différences significatives ont été observées entre les échantillons. La teneur moyenne des caroténoïdes totaux est de 2788 mg / kg de paprika. Les résultats obtenus se situent dans la même fourchette rapportée par Minguez-Mosquera et al. (2000) ; KIM et al., (2002) ; Topuz et Ozdemir (2007); Hervert-Hernandez et al. (2010); Tundis et al. (2012). Toutefois, Kim et ses collaborateurs (2011) ont constaté que les teneurs en caroténoïdes totaux des paprikas coréennes variaient de 1070 à 3350mg/kg ps, bien que des teneurs plus élevées en caroténoïdes aient été rapportées par Deli et al (1992), Markus et al. (1999), Hornero-Mendez et al. (2000). En général, les piments constituent une riche source de caroténoïdes. Ces derniers sont influencés par la variété, le stade de maturité (Markus et al., 1999 ; Russo et Howard, 2002). Selon Hart et Scott (1995), de grandes variations sur le plan qualitatif et quantitatif des caroténoïdes ont été notées chez le genre Capsicum. Les unités d'ASTA sont très bien corrélées avec les teneurs en caroténoïdes totaux (Fig. 33). Les mêmes constatations ont été faites par Pérez-Gálvez et al. (2004a), étudiant la corrélation des unités d'ASTA et la teneur totale en caroténoïdes de paprika obtenue par la méthode traditionnelle.

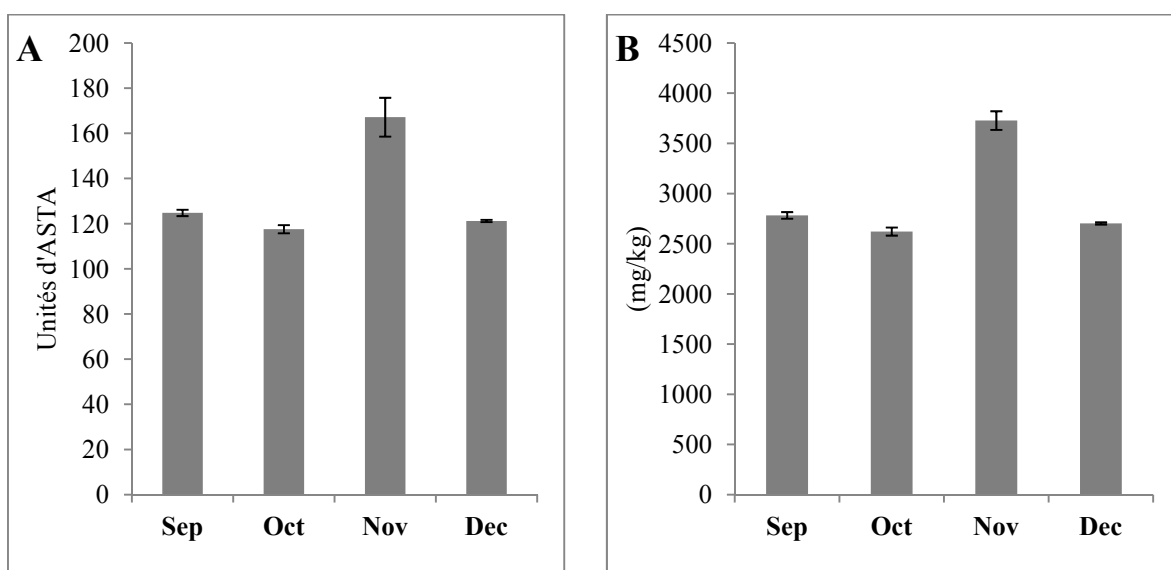


Figure 32: Coloration de la poudre de paprika en fonction de la période d'échantillonnage, A : Unités d'ASTA, B : Caroténoïdes totaux

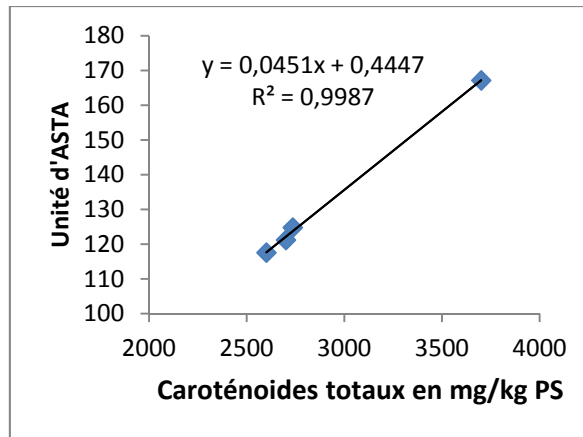


Fig 33: Corrélation entre les caroténoïdes totaux et les unités d'ASTA de la poudre de paprika.

2. 5- Activité antioxydante

La capacité antioxydante des fruits et des légumes a été étudiée en utilisant une grande variété de méthodes. L'activité anti radicalaire des extraits végétaux traduit leur aptitude à piéger les radicaux libres de l'organisme. Dans la présente étude, deux méthodes ont été utilisées pour évaluer l'activité anti-radicalaire des extraits méthanoliques de paprika produit à différentes périodes à savoir les méthodes de DPPH ou (2,2-diphényl-1- picrylhydrazyl) et l'ABTS (2,2'-azynobis-[3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid]). Ces techniques ont été largement utilisées pour le test de l'activité antioxydante de l'espèce *Capsicum annuum* L. (Deepa et al., 2007 ; Imeh et Khokhar, 2002 ; Ou et al., 2002).

Les antioxydants peuvent réduire les radicaux primaires par deux mécanismes soit par transfert d'électron ou par transfert d'atome d'hydrogène. Les méthodes DPPH et ABTS jouent sur le transfert d'un atome d'hydrogène. Le DPPH est un radical commercial directement utilisable, alors que l'ABTS doit être généré par une réaction enzymatique ou chimique. Une autre différence importante concerne la solubilité de ces deux radicaux : ABTS est soluble en milieux organique et aqueux alors que DPPH est soluble uniquement en milieu organique et plus particulièrement alcoolique. Le test à l'ABTS permet donc l'étude de tous les agents hydrophiles et lipophiles. Le test au DPPH est plus restrictif. Les méthodes DPPH et ABTS sont couramment utilisées pour analyser les extraits de plantes et de fruits.

2.5.1. Test du radical DPPH

L'activité antioxydante du paprika collecté à différentes périodes de production et de transformation a été évaluée en utilisant le radical DPPH qui est un radical libre stable dont le piégeage est déterminé par la réduction de l'absorbance à 515 nm suite à une réaction avec les métabolites radicalaires. La capacité de piégeage du radical DPPH est déterminée après 30 min d'incubation en présence de différentes concentrations des extraits de paprika.

Les valeurs IC50 déterminées en $\mu\text{g/ml}$ exprimant la concentration efficace de l'extrait antioxydant nécessaire pour le piégeage et la réduction de 50% de moles de DPPH en dissolution dans du méthanol sont présentées dans la **figure 34**. Tous les extraits ont été en mesure de réduire ce radical DPPH qui s'accompagne par son passage de la couleur violette (DPPH•) à la couleur jaune (DPPH-H) mesurable à 515 nm. L'activité de piégeage des radicaux libres (IC50) exercée par le paprika du Tadla variait de 260 à 425 $\mu\text{g/ml}$. La meilleure activité antioxydante a été obtenue par le paprika produit au mois de novembre avec une valeur d'IC50 de 260 $\mu\text{g/ml}$. La capacité antioxydante de paprika produite au mois de décembre est similaire à celle obtenue par [Tundis et al. \(2011\)](#), étudiant l'activité de piégeage des radicaux libres (IC50) exercée par *C. annuum* var. *cerasiferum* (IC50 de 463,0 $\mu\text{g/ml}$) et à celle rapportée par [Conforti et al. \(2007\)](#) pour le piment en pleine maturité (IC50 de 419,0 $\mu\text{g/ml}$). En outre, le paprika produit en novembre a été moins actif que *C. annuum* var. *reseau* qui a montré une valeur de l'IC50 de 150,40 $\mu\text{g/ml}$ ([Kim et al., 2011](#)). Le même constat a été rapporté par [Tundis et al. \(2012\)](#) pour *C. annuum* var. *moyen* (IC50 de 85,3 $\mu\text{g/ml}$).

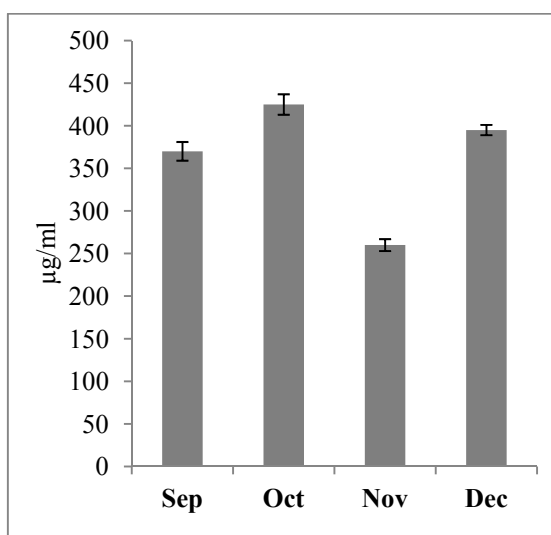


Figure 34 : Activité antioxydante évaluée par le test de DPPH en fonction de la période d'échantillonnage. (Exprimant la concentration efficace IC50% en $\mu\text{g/ml}$)

2.5.2. Test du radical ABTS

Le test ABTS permet une production directe, détectée par le spectrophotomètre à 734 nm. Ainsi, l'activité de piégeage du radical ABTS est déterminée suite à la diminution de l'absorbance de la solution radicalaire à 734 nm traduite par la décoloration de cette solution. Dans notre étude, les 4 paprikas testés ont montré des activités antioxydantes différentes qui se traduisent par des IC₅₀ différentes. La concentration d'extrait réduisant 50% d'ABTS était de 43, 62, 66 et 71 µg/ml respectivement pour les paprikas de novembre, septembre, décembre et octobre (**Fig. 35**). Les résultats obtenus sont faibles par rapport à ceux obtenus par [Tundis et al. \(2012\)](#) pour *C. annuum* var. acuminatum big (IC₅₀ de 16.4 µg/ml) et variété acuminatum medium (Ic₅₀ de 21,5 µg/ml).

En général, pour les 4 périodes de production de paprika, le potentiel antioxydant évalué par le test DPPH est faible par rapport au test ABTS. Des constatations similaires ont été rapportées par [Tundis et al. \(2012\)](#).

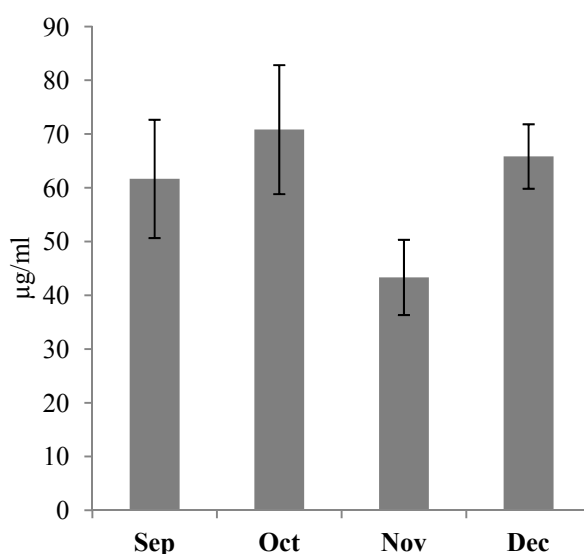


Figure 35 : Activité antioxydante évaluée par le test d'ABTS en fonction de la période d'échantillonnage. (Exprimant la concentration efficace IC₅₀% en µg/ml)

2.6. Étude de la corrélation entre la capacité antioxydante des différents paprikas et

leurs teneurs en polyphénols, flavonoïdes, flavonols et caroténoïdes totaux

Des régressions linéaires ont été établies à partir des données recueillies afin de savoir les composés bioactifs contribuant à l'activité antioxydante. Les résultats révèlent que les composés phénoliques totaux et les caroténoïdes totaux sont fortement corrélés à l'activité antioxydante exercée sur le radical DPPH et ABTS (**Fig. 36A, 36B, 38A et 38B**). Les coefficients de corrélation pour le test de DPPH sont de $R^2 = 0,95$ et $R^2 = 0,96$ respectivement pour le contenu phénolique et les caroténoïdes totaux. Pour le test d'ABTS, les coefficients de corrélation sont de $R^2=0,95$ et $R^2=0,96$ respectivement pour les composés phénoliques totaux et les caroténoïdes. En outre, les poivrons rouges sont une bonne source de caroténoïdes, bien connus pour leurs effets antioxydants ([Bartley et Scolnik, 1995](#)). [Lee et al. \(1995\)](#) ont également signalé une bonne corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antiradicalaire avec un coefficient de corrélation de 0,86. Selon [Alvarez Parrilla et al. \(2011\)](#), une bonne corrélation existe entre l'activité antioxydante et les phénols totaux et l'acide ascorbique. [Nadeem et al. \(2011\)](#) ont rapporté que parmi les antioxydants phytochimiques de *Capsicum annuum* L., les polyphénols méritent une attention particulière en raison de leurs propriétés de piégeage des radicaux libres. Plusieurs chercheurs ont rapporté la relation entre la teneur en polyphénol et l'activité antioxydante ([Pulido et al., 2000](#); [Velioglu et al., 1998](#))

Cependant, le contenu en flavonoïdes totaux et en flavonols totaux et en acide ascorbique ne sont pas corrélés avec le pouvoir antioxydant du paprika en poudre dans cette étude (**Fig. 37A, 37B, 37C, 39A, 39B et 39C**). Au contraire, [Zimmer et al. \(2012\)](#) ont rapporté une corrélation positive entre le contenu des flavonoïdes et des composés phénoliques avec les activités antioxydantes observées chez *Capsicum baccatum*.

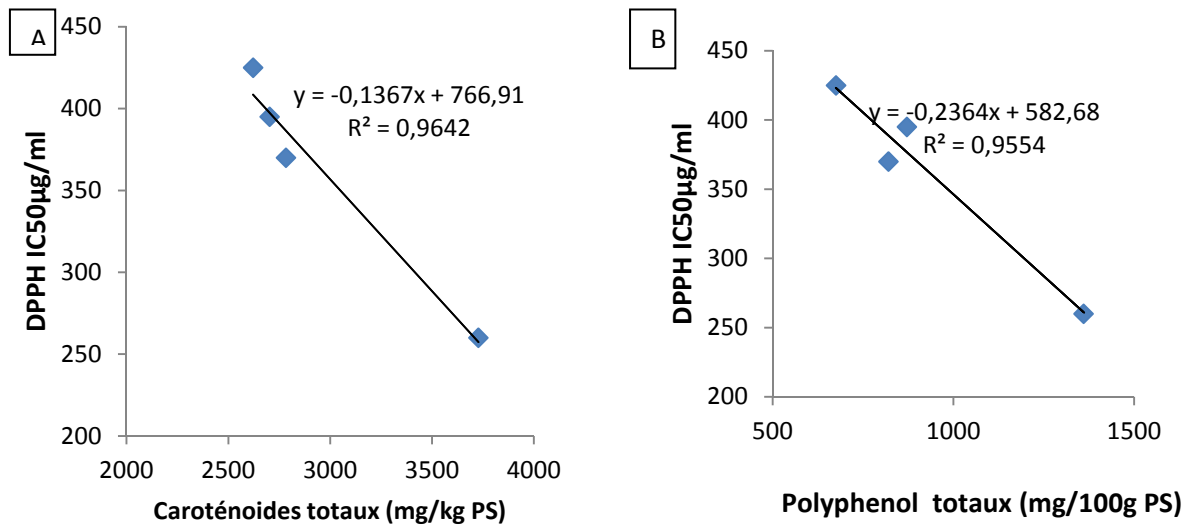


Figure 36 : Corrélation entre la capacité antioxydante du radical DPPH et la teneur en caroténoïdes totaux (A) et en polyphénols totaux (B)

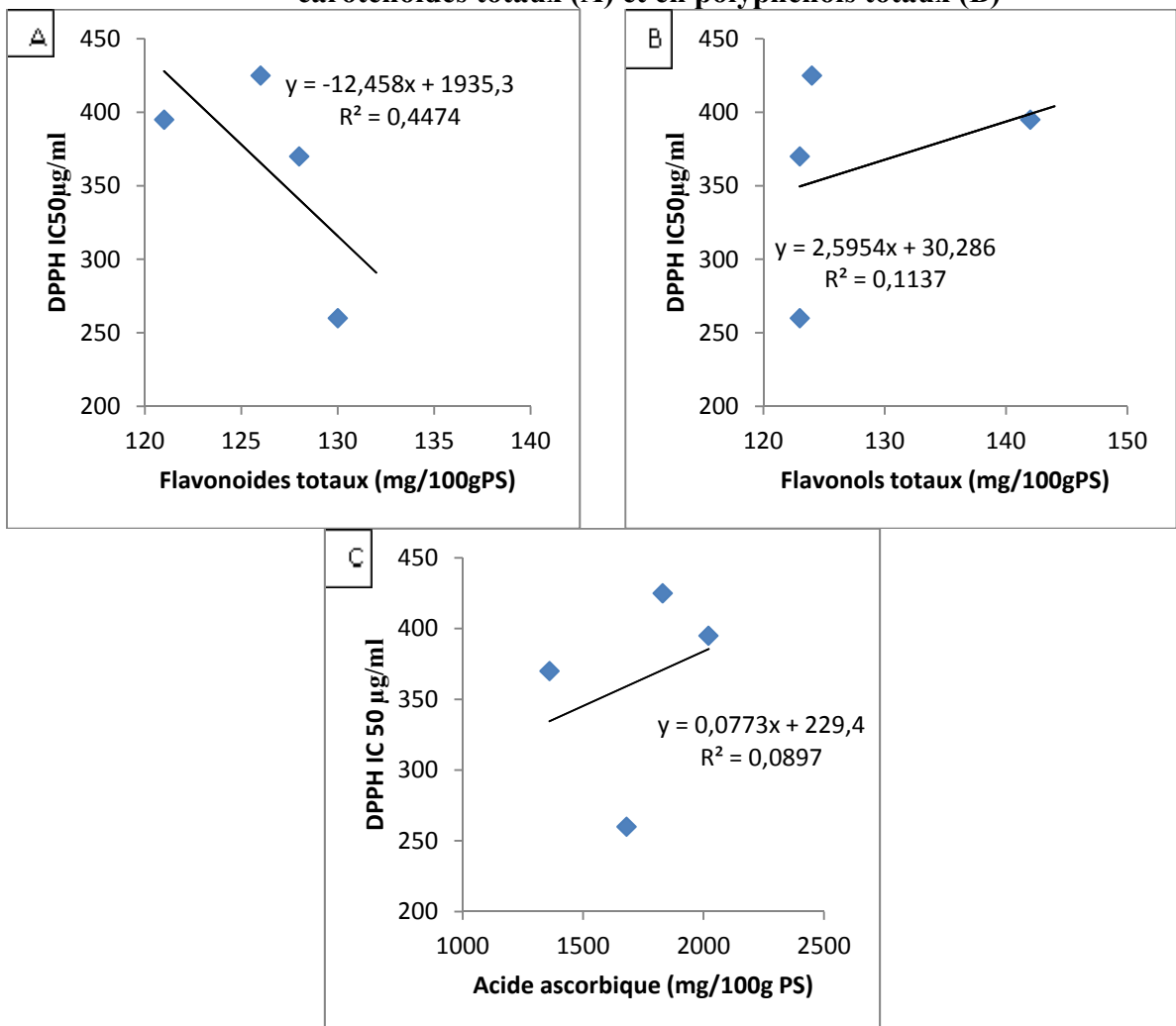


Figure 37 : Corrélation entre la capacité antioxydante du radical DPPH et la teneur en Flavonoides totaux (A), en Flavonols totaux (B) et en Acide ascorbique (C)

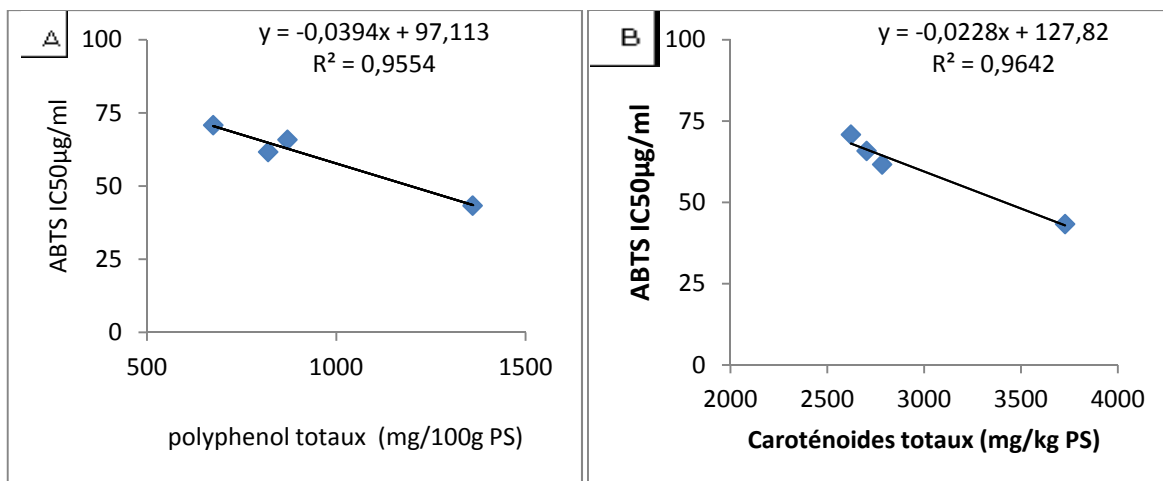


Figure 38 : Corrélation entre la capacité antioxydante du radical ABTS et la teneur en polyphénols totaux (A) et en caroténoïdes totaux (B).

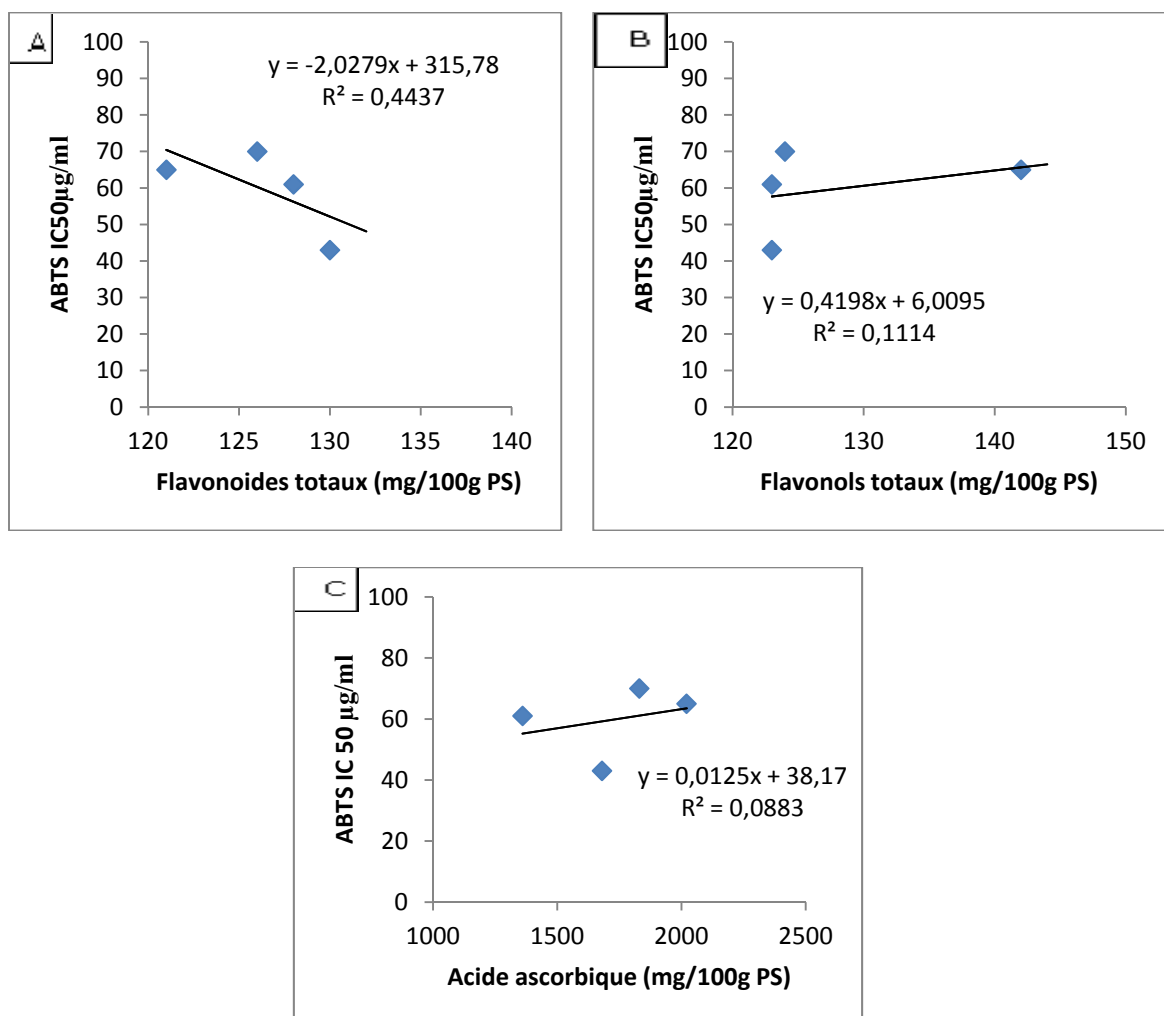


Figure 39 : Corrélation entre la capacité antioxydante du radical ABTS et la teneur en Flavonoïdes totaux (A), en Flavonols totaux (B) et en Acide Ascorbique (C)

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, l'effet de la période de production de paprika sur sa composition en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux, flavonols totaux, et caroténoïdes totaux, et son activité antioxydante a été étudié. L'activité antioxydante des différents paprikas a été déterminée par les tests d'ABTS et de DPPH. Des différences significatives ont été observées pour les teneurs en composés phénoliques totaux, en caroténoïdes totaux, et l'activité antioxydante mesurée en fonction de la période de production et de transformation de la niora dans la région du Tadla. Les meilleures capacités antioxydantes ont été obtenues par le paprika produit en mois de novembre présentant des teneurs élevées en caroténoïdes totaux et en composés phénoliques totaux. Une bonne corrélation a été établie entre l'activité antioxydante et la teneur en polyphénols totaux et en caroténoïdes totaux prouvant que l'activité observée est due en grande partie aux polyphénols totaux et aux caroténoïdes totaux. Cependant, une telle corrélation n'a pas été établie entre l'activité antioxydante et la teneur en flavonoïdes et en flavonols totaux. Cette épice pourrait être considérée comme source d'antioxydants naturels pour des fins médicinales.

Chapitre 5 :

**Etude comparative des paramètres de qualité du
paprika provenant de 3 régions du Maroc :
Tadla, El Gharb, El Kalaâ des Sraghna**

1- Présentation

D'après nos enquêtes sur le terrain, la niora se trouve actuellement limitée à la région du Tadla en grande partie (plus de 80% de la production nationale), dans les régions du Gharb et d'Elkalâa des Sraghna en faibles superficies.

L'utilisation industrielle de la poudre de paprika est renforcée par la connaissance de sa composition en acides gras, de sa couleur et de sa teneur en capsaïcinoïdes et de ses constituants bioactifs.

En vue de disposer d'un maximum d'informations sur la qualité du paprika produit sur tout le royaume, le présent chapitre a pour objectif principal la caractérisation et la comparaison de quelques paramètres de qualité de la poudre de paprika produit dans 3 régions du Maroc (Tadla, Elgharb et d'Elkalâa des Sraghna). En se basant sur les résultats obtenus dans le premier chapitre, nous nous sommes limités aux paprikas produits au mois du novembre.

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont fait l'objet d'une publication :

« Assessment of Color, Capsaicinoids, Carotenoids and Fatty Acids Composition of Paprika Produced from moroccan Cultivars (*Capsicum Annuum L.*) ».

2- Publication 5: Assessment of Color, Capsaicinoids, Carotenoids and Fatty Acids Composition of Paprika Produced from Moroccan Cultivars (*Capsicum Annuum L.*)

Naima Zaki^a, Aziz Hasib^{a*}, Abdelmalek Hakmaoui^b, Fatima Dehbi^a and Aaziz Ouatmane^a

a- Laboratory of Environment and Valorisation of Agro resources. University Sultan Moulay Slimane. Faculty of Science and Technology. Beni-Mellal, Mghila, B.P.:523, Béni Mellal Morocco.

b- Departamento de Ingeniería de Alimentos y Equipamiento Agrícola- Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Paseo Alfonso XIII, 48. ETSIA. 30203. Cartagena (Murcia), Spain.

* Corresponding author.

Tel.: 212 523485182 ; fax: 212 523485201

GSM: 212 659406993

E-mail address: azhasib@yahoo.fr

Journal: Journal of Natural Sciences Research, *Volume 3, N° 7, 111-117, 2013.*

Résumé :

Les paramètres de qualité analysés pour la poudre de paprika (*Capsicum annuum* L.) collectées de trois régions du Maroc (Tadla, El Gharb et Elklaa des Sraghna) étaient la teneur en ASTA, les caroténoïdes totaux, les capsaïcinoïdes totaux, la composition en acide gras. La teneur en huile des différentes paprikas variait relativement de 7,55 g à 8,67 g/100 g. Les principaux acides gras détectés pour les 3 différentes huiles de paprika sont l'acide linoléique (60,1 à 70,9%), l'acide oléique (12,1 à 16,1%) et de l'acide palmitique (7,7 à 14,5%). Des teneurs relativement importantes de capsaïcinoïdes ont été trouvées dans les paprikas des 3 localités avec un maximum obtenu pour le paprika provenant d'Elkalaâ des Sraghna (184.97mg/kg). Les teneurs en caroténoïdes totaux était en moyenne de 2323,66 à 3025,05 mg / kg de poids sec. Les valeurs ASTA diffèrent sensiblement entre les trois localités. Le paprika du tadla a montré les meilleures valeurs d'ASTA et de teneurs en caroténoïdes totaux. La présente étude a montré que les différentes poudres paprika sont une source potentielle d'huile précieuse et de couleur qui pourrait être utilisé pour des applications alimentaires et industrielles.

Mots-clés: *Capsicum annuum* L., Paprika, Lipides totaux, Acides gras, Capsaïcinoïdes, Caroténoïdes, ASTA.

Abstract

Analysed quality parameters of paprika powder (*Capsicum annuum* L.) collected from three localities in Morocco (Tadla, Gharb and Elkalaa des Sraghna) were color, total capsaicinoids, total carotenoid, fat content and fatty acid composition. The oil contents of paprika powder collected from the three localities varied relatively from 7.55g to 8.67 g/100 g. The main fatty acids among the different paprika oils were linoleic acid (60.1–70.9%), oleic acid (12.1–16.1%) and palmitic acid (7.7-14.5%). Remarkable amounts of capsaicinoids were found in the different locations, with a maximum obtained for Elkalaa des Sraghna paprika (184.97mg/kg). Total carotenoid content values averaged from 2323.66 to 3025.05 mg/kg dw with the high content obtained for the Tadla paprika. The ASTA Values differ significantly between the three localities; the high value of ASTA 20 was obtained for Tadla paprika. The present study showed that the different paprika powders are a potential source of valuable oil and Color that could be used for edible and industrial applications.

Keywords: *Capsicum annuum* L., Paprika, Oil, Fatty acid, Capsaicinoids, Total carotenoid, ASTA, Color.

1. Introduction

Paprika derived from pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.), is a ground, dried fruit used to improve food taste and colour. It has significant importance in the Moroccan horticultural production. The main production area is Tadla region with more than 80% of the national production (Hakmaoui et al. 2011). The plant material and the sun drying method used means that the paprika produced in Morocco resembles the paprika produced in Murcia (southeastern Spain) (Escarabajal & Fernández-Trujillo 2009; Fernández-Trujillo & Escarabajal 2006). It is both a popular spice in the world as a delicious spice with characteristic color, taste, and heat (Estrada et al. 2002; Perucka & Oleszek 2000). Capsicums are important food additives in many parts of the world, valued for their sensory attributes of color, pungency and aroma (Estrada et al. 2002). Pepper used as food colorant has traditionally been in the form of ground powder.

Capsicum cultivars have been identified as potential solanaceous crop with high antioxidant activity (Ou et al., 2002). Intake of these compounds in food is an important health protecting factor. They are also helpful in prevention of widespread diseases. There are growing evidences suggesting that antioxidants may maintain health and prevent many chronic diseases, such as certain cancers, cardiovascular diseases and other aging-related diseases (Dehbi et al 2013; Thompson 1994). Paprika powder comprises numerous other chemicals including steam-volatile oil, fatty oils, capsaicinoids, carotenoids, vitamins, protein, fiber, and mineral elements (Bosland and Votava, 2000).

Fat content of paprika is a significant quality parameter as plays an important role in dissolving of color compounds of epicarp and gives red color of dried products and grinded powder and results more homogenous, attractive spice. Fatty acids are accumulated in both the pericarp and the seeds (Marion & Dempsey 1964; Nosti Vega et al. 1982). A prerequisite for the value of vegetable oils or fats is either a nutritional quality or the technical benefit. Both depend on the fatty acid composition as well as on the composition of the accompanying constituents like vitamin E-active compounds or phytosterols. For nutritional purposes, the oil should be low in saturated fatty acid, high in monounsaturated fatty acids and well-balanced in ω -6- and ω -3-fatty acids with remarkable amounts of vitamin E-active compounds and phytosterols.

Pungency of peppers is attributed to capsaicinoids, which are a group of 12 or more

alkaloids with a structure of vanillylamide of branched fatty acids with 9–11 carbons. Capsaicinoids are distinctive components of this vegetable. They are synthesized exclusively in the epidermal cells of the placenta in capsicum fruit and are accumulated in blisters along the epidermis (Cisneros-Pineda et al. 2007). Capsaicin and dihydrocapsaicin, which are responsible for 80 to 90% of the total pungency, are the most abundant principles of hot pepper. Among the capsaicinoids, capsaicin comprises more than 70% pungency of red pepper (Titze et al. 2002). The concentration of capsaicinoids in paprika variety ranged from 0.001% to 0.01%, and in strong chilli varieties the concentration ranges from 0.1% to <1% (Govindarajan et al. 1987). The capsaicinoids are present in hot pepper varieties at different amounts (Govindarajan 1986).

Also, red peppers are a good source of carotenoids, well known for their antioxidative effects (Bartley & Scolnik 1995). Pepper carotenoids are mainly capsanthin and capsorubin. Capsanthin accounts for 30% to 60% of total carotenoids in fully ripe fruits (Matsufuji et al. 1998). However, capsaicinoids and color value are considered the most important quality factors in peppers (Kim et al. 2002).

Industrial utilization of paprika powder is enhanced by knowledge of its fatty acid composition, its color and its capsaicinoids content either it's bioactive constituent. In the Moroccan land the pepper culture play a significant role on the national economy, through generating considerable export earnings or import substitution. However the research conducted on their proximate chemical composition is limited. To our knowledge there is still no data on the composition and the levels of these important parameters of quality in the paprika produced in Morocco. This is the first study undertaken to generate baseline information on the chemical composition and the quality of the Moroccan paprika. The aim of this work was to examine the range of Moroccan paprika oil content and the fatty acid composition. Their coloration, total capsaicinoids and carotenoid content were investigated.

2. Material and methods

The pepper fruits were harvested during 2010 from three localities in Morocco during November 2010 (*Tadla, Elkalaa des Sraghna* and *Gharb*) (Figure 40).

Paprika powder samples derived from pepper cultivars (*Capsicum* annum L.) were obtained by means of the process previously reported that essentially includes fruit sun drying and grinding (figure 41) (Hakmaoui et al. 2011), but no extra oil was added. Powders were taken immediately after milling. The average particle size of the powders was 400 µm. The samples

were stocked in hermetic containers in darkness and under refrigeration (4°C) until analysis. Three replicates were used per region obtained from three independent millings without adding oil. The samples for milling were taken randomly from different levels of the piles of sacks in which the collaborating companies store the sun dried peppers.

2.1 The content of Fat:

The oil content was analyzed gravimetrically after Soxhlet extraction following the AOAC No. 960.39 (Hortwitz 2002).

2.2 Fatty acid composition

The fatty acid composition of oil was determined in a mixture of subsamples of the three replicates following the European Standard ISO 12966 (2011). Briefly 0.1g of the oil was dissolved in 2 mL isooctane and 0.1 ml of KOH (2N). The closed tube was agitated vigorously for 1 min at room temperature. After addition of 2 ml NaCl (40%), the tube was centrifuged at 45 00 rpm for 10 min. The fraction of isooctane is removed in a test tube, which 1 g of sodium bisulfate monohydrate was added. After centrifugation at 4 500 rpm for 10 min, the top isooctane phase was transferred to a vial and injected into a Varian 5890 gas chromatograph with a CP-Sil 88 capillary column (100 m long, 0.25 mm ID, film thickness 0.2 mm; Varian Deutschland, Darmstadt, Germany). The peak areas were computed by the integration software, and percentages of fatty acid methyl esters (FAME) were obtained as weight percent by direct internal normalization.

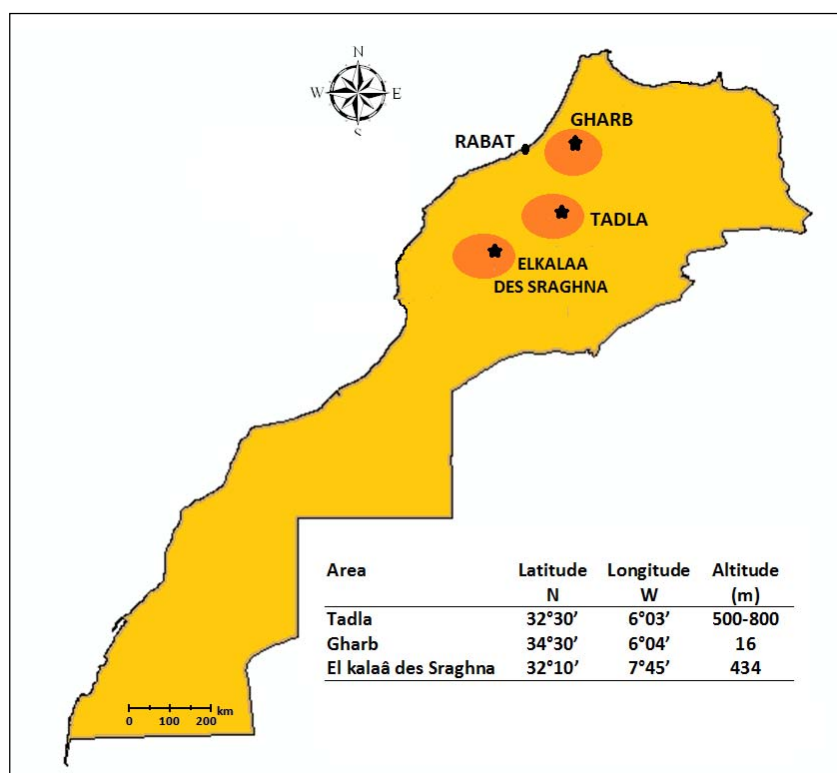


Figure 40: Repartition map of Moroccan paprika powder derived from pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) used in the study



Figure 41: A (to the left): the fruits of pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) are initially stacked in piles for the post-maturation without exposure to direct sunlight. B (to middle): the fruit is dispersed in the previously clean and compacted soil for a homogeneous drying in the Sun. C (to right): the paprika powder

2.3. Coloration

The ASTA color value of paprika powders was determined according to the official AOAC method 971.26 (Hortwitz 2002) with a slight modification. Samples (0.1 g) were extracted with 20 ml acetone for 3 h by using a water bath (axially shaken at 140 rpm) maintained at 25 °C. Then the extract was diluted 1/5 with acetone. The absorbance of the diluted extract was

measured against acetone at 460 nm by spectrophotometer. The extractable color of the samples was expressed in ASTA units:

$$\text{ASTA} = \text{Absorbance} * 16.4 * \text{devf} / \text{weight} \quad (1)$$

Where devf is the deviation factor of the spectrophotometer, which was calculated by dividing the theoretical absorbance by the real absorbance of standard color solution (0.001 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ and 0.09 M $(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ in 1.8M H_2SO_4) at 460 nm.

To measure skin color, a CR-300 Chromameter (Minolta, Osaka, Japan) was used for (C illuminant, 0° viewing) previously calibrating it with a white-plate standard. A glass Petri dish containing the samples was placed below the light source. The L, a(+), and b(+) values of each sample were determined in triplicate. Because chroma (C) and Hue angle (h°) have been shown to be more practical measures of color from a human sensorial point of view (McGuire 1992), both parameters were calculated:

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \text{ and } h^\circ = \text{arc tan } (b/a).$$

2.4. Total carotenoids content

The total carotenoids content was determined according to method cited by Alasalvar et al. (2005). In brief, dried samples (0.5g) were extracted with 5 ml of acetone–water (9:1, v/v) and centrifuged at 3000 rpm for 10 min at 4°C . The clear supernatant was withdrawn and extraction was repeated for another five or six times with 3 ml of acetone–water until no color was extracted. Extracts obtained were pooled and measured against an acetone blank at 471 nm using a UV-2100 spectrophotometer.

2.5. Total capsaicinoids content

The capsaicinoid content was determined as described by Collins et al. (1995). Samples of 1 g of paprika powder were mixed with 10 ml of acetonitrile and kept for 4 h at 80°C with shaking in a capped Erlenmeyer flask. The supernatant was filtered into a 2 ml glass vial by using a $0.45 \mu\text{m}$ membrane filter (Millipore) and then used for HPLC inject. Capsaicinoids were quantified at 280 nm against a calibration curve with pure capsaicin and dihydracapsaicin.

The results were converted to the Scoville Heat Value (SHV) by multiplying the individual capsaicinoid composition (in mg kg^{-1} dry weight of the paprika) by the coefficient of the heat

value for each individual compound, 9.3 for nordihydrocapsaicin (NDHCAPS) and 16.1 for both capsaicin (CAPS) and dihydrocapsaicin (DHCAPS) (Todd et al. 1977).

$$\text{Total SHV} = [\text{CAPS} + \text{DHCAPS}] \times 16.1 + [\text{NDHCAPS} \times 9.3] \quad (2)$$

2.6. Statistical analysis

Analysis of variance of the data from each attribute was computed using the SPSS software. The Least Significant Difference test at 5% level of probability was used to test the differences among mean values.

3. Results and discussion

3.1. Fatty acid composition

Total lipids and fatty acid composition of paprika powder collected from three localities in Morocco were investigated (**Table 15**). Total lipid contents of spices ranged from 7.55 to 8.67% DW among the three localities paprika. These results are slightly higher than those obtained by Tchiegang et al. (1999) analyzing the chili in Cameroon. But they are inferior to those cited in the literature (12% to 22%) (Govindaraja 1985; Camara & Delamou 2003).

Eight different fatty acids were investigated (**Table 15**). As in most plants, the major fatty acids accumulated in the paprika pepper are linoleic (18:2), palmitic (16:0), oleic (18:1), and linolenic (18:3) (Murphy et al. 1993; Pérez-Gálvez et al. 1999; Kwon et al. 2011). They represented 90% among the total fatty acids. The other fatty acids were detected in low percentage. The values obtained are (60.1 to 70.9 g/100 g) for linoleic acid, (12.1 to 16.1g/100 g) for oleic acid and (7.7 to 14.5 g/100g) for palmitic acid. Considerable differences in fatty acid composition between *Tadla*, *Gharb* and *ElKalaa des Sraghna* were observed probably due to climatic conditions. Paprikas investigated in our work were obtained by grinding all the dry fruit. Thus the fatty acid distribution in paprika is very similar to that found for the seed of *capsicum annum* L (Perez-Galvez et al. 1999)].

Unsaturated fatty acids of the different paprika ranged from 81.13 % to 88.62% of the total fat paprika powder. The lipid of paprika was rich based on especially linoleic acid (Omega-6), that human body is not capable of producing (Simopoulos 2008). Saturated fatty acids of paprika comprised between 11.38% and 18.87% of the total fat. Palmitic acid was the main

saturated fatty acid in all paprika powders; the other saturated fatty acids were detected in small quantities. These results are similar to those obtained by Kim et al. (2002), for grain and slightly lower than those obtained for the paprika.

The SFA/UFA ratio of paprika powders ranged from 0.13 to 0.23 respectively for *Tadla* paprika and *ElKalaa des Sraghna* paprika, lower than those obtained for paprika powder (kim et al. 2002). The results are in agreement with those obtained for paprika powder investigated by Pérez Galvez et al. (1999) and in agreement with the seed ratio (kim et al. 2002). The S/U ratio in the seed is constant at around 0.16, similar to that of the oils of olive (0.17) and soybean (0.19), and better than that of palm oil (0.98) (Pérez Galvez et al. 1999). This difference in SFA/UFA is believed to be related to the stability of the powdered product.

Table 15: Oil content and fatty acids composition (%) of Moroccan paprika powder.

Localities	<i>Tadla</i>	<i>Gharb</i>	<i>Elkalaa des Sraghna</i>
Oil content g/100 g DW	7.55±0.39	8.67±0.74	7.97±0.44
C₁₄⁰ : Myristic	1.0	1.1	0.9
C₁₆⁰ : Palmitic	7.7	11.6	14.5
C₁₆¹ : Palmitoléïc	0.4	0.35	0.4
C₁₈⁰ : Stéaric	2.2	4.35	3.2
C₁₈¹ : Oléïc	12.8	12.1	16.1
C₁₈² : Linoléïc	70.9	67.5	60.1
C₁₈³ : Linoléïc	3.6	2.2	4.1
C₂₀⁰ : Arachidic	0.4	0.1	0.2
C₂₀¹ : Gadoléïc	0.3	0.13	0.15
Total Fatty acid	99.3	99.43	99.65
Palmitic + Oléïc + Linoléïc	91.4	91.2	90.7
Satured Fatty acid	11.38	17.25	18.87
Unsatured fatty acid	88.62	82.75	81.13
Ratio S/U	0.13	0.21	0.23

3.2. Coloration

The color of paprika powder can be measured either as extractable colour or surface colour. Extractable color is the official method used by the American Spice Trade Association (ASTA 1985). Tristimulus colorimetry has been used for color description as a rapid and simple method to specify visual perception of food products (Rocha et al. 1993). Surface color measurements will give some indication as to how the paprika powder will look to the eye. The lightness (L) value can give some indication of color differences, as powder of higher color intensity will have a lower L value. For chilli powder, a hue angle (h°) of 0° is red and 90° is yellow; therefore, the closer the value to 90° , the more orange a powder will appear (Jorge et al. 1997).

The ASTA extractable color results listed in **Table 16** showed significant differences between the paprika samples. The *Tadla* paprika powder showed a high ASTA value 135, 47. Similar results were obtained by García et al. (2007) in Bola-type red peppers (91 to 150 units ASTA). The *Gharb* commercial ground paprika had the lowest ASTA value (104, 06 units), which is considered as still acceptable for home and industrial application (Tepić et al. 2008). Moreover, ASTA values are known to differ significantly depending on the cultivar and ripening stage, on the presence of seed (Garcia et al. 2007; Lozano et al. 2003). Either the ASTA unit varied strongly between years and between countries (García et al. 2007). Since paprika is used as food colorant both for industrial and culinary purposes, the red color intensity is considered as the most important attribute of paprika (kim et al. 2002).

Reflected color of the paprika powders was presented in (**Table 16**). As three different localities colors were studied, the $a(+)$ and $b(+)$ values, Chroma (C) and hue angle (h°) were different between the sample's. In the *Tadla* paprika, the mean value of $a(+)$ (contribution to red) was 29.14. While the *Gharb* and *ElKalaa des Sraghna* samples values were 27.54 and 24.89 respectively. The $b(+)$ parameter (contribution to yellow) had a mean of 29.77 in the *Tadla* paprika, 31.11 in the *ElKalaa des Sraghna* paprika and 33.34 in the *Gharb* paprika. Due to the different values of $a(+)$ and $b(+)$, the h° significantly differed between the samples. The L values varied from 24.56 to 27.01. As it is difficult to interpret complex 'L' and ' h° ' data, the standard technique used by the spice industry is to measure extractable color and to observe the powder visually for defects. Because surface color does not necessarily depend on the total amounts of pigments in chilies, color was additionally expressed in ASTA units, which are related to the total coloring capacity.

Table 16: Color characteristics and Carotenoids content in Moroccan paprika powder.

Localities	ASTA	Carotenoids*	L	a (+)	b (+)	Chroma (C)	Hue Angle (h°)
<i>Tadla</i>	135.47±0.73 ^a	3025.05±35.79 ^a	24.56±0.21 ^c	29.14±0.65 ^a	29.77±0.87 ^c	41.66±0.78 ^b	45.61±1.31 ^b
<i>Gharb</i>	104.06±1.09 ^b	2323.66±22.78 ^c	27.01±1.12 ^a	27.54±0.79 ^b	33.34±1.22 ^a	43.24±0.94 ^a	48.32±0.65 ^a
<i>El Khalaa des Sraghna</i>	115.54±1.44 ^c	2579.78±43.46 ^b	25.5±1.19 ^b	24.89±0.69 ^c	31.11±0.97 ^b	39.84±0.77 ^c	43.62±0.84 ^c
ANOVA	***	***	***	***	***	***	***

Values are mean ± SD of 3 replicates. a-c Test values along the same row carrying different superscripts for each parameter are significantly different ($p < 0.05$).

* Total Carotenoid expressed as mg/kg dw

3.3. Total carotenoid content

Among Paprika samples, total carotenoid content values averaged from 2323.66 to 3025.05 mg/kg DW with the high content obtained for the *Tadla* paprika (**Table 16**). Significant difference was noted between all the samples. The total carotenoid concentration was within the range reported by Kims et al. (2002); Topuz & Ozdemir (2007); Tundis et al. (2012). On the contrary, these values were lower than those reported by Markus et al. (1999). Generally Greater variations both qualitative and quantitative carotenoid composition were observed in Capsicums (Hart & Scott 1995). Peppers are also a good source of oxygenated carotenoids or xanthophylls, which can vary in composition and concentration due to differences in genetics and degree of ripening (Markus et al. 1999).

3.4. Total capsaicinoids content

In the present study, the total capsaicinoids content and SHU of paprika were analyzed to determine the pungency of the paprika powder produced in the three localities in Morocco. Table 17 shows the composition quantities of capsaicinoids present in the paprika powder. Among the three paprika localities studied, ElKalaa des Sraghna paprika showed the high values of total capsaicinoids (184.97 mg/kg DW), followed by the Gharb paprika (118.6 mg/kg DW), and lastly by the Tadla paprika (65.67 mg/kg DW). The capsaicin and dihydrocapsaicin content analyzed from the paprika extract produced in Tadla area were respectively 24.2 and 23.98 mg/Kg DW. These data represent 73.37 % of the total capsaicinoids. Similar results had been previously reported by many authors for different *Capsicum annum* varieties (Perucka & Oleszek 2000; Perucka & Materska 2001; Topuz & Ozdemir 2007). But these results are lower than those reported by Davis et al. (2007) for habanero pepper (80-90%). However for Gharb and ElKalaa des Sraghna paprika the content of these two capsaicinoids varied from 79.04 to 80.80 % respectively. This is in agreement with the results obtained by (Gahungu et al. 2011). The capsaicin contribution in pungency was 53.36 and 51.01 % respectively for ElKalaa des Sraghna and Gharb paprika. Norhydrocapsaicinoid was contained in low amount, ranging from 19.21 to 26.65% of the total capsaicinoids. In general, capsaicin and dihydrocapsaicin were relatively more abundant than nordihydrocapsaicin.

The capsaicin and dihydrocapsaicin ratio was 1.01, 1.82 and 1.97 respectively for Tadla, Gharb and ElKalaa des Sraghna paprika. For Tadla paprika similar result was reported by other authors who found values ratio around 1:1 in the *Capsicum annum* (Govindarajan & Sathyanarayana 1991). However for the others paprika localities our results differ to the

Table 17: Capsaicinoids content in Moroccan paprika powder

Localities	Capsaicin (CPS)		DHCPS*		NDHCPS**		Total Capsaicinoid	SHU***	CPS/DHCPS
	mg/kg DW	%	mg/kg DW	%	mg/kg DW	%	mg/kg DW		
<i>Tadla</i>	24.2±1.69 ^c	36.85	23.98±2.22 ^c	36.51	17.5±0.87 ^c	26.64	65.67±6.19 ^c	938.45±69 ^c	1.01
<i>Gharb</i>	60.5±4.97 ^b	51.01	33.25±1.88 ^b	28.03	24.85±1.67 ^b	20.95	118.6±7.45 ^b	1740.40±54.97 ^b	1.82
<i>El Kalaa des Sraghna</i>	99.09±6.78 ^a	53.56	50.36±3.28 ^a	27.22	35.53±2.33 ^a	19.20	184.98±9.55 ^a	2736.57±78.1 ^a	1.97
ANOVA	***		***		***		***	***	

Values are mean ± SD of 3 replicates. a-c Test values along the same row carrying different superscripts for each parameter are significantly different ($p < 0.05$).

* DHCPS : Dihydrocapsaicin

** NDHCPS: Nordihydrocapsaicin

*** SHU : Pungency level

findings on *C. annuum* fruit but the same ratio (2:1) were reported for *Capsicum frutescens* (Govindarajan & Sathyanarayana 199; Collins et al. 1995; Estrada et al. 2002). The significant difference between the three paprika localities could be attributed to different factors (environmental, varietal, processing, time of harvesting). A number of previous authors found that the capsaicinoid levels and pungency values of *C. annuum* fruits have a broad range of variance (Perucka & Oleszek 2000). Govindarajan (1985) determined that there are great diversities in the contents and composition of capsaicinoids among fruits of *Capsicum* species, and even among cultivars. The environment, especially the climate, light, soil, moisture, fertilization and temperature during plant growth, is considered to have an impact on capsaicinoid levels, as does the age of the fruit (Estrada et al 2002; Titze et al. 2002). Processing after harvested *Capsicum* fruits also plays an important role on the level of capsaicinoids, in that both the drying conditions and the number of seeds included have an influence on pungency (Titze et al. 2002).

The capsaicin and dihydrocapsaicin contents and their corresponding pungency level measured in Total Scoville Heat Unity (SHU) are the main indicators for the hotness taste of the pepper (Topuz & Ozdemir 2007). The values found for SHU of each capsaicinoid were summed, and the total amount is reported in Table 4. From the sensorial point of view, the SHU values of the three paprika origins were ranged between 938.45 and 2736.57. Naturally, the paprika powder cultivars which have higher capsaicin and dihydrocapsaicin contents result in higher SHU values.

Therefore, from the SHU obtained in this study; the *Tadla* paprika can be qualified as sweet pepper according to classement of Bosland & Votava (2000) that ranks the sweet peppers in the range of 0 to 700 SHU. However the two other paprikas are qualified mildly pungent. The capsaicinoid concentration, and indirectly its pungency, is inevitably dependent upon species and varieties. However, it should be considered that the attributes are also highly influenced by a number of extrinsic factors, such as fruit age, water stress, temperature, soil and fertilizer (Estrada et al. 2002; Titze et al. 2002).

4. Conclusion

Results of the three paprika investigated showed a significant difference in terms of quality setting (extractable color, total capsaicinoids, total carotenoid, fat content and fatty acid composition). The predominant fatty acids in the three paprika localities are linoleic acid, oleic acid and palmitic acid. Either it has revealed that paprikas studied are mainly composed

of capsaicin and dihydrocapsaicin as major capsaicinoids, thus responsible for its pungency taste. The significant difference between the compositions of the three paprika localities could be attributed to different factors as environmental, varietal, processing, time of harvesting and degree of ripening. This study showed that the different paprika powders are a potential source of valuable oil with a high quality eatable vegetable oil. Therefore paprika can be recommended by nutritionists to be part of our diet. In the other hand, the paprikas studied are an excellent source of natural color that could be used for edible and industrial applications.

References

- Alasalvar, C., Al-Farsi, M., Quantick, P.C., Shahidi, F. & Wiktorowicz, R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 89, 69–76
- ASTA. (1985). Official Analytical Methods for Spices (3rd edn). American Spices Trade Association, New York.
- Bartley, G.E. & Scolnik, P.A. (1995). Plant carotenoids; pigments for photoprotection, visual attraction and human health. *Plant Cell* 7, 1027–38
- Bosland, P.W. & Votava, E.J. (2000). Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. Crop Production Science in Horticulture 12. CAB International Publishing, Wallingford, England, UK. 204 pp.
- Camara M. M. & Delamou J. (2003). Rapport d'étude sur la filière petit piment dans les régions de Tougué et de Lelouma. PEGRN/Land O'Lakes International.
- Cisneros-Pineda O., Torres-Tapia L.W., Gutiérrez-Pacheco L.C., Contreras- Martín F., González-Estrada T. & Peraza-Sánchez S.R. (2007). Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in state of Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*, 104, 1755-1760
- Collins, M., Wasmund, L. M. & Bosland, P. W. (1995). Improved method for quantifying capsaicinoids in Capsicum using high-performance liquid chromatography. *HortScience*, 30, 137–139.
- Davis, C. B., Carolyn, E. M., Marianna, A. B. & Kenneth, W. B. (2007). Determination of capsaicinoids in Habanero peppers by Chemometric analysis of UV spectral data. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55, 5925–5933.
- Dehbi, F., Hasib, A., Bouaziz, M., Ouattmane, A., Elbatal, H., Jaouad, A. & Sayadi, S. (2013). Effect of phenolic compounds and betalain pigments on the antioxidant capacity of Moroccan prickly pear juices. *Nature & Technology , Journal B- Agronomic & Biological Sciences*, 09, 02-07
- Escarabajal, D. & Fernández-Trujillo, J.P. (2009). La tecnología de la fabricación del pimentón en Murcia. *Alimentaria*, 400, 116-120.
- Estrada, B., Bernal, M. A., Diaz, J., Pomar, F. & Merino, F. (2002). Capsaicinoids in vegetative organs of Capsicum annum L. in relation to fruiting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 1188–1191.
- European standard ISO 12966-2 2011. Animal and vegetable fats and oils, Gas chromatography of fatty acid methyl esters —Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids, Wien, Austria: Austrian Standards Institute.
- Fernández-Trujillo, J.P. & Escarabajal, D. (2006). El proceso tradicional de elaboración del pimentón de Murcia y sus posibles innovaciones. *Grasas y Aceites*, 57, 433-442.
- Gahungu, A., Ruganintwali, E., Karangwa, E., Zhang, X. & Mukunzi, D. (2011). Volatile

- compounds and capsaicinoid content of fresh hot peppers (*Capsicum Chinense*) Scotch Bonnet variety at red stage. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3, 211–218.
- García, M.I., Lozano, M., Montero, V., Ayuso, M.C., Bernalte, M.J., Vidal-Aragón, M.C. & Pérez, M. (2007). Agronomic characteristics and carotenoid content of five Bola-type paprika red pepper cultivars. *Scientia Horticulturae*, 113, 202-207.
- Govindarajan, V. S. (1985). Capsicum-production, technology, chemistry and quality. Part I. History, botany, cultivation and primary processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 22(2), 109-176.
- Govindarajan, V.S. (1986). Capsicum Poduction, Technology, Chemistry and Quality, Par II. CRC. *Critical reviews in food science and Nutrition*, 23-3, 207-283.
- Govindarajan, V.S., Rajalakshmi D. & Chand N. (1987). Capsicum-production, technology, chemistry, and quality. Part IV. Evaluation of quality. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 25 (3), 185-282.
- Govindarajan, V.S. & Sathyanarayana, M.N. (1991). Capsicum-production, technology, chemistry, and quality: Impact on physiology, nutrition & metabolism, structure, pungency, pain and desensitization sequences. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 29, 435-474.
- Hakmaoui, A., Ouattmane, A. & Fernández-Trujillo, J.P. (2011). El cultivo de la ñora y la industria del pimentón en la región de Tadra-Azilal (Marruecos). *Horticultura*, 295, 31-35
- Hart, D.J. & Scott, K.J. (1995). Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry*, 54, 101-111.
- Horwitz W. (Ed.) (2002). Spices and Other Condiments, Color Extractable in Spices (in Horwitz W Ed.). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International (AOAC) vol. II. 17th ed., Gaithersburg, Maryland, 43. 1. 02.
- Jorge, A., Osuna, G., Marisa, M.W. & Cynthia, A.W. (1997). Natural antioxidants for preventing color loss in stored paprika. *Journal of Food Science*, 62(5), 1017–1021.
- Kim S, Park J.B. & Hwang I.K. (2002). Quality attributes of various varieties of Korean red pepper powders (*Capsicum annum* L.) and color stability during sunlight exposure. *Journal of Food Science*, 67, 2957–61.
- Kwon, K.T., Salim Uddin, M.D., Jung G.W., Sim J.E., Lee S.M., Woo, H.C. & Chun, B.S. (2011). Solubility of red pepper (*Capsicum annum*) oil in near and supercritical carbon dioxide and quantification of capsaicin. *Korean J. Chem. Eng.*, 28(6), 1433-1438.
- Lozano, M., Montero de Espinosa, V., Ayuso, M.C., Bernalte, M.J., Garcia, M.I., Martinez, M. & Perez, M. (2003). Estudio de color de cinco cultivares de pimiento para pimiento'n tipo "Bola" cultivadas en Extremadura. *Alimentaria*, 341, 89–92.
- Marion, J.E. & Dempsey, A.H. (1964). "Fatty Acids of Pepper Seed Oil". *J. Am. Oil Chem. Soc.* 41, 548–549.
- Markus, F., Daood, H.G., Kapitany, J. & Biacs, P.A. (1999). Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J. Agric. Food Chem.*, 4, 100–107.
- Matsufuji H, Nakamura H, Chino M. & Takeda, M. (1998). Antioxidant activity of capsanthin and the fatty acid esters in paprika (*Capsicum annum*). *J. Agric. Food Chem.*, 46, 3468–3472.
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortSci.*, 27, 1254-1255.
- Murphy, D.J. (1993). Structure, Function and Biogenesis of Storage Lipid Bodies and Oleosins in Plants. *Prog. Lipid. Res.*, 32, 247–280.
- Nosti Vega, M., Vázquez Ladrón R. & Castro Ramos, R. (1982). Posibilidades de Aprovechamiento de los Subproductos de la Industria de Aderezo de Aceitunas. *Grasas*

Aceites, 33, 135–139.

- Ou, B., Huang, D., Hampschwoodwill, M., Flanagan, T. A. & Deemer, E. K. (2002). Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity and FRAP assays: A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3122–3128.
- Pérez-Gálvez, A., Garrido-Fernández, J. Mínguez-Mosquera, M.I., Lozano-Ruiz, M. & Montero-de-Espinosab, V. (1999). Fatty Acid Composition of Two New Pepper Varieties (*Capsicum annuum* L. cv. Jaranda and Jariza), Effect of Drying Process and Nutritional Aspects. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 76, 205–208.
- Perucka I. & Oleszek W. (2000). Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annuum* L. by spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. *Food Chem.*, 71, 287–91.
- Perucka, I., Materska, M. (2001). Phenylalanine ammonia-lyase and antioxidant activities of lipophilic fraction of fresh pepper fruits *Capsicum annuum* L.. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2, 189–192.
- Rocha, T., Lebart, A. & Marty-Audouin, C. (1993). Effect of pre-treatments and drying conditions on drying rate and color retention in basil. *LWT - Food Science and Technology*, 26, 456-463.
- Scoville, W.L. (1912). Note *Capsicum*. *J. Am. Pharm. Assoc.*, 1, 453.
- Simopoulos, A.P. (2008). The importance of the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med (Maywood)*, 233(6), 674-88.
- Tchiegang, C.E., Moundipa Fewou, P.M. & Noutchougoue, V.K. (1999). Etude comparée de quelques constituants chimiques de deux types de piment (*Capsicum annuum* L.) pendant la conservation dans une saumure acide. *Journal of Food Engineering*, 42, 117-123.
- Tepić, A.N., Dimić, G.R., Vujičić, B.L., Kevrešan, Ž.S., Varga, M. & Šumić, Z.M. (2008). Quality of commercial ground paprika and its oleoresins. *Acta Periodica Technologica*, 39, 77-83.
- Thompson, L.U. (1994). Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. *Critical Review in Food Science Nutrition*, 34, 473-497.
- Titze, K.P., Mueller-Seitz, E. & Petz, M. (2002). Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 2. Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from one plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (5), 1264–1266.
- Todd, P.H., Bensinger, M.G. & Biftu, T. (1977). Determination of pungency due to *Capsicum* by gas-liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 367, 438–442.
- Topuz, A. & Ozdemir, F. (2007). Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 596-602.
- Tundis, R., Loizzo, M. R., Menichini, F., Bonesi, M., Conforti, F., Luca, D.D. & Menichini F. (2012). Air-dried *Capsicum annuum* var. *acuminatum* medium and big: Determination of bioactive constituents, antioxidant activity and carbohydrate-hydrolyzing enzymes inhibition. *Food Research International*, 45, 170-175

Discussion et Conclusion Générale

Le piment est l'un des légumes les plus consommés dans le monde. Son importance tient des différents usages dont il est l'objet (Sanatombi et Jitendra, 2006). Il occupe une place importante dans la culture humaine depuis la préhistoire dans de nombreux pays. Il est à l'origine d'un condiment important de haute valeur commerciale et médicinale qui présente des propriétés antioxydantes, anti-cancéreuses et de nombreuses autres propriétés (Lee et al. 1995).

Le paprika, produit des fruits déshydratés au sol de l'espèce *Capsicum annuum* L., est l'un des plus anciens et des plus importants colorants alimentaires naturels largement utilisés en raison de sa forte teneur en caroténoïdes (Reeves, 1987; Topuz et al., 2009). Il présente une valeur nutritive élevée et il constitue une source très riche en composés bioactifs comme la vitamine C, B et E, les polyphénols, les chlorophylles, les caroténoïdes et les sucres (Topuz et Ozdemir, 2007 ; Jadcak et Grzeszczuk, 2009). Il contient aussi de nombreux produits chimiques, y compris l'eau, les acides gras, les huiles essentielles, les capsaïcinoïdes, la résine, les protéines, les fibres et les éléments minéraux (Rubio et al., 2002). Beaucoup de ces produits chimiques ont une importance pour la valeur nutritive, le goût, la couleur et l'arôme. Les deux groupes de produits chimiques les plus importants trouvés dans les piments sont les caroténoïdes et les capsaïcinoïdes (Bosland et Votava, 2000).

Bien que la production de la niora soit principalement destinée à une valorisation alimentaire de part sa diversité et la qualité de sa composition nutritionnelle, son utilisation pour des applications industrielles s'accroît. La valeur commerciale du paprika dépend principalement de sa coloration rouge (Hornero-Mendez et al, 2000). En plus de sa capacité de coloration, les caroténoïdes présentent des propriétés biologiques importantes, comme étant des antioxydants et capteurs de radicaux libres qui réduisent le risque de cancer. Certains d'entre eux (β -carotène, cryptoxanthine, etc) ont également une activité de provitamine A (Hornero-Mendez et al, 2000 ; Russo et Howard, 2002). Plusieurs facteurs affectent la teneur en caroténoïdes à savoir le stade de maturité, la variété, la diversité génétique du piment rouge, les techniques culturales (Minguez-Mosquera et al., 1994 ; Ade-Omowaye et al., 2002), le processus de transformation (la lumière, la chaleur et les réactions d'oxydations. (Minguez-Mosquera et Hornero-Mendez, D., 1994; Biacs et al., 1992).

Au Maroc, les piments en général et la niora en particulier présentent une grande valeur socio-économique. Le rendement moyen de la culture est encore en dessous du potentiel requis. Le secteur se heurte à un certain nombre de contraintes d'ordre technique et commercial qui entravent les bons rendements en termes de quantité et de qualité. Par

conséquent, la valorisation du produit et sa promotion en tant que produit industriel, et aussi de terroir pour la région est handicapée.

Nous nous sommes intéressés dans cette étude à établir un diagnostic détaillé de la culture de la niora dans la région du Tadla aussi bien en amont qu'en aval depuis la production jusqu'à la transformation. En amont, le diagnostic de l'état actuel de la filière a été mené au moyen d'enquêtes afin de répertorier l'ensemble des contraintes techniques entravant l'ouverture de la filière sur son environnement socio-économique et de proposer des recommandations d'améliorations de la conduite technique de cette culture. La diversité de la niora a été étudiée à travers la détermination des caractéristiques morphologiques et biochimiques des principaux morphotypes rencontrés dans la région. En aval, la composition nutritionnelle, phytochimique ainsi que les paramètres physicochimiques et microbiologiques de la poudre de paprika à différentes périodes de production et de transformation ont été déterminés. Enfin une étude comparative de la qualité du paprika provenant de 3 régions du Maroc a été menée.

Au regard de sa conduite culturale actuelle, la filière de la niora au Tadla souffre de nombreuses contraintes. L'examen de la conduite technique de la culture de la niora dans la région du Tadla montre que cette culture industrielle est confrontée à de nombreux handicaps aussi bien au niveau de la production qu'au niveau de la transformation.

En amont de la production, Les principales contraintes de la filière se résument d'une part en un mélange et une hétérogénéité variétale influençant ainsi le niveau de la production aussi bien sur le plan quantité que qualité. D'autre part, par la non maîtrise de l'itinéraire technique avec une dominance d'un système traditionnel extensif notamment en ce qui concerne l'époque de plantation, la densité, la fertilisation, le traitement phytosanitaire et la production de plants.

En aval de la culture, la phase post-récolte est mal organisée et encore traditionnelle. La transformation (séchage, mouture et emballage) de la niora en paprika se fait dans des conditions non hygiéniques. A cela s'ajoute l'absence d'organisation professionnelle. Par conséquent, on assiste à une faible industrialisation qui entrave l'épanouissement de la filière au niveau de la Région.

Pour relancer ce secteur, les actions et les mesures à entreprendre passent nécessairement par la mise en place d'un itinéraire technique adéquat en amont de la culture, l'inventaire des variétés locales de la région en vue de sélectionner les meilleures du point de vue commercial, l'introduction des variétés performantes répondant aux exigences du marché. En post récolte, il est à appuyer l'établissement des dispositifs de contrôle de qualité, de certification de piment séché. La création d'un label ou origine « ouled ali » du piment est fortement recommandée. La recherche de nouveaux débouchés pour garantir des revenus importants et durables aux communautés productrices est une nécessité. L'organisation des producteurs, des commerçants et des transformateurs de la niora dans le cadre de coopératives agricoles et leurs affiliations à des unités régionales de transformation et de conditionnement s'impose pour surmonter les contraintes entravant l'épanouissement de la filière sur toute sa chaîne de valeurs.

En terme de vulgarisation des bonnes pratiques, ce travail nous a permis de proposer un itinéraire technique amélioré de production de la niora dans le périmètre du Tadla qui tient compte des conditions locales de la région. Aussi un travail sur l'amélioration de la conduite culturale et du choix des variétés est en cours d'étude dans le cadre du projet « **Amélioration de la rentabilité de la niora dans la région de Tadla-Azilal** » qui a été retenu pour financement par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime dans le cadre du programme MCRDVM (Mécanisme Compétitif de Recherche Développement et Vulgarisation au Maroc 2013).

L'étude du problème de l'hétérogénéité de la niora au niveau de la région du Tadla a montré qu'il existe une grande diversité phénotypique des fruits qui peut servir pour une amélioration de la filière. Onze morphotypes notés M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10 et M11 ont pu être identifiés dans la région. Ces onze morphotypes diffèrent significativement en ce qui concerne les paramètres morphologiques des fruits à savoir, la longueur du fruit, la longueur du pédoncule, le poids frais, le poids sec, le nombre de graines par fruits, le poids de 100 graines et le volume du fruit.

L'analyse comparative de la qualité de ces morphotypes montre que 2 morphotypes d'entre eux M8 et M1 sont recommandés pour leur rendement en poudre supérieur en matière sèche et en Caroténoïdes totaux. Les morphotypes M10 et M11 sont recommandés pour obtenir un rendement plus élevé pour le marché du frais, étant donné qu'ils ont montré des valeurs plus élevées en matière fraîche et en longueur de fruit. M1, M3 et M5 ont montré les teneurs en vitamine C les plus élevées. Les morphotypes ayant montré des valeurs d'ASTA

dépassant les normes européennes sont M1, M2, M5, M6, M8, M9 et M11 avec des valeurs plus élevées pour M1, M2, M8 et M11. Compte tenu de la teneur en capsaïcinoïdes totaux, les morphotypes M1, M5, M6 et M7 ont montré des niveaux non détectables. Des teneurs allant de 15 à 96 mg/kg PS ont été obtenues pour les morphotypes M2, M3, M4 et M10. Les meilleurs rendements en capsaïcinoïdes ont été notés pour les morphotypes M8 et M9. Se référant à l'échelle de scoville, M1, M3, M4, M5, M6 et M7 ont été classés comme non-piquants, M2 et M10 comme légèrement piquants, M11 comme modérément piquant, M8 et M9 comme très piquants.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une grande diversité à l'égard des caractères morphologiques et biochimiques des 11 morphotypes étudiés. Cela peut servir à la mise en place d'une banque de gènes qui sera utilisée dans les programmes de sélection de *Capsicum*, en vue d'un choix approprié des variétés ayant des traits agronomiques et qualitatifs importants. La diversité des caractéristiques morphologiques et biochimiques des morphotypes évalués peut être principalement attribuée soit à une différence génétique soit aux diverses conditions agro-climatiques dans la région. Des études moléculaires doivent être menées pour confirmer la diversité génétique basée sur les caractères morphologiques et de caractériser les variétés pour un examen plus détaillé. Les semences des 11 morphotypes étudiés ont été collectées pour une étude génétique plus poussée dans le cadre du projet sus cité qui sera financé par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime.

Du point de vue caractérisation physico-chimique, nutritionnelle et microbiologique, il ressort de cette étude que le paprika produit dans la région du Tadla conserve en général ses qualités nutritionnelles durant toute la période de production et de transformation. Le paprika du Tadla a montré des attributs de qualité nutritionnelle et physico-chimique qui répondent aux normes internationales. L'effet de la période de production et de transformation du paprika au Tadla n'était pas significatif pour les paramètres physiques suivant : le pH, l'humidité et les cendres totaux. Toutefois, les paramètres de coloration se trouvent affectés par la période de production avec un maximum d'Unité d'ASTA obtenu pour la période de Novembre. Également, la teneur en vitamine C se trouve affectée par la période de production.

Les paramètres de mesure de la coloration de surface du paprika étudiés n'ont pas montré de différences significatives entre les différentes périodes de production de paprika. Il

en est de même pour la teinte traduisant le rapport des pigments rouges et jaunes. Dans la pratique, ces 2 derniers paramètres de mesure de la coloration ne sont pas utilisés par les transformateurs et les industrielles et c'est l'ASTA qui est la technique standard la plus utilisée par l'industrie des épices en plus de l'observation des défauts de la poudre visuellement.

Pour les 4 périodes de production et de transformation, le paprika du Tadla se composait principalement d'acide linoléique (71,05%), d'acide oléique (10,53%) et d'acide palmitique (10%). Les autres acides gras investigués ont été détectés à des niveaux très faibles.

Pour ce qui est de la composition minérale de la poudre de paprika, les résultats obtenus ont montré que cette dernière est riche en potassium, en magnésium et relativement pauvre en sodium. La majorité des éléments minéraux investigués présente des teneurs similaires durant toute la période de production et de transformation sauf pour le calcium et le sodium où on assisté à des variations de teneurs.

La teneur des principales capsaïcinoïdes : capsaïcine, dihydrocapsaïcine et norhydrocapsaïcine et leur indice de Scoville ont été analysés pour déterminer l'ordre de brûlure du paprika de la région Tadla-azilal. L'effet de la période de production et de transformation était significatif sur ces métabolites. On a assisté à une diminution de la teneur de ces métabolites de septembre (48mg/kg) à octobre (33mg/kg) et de novembre (60mg/kg) à décembre (25mg/kg). Cette diminution peut être du entre autres facteurs, aux changements climatiques qui ont eu lieu pendant ces périodes. Toutefois, il y'a eu des précipitations vers la fin du mois de septembre et de novembre et également on a assisté à une diminution des températures (campagne 2009/2010). La variété, l'environnement, notamment le climat, la lumière, le sol, l'humidité, la fertilisation et la température au cours de la croissance des plantes, l'âge des fruits, les opérations de post-récolte notamment les conditions de séchage et le nombre de graines sont considérés avoir un impact important sur les niveaux de capsaïcinoïdes (Estrada et al., 1999; Estrada et al., 2002 ; Titze et al., 2002). Selon le classement établi par Bosland et Votava (1999), le paprika du Tadla peut être qualifié de doux.

Il est à noter aussi que la charge microbienne pour certains microorganismes étudiés (la Flore Mésophile Aérobie Totale, les coliformes totaux, les staphylocoques et les entérocoques) dépasse les niveaux fixés par les normes européennes. Cette charge microbienne augmente avec la période de production et de transformation de la niora. Les niveaux du total des entérobactéries et des coliformes dans le paprika en poudre sont des indicateurs de l'état d'hygiène de la matière première et du procédé de fabrication paprika. Les espèces de Salmonella, de Clostridium perfringens et les aflatoxines qui comptent parmi les plus sérieux problèmes de paprika n'ont pas été détectées dans cette étude. Cependant, Streptococcus, un indicateur de contamination fécale, a été détecté uniquement dans les échantillons de Novembre et Décembre avec aussi des niveaux supérieurs aux normes permises. L'augmentation de la charge microbienne peut être expliquée par la diminution de la température à laquelle le paprika est séché (au soleil) de Septembre à Décembre. Les basses températures favorisent la croissance des micro-organismes et augmente le temps de séchage, exposant ainsi les fruits à divers types de contamination et de conditions météorologiques défavorables (rosée, pluie, etc.) au cours du séchage. Par conséquent, les charges élevées microbiennes mesurées peuvent être attribuées à diverses sources, y compris la gestion des cultures, de l'environnement, et les déchets des oiseaux et d'autres animaux ; les fruits de piments rouges étant contaminés durant la culture ou pendant la période de traitement (séchage en contact avec le sol), les opérations de traitement post-transformation.

Du fait, qu'une grande partie des produits transformés de piment étant destinée à une utilisation dans le domaine de l'agro-industrie que ce soit locale ou à l'étranger, il est nécessaire d'opter pour des techniques de séchage et des conditions de transformation plus hygiéniques pour réduire le taux de contamination du produit final qui est la poudre de paprika. Il faut penser également à réduire cette charge microbienne par traitement de la poudre de paprika par des rayons sans compromettre la couleur et la teneur en vitamine C.

L'effet de la période de production et de transformation du paprika produit dans la région Tadla-Azilal était significatif en termes de teneurs des éléments bioactifs étudiés. Les paprikas étudiés dans l'ensemble étaient riche en composés phénoliques, en flavonoïdes, en flavonols et en acide ascorbique. Toutefois, les meilleurs teneurs en polyphénols, en acide ascorbique ont été obtenus pour le mois de novembre.

L'activité antioxydante du paprika évaluée en utilisant le radical DPPH et l'ABTS a montré que tous les extraits ont été en mesure de réduire ces radicaux. Les meilleures

capacités antioxydantes ont été obtenues par le paprika produit en mois de novembre présentant des teneurs élevées en caroténoïdes totaux (3727mg/kg de PS) et en composés phénoliques totaux (1360 mg/100g de PS) aussi pour le radical DPPH que l'ABTS. Pour les 4 périodes de production de paprika, le potentiel antioxydant évalué par le test DPPH est faible par rapport au test ABTS. Une bonne corrélation a été établie entre l'activité antioxydante et la teneur en polyphénols totaux et en caroténoïdes totaux prouvant que l'activité observée est due en grande partie à ces métabolites. Plusieurs études ont rapporté la relation positive entre la teneur en polyphénol et l'activité antioxydante (Pulido et al., 2000; Velioglu et al., 1998). Cependant, une telle corrélation n'a pas été établie entre l'activité antioxydante et la teneur en flavonoïdes, flavonols totaux et la vitamine, Ce qui montre que ces métabolites ne peuvent être représentés dans l'activité antioxydante du paprika.

De l'étude comparative des paprikas provenant des 3 régions du pays, il ressort que les paprikas des 3 provenances sont une excellente source de colorant naturel qui pourrait être utilisé pour des applications culinaires et industrielles avec à leur tête le paprika de Tadla. Les valeurs d'ASTA variaient de 100 à 135 Unités et des teneurs de pigments de 2323 à 3025 mg/kg. Parmi les capsaïcinoïdes totaux étudiés, on note que la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine sont les prédominantes (73 à 80%). Le rapport capsaïcine/dihydrocapsaïcine était voisin de la valeur 1 pour le paprika du Tadla confirmant que c'est une épice non brûlante et de meilleure qualité pour l'industrie agroalimentaire. Pour les 2 autres provenances, ce rapport est voisin de 2 indiquant que ces dernières entrent dans la gamme des piments forts.

Pour la composition en acides gras, les paprikas des 3 localités ont montré en général des compositions similaires. Toutefois, des différences légèrement significatives ont été notées pour les teneurs en l'acide linoléique qui est le plus dominant.

Plusieurs facteurs peuvent être derrière les différences notées entre les paprikas provenant des trois régions. Ces dernières peuvent être attribuées aux conditions agro-climatiques, aux variétés et à un taux d'hétérogénéité des semences, les conditions de croissance, le stade de maturité du fruit et aussi d'autres changements qui peuvent se produire au cours de la transformation des piments et pendant le stockage.

Perspectives

Nos résultats présentent une étude de la filière de la niora dans la région du Tadla depuis l'installation de la culture jusqu'à sa transformation. Outre le facteur variétal et la conduite culturale, la qualité nutritionnelle et alimentaire du paprika est fortement influencée par le mode et les conditions de séchage et par le processus de transformation et les conditions de stockage du produit fini. A l'issue des résultats de ce travail, les actions identifiées en vue d'une amélioration du rendement agronomique et la qualité du paprika de la région se résument dans les points suivants :

- La sélection du piment et la production de semences de cultivars locaux, en mettant l'accent sur la résistance aux ravageurs et aux maladies mérite une grande priorité. La connaissance pratique en matière de lutte raisonnée pour le piment est déficiente et exige de gros efforts de recherche et de formation des agriculteurs,
- Un diagnostic poussé, une analyse et un inventaire des risques hygiéniques et microbiologiques associés aux pratiques et aux conditions de séchage et de transformation du paprika dans la zone de Tadla sont fortement recommandés,
- Tester différentes méthodes et conditions de séchage des fruits et comparer leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques, phytochimiques et de qualité du paprika,
- L'identification et la quantification des composés phytochimiques par des techniques plus sophistiquées seraient très utiles pour positionner le paprika Marocain.

Références Bibliographiques

-
- Aceró, O.C.; Dorantes, A.L.; Hernández, S. H. ; Gutiérrez, L. G.; Aparicio, G.; Jaramillo, F.M.E. 2005. Evaluation of phenylpropanoids in ten *Capsicum annuum* L. varieties and their inhibitory effects on *Listeria monocytogenes*. Food Science and Technology International, 11(1):5-10.
- Aczel, A. 1986. Application of overpressured layer chromatography in red pepper analysis. Study of the carotenoids responsible for the red color in ground red pepper. Journal of High Resolution Chromatography and Chromatography communication, 9(7):407-408.
- Ade-Omowaye, B.I.O.; Pastogi, N.K. ; Angersbach, A. ; Knorr, D. 2002. Osmotic dehydration behaviour of red paprika (*Capsicum annum* L.). Journal of Food Science, 67: 1790-1796.
- Ahmed, N.; Krishnappa, G.M.; Upperi, S.N.; Khot, A.B, 1986. Chilli a source of vitamin C and protein. Current Research, 15: 38–41.
- Alasalvar, C.; Al-Farsi, M.; Quantick, P.C.; Shahidi, F.; Wiktorowicz, R. 2005. Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. Journal of Agricultural Food Chemistry, 89, 69–76.
- Aloni, B.; Pressman, E.; Karni L. 1999. The effect of fruit load, defoliation and night temperature on the morphology of pepper flowers and on fruit shape. Annals of Botany, 83: 529-534.
- Alvarez Parrilla, E.; La Rosa, A ;D.; Amarowicz, R.; Shahidi, F. 2011. Antioxidant activity of fresh and processed jalapeno and serrano peppers. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59, 163–173.
- Awasthi, D.N.; Singh, B.P. 1979. Ascorbic acid and capsaicin in different varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.). Indian Journal Horticulture, 36(1):72-76.
- Andrews, J. 1999. The Pepper Trail: History and Recipes from Around the World. University of North Texas Press, Denton, Texas. 261 pp.
- Anonyme. 1997. FoodandAgricultureOrganization (FAO) database at <http://www.fao.org>
- Anonyme. 2000. <http://www.comarcadelavera.com/Pimenton/default.htm>
- Anonyme, 2011. Postharvest Handling of Dehydrated Chiles.Guide H-236, 4p.
- Anu, A.; Peter, K.V. 2000. The chemistry of paprika. Capsicum and Egg Plant Newsl. II: 11-22.
- ASTA, 1985. Official Analytical Methods for Spices, 3rd edn. American Spices Trade Association, New York.
- Bae, H.; Jayaprakasha, G.K.; Jifon, J.; Patil, B.S. 2012. Extraction efficiency and validation of an HPLC method for flavonoid analysis in peppers. Food Chemistry, 130,751–758
- Bajaj, K. L.; Kaur, G. 1986. Polyphenol oxidase activity and chemical composition of some important Indian varieties of chillies (*Capsicum annum* L.). Tropical Science, 26(2):121-128.
- Bakker, J.C.; Van Uffelen, J.A.M. 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of sweet pepper. Netherlands Journal of Agricultural Science, 36: 201-208.
- Bakan, B.; Bily, A.C.; Melcion, D.; Cahagnier, B.; Regnault-Roger, C.; Philogene, B.J.R.; Richard-Molard, D. 2003. Possible role of plant phenolics in the production of Trichothecenes by *Fusarium graminearum* strains on different fractions of maize kernels. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(9), 2826-2831

-
- Baral, J.B.; Bosland, P.W. 2002. An updated synthesis of the Capsicum genus. *Capsicum Eggplant Newsletters*, 21:11-21.
- Bartley, G.E.; Scolnik, P.A. 1995. Plant carotenoids; pigments for photoprotection, visual attraction and human health. *Plant Cell*, 7:1027–38.
- Batchelor, J. D.; Bradley, T. J. 2000. Determination of the Scoville Heat Value for hot sauces and chilies: an HPLC experiment. *Journal Chemistry Education*, 77(2):266-267.
- Baxter, R.; Halzapfel, W.H.A. 1982. Microbial investigation of selected spices, herbs, and additives in South Africa. *Journal Food Science*, 47: 570.
- Benderitter, M.; Maupoil, V.; Vergely, C.; Dalloz, F.; Briot, F.; Rochette, L. 1998. Studies by electron paramagnetic resonance of the importance of iron in the hydroxyl scavenging properties of ascorbic acid in plasma: Effects of iron chelators. *Fundamentals of Clinical Pharmacology*, 12, 510–516.
- Berke, T. G.; Shieh, S.C. 2001. Capsicum, chillies, paprika, bird's eye chilli. 111-112 in *handbook of herbs and spices* edited by K. V. Peter.
- Berke, T.G.; Black, L.L.; Morris, R.A.; Talekar, N.S; Wang, J.F. 2003. Suggested Cultural Practices for Sweet Peeper. *International Cooperators' Guide*. AVRDC pub.
- Bernal, M.A.; Calderon, A.A.; Pedreno, M.A.; Munoz, R.; Barcelo, A.R.; Merino, F.C. 1993a. Capsaicin oxidation by peroxidase from *Capsicum annuum* (var. *annuum*) fruits. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 41, 1041-1044.
- Bernal, M.A.; Calderon, A.A.; Pedreno, M.A.; Munoz, R.; Ros Barcelo, A.; Merino, de Caceres, F.1993b. Dihydrocapsaicin oxidation by capsicum annuum (var. annuum) peroxidase. *Journal Food Science*, 58, 611-613).
- Biacs, P.A.; Daood, H.G.; Pavis, A.; Hajdu, F. 1989. Studies on the carotenoid pigments of paprika (*Capsicum annuum* L. var Sz-20). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37:350–353.
- Biacs, P.; Czinkotai, B.; Hoschke, A. 1992. Factors affecting stability of colored substances in paprika powders. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 363-367.
- Biacs, P.; Daood, H.; Huszka, T. 1994. Biochemical and varietal perspective on the color loss in spice red pepper (paprika). *Hung Agriculture research*, 3, 32-37
- Bibi, N.; Khattak, A.B.; Zeb, A.; Mahmood, Z. 2007. Irradiation and packaging-Food safety aspects and shelf life extension of solar dried Garlic (*Allium sativum*) powder. *American Journal of Food Technology*, 1-9.
- Bircan, C. 2006. Determination of aflatoxin contamination in olives by immunoaffinity column using high-performance liquid chromatography. *Journal of Food Quality*, Volume 29, Issue 2, pages 126–138.
- Bosland, P.W. 1994. Chiles: History, Cultivation, and Uses. In: Charalambous, G. (Ed.), *Spices, Herbs, and Edible Fungi*. Elsevier Publications, New York, pp: 347-366.
- Bosland, P.W.; Bailey, A.L.; Cotter, D.J. 1994. Growing chiles in New Mexico. Guide H-230, New Mexico State Univ., Las Cruces.
- Bosland, P. W.; Votava, E. J. 1999. Peppers: vegetable and spice. *Capsicum crop production science in horticulture 12* CAB International Publishing, Wallingford, New York.
- Bosland, P.W.; Votava, E.J. 2000. Peppers: Vegetable and Spice Capsicums. *Crop Production Science in Horticulture 12*. CAB International Publishing, Wallingford, England, UK. 204 pp.
- Bramley, P. M. 2000. Is lycopene beneficial to human health?. *Phytochemistry*, 54, 233–236.

-
- Branen, A. 1975. Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole(BHA) and butylated hydroxyl toluene(BHT). *Journal of American Oil Chemical Society*, 52, 59-63.
- Breithaupt, D.E.; Schwack, W. 2000. Determination of free and bound carotenoids in paprika (*Capsicum annuum* L) by LC/MS. *Zeitschrift für Untersuchung der Lebensmittel*, 211 52-55.
- Browne, C.A.; Zerban, F.W. 1955. Physical and chemical methods of sugar analysis. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Buckenhüskes, H.J. 2003. Current requirements on paprika powder for food industry; Chapter 13 in *Capsicum: The genus Capsicum* Edited by Amit Krishna.
- Burda, S. ; Oleszek, W. 2001. Antioxidant and anti-radical activities of flavonoids. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 2774-2779.
- Caballero, B.; Trugo, L.C.; Finglas, P.M. 2003. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Vol. 7. 2nd. edition Academic Press, United Kingdom.
- Camara, M. M. ; Delamou, J. 2003. Rapport d'étude sur la filière petit piment dans les régions de Tougué et de Lelouma - (PEGRN/Land O'Lakes International)
- Campos, M. G.; Webby, R. F.; Markham, K. R.; Mitchell, K. A.; DaCunha, A. P. 2003. Age-induced diminution of free radical scavenging capacity in bee pollens and the contribution of constituent flavonoids.. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3): 742–745.
- CARM. 2007. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia.
- Carter, A.K. 1994. Stand establishment of chile. Guide H-238, New Mexico State Univ. Las Cruces.
- Carvajal, M. ; Gimenez, J.L. ; Riquelme, F. ; Alcaraz, C.F. 1998. Antioxidant content and colour level in different varieties of red pepper (*Capsicum annuum* L.) affected by plant-leaf Ti4+ spray and processing. *Acta Alimentaria*, 27, 365-375.
- Careaga, M.; Dorantes, F.E.; Mota, L.; Jaramillo, M. E.; Hernandez, H. 2003. Antibacterial activity of *Capsicum* extract against *Salmonella typhimurium* and *Pseudomonas aeruginosa* inoculated in raw beef meat. *International Journal of Food Microbiology*, 83:331-335.
- Casali, V.W.D.; Stringheta, P.C. 1984. Melhoramento de pimentão e pimenta para fins industriais. *Informe Agropecuário*, 113: 23-25.
- Castro-Ramos, R. 1981. The pepper composition (*Capsicum annuum* L.) and its residues utilization. *Grasas y Aceites*, 32(6):391-394.
- Chang, C.P. et al. 2010. Research on Composition of Fatty Acids in Paprika Oil. *Journal of Anhui Agricultural Science*.
- Chaine-Dogimont, C. 1993. Etude génétique de trois systèmes de résistance par hypersensibilité ou séquestration aux trois virus principaux infectant le piment (*Capsicum annuum* L.). Thèse de docteur, INA-PG. Paris, 194 p.
- Chakrabarti, J.; Roy, B.R. 2003. Adulterants, contaminants and pollutants in Capsicum products. In the genus *Capsicum* edited by Krishna De, A. (Eds.), London: Taylor and Francis Ltd.
- Chassy, A.W.; Bui, L.; Renaud, E.N.C.; VanHorn, M.; Mitchell, A.E. 2006. Three-Year Comparison of the Content of Antioxidant Microconstituents and Several Quality

-
- Characteristics in Organic and Conventionally Managed Tomatoes and Bell Peppers,”
Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54, 21, 8244-8252.
- Chaux, C. ; Foury, C. 1994. Productions Légumières. Tome 3 : Légumineuses potagères -
Légumes fruits. Coll. «AGRICULTURE D'AUJOURD'HUI: Sciences, Techniques,
Applications». Tec & Doc. Lavoisier, Paris, France, 563 p.
- Ching, L.S.; Mohamed, S. 2001. Alpha-tocopherol content in 62 edible tropical plants.
Journal of Agriculture and Food Chemistry, 49 (6): 3101-3105.
- Cichewicz, R.H.; Thorpe, P.A. 1996. The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum*
species) and their uses in Mayan medicine. Journal of Ethnopharmacy, 52:61-70.
- Collins, M.; Bosland, P. 1994. Rare and novel capsaicinoid profiles in *Capsicum*. *Capsicum*
and Eggplant Newsletters, 13:48–51.
- Collins, M.D. ; Wasmund, L.M. ; Bosland, P.W. 1995. Improved method for quantifying
capsaicinoids in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography.
Horticulture Science, 30(1):137-139.
- Commission Internationale de l’Eclairage (CIE). 1976.
- Condori, M.; Saravia, L. 2001. Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel
greenhouse drier. Renewable Energy, 22: 447-460.
- Conforti, F. ; Statti, G.A. ; Menichini, F. 2007. Chemical and biological variability of hot
pepper fruits (*Capsicum annum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. Food
Chemistry, 102(4), 1096–1104.
- Contreras-Padilla, M.; Yahia, E.M. 1998. Changes in capsaicinoids during development,
maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity.
Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46: 2075-2079.
- Cooper, T.H.; Guzinski, J.A.; Fisher, C. 1991. Improved high-performance liquid
chromatography method for the determination of major capsaicinoids in
Capsicum oleoresins. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 39 (12): 2253-2256.
- Cordell, G.A.; Araujo, O.E. 1993. Capsaicin: identification, nomenclature, and
pharmacotherapy. The Annals of Pharmacotherapy, 27(3):330-336
- Cserhádi, T.; Forgács, E.; Morais, H.; Mota, T. 2000. Classification of chili powders by
thin-layer chromatography and principal component analysis. Journal of Biochemical
and Biophysical Methods, 45:221-229.
- Cremer, D.R.; Eichner, K. 2000. Formation of volatile compounds during heating of spice
paprika (*Capsicum annum*) powder. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48,
2454–2460.
- Czeczot, H. 2000. Biological activities of flavonoids – a review. Polish Journal of Food and
Nutrition Sciences, 9/50, 4, 3-13.
- Daood, H. G.; Vinkler, M.; Markus, F.; Hebshi, E.A.; Biacs, P.A. 1996. Antioxidant vitamin
content of spiced red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors.
Food Chemistry, 55, 365–372.
- Daood, H.G.; Biacs, P.A.; Kiss-Kutz, N.; Hajdu, F.; Czinkotai, B. 1989. Lipid and antioxidant
content of red pepper. In Biological Role of Plant Lipids; Biacs, P. A., Gruiz, K.,
Kremmer, T., Eds.; Plenum: New York, pp 491-494.
- Daood, H.G.; József, K.; Péter, B.; Katalin, A. 2006. Drying temperature, endogenous
antioxidants and capsaicinoids affect carotenoid stability in paprika (red pepper spice).
Journal Science of Food Agriculture, 86: 2450-2457.

-
- De Candolle, A. 1883. L'origine des plantes cultivées, Genève.
- Deepa, N.; Kaur, C.; George, B.; Singh, B.; Kapoor, H. C. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT – Food Science and Technology*, 40, 121–129.
- De Guevara, G.L.R; Pardo-González, J.E. 1996. Evolution of color during the ripening of selected varieties of paprika pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 2049-2052.
- Deli, J.; Matus, Z.; Szabolcs, J. 1992. Carotenoid composition in the fruits of black paprika (*Capsicum annuum* variety longum nigrum) during ripening. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40, 2072-2076.
- Deli, J.; Matus, Z.; Tóth, G. 1996. Carotenoid composition in the fruits of black paprika (*Capsicum annuum* cv. Szentesi Kosszarvu during ripening. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44:711-716.
- Deli, J.; Matus, Z.; Molnar, P.; Toth, G. 2001. Separation and identification of carotenoids from different coloured paprika (*Capsicum annuum*) by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Zeitschrift fur Untersuchung der Lebensmittel*, 213 301-305.
- De Liñán, C. 2002. *Vademecum de Productos Fitosanitarios y Nutricionales*. 18^è Ed. Agrotecnicas S.L. Madrid. pp. 196-275.
- Derera, N.F.; Nag, N.; Hoxha, A. 2005. Condiment paprika research in Australia. *Journal of Business Chemistry*, 2, Issue 1, 18p.
- De Witt, D.; Bosland, P. W. 1993. *The pepper garden*. Ten Speed Press. Berkeley, California, USA. 240 p.
- Diaz, P.J.A.; Truniger, V.; Nieto, C.; Garcia-Mas, J.; Bendah-mane, A.; Aranda, M.A. 2004. Advances in understanding recessive resistance to plant viruses. *Molecular Plant Pathology*, 5, 223–233
- Dickerson, G.W. 1994. *Growing peppers in New Mexico gardens*. Guide H-240, Las Cruces.
- Dimitrios, B. 2006. Sources of natural phenolic antioxidants. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 505–512.
- Diplock, T.A.; Diplock, J.L.; Charleux, G.; Crozier-Willi, F.J.; Kok, C.; Rice-Evans, M.; Stahland, W.; Vina-Ribes, J. 1998. Functional food science and defense against reactive oxidative species. *British Journal of Nutrition*, 80: 77-112.
- Djian Caporalino, C.; Lefebvre, V.; Sage-Daubèze, A.M.; Pall, A. 2006. Chapitre 6. *Capsicum* in Genetic Ressources, Chromosomes, engeneering and crop improvement. Edited by Ram J. Singh, pages 185-244, Doi : 10.1201/9781420009569.ch6
- Dorantes, L., R. ; Colmenero, R.; Hernandez, H.; Mota, L.; Jaramillo, M.E.; Fernandez, E. Solano, C. 2000. Inhibition of growth of some foodborne pathogenic bacteria by *Capsicum annuum* extracts. *International Journal of Food Microbiology*, 57:125-128.
- Downham, A.; Collins P. 2000. Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*, 35:5-22.
- DRA : Direction Régional d’Agriculture de Béni Mellal. 2012. Rapport sur l’identification et la caractérisation des projets potentiels piliers.
- Duan, X.W.; Jiang, Y.M.; Su, X.G.; Zhang, Z.Q.; Shi, J. 2007. Antioxidant property of anthocyanins extracted from Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chemistry*, 101: 1382-1388.

-
- Dufault, R.J.; Schultheis, J.R. 1994. Bell pepper seedling growth and yield following pretransplant nutritional conditioning. *Hortscience*, 29(9): 999-1001. {a} Coastal Res. and Educ. Cent., Dep. Horticulture, Clemson Univ., 2865 Savannah Highway, Charleston, SC 29414, USA.
- Durucasu, I.; Tokusoglu, O. 2007. Effects of grilling on luteolin (3',4',5,7-tetrahydroxyflavone) content in sweet green bell pepper (*Capsicum annuum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10, 3410-3414.
- Edge, R.; McGarvey, D.J.; Truscott, T.G. 1997. The carotenoids as antioxidants - a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 41, 189-200.
- EL Faiz, M.; Seddiki, A. 1981. Les neufs périmètres agricoles irrigués. *Le Maroc agricole*, 130: 21-22.
- El Modafar, C.; Tantaoui, A.; E l Boustani, E. 2000. Effet de L'acide Caféoylshikimique des Racines du Palmier Dattier sur L'activité et la Production des Enzymes Hydrolytiques de *Fusarium oxysporum* f. sp. Albedinis. *Journal of phytopathology*, 148, 2, pages 101-108.
- Esayas, K.; Shimelis, A.; Ashebir, F.; Negussie, R.; Tilahun, B. Gulelat, D. 2011. Proximate composition, mineral content and antinutritional factors of some capsicum (*capsicum annum*) varieties grown in ethiopia. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 25(3), 451-454.
- Escalona, A.; Pire, R. 2008. Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara. *Revista de la Facultad del Agronomía*, 25:243-260.
- Eshbaugh, W.H. 1977. The taxonomy of the genus *Capsicum*-Solanaceae. In *Thirth Eucarpia Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant*, July 5-8.
- Estrada, B.; Pomar, F.; Díaz, J.; Merino, F.; Bernal, M. A. 1999. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Scientia Horticultura*, 81:385-396.
- Estrada, B.; Bernal, M.A.; Diaz, J.; Pomar, F.; Merino, F. 2002. Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* L. in relation to fruiting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 1188-1191.
- European standard ISO 12966-2 Animal and vegetable fats and oils, Gas chromatography of fatty acid methyl esters —Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids. Wien, Austria: Austrian Standards Institute, 2011.
- Falconner, D.S. 1981. *Introduction to quantitative genetics*. Edition Logman, London et New York, 340p.
- FAO/OMS. 2002. Rapport du comité de coordination programme mixte sur les normes alimentaires.
- FAOSTAT. 2006. Subject: www.fao.org.
- FAOSTAT. 2009. Available from: <http://faostat.fao.org>
- Fawell, D.J. 1998. A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry*, 62(1): 59-64.
- Fazekas, B.; Tar, A.; Kovács, M. 2005. Aflatoxin and ochratoxin a content of spices in Hungary". *Food additives and contaminants*, 22:856-863.
- Fekete, M.; Kozma, L.; Huszka, T. 1976. Determination of the total red and yellow pigment content of seasoning paprika without chromatography. *Acta Alimentaria*. 6, 119-128.
- Fernández-Trujillo, J.P.; Escarabajal, D. 2006. El proceso tradicional de elaboración del pimentón de Murcia y sus posibles innovaciones. *Grasas y Aceites*, 57, 433-442.

-
- Flannigan, B.; Hui, S.C. 1976. The occurrence of aflatoxin producing strains of *Aspergillus flavus* in the mold floras of ground spices. *Journal of Applied Bacteriology*, 41: 411
- Fujiwake, H.; Suzuki, T.; Iwai, K. 1982. Intracellular distributions of enzymes and intermediates involved in biosynthesis of capsaicin and its analogues in *Capsicum* fruits. *Agricultural and biological Chemistry*, 46, 2685-2689.
- Garcia-Closas, R.; Agudo, A.; Gonzalez, C.A.; Riboli, E. 1998. Intake of specific carotenoids and flavonoids and the risk of lung cancer in women in Barcelona, Spain, *Nutrition and Cancer*, 32: 154-158.
- García, M.I.; Lozano, M.; Montero, V.; Ayuso, M.C.; Bernalte, M.J.; Vidal-Aragón, M.C.; Pérez, M. 2007. Agronomic characteristics and carotenoid content of five Bola-type paprika red pepper cultivars, *Scientia Horticulturae*, 113, 202-207.
- Gbolade, A.A.; Omobuqajo, O.R.; Soremekun, R.O. 1997. Evaluation of the quality of Nigerian chillies for pharmaceutical formulations. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 15:545-548.
- Gerhardt, V. 1975. *Espicias y condimentos*. Zaragoza: Acribia. 150 pp.
- Gibbis, H.A.A.; O'Garro, L.W. 2004. Capsaicin content of West Indies hot pepper cultivars using colorimetric and chromatographic techniques. *Horticultural Science*, 39: 132-135.
- Gilbert, J.; Anklam, E. 2002. Validation of analytical methods for determining mycotoxins in foodstuffs. *Trends in Analytical Chemistry*, 21, 468-486.
- Gnayfeed, M. H.; Daood, H. G.; Biacs, P. A.; Alcaraz, C. F. 2001. Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (paprika) as affected by ripening and genotype. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 81, 1580-1585.
- Goldberg, N.P. 1995. Chile pepper diseases. Guide 549, New Mexico, Las Cruces.
- Gomez, R.; Pardo, J.E.; Navarro, F.; Varon, R. 1997. Methods for estimating color in paprika pepper varieties - *Capsicum annum* L. *La Rivista di Scienza dell Alimentazione*, 26, 3/4 91-96
- Gonzalez, R.; Dunkel, M.D.R.; Koletzko, B.; Schusdziarra, M.D.V.; Allescher, M.D.H.D. 1998. Effect of Capsaicin containing red pepper sauce suspension on upper gastrointestinal motility in healthy volunteers. *Digestive Diseases and Science*, 43: 1165- 1171.
- Gordon, M. H.; Roedig-Penman, A. 1998. Antioxidant activity of quercetin and myricetin in liposomes. *Chemistry and Physics of Lipids*, 97, 79-85
- Govindarajan, V.S.; Narasimhan, S.; Dhanaraj, S. 1977. Evaluation of spices and oleoresins. II. Pungency of *Capsicum* by Scoville Heat Units - A standardized procedure. *Journal Food Science and Technology*, 14(1):28-34.
- Govindarajan, V.S. 1985. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. Part I. History, botany, cultivation and primary processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 22(2):109-176.
- Govindarajan, V.S. 1986. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. Part III. Chemistry of the color, aroma and pungency stimuli. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 24(3):245-355.
- Govindarajan, V.S.; Rajalakshmi, D.; Chand, N. 1987. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. Part IV. Evaluation of quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25(3):185-282.

-
- Govindarajan, V.S.; Sathyanarayana, M.N. 1991. Capsicum production, technology, chemistry and quality. Part V. Impact on physiology, pharmacology, nutrition and metabolism; structure, pungency, pain and desensitization sequences. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29:435–473.
- Grubben, G.J.H.; Denton, O.A. 2004. *Plant Resources of Tropical Africa 2. Vegetables*. PROTA Foundation, Wageningen; Backhuys, Leiden; CTA, Wageningen.
- Guignard, J.L. 1996. *Botanique*. 10^e édition révisée. Collection « ABREGES ». Masson, Paris, 278 p
- Hakmaoui, A.; Ouatmane, A.; Fernández-Trujillo, J.P. 2011. El cultivo de la ñora y la industria del pimentón en la región de Tadra-Azilal (Marruecos). *Horticultura*, 295: 31-35.
- Halasz-Fekete, M.; Huhn, E.; Zahonyi-Racs, P. 1984. Tristimulus measurement of ground paprika colour. *International Agrophysics*, 4, 501-507.
- Halliwel, B. 1996. Antioxidants in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, 16, 39–50
- Hammer, K.A.; Carson, C.F.; Riley, T.V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6): 985-990.
- Harborne, J.B.; Williams, C.A.; 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55, 481-504
- Hari, G.S.; Rao, P.V.; Reddy, Y.N. 2005. Correlation studies in paprika (*Capsicum annum L.*) *Crop Research*, 29(3): 495-498
- Harrison, M.K.; Harris, N.D. 1985. Effects of processing treatments on recovery of capsaicin in Jalapeno peppers. *Journal of Food Science*, 50:1764-1765.
- Harrison, K.; Were, L.M. 2007. Effect of gamma radiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of almond skin extracts. *Food Chemistry*, 102, 932–937.
- Hart, D.J.; Scott, K.J. 1995. Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry*, 54: 101-111.
- Haspel-Horatovic, E.; Horickova, B. 1976. Spectrophotometric estimation of yellow and red pigments of paprika total extract. *Z. Lebensm. U. Forsch*, 160, 275-276
- Haworth, W.N.; Svent-Gyorgyi, A. 1933. Hexuronic acid (ascorbic acid) as the antiscorbutic factor. *Nature*, 131, 24.
- He, X.M., Wang, M. 1989. Correlation and path coefficient analysis for fruit characters in sweet pepper. *Eucarpia VIIth meeting on genetics and breeding of capsicum and eggplant*, Kragujevac, Yugoslavia, 27-30 June, pp. 31-35.
- Henderson, D. E. 1992. Thermal decomposition of capsaicin, 1, Interactions with oleic acid at high temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40: 2263-2268.
- Hertog, M.G.L.; Feskens, E.J.M.; Hollman, P.C.H.; Katan, M.B.; Kromhout, D. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen study, *Lancet*, 342: 1007–1011.
- Hervet-Hernández, D.; Sáyago-Ayerdi, S. G.; Goñi, I. 2010. Bioactive Compounds of Four Hot Pepper Varieties (*Capsicum annum L.*), Antioxidant Capacity, and Intestinal Bioaccessibility. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58 (6), pp 3399–3406
- Hiepler, C. 2004. Capsaicinoide in Capsicum-Früchten definierter Herkunft und ihre Stabilität bei Verarbeitung und Lagerung. These, université de Wuppertal, Allemagne.

-
- Hinds, T.S.; West, W.L., Knight, E.M. 1997. Carotenoids and retinoids: A review of research, clinical, and public health applications. *Journal Clinical Pharmacology*, 37:551–558
- Hollman, P.C.H.; Hertog, M.G.L.; Katan, M.B. 1996. Analysis and health effects of flavonoids, *Food Chemistry*, 57: 43–46.
- Hollman, P.C.; Katan, M.B. 1999. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. *Food & Chemical Toxicology*, 37, 937–942.
- Horvath, L.; Kaffka, K. 1973. Instrumental colorimetry of red-pepper grist. *Meres Autom*, 21, 341-348
- Horbowicz, M. 1989. High-performance liquid chromatography for determination of α -tocopherol in vegetables. *Acta Agrobotanica*, 42, 197-205.
- Horwitz, W. 2002. Spices and Other Condiments, Color Extractable in Spices. In Horwitz, W. (Ed.) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International (AOAC) v. II. 17th ed.*, Gaithersburg, Maryland.
- Hornero-Mendez, D.; Guevara, R.G.; Minguez-Mosquera, M.I. 2000. Carotenoid biosynthesis changes in five red pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3857–3864.
- Howard, L.R.; Smith, R.T.; Wagner, A.B.; Villalon, B.; Burn, E.E. 1994. Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annum*) and processed Jalapenos. *Journal of Food Science*, 59 (2):362–365.
- Howard, L.R.; Talcott, S.T.; Brenes, C.H.; Villalon, B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, 48, 1713–1720.
- Howard, L.R.; Wildman, R.E.C. 2007. Antioxidant vitamin and phytochemical content of fresh and processed pepper fruit (*Capsicum annum*). In: Wildman REC, editor. *Handbook of nutraceuticals and functional foods. 2*. Boca Raton: CRC Press; pp. 165–191.
- Imeh, U.; Khokhar, S. 2002. Distribution of conjugated and free phenols in fruits: Antioxidant activity and cultivar variations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:6301-6306.
- Iwai, K.; Suzuki, T.; Fujiwake, H. 1979. Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annum* var. *annuum* cv. *karayatsubusa* at different growth stages after flowering. *Agricultural and Biological Chemistry*, 43(12):2493-2498.
- Jackson, M.L. 1958. Nanadomolybdophosphoric yellow color method in nitric acid system, In *Soil Chemical Analysis*. University of Wisconsin, Madison, US.
- Jadczak, D.; Grzeszczuk, M. 2009. The estimation of yielding and biological value of some cultivars of sweet pepper grown in the climatic conditions of Western Pomeranian region of Poland. *Acta Horticultura*, 830, 369–376.
- Jarén-Galán, M.; Minguez-Mosquera, M.I. 1999. Quantitative and qualitative changes associated with heat treatments in the carotenoid content of paprika oleoresins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 4379-4383.
- Jiang, J.; Wang, Z.; Wang, D. 1985. Studies on fruit growth and accumulation of nutrients in sweet pepper, *Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis*, 11: 333–337.

-
- Jiang, L.; Kubota, K. 2004. Differences in the volatile components and their odour characteristics of green and ripe fruits and dried pericarp of Japanese pepper (*Xanthoxylum piperitum* DC.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 4197-4203.
- Jinpin, Y.; Muraleedharan, G.N.; Amitabh, C. 1994. Supercritical carbon dioxide extraction of scotch bonnet (*Capsicum annum*) and quantification of capsaicin and dihydrocapsaicin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(6):1303-1305.
- Jolicoeur, H. 2001. Les chasse-ours à base de poivre de Cayenne. Page 13. Société de la faune et des parcs du Québec ed. Direction du développement de la faune. Québec.
- Jorge, A.; Osuna, G.; Marisa, M.W.; Cynthia, A.W. 1997. Natural antioxidants for preventing color loss in stored paprika. *Journal of Food Science*, 62 (5), 1017–1021.
- Kalt, W. 2005. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 70, R11-R19.
- Kandlakunta, B.; Rajendran, A.; Thingnganing, L. 2008. Carotene content of some common cereals, pulses, vegetables, spices and condiments) and unconventional sources of plant origin. *Food Chemistry*, 106: 85-89.
- Kannan, K. ; Jawaharlal, M. ; Prabhu, M. 2009. Effect of plant growth regulators on paprika-A review. *Agricultural reviews*, 30, n°3, 229-232.
- Kanner, J.; Mendel, J.; Budowski, R. 1976. Carotene oxidising factors in red pepper fruits I. Ascorbic acid. . *Journal of Food Science*, 41, 183.
- Kanner, J.; Mendel, J.; Budowski, R. 1977. Carorene oxidising factors in red pepper fruits, Peroxidase activity. *Journal of Food Science*, 42, 154-154.
- Kanner, J.; Harel, S.; Mendel, H. 1979. Content and stability of -tocopherol in fresh and dehydrated pepper fruits (*Capsicum annum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27: 1316–1318.
- Katerji, N.; Mastroilli, M.; Hamdy, A. 1993. Effects of water stress at different growth stages on pepper yield. *Acta Horticultura*, 335.
- Kaur, C. H.; Kapoor, H. C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables. The millenniums health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703–725.
- Kevrešan, Z. S.; Hrabovski, N.C.; Kuhajda, K.N.; Dukić, N.M.; Sakač, M.B. 2009. Separation of aldehydes in essential oils from fresh and dry pepper fruits (*Capsicum Annum* L.) for ground paprika. *Food Processing, Quality and Safety*, 1-2, 29-33.
- Khattak, M.K.; Bibi, N.; Khattak, A.B.; Chaudry, M.A. 2005. Effect of irradiation on microbial safety and nutritional quality of minimally processed bitter gourd (*Momoradica charantia*). *Journal of Food Science*, 70: 255-259.
- Kim, H.K.; Park, M.H.; Shin, D.H.; Min, B.Y. 1984. Colour changes and sorption characteristics of whole red pepper with relative humidity and temperature. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 16 (4): 437-442.
- Kim, S.; Park, J.B.; Hwang, I.K. 2002. Quality attributes of various varieties of Korean red pepper powders (*Capsicum annum*L.) and color stability during sunlight exposure. . *Journal of Food Science*, 67 (8), 2957–2961.
- Kim, J.S.; Ahn, J.; Lee, S.J.; Moon, B.; Ha, T.Y.; Kim, S. 2011. Phytochemicals and Antioxidant Activity of Fruits and Leaves of Paprika (*Capsicum Annum* L., var. Special) Cultivated in Korea. *Journal of Food Science*, 76(2): 193-198.

-
- Kim, S.; Lee, K.W.; Park, J.; Lee, H.J.; Hwang, I.K. 2006. Effect of drying in antioxidant activity and changes of ascorbic acid and colour by different drying and storage in Korean red pepper (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 90-95.
- Klieber, A.; Bagnato, A. 1999. Colour stability of paprika and chilli powder. *Food Australia*, 51:592-596.
- Klieber, A. 2000. Chilli spice production in Australia. RIRDC Publication No 00/33, ISBN 0642 58063 4, 32 pp.
- Knekt, P.; Jarvinen, R.; Reunanen, A.; Maatela, J. 1996. Flavonoid intake and coronary mortality in Finland: a cohort study. *British Medical Journal*, 312: 478–481.
- Knekt, P.; Jarvinen, R.; Seppanen, R.; Heliovaara, M.; Teppo, L.; Pukkala, E.; Aromaa, A. 1997. Dietary flavonoids and the risk of lung cancer and other malignant neoplasms, *American Journal of Epidemiology*, 146: 223–230.
- Kochieva, E.Z.; Ryzhova, N.N. 2003. Molecular AFLP Analysis of the Genotypes of Pepper *Capsicum annuum* Cultivars. *Russian Journal of Genetics*, 39: 1345–1348.
- Kocsis, N.; Amtmann, M.; Mednyánszky, Z.S.; Korány, K. 2002. GC-MS Investigation of the aroma compounds of Hungarian red paprika (*Capsicum annuum*) Cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 195-203.
- Kocsis, N.; Márkus, F.; Mednyánszky, Z.S.; Amtmann, M.; Korány, K. 2003. Recognition experiments of the vintage year 1997 hot and red paprika (*Capsicum annuum*) varieties grown in Kalocsa. *Acta Alimentaria*, 32, 63-75.
- Koehlin-Ramonatxo, C. 2006. Oxygen, oxidative stress and antioxidant supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition Clinique et Métabolique*, 20, 165-177.
- Krajayklang, M.; Klieber, A.; Dry, P.R. 2000. Colour at harvest post-harvest behavior influence paprika and chilli spice quality. *Postharvest Biology and Technology*, 20:269-278.
- Krinsky, N.; Johnson, E. 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26:459-516.
- Krishna De, A. (Eds.) 2003. *Capsicum: The genus Capsicum*. London: Taylor and Francis Ltd.
- Krokida, M.K.; Maroulis, Z. B. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15, 10, p. 2441-2458.
- Kuda, T.; Iwai, A.; Yano, T. 2004. Effect of red pepper *Capsicum annuum* var. conoides and garlic *Allium sativum* on plasma lipid levels and cecal microflora in mice fed beef tallow. *Food Chemistry and Toxicology*, 42:1695-1700.
- Kumaran, A.; Joel, K.R. 2007. In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *LWT- Food Science and Technology*, 40: 344-352.
- Labrada, R. 1996. Manejo de malezas en hortalizas. In Labrada, R., Caseley, J.C., Parker, C. Manejo de malezas para países en desarrollo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 120. FAO, Roma. pp. 298-308.
- Labuza, T.P.; Tannenbaum, S.R.; Karel, M. 1970. Water Content and Stability of Low-Moisture and Intermediate-Moisture Foods. *Food Technology*, 24:543–550.
- Lanteri, S.; Acquadro, A.; Quagliotti, L.; Portis, E. 2003. RAPD and AFLP assessment of genetic variation in a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.), grown in North-West Italy. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50: 723-735.

-
- Lee, D.S.; Chung, S.K.; Yam, K.L. 1992. Carotenoid loss in dried red pepper products. *International Journal of Food Science and Technology*, 27: 179-185.
- Lee, R.D.; Schroeder, J. 1995. Weed management in chile. Guide 548, New Mexique, Las Cruces.
- Lee, Y.; Howard, L.R.; Villalon, B. 1995. Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Science*, 60, 473-476.
- Lee, Y.; Howard, L.R. 1999. Firmness and phytochemical losses in pasteurized yellow banana peppers(*Capsicum annuum*) as affected by calcium chloride and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 700–703.
- Levy, A.; Harel, S.; Palevitch, D.; Akiri, B.; Menagem, E.; Kanner, J. 1995. Carotenoid pigments and β -carotene in paprika fruits (*Capsicum Spp*) with different genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 2 362-366.
- Leuschner, R.G.; Ielsch, V. 2003. Antimicrobial effects of garlic, clove and red hot chilli on *Listeria monocytogenes* in broth model systems and soft cheese. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 54(2):127-133.
- Lillian, G.Po. 2011. Chapter 29: Chili, Peppers, and Paprika. *Handbook of vegetatble and vegetable Processing*, 581-603.
- Lomas, M.C.; Del Pueyo, J.C.; Sanz, S. 1995. El secado del pimiento en la Rioja. De la tradición a la industrialización. *Alimentaria Equipement and Tecnology*, XIV, 55-59.
- Lorenz, O.A.; Maynard, D.N. 1980. *Knott's handbook for vegetable growers*. 2nd ed., Wiley, New York.
- Madrid, R.; Navarro, F.; Collados, I.; Consuello, E.; Alarcon, A.L. 1999. Development of colour in red pepper fruits in soilless culture. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74, 2 175-180.
- Maiani, G.; Caston, M.J.P.; Catasta, G.; Toti, E.; Cambrodon, I.G.; Bysted, A.; Granado-Lorencio, F.; Olmedilla-Alonso, B.; Knuthsen, P.; Valoti, M.; Volker, B.; Mayer-Miebach, E.; Behnsilian, D.; Schlemmer, U. 2008. Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition and Food Research*, 53:1–25.
- Malchev, E.; Ioncheve, N.; Tanchev, S.; Kalpakchieva, K. 1982. Quantitative changes in carotenoids during the storage of dried red pepper powder. *Nahrung*, 26: 415–420.
- Manirakiza, P.; Covaci, A.; Schepens, P. 2003. Pungency principles in *Capsicum* analytical determinations and toxicology. in *Capsicum: The genus Capsicum* Edited by Amit Krishna.
- Maoka, T.; Mochida, K.; Kozuka, M.; Ito, Y.; Fujiwara, Y.; Hashimoto, K.; Enjo, F.; Ogata, M.; Nobukuni, Y.; Tokuda, H.; Nishino, H. 2001. Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annuum*L. *Cancer Letters*, 172:103-109.
- Marcelis, L.F.M. ; Ho, L.C. 1999. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum*L.).*Journal of Experimental Botany*, 50: 357±363.
- Marcelis, L.F.M.; Heuvelink, E.; Baan Hofman-Eijer, L.R.; Den Bakker, J.; Xue, L.B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2261-2268.

-
- Marin, A.; Ferreres, F.; Tomas-Barberan, F.A.; Gil, M.I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52:3861–3869.
- Marinova, D.; Ribarova, F.; Atanassova, M. 2005. Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *The Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3):255–260.
- Marion, J.E.; Dempsey, A.H. 1964. Fatty Acids of Pepper Seed Oil, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 41:548–549.
- Markus, F.; Daood, H.G.; Kapitany, J.; Biacs, P.A. 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 100–107.
- Mateo, J.; Aguirrezábal, M.; Domínguez, C.; Zumalacárregui, J.M. 1997. Volatile compounds in Spanish Paprika. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10, 225-232.
- Materska, M.; Perucka, I. 2005. Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53:1750–1756.
- Matta, F.B.; Cotter, D.J. 1994. Chile production in North-Central New Mexico. Guide H-225, New Mexico, Las Cruces.
- Matthäus, B.; Özcan, M.M. 2009. Chemical evaluation of some paprika (*Capsicum annuum* L.) seed oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(12), 1249 – 1254.
- Matus, Z.; Deli, J.; Szabolcs, J. 1991. Carotenoid composition of yellow pepper during ripening: isolation of cryptoxanthin 5,6-epoxide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 1907-1914.
- Maurya, K.R.; Jha, R.C.; Singh, B.K.; Chaudhary, M.L. 1984. Physico-chemical qualities of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* Linn.). *Indian Food Packer*. 38(4):37-40.
- McCall, M.R.; Frei, B. 1999. Can antioxidant vitamins materially reduce oxidative damage in humans? *Free Radical. Biology and Medicine*, 26, 1034–1053.
- McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Horticultural Science*, 27, 1254-1255.
- McKee, L.H. 1995. Microbial contamination of spices and herbs: A review. *Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie*, 28: 1-11.
- Menichini, F.; Tundis, R.; Bonesi, M.; Loizzo, M.R.; Conforti, F.; Statti, G. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. *Food Chemistry*, 114(2), 553–560.
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Garrido-Fernández, J.; Pereda-Marín, J. 1984. Ratio between the red and yellow carotenoid pigments. *Grasas y Aceites*, 35: 4-10.
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Jaren-Galan, M.; Garrido-Fernandez, J. 1992. Color quality in paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 2384-2388.
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Jaren-Galan, M.; Garrido-Fernandez, J. 1993. Effect of processing of paprika on the main carotenes and esterified xanthophylls present in the fresh fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 2120-2124.
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Hornero-Mendez, D. 1994. Comparative study of the effect of paprika processing on the carotenoids in peppers (*Capsicum annuum*) of the Bola and Agridulce varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1555-1560.

-
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Jaren-Galán, M.; Garrido-Fernández, J.; Hornero-Méndez, D. 1996. Carotenoides en el pimentón. Factores responsables de su degradación. Ed. CSIC, Madrid
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Perez-Galvez, A.; Garrido-Fernandez, J. 2000. Carotenoid content of the varieties Jaranda and Jazira (*Capsicum annuum* L.) and response during the industrial slow drying and grinding steps in paprika processing. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48: 2972-2976.
- Missante, G. 1963. Les sols du Tadla et leur repartition schématique au 1/50.000. *Al awamia*, 9, 155-190.
- Mitra, S.K.; Sadhu, M.K.; Bose, T.K. 1990. Nutrition of vegetable crops. Ed. Naya Prokash. Calcutta, India, 101 – 105.
- Modlich, G.; Weber, H. 1993. Vergleich verschiedener Verfahren zur Gewürzentkeimung - Mikrobiologische und sensorische Aspekte. *Fleischwirtschaft*, 73(3): 337-342.
- Moscione, E.A.; Baranyi, M.; Ebert, I.; Greilhuber, J.; Ehrendorfer, F.; Hunziker, A.T. 2003. Analysis of nuclear DNA content in *Capsicum*(Solanaceae) by flow cytometry and feulgen densitometry. *Annals Botanica*, 92:21-29
- Moscione, E.A.; Loidl, J.; Ehrendorfer, F.; Hunziker, A.T. 1995. Analysis of active nucleolus organizing regions in *Capsicum*(Solanaceae) by silver staining. *American Journal of Botanica*, 82:276-287.
- Mozafar, A. 1994. *Plant Vitamins: Agronomic, Physiological and Nutritional Aspects*; CRC Press: Boca Raton, FL.
- Muggeridge, M.; Foods, L.; Clay, M. 2000. Quality specifications for herbs and spices. European Spices Association in *Handbook of herbs and spices* Edited by K. V. Peter (2000).
- Munchi, A.D.; Behera, T.K.; Singh, G. 2000. Correlation and path coefficient analysis in chilli. *Indian Journal of Horticultural Research*, 11: 93-97.
- Mustapha, K.; Ghalem, S.A. 2007. Effect of heat treatment on polyphenol oxidase and peroxidase activities in Algerian stored dates. *African Journal of Biotechnology*, 6: 790-794.
- Nadeem, M.; Muhammad Anjum, F.; Rafiq Khan, M.; Saeed, M.; Riaz, R. 2011. Antioxidant Potential of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.)-A Review. *Pakistan Journal of Food Science*, Vol. 21, No. 1-4, 2011, pp. 45-51.
- Nagin, C.; Govindarajan, V.S. 1985. Paper chromatographic determination of total capsaicinoids in green chillies (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Science and Technology*, 22(4):285-287.
- Nagin, C.R.; Govindarajan, V.S. 1981. Paper chromatographic determination of total capsaicinoids in *Capsicum*s and their oleoresins with precision, reproducibility, and validation through correlation with pungency in Scoville units. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 64(2):311-317.
- Namiki, M. 1990. Antioxidants/antimutagens in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29, 273–300.
- Navarro, J.M.; Flores, P.; Garrido, C.; Martinez V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*, 96: 66-73.
- Niento-Sandoval, J.M.; Fernandez-Lopez, J.A.; Almela, L.; Munoz, J.A. 1999. Dependence between apparent color and extractable color in paprika. *Color Research & Application*,

- Nishino, H.; Murakoshi, M.; Ii, T.; Takemura, M.; Kuchide, M.; Kanazawa, M.; Mou, X.Y., Wada, S.; Masuda, M. Ohsaka, Y.; Yogosawa, S.; Satomi, Y.; Jinno, K. 2002. Carotenoids in cancer chemoprevention. *Cancer Metastasis Review*, 21: 257–264.
- Nisperos-Carriedos, M.O.; Buslig, B.S.; Shaw, P.E. 1992. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 1127-1130.
- Nosti-Vega, M.; Vázquez-Ladrón, R.; Castro-Ramos, R. 1982. Utilization possibilities of by-products from table olive industry. *Grasas y Aceites*, 33(3):135-139.
- Oboh, G.; Puntel, R.L.; Rocha, J.B.T. 2007. Hot pepper (*Capsicum annum*, Tepin and *Capsicum chinese*, Habanero) prevents Fe²⁺-induced lipid peroxidation in brain – in vitro. *Food Chemistry*, 102, 178–185.
- Odeigah, P.G.C.; Oboh, B.; Aghalokpe, I.O. 1999. The characterization of Nigerian varieties of pepper, *Capsicum annum*, and *Capsicum frutescens* by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of seed proteins. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46: 127-131.
- OECD. 2006. Consensus Document on the Biology of *Capsicum annum* Complex (Chili Peppers, Hot Peppers and Sweet Peppers). Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 36. Organisation for Economic and Cooperation and Development, Paris
- Ogbadu, G.H.; Aina, M.A.; Olarewaju, J.D. 1989. Total capsaicinoids content of some *Capsicum* species grown in Northern Nigeria. *Tropical Science*, 29(3):151-155.
- Olarewaju, J.D. 1988. Effect of night temperature on fruit set and development in sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Haryana Journal of Horticultural Sciences*, 18: 285-288.
- ORMVAT. 2010. Monographie Régionale Tadla-Azilal. <http://ormvatadla.com/site/monographie-dda/>.
- Osborne, D.; Voogt, P. 1978. Official Methods 6.2, 6.3, In *The analysis of nutrients in foods*. Academic Press Inc., London.
- Osuna-Garcia, J.A.; Wall, M.M.; Waddell, C.A. 1998. Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during fruit ripening of New Mexican-type chile (*Capsicum annum* L.), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 5093–5096.
- Ou, B.; Huang, D.; Hampschwoodwill, M.; Flanagan, T. A.; Deemer, E. K. 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity and FRAP assays: A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3122–3128.
- Oztekin, S.; Bascetincelik, A.; Soysal, Y. 1999. Crop drying programme in Turkey. *Renewable Energy*, 16: 789-794.
- Palloix, A.; Daubeze, A.M.; Pochard, E.; Pitrat, M.; Foury, C. 2004. Piments. In *Histoire de Légumes. De l'origine à l'orée du XXI^e siècle* pp. 278-290.
- Panda, R.C.; Aniel Kumar, O.; Raja Rao, K.G. 1986. The use of seed protein electrophoresis in the study of phylogenetic relationship in chilli pepper (*Capsicum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 72: 665-670.
- Papas, A.M. 1999. Vitamin E: tocopherols and tocotrienols, in *Antioxidant Status, Diet, Nutrition, and Health*, Papas, A.M., Ed., CRC Press, Boca Raton, FL.

-
- Pastor, A.; Ferreira, F.; Morais, H. 2001. Metabolitos secundarios en especies del género *Capsicum*. In: Ingrid Loayza (Org.). *Capsicum y sus derivados en Latinoamérica*. Ed. 1, La Paz, Gráfica Express Editores, v. 1, p. 79-126.
- Patthamakanokporn, O.; Puwastien, P.; Nitithamyong, A.; Sirichakwal, P. 2008. Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 241–248.
- Pellegrini, N.; Re, R.; Yang, M.; Rice-Evans, C. 1999. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2 ϕ -azinobis(3-ethylenebenzothiazoline- 6-sulfonic acid) radical cation decolorization assay. *Methods Enzymology*, 299: 379-389.
- Perez-Galvez, A.; Garrido-Fernandez, J.; Minguez-Mosquera, M.I. 1999a. Fatty acid composition of two new pepper varieties (*Capsicum annum* L. cv Jaranda and Jariza). Effect of drying process and nutritional aspects. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 205–208.
- Perez-Galvez, A.; Garrido-Fernandez, J.; Minguez-Mosquera, M.I. 1999b. Participation of pepper seed in the stability of paprika carotenoids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 1449-1454.
- Pérez-Gálvez, A.; Garrido-Fernández, J.; Mínguez-Mosquera, M.I. 2000. Effect of high-oleic sunflower seed on the carotenoid stability of ground pepper. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, 79-83.
- Perez-Galvez, A.; Minguez-Mosquera, M.I.; Garrido-Fernandez, J.; Lozano-Ruiz, M.; Montero-de-Espinosa, V. 2004a. Correlacion entre unidades ASTA-Concentracion carotenoide en pimentones Prediccion de la estabilidad del color durante el almacenamiento. *Grasas y aceites*, 55 (3), 213–218.
- Perez-Galvez, A.; Mendez, H.D.; Mosquera, M.M.I. 2004b. Changes in the carotenoid metabolism of capsicum fruits during application of modelized slow drying process for paprika production. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(3), 518–522.
- Perucka, I.; Bubicz, M. 1990. The influence of etephon applied before harvesting on vitamin C, reducing sugars, protein total of sweet pepper PCR (*Capsicum annum*L.). *Acta Agrobotanica*, 43, 5-9.
- Perucka, I.; Oleszek, W. 2000. Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annum* L. by spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 71:287-291.
- Perucka, I.; Materska, M. 2001. Phenylalanine ammonia-lyase and antioxidant activities of lipophilic fraction of fresh pepper fruits *Capsicum annum* L. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2, 189–192.
- Perucka, I.; Materska, M. 2003. Antioxidant activity and content of capsaicinoids isolated from paprika fruits. *Polish Journal in Food and Nutrition*, 12/53 (2): 15-18.
- Perucka, I.; Materska, M. 2007. Antioxidant vitamin contents of capsicum annum fruit extracts as affected by processing and varietal factors. *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 6(4), 67-74
- Peusch, M.; Mueller-Seitz, E.; Petz, M.; Müller, A.; Anklam, E. 1997. Extraction of capsaicinoids from chilies (*Capsicum frutescens*L.) and paprika (*Capsicum annum*L.) using supercritical fluids and organic solvents. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 204, 351–355.

-
- Pickersgill, B. 1969. The archaeological record of chili peppers (*Capsicum* spp.) and the sequence of plant domestication in Peru. *American Antiquity*, 34:54-61.
- Pickersgill, B. 1984. Migrations of chili peppers, *Capsicum* spp., in the Americas. Pp. 105-123 in D. Stone, ed., *Pre-Columbian Plant Migration. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology* Vol. 76. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Pitchersky, E.; Gang, D.R. 2000. Genetics and biochemistry of secondary metabolites in plants: An evolutionary perspective. *Trends Plant Science*, 5, 459-445.
- Pochard, E.; Palloix, A.; Daubeze, A.M. 1992. Le piment, dans : GALLAIS A. et BANNEROT H., éditeurs, 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection*. Ed. INRA, Paris, pp 420 – 434.
- Polowick, P.L.; Sawhney, V.K. 1985. Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annuum* L. *Scientia Horticulturae* 25, 117-127
- Pomeranz, Y.; Clifton, M.E. 1987. *Food Analysis: Theory and Practice*. Van Nostrand Reinold, New-York, USA.
- Poulos, J.M. 1993. *Capsicum* L., in J.S. Siemonsma. and K. Piluek(eds.) *Plant Resources of South-East Asia* No. 8:Vegetables, pp. 136-40, Wageningen, The Netherlands, Pudoc Scientific Publishers.
- Prosky, L.; Asp, N.G.; Schweizer, T.F.; DeVries, T.F.; Furda, I. 1992. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 75, 360-367.
- Pruthi, J. S. 1980. Spices and condiments. In E. M. Chichester & G. F. Stewart (Eds.) (pp. 13). New York: Academic Press.
- Pruthi, J.S. 2003. Chemistry and quality control of Capsicums and Capsicum products. In Krishna De, A. (Eds.), *Capsicum: The genus Capsicum*. London: Taylor and Francis Ltd.
- Pulido, R.; Bravo, L.; Saura-Calixto, F .2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3396-3402.
- Purseglove, J.W.; Brown, E.G.; Green, C.L.; Robbins, S.R.J. 1981. *Spices*. Wiley and Longman, New York.
- Purseglove, J.W. 1984. *Tropical Crops: Dicotyledons*. Ed. Longman Group Ltd, Singapore, 719 p.
- Rajput, J.C.; Parulekar, Y.R. 1998. *Capsicum*. In: SALUNKHE D. K., KADDAM S. S., 1998. *Handbook of vegetable science and technology; production, composition, storage and processing*. Marcel Dekker, Inc. New York , USA, pp 203 – 224.
- Ramesh, M.N.; Wolf, W.; Tevini, D.; Jung, G. 2001. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49:63-72.
- Ravo, A.; Baiamonte, I.; Paoletti, F. 2008. Changes in antioxidants and taste-related compounds content during cold storage of fresh-cut red sweet peppers. *European Food Research Technology*, 226, 1167-1174.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorisation assay. *Free Rad. Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Reeves, M.J. 1987. Re-evaluation of *Capsicum* color data. *Journal of Food Science*, 52:1047-1049.

-
- Reeves, M.J. 1987. Re-evaluation of Capsicum color data. *Journal of Food Science*, 52:1047-1049.
- Reinecke, R.; Tavini, D.; Wolf, W. 1995. Studies of enzymes activities during processing of paprika (*Capsicum annum. L.*)».- *9th World congress of food science and Tech. July 30-8, Budapest, Hungary.*
- Rietjens, I.M.C.M.; Boersmaa, M.G.; de Haana, L.; Spenkelinka, B.; Awad, H.M. 2002. The pro-oxidant chemistry of the natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 11: 321-333.
- Rice-Evans, C.A.; Miller, N.J.; Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids, *Free Radical. Biology and Medecine*, 20: 933-956.
- Rice-Evans, C.A.; Miller, J.; Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Science*, 2, 152-159.
- Rodriguez, J.M.; Berke Engle, L.; Nienhuis, J. 1999. Variation among and within Capsicum species revealed by RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 99: 147-156.
- Rubio, C.; Hardisson, A.; Enrique, M.R.; Baez, A.; Martin, M.; Alvarez, R. 2002. Mineral composition of the red and green pepper (*capsicum annum*) from Tenerife Island. *European Food Research and Technology*, 214: 501-504.
- Russo, V.M.; Howard, L.R. 2002. Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glass house. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 82, 614-615.
- Ruth, S.; Boscaini, E.; Mayr, D.; Pugh, J.; Posthumus, M. 2003. Evaluation of three gas chromatography and two direct mass spectrometry techniques for aroma analysis of dried red bell peppers. *International Journal of Mass Spectrometry* 223-224: 55-65.
- Rymal, K.S.; Cosper, RD.; Smith, D.A. 1984. Injection-extraction procedure for rapid determination of relative pungency in fresh jalapeño peppers. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 67(3):658-659.
- Sadasivam S.; Manickham, A. 1992. *Biochemical Methods for Agricultural sciences*. Wiely Estern Ltd., Madras.
- Salmerón, P.; Romojaro, F. 1975. Estudio sobre la obtención de oleorresina de pimentón. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 15, 560-572.
- Saltveit, M.E.1977. Carbon dioxide, ethylene, and color development in ripening mature green bell peppers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102: 523-525.
- Sanatombi, K.; Jitendra, S.G. 2006. In Vitro regeneration and mass multiplication of *Capsicum annum L.* *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 4(1): 205-208.
- Santos, L.; Marín S.; Sanchis, V.; Ramos, A.J. 2008. Capsicum and mycotoxin contamination: state of the art in a global context. *Food Science and Technology International*, 1: 5-20.
- Satyanarayana, M. 2006. Capsaicin and Gastric ulcers. *Critical Reviews in food Science and Nutrition*, 46(4): 275-328.
- Sauberlich, H.E. Pharmacology of vitamin C. 1994. *Annual Review of Nutrition*, 14, 371-391
- Schweiggert, U.; Carle, R.; Schieber, A. 2007a. Conventional and alternative processes for spice production; a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 260-268.
- Schweiggert, U.; Kurz, C.; Schieber, A.; Carle, R. 2007b. Effects of processing and storage on the stability of free and esterified carotenoids of red peppers (*Capsicum annumL.*) and

-
- hot chilli peppers (*Capsicum frutescens*L.). *European Food Research and Technology*, 225(2): 261-270.
- Schweiggert, U.; Carle, R.; Schieber, A. 2006. Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chili pods (*Capsicum frutescens* L.) by high performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, v. 557, p. 236-244.
- Schweiggert, U.; Dietmar, R.; Carle, R.; Chieber, A. 2005. Characterization of carotenoids and carotenoid esters in red pepper pods (*Capsicum annuum* L.) by high-performance liquid chromatography/atmospheric pressure. *Rapid communications in Mass Spectrometry*, 19: 2617–2628.
- Scoville, W.L. (1912). Note *Capsicum*. *Journal of the American Pharmacists Association*, 1, 453.
- Shrivastava, M.; Nagomidir, M.; Pandey, P.H.; Salokhe, V.M. 1990. Design and development of a low cost solar chilli dryer. *Proceedings of the International Agri-cultural Engineering Conference and Exhibition, Bangkok, Thailand 3-6 December* ,505-515.
- Shongwe, V.D.; Magongo, B.N.; Masarirambi, M.T.; Manyatsi, A.M. 2010. Effects of irrigation moisture regimes on yield and quality of paprika (*Capsicum annuum* L.). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(13-14):717-722.
- Sim, K.H.; Sil, H.Y. 2008. Antioxidant activities of red pepper (*Capsicum annuum*) pericarp and seed extracts. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1813-1823.
- Simal, S.; Garau, C.; Femenia, A.; Roselló, C. 2005. Drying of red pepper (*Capsicum annuum*): Water desorption and quality. *International Journal of Food Engineering*, 1(4): 1-12.
- Simmons, A.H.; Simmons, E.H.; Eitenmiller, R.R.; Mills, H.A.; Green, N.R. 1997. Ascorbic acid and provitamin A contents in some unusually colored bell peppers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10, 299-311.
- Siranidou, E.; Kang, Z.; Buchenauer, H. 2002. Studies on symptom development, phenolic compounds and morphological defence responses in wheat cultivars differing in resistance to *Fusarium* head blight. *Journal of Phytopathology*, 150, 200-208.
- Skiredj, A.; Elattir, H.; Elfadl, A. 2002. *Fiches techniques des cultures aromatiques et condimentaires*; IAV, Hassan II.
- Slassi Moutabir, D. 1987. Pour une amelioration de la productivité de la niora (*Capsicum annuum* L.). *Mémoire de Fin d'Etude. Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II*, 92p.
- Smith, L.D.S. 1963. *Clostridium perfringens*, in L.D. Slanetz, C.O. Chichester, A.R. Gaufin, and Z.J. Ordal (eds.) *Food Poisoning in Microbiological Quality of Foods*, p. 77. New York, Academic Press.
- Somos, A. 1984. *The paprika*, Budapest, Akadémiai Kiado.
- S.S.H.A. 1998. *Évaluation sensorielle, manuel méthodologique*. Lavoisier Tec & Doc, Paris.
- Stahl, W.; Sies, H. 2003. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 345-351.
- Suhaj, M. 2006. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 531–537.
- Sung Y.; Chang, Y.Y.; Ting, N. L. 2005. Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 35-42.

-
- Swaine, G.; Ironside, D.A.; Corcoran, R.J. 1991. Insect pests of fruit and vegetables. 2nd ed. Queensland Department of Primary Industries, Information Series QI91018, Brisbane; 126pp.
- Szanto-Nemeth, E. 1980. Inhibition of rancidity of fats by paprika and tomato seeds. *Acta Alimentaria*, 9, 173-187
- Tadhani, M.B.; Patel, V.H.; Subhash, R. 2007. In vitro antioxidant activities of *Stevia rebaudiana* leaves and callus. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 323-329.
- Talcott, S.T.; Howard, L.R.; Brenes, C.H. 2000. Antioxidant changes and sensory properties of carrot purée processed with and without periderm tissue. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1315--1321.
- Tepić, A.N.; Dimić, G.R.; Vujičić, B.L.; Kevrešan, Ž.S.; Varga, M.; Šumić, Z.M. 2008. Quality of commercial ground paprika and its oleoresins. *Acta Periodica Technologica*, 39, 77-83.
- Tevini, M. 1997. Qualitätsbestimmende Faktoren in der industriellen Paprikaverarbeitung. 55th Symposium, Forschungskreis der Ernährungs- industrie e.V., Detmold, 18–19 March 1997 (pp. 74 – 99). Nienburg7 Hoffmann Nienburg Druck GmbH.
- Thomas J.R.; Heilman D. 1964. Nitrogen and phosphorus content of leaf tissue in relation to sweet pepper yield. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 85:419-425.
- Thompson, L.U. 1994. Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. *Critical Review in Food Science Nutrition*, 34: 473-497.
- Tiris, C.; Tiris, M.; Dincer, I. 1995. Investigation of the thermal efficiencies of a solar drier. *Energy Conversion Manag*, 36(3): 205-212.
- Titze, K.P.; Mueller-Seitz, E.; Petz, M. 2002. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 2. Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from one plant. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5, 1264–1266.
- Todd, P.H.; Bensinger, M.G.; Biftu. T. Determination of pungency due to *Capsicum* by gas–liquid chromatography 1977. *Journal of Chromatography*, 367, p. 438-442, 1977.
- Tonin, F.B. 2005. Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino. 93 p. Dissertation (Agronomy-Horticulture) Botucatu, UNESP/FCA.
- Topuz, A.; Ozdemir, F. 2004. Influence of gamma radiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. *Food Chemistry*, 86: 509-515.
- Topuz, A.; Feng, H.; Kushad, M. 2009. The effect of drying method and storage on colour characteristics of paprika, *Food Science and Technology*, 42, 1667-1673.
- Topuz, A.; Ozdemir, F. 2007. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20:596-602.
- Trejo-González, A.; Wild-Altamirano. 1973. A new method for the determination of capsaicin in capsicum fruits. *Journal of Food Science*, 38(2):342-344.

-
- Tripathi, S.; Mishra, H.N. 2009. Nutritional changes in powdered red pepper upon in vitro infection of *Aspergillus flavus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40, 1.
- Tundis, R.; Loizzo, M.R.; Menichini, F.; Bonesi, M.; Conforti, F.; Statti, G.; De Luca, D.; de Cindio, B.; Menichini, F. 2011. Comparative study on the chemical composition, antioxidant properties and hypoglycaemic activities of two *Capsicum annum* L. cultivars (*acuminatum* small and *cerasiferum*). *Plant Food for Human Nutrition*, 66(3), 261-269.
- Tundis, R.; Loizzo, M.R.; Menichini, F.; Bonesi, M.; Conforti, F.; Luca, D.D.; Menichini F. 2012. Air-dried *capsicum annum* var. *acuminatum* medium and big: Determination of bioactive constituents, antioxidant activity and carbohydrate-hydrolyzing enzymes inhibition. *Food Research International*, 45, 170-175.
- U.S.D.A. 2009. Department of agriculture, agricultural research service. USDA Nutrient Database for Standard Reference, from the Nutrient Data Laboratory. Home Page: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search>.
- Vârban, D.I.; Duda, M.; Vârban, R.; Muntean, S. 2009. Research Concerning the Organic Technology for *Satureja Hortensis* L. Culture. *Bulletin UASVM Agriculture*, 66(2), 225- 229.
- Variyar, P.S.; Bandyopadhyay, C.; Thomas, P. 1998. Effect of g-irradiation on the phenolic acid of some indian spices. *Journal of Food Science and Technology*, 33, 533–537.
- Velioglu, Y.S.; Mazza, G.; Gao, L.; Oomah, B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4113-4117.
- Wall, M.M.; Bosland, P.W. 1993. The shelf-life of chiles and chile containing products. p. 487-500. In: G. Charalambous (ed.), *Shelf life studies of foods and beverages, chemical, biological, and nutritional aspects*. Elsevier Publishing, New York.
- Wall, M.; Bosland, P.; Waddell, C. 1994. Postharvest color analyses of dehydrated red chile, Proc. 12th Natl. Pepper Conf., Las Cruces, NM.
- Wall, M.M.; Bosland, P.W. 1998. Analytical methods for color and pungency of chiles - *Capsicums*. u: Wetzell D., G. Charalambous (ur.) *Instrumental methods in food and beverage analysis*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, str. 347-373.
- Wang, Y.; Xia, Y.; Wang, J.; Luo, F.; Huang, Y. 2009. Capsaicinoids in chili pepper (*Capsicum annum* L.) powder as affected by heating and storage methods. *American Society of Agricultural Engineers*, 52: 2007-2010.
- Weber, F.E. 1980. Controlling microorganisms in spices. *Cereal Foods World*, 25: 319.
- Weissenberg, M.; Schaeffler, I.; Menagem, E.; Barzilai, M.; Levy, A. 1997. Isocratic non-aqueous reversed-phase high-performance liquid chromatographic separation of capsanthin and capsorubin in red peppers (*Capsicum annum* L.), paprika and oleoresin. *Journal of Chromatography A*, 757(1-2): 89-95
- Wien, H.C.; Tripp, K.E.; Hernandez-Armenta, R.; Turner, A.D. 1988. Abscission of reproductive structures in pepper: causes, mechanisms and control. In: AVRDC, 1989. *Tomato and Pepper production in the Tropics; Proceedings of the International Symposium on Integrated Management Practices*. Tainan, Taiwan. 21-26 march 1988, pp 150-165.
- Wien, H.C. 1997. Peppers. In *The physiology of vegetable crops*. Edition Wien, H.C., pp. 25-293. (CAB international, New York).

-
- Williams, C.N.; Uzo, J.O.; Peregrine, W.T.H. 1991. Vegetable Production in the Tropics. «Intermediate Tropical Agriculture series». Ed. Longman Scientific & Technical Malaysia, 179 p.
- Winton, A.L.; Winton, K.B. 1939. Structure and Composition of Foods, Vol. IV, Willey Inc., New York, USA.
- Wolfe, K.; Wu, X.; Liu, R.H. 2003. Antioxidant Activity of Apple Peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 609–614.
- Yaldiz, G.; Ozguven, M.; Sekeroglu, N. 2010. Variation in capsaicin contents of different Capsicum species and lines by varying drying parameters. *Industrial Crops and Products*, 32: 434-438.
- Yazdizadeh Shotorbani, N.; Jamei, R.; Heidari, R. 2013. Antioxidant activities of two sweet pepper Capsicum annum L. varieties phenolic extracts and the effects of thermal treatment. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 3, 1, 25-34.
- Zachariah, T.J.; Gobinath, P. 2008. Paprika and Chilli. In *Chemistry of Spices* Edited by Villupanoor A. Parthasarathy, 261-286.
- Zapata, M.; Bañon, S.; Cabrera, P. 1992. El pimiento para pimentón. *Ediciones Mundiprensa*. Madrid. España. 41-42.
- Zarc, I. 2003. Subject: Les Capsicum, www.zarc.com. Accessed 10 juin, 2004.
- Zhang, D.L.; Grigor, J.M.; Quantick, P.C. 2000. Changes in Phenolic compounds in Litchi (Litchi chinensis Sonn.) fruit during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 165-172.
- Zhang, Z.Q.; Pang, X.Q.; Yang, C.; Ji, Z.L.; Jiang, Y.M. 2001. Role of Anthocyanins degradation in Litchi pericarp browning. *Food Chemistry*, 75: 217-221.
- Zhang, D., Hamauzu, Y. 2003. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. *Food Agricultural and Environnement*, 2: 22-27.
- Zhishen, J.; Mengcheng, T.; Jianming, W. 1999. Research on antioxidant activity of flavonoids from natural materials. *Food Chemistry*, 64:555-559.
- Zimmer, A.R.; Leonardi, B.; Miron, D.; Schapoval, E.; de Oliveira, J.R.; Gosmann, G. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory properties of Capsicum baccatum: from traditional use to scientific approach. *Journal of Ethnopharmacology*, 139, 228–233.
- Zimmermann, M.; Schieberle, P. 2000. Important odorants of sweet bell pepper powder (Capsicum annum cv. annum): differences between samples of Hungarian and Moroccan origin. *European Food Research and Technology*, 211, 175–180.

Annexe

FICHE D'ENQUETE DESTINEE AUX PRODUCTEURS DE LA NIORA

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Nom:

Âge:

CDA:

Commune de :

Téléphone

Niveau d'étude: **NE**

- 1 Analphabète
- 2 Ecole coranique
- 3 Primaire
- 4 Secondaire
- 5 Universitaire

1/- Appartenez-vous à une association de producteurs?

Oui **1**

Non **2**

(s'il répond oui)

1.1.- Nom de l'association:

1.2.- Année de début de l'association:

1.3.- Temps comme associé :

1.4.- Pourquoi vous êtes associés? (Les bénéfices escomptés)

.....
.....

1.5.- Êtes-vous satisfaits avec les bénéfices ou pensez que vous devriez avoir d'autres? (Précisez)

Oui

Non

lesquelles? (Dans les deux cas)

.....

2/ -

2.1/ Superficie total (Ha)	2.2/ Propriétaire (1) ou locataire (2)	2.3/ Superficie consacrée à la culture de la Niora (Ha)	Superficie en repos (Ha)

8.- Vous êtes ?

- Producteur
- Producteur et transformateurs
- Producteur, transformateur et commerçant

3/ 9.- Combien d'années pratiquez- vous la culture de la Niora ?.....ans

10 .- Comment accéder aux outils agricoles pour votre production?

- Location
 - Propriétaire
 - Appartiennent à une association
 - Autre
- (préciser)

4/ 11.- Comment vous avez financé votre production de niora de la dernière campagne (Répartition des montants de financement)

Montant total (DH/Ha)	crédit	ressources propres

5/ 12.- Utilisez-vous des pesticides pour la niora?

- Oui¹
- Non²

13.- Si non, pourquoi ?

- N'a pas les moyens
 - Ne trouve pas les produits
 - Les produits en vente ne sont pas efficaces
 - Autre
- (préciser)

14.- Si oui, de quel type

15.- A quel moment intervient le plus souvent ces traitements ?

- Semis
- Levée
- Floraison
- Fructification

16.- Quels sont les types de semences de niora utilisées?

- Semences locales
- Semences améliorées
- Semences locales et améliorées

6/ 17.- Vous produisez les plants ?

- 1- Oui
- 2- Non
- 3- Une partie produite et une autre achetée

18.- Quelles sont les quantités et les prix ?

Quantité utilisée (Kg/Ha)	Prix unitaire (DH/Kg)

--	--

19.- Où vous approvisionnez-vous en semences ou de niora ?

- Auto production
- Chez d'autres producteurs du village
- Au marché du village
- Chez les producteurs d'autres villages
- Dans un autre marché
- Dans une boutique d'intrants
- Auprès des services agricoles
- Auprès d'une société

20.- Quelles sont les contraintes que vous rencontrez dans l'approvisionnement en semences ?

- Ne trouve pas la variété voulue
 - Ne trouve pas les semences à temps (rupture de l'approvisionnement)
 - Ne trouve pas les quantités voulues
 - Ne trouve pas les semences sur place
 - N'a pas les moyens au moment des semis
 - Les coûts élevés des semences
 - Manque d'information sur les semences
 - Autre
- (préciser)

7/ 21.- Utilisez-vous des fertilisants pour la niora?

- 1. Oui
- 2. Non

22.- Si non, pourquoi ?

- Ne connaît pas l'intérêt
 - N'a pas les moyens pour acheter
 - Ne trouve pas les fertilisants
 - Autre
- (préciser)

23.- Si oui, de quel type ?

- Organique (fumier)
- Minéral (engrais)

24.- Précisez les moments d'apport par type de fertilisant :

- Fumier :

- Engrais :

25.- Quels sont les types d'engrais utilisés pour la niora, les quantités et les prix?

Type d'engrais	Qté (Qx)	Prix (DH/Qx)
N		
P		
K		

8/ 26.- Quelle a été la production de la Niora par hectare dans la dernière campagne? T/Ha

9/ 27.- Comment la vente se fait-elle ?

1.- Avant la récolte (sur pied)

* à quel prix ? DH/Ha

2- Après la récolte

à quel prix,

* la première récolteDH/kg

* la deuxième récolte..... DH/kg

* la troisième récolte DH/kg

* la quatrième récolte DH/kg

10/ Total :.....DH/Ha

28.- Qu'est-ce qui détermine les prix de vente de la niora ?

=La variété

=La qualité

=Le lieu d'écoulement

=La provenance de l'acheteur

=Autre

(préciser)

29-. Quelles sont les contraintes liées à la commercialisation de la Niora?

=Manque d'information sur les marchés (lieux, prix, etc.)

=Manque de débouchés

=Faiblesse des prix

=Difficultés de conservation

=Autre

(préciser)

30.- Durant la campagne précédente, avez-vous signé un contrat?

Oui

Non

31.- Le paiement est effectué immédiatement à l'achat?

Oui

Non

32.-Le prix reçu par rapport au prix attendu était ...

- Haut

- Bas

- le même

33.-Il avait des problèmes avec la qualité des produits

Oui

Non

Si oui lesquels ?.....

.....