

BULLETIN DES SCIENCES ET TECHNIQUES

publié par
la Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouzid

Université de Kairouan

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique, Tunisie

Numéro : 1/2015

Bulletin des Sciences et Techniques

Le Bulletin des Sciences et Techniques, publié par la **Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouزيد, Université de Kairouan, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Tunisie**, est destiné à la diffusion des résultats de la recherche scientifique.

Il couvre tous les domaines scientifiques, sans distinction entre les disciplines, à condition que le contenu obéisse aux normes exigées par la communauté scientifique internationale. Il s'intéresse en outre aux domaines techniques et particulièrement aux innovations technologiques ayant un impact direct ou indirect sur les secteurs de l'économie et/ou de l'environnement.

Ce Bulletin vise à :

-développer l'esprit de la recherche particulièrement chez les jeunes, enseignants, ingénieurs et innovateurs de la technologie.

-constituer un support de réflexion et de diffusion des résultats de la recherche dans les différents domaines.

-encourager les chercheurs à faire valoir leurs connaissances et à s'orienter vers les sujets liés au développement durable.

Périodicité de parution : ce bulletin est annuel et/ou semestriel selon la disponibilité de la matière à publier. Les articles sont publiés dans les langues : arabe, française ou en anglaise. Des numéros spéciaux peuvent être consacrés à des domaines spécifiques ou des spécialités scientifiques bien définies.

Directeur -Fondateur: Pr. Mohamed Sghaïer ZAAFOURI.

Comité Scientifique:

Pr. Limam ALOUI : Faculté des Sciences de Gafsa. Université de Gafsa.

Pr. Imed BASDOURI : Faculté des Sciences de Gafsa. Université de Gafsa.

Pr. Abdelaziz BOUAZIZI: Faculté des Sciences de Monastir. Université de Monastir.

Pr. Nourhene BOUDHRIOUA: Centre de Rech. et de Techn. de l'Energie de Sidi-Thebet.

Pr. Mohammed CHAIEB: Faculté des Sciences de Sfax. Université de Sfax.

Pr. Essebti DHAHRI: Faculté des Sciences de Sfax. Université de Sfax.

Pr. Med El Arbi EL AOUANI : C. Biotechnologie de Borj-Cedria. Univ. Tunis-Carthage.

Pr. Mahjoub EL OUNI : Faculté de Pharmacie de Monastir. Université de Monastir.

Pr. Med Mohsen GAMMOUDI: Insti. Supér. des Arts de Multimédia. Univ. Mannouba.

Pr. Samir GUERMAZI : Faculté des Sciences de Sfax. Université de Sfax.

Pr. Ahmed OMRANE : Fac. Lettres Sci. Humaines de Kairouan. Université de Kairouan.

Pr. Mohamed Sghaïer ZAAFOURI: Fac. Sci. Techn. de Sidi-Bouزيد. Univ. Kairouan

نشرية العلوم و التقنيات

نشرية العلوم والتقنيات نشرية علمية وتقنية تصرها كلية العلوم والتقنيات بسيدي بوزيد، جامعة القيروان، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي للمساهمة في نشر البحوث العلمية والتقنية والتجديد التكنولوجي للباحثين.

تغطي هذه النشرة جميع ميادين العلوم دون استثناء شرط قيمتها العلمية ومراعاتها للمقاييس المعتمدة من طرف المجموعة العلمية الدولية، كما تهتم بنشر البحوث التقنية والتجديد التكنولوجي ذا القيمة المضافة في المحافظة على المحيط والمساهمة في التنمية المستدامة. بعثت هذه النشرة لتغطية النقص الحاصل في المجالات والنشريات العلمية داخل البلاد وخاصة في منطقة الوسط الغربي وتهدف إلى :

- تنمية ملكة البحث لدى مدرسي التعليم العالي والباحثين والمهندسين ومجدي التكنولوجيا الشبان.
- جعل هذه النشرة منتدى للحوار في جميع الميادين العلمية والتقنية والتجديدي التكنولوجي.
- تشجيع الباحثين على بلورة ما يساهم في الحفاظ على البيئة وما يدفع عجلة التنمية المستدامة.
- تصدر هذه النشرة بتواتر سنوي أو نصف سنوي حسب توفر المادة العلمية وتكون المقالات باللغة العربية أو الفرنسية أو الأنكليزية ويمكن إصدار أعداد خاصة في ميدان أو إختصاص علمي أو تقني معين .

المدير- المؤسس : الأستاذ محمد الصغير زغفوري

الهيئة العلمية :

الأساتذة (حسب الحروف الأبجدية اللاتنية للقب) :

- الأمام العلوي: كلية العلوم بقفصة. جامعة قفصة.
- عماد بسدوري: كلية العلوم بقفصة. جامعة قفصة.
- عبد العزيز بوعزيزي: كلية العلوم بالمنستير. جامعة المنستير.
- نورهان بوذريوة: مركز البحوث وتكنولوجيا الطاقة بسيدي ثابت. جامعة منوبة.
- محمد الشايب: كلية العلوم بصفاقس. جامعة صفاقس.
- السبتي الظاهري: كلية العلوم بصفاقس. جامعة صفاقس.
- محمد العربي العواني: مركز البيوتكنولوجيا ببرج السدرية. جامعة تونس-قرطاج.
- محجوب العوني: كلية الصيدلة بالمنستير. جامعة المنستير.
- محمد محسن القمودي: المعهد العالي لفنون الميلميديا بمنوبة. جامعة منوبة.
- سمير القرمازي: كلية العلوم بصفاقس. جامعة صفاقس.
- أحمد عمران: كلية الآداب والعلوم الإنسانية بالقيروان. جامعة القيروان.
- محمد الصغير زغفوري: كلية العلوم والتقنيات بسيدي بوزيد. جامعة القيروان.

Avis et Recommandations aux auteurs

1. Les articles peuvent être soumis en langues : arabe, française ou en anglaise.
2. Les manuscrits doivent être rédigés en **interligne 1,5** et en **police Times New Roman de taille 12** sur **Word**, avec des **marges normaux (2,5** : haut, bas, droite et gauche) et adressés au **Directeur du Bulletin** à l'adresse électronique: **fstsibouzid@yahoo.fr** ou par courrier (papier + support numérique) à l'adresse postale : **Directeur du Bulletin des Sciences et Techniques. Faculté des Sciences et Technique de Sidi-Bouزيد. PB 380. Sidi-Bouزيد 9100 (Tunisie).**
3. Les auteurs doivent mentionner leurs institutions et leurs adresses en bas de leurs noms.
4. Les figures, les graphiques et les photos doivent être numérotés en chiffres romains successivement selon leur ordre dans le texte. Les tableaux sont aussi numérotés successivement selon leur ordre dans le texte mais en chiffres arabes.
5. Le résumé ne doit pas excéder 20 lignes et il doit comporter une version en langues : française, anglaise et arabe.
6. Les articles en arabe doivent être accompagnés obligatoirement outre le résumé en arabe d'un résumé en français et en anglais.
7. Plan de l'article : Introduction concise exposant les objectifs de la recherche - Méthodes et Matériels - Résultats et Discussion - Conclusion - Bibliographie.
8. L'article entier, rédigé selon les normes définies ci-dessus, ne doit pas dépasser les 10 pages
9. Les auteurs cités dans la bibliographie doivent être classés selon l'ordre alphabétique du nom d'auteur.
10. Après la soumission au comité scientifique, l'article pourra être accepté pour la publication, accepté sous réserve de correction ou rejeté. Une notification est adressée au premier co-auteur. Dans tous les cas, l'article ne sera remis à son auteur que pour une éventuelle correction.
11. Le premier co-auteur de l'article accepté recevra gratuitement 05 tirés-à-part.

Dans tous les cas, les articles doivent obéir aux normes connues de la publication scientifique.

Les correspondances relatives aux abonnements et aux échanges doivent être adressées au nom du Directeur du Bulletin des Sciences et Techniques aux adresses ci-dessus mentionnées.

Le contenu des articles n'engagent en aucun cas la responsabilité du Bulletin

توصيات وإرشادات للمؤلفين

1. ينشر المقال بإحدى اللغات التالية : العربية أو الفرنسية أو الأنجليزية.
2. يقدم النص المطبوع (مسافة ونصف بين السطور) في ثلاث نسخ ورقية بخط Times New Roman بكبر 12 مطبوعا على منظومة Word ويرسل مصحوبا بقرص مغنطيسي إلى السيد مدير مجلة العلوم والتقنيات كلية العلوم والتقنيات بسيدي بوزيد ص. ب. 380. سيدي بوزيد 9100- تونس. كما يمكن إرساله عن طريق البريد الإلكتروني على العنوان التالي : fstsidibouزيد@yahoo.fr.
3. يجب على المؤلفين ذكر المؤسسات المنتمين إليها وعناوينهم تحت أسمائهم.
4. الرسوم و الصور الفوتوغرافية ترتب حسب ذكرها بالنص بالأرقام الرومانية و نفس الشيء بالنسبة للجداول لكن بالأرقام العربية.
5. لا يجب أن يتجاوز الملخص عشرون {20} سطرا ويكون باللغات: الفرنسية و الأنجليزية و العربية.
6. المقالات باللغة العربية ترفق وجوبا بملخص باللغة الفرنسية و الأنجليزية.
7. يجب أن يحتوي المقال على مقدمة مختصرة تبين الهدف من البحث و على المنهجية و المعدات المستعملة و على النتائج المتحصل عنها و مناقشتها و على خلاصة و بيليوغرافيا.
8. لا يجب أن يتجاوز المقال عشر {10} صفحات على أقصى حد.
9. المؤلفون المذكورون بالمقال يرتبون بالبلويوغرافية حسب الحروف الأبجدية الاتنية أو العربية للقب المؤلف.
10. يخضع المقال إلى قراءة مسبقة قبل نشرها من طرف الهيئة العلمية التي يمكن لها الرفض أو القبول شرط الإصلاح أو القبول للنشر. يعلم المؤلف كتابيا بقرار الهيئة و لا تسترد المخطوطات.
11. يتحصل المؤلف المذكور في المقام الأول على خمس {5} نسخ مجانا من مقاله.

بصفة عامة يجب أن يخضع المقال لضوابط النشر المتفق عليها في النشريات العلمية.

المراسلات الخاصة بالنشر والإشتراك والتبادل ترسل باسم السيد مدير مجلة العلوم والتقنيات على
العناوين المذكورة أعلاه

لا تتحمل المجلة مسؤولية المعلومات و الآراء الواردة في المقالات

Table des matières

Préface	1
-مساهمة الجامعات العربية في التنمية : الواقع والمأمول . زرزار العياشي-	3
-Effect of the annealing temperature on the magnetic propertie and magneticentropy change. <i>Dhahri E.</i>	12
-Etude numérique et expérimentale de la pyrolyse de la biomasse Avec dépollutiondes produits de pyrolyse. <i>Abbassi M.A.</i>	20
-Procédès de transformation et de valorisation de la sardine. <i>Tarhouni A., Djendoubi N., Belguith K., Ben Chaouacha Chekir R, Sadok S. et Mihoubi Boudhrioua N.</i>	34
- <i>Planococcus rifitoensis</i> bio-control agent of grey-mould disease on tomato and strawberry. <i>Essghaier B., Rebib H., Dhieb C., Hajlaoui M.R., Boudabous A. and Sadfi-Zouaoui N.</i>	41
-Extraction et incorporation de l'oméga 3 dans le yaourt. <i>Hajji-Boubakri H., Maalej-Achouri. I, Lasfar K., Zddini L. et Zerguini A.</i>	49
-Caractéristiques morphologiques et activités antifongique et antiparasitaire d' <i>opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill. <i>Bargougui A., Le Pape P., Loiseau Ph.M. et Triki S.</i>	57
-Etude de l'évolution des teneurs en phénols et en flavonoïdes totaux et de l'activité anti-oxydante des feuilles de mauve (<i>malva parviflora</i>) au cours de son cycle végétatif. <i>Messaoudi I., Ksouri R., Ben chaouacha-Chekir R., et Mihoubi-Boudhrioua N.</i>	70
- <i>Citrus</i> peels phenolic compounds: molecular structure, biological activity, functional properties and different extraction methods: a review. <i>M'hiri N., Ioannou I., Ghoul M. and Mihoubi-Boudhrioua N.</i>	77
-Valeur nutritionnelle et potentiel fonctionnel de la sardine. <i>Tarhouni A., Belguith K., Djendoubi N., Ben Chaouacha-Chekir R., Sadok S. et Mihoubi-Boudhrioua N.</i>	84
-Aptitude fromagère et qualité du fromage du lait de dromadaire tunisien. <i>Salhi M. et Othmane Mohamed El-H.</i>	90
-Essai de recherche-développement d'un projet de valorisation des produits avicoles: cas des ovo-produits. <i>Koussani W., Ayadi E. et Khamassi F.</i>	101
-Commercialisation des Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) dans le sud-est tunisien : Etat actuel et perspectives de développement. <i>Gammoudi Taoufik.</i>	106

Préface

Fondé par la Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouزيد à l'initiative du Professeur Mohamed Sghaier ZAAFOURI à l'occasion du deuxième colloque « **Recherche Scientifique et Développement Durable** » organisé en avril 2014, ce **Bulletin des Sciences et Techniques**, s'inscrit dans l'enrichissement continu de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique dans les régions de l'intérieur de la Tunisie.

Le premier colloque (4 avril 2013) a été organisé uniquement par la Faculté et le deuxième (du 11 au 12 avril 2014), à l'initiative du même professeur, a été organisé en collaboration avec les établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique opérant à Sidi-Bozid à savoir, Outre la Faculté des Sciences et Techniques, l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques, le Centre Régional des Recherches Agricoles et l'Institut Supérieur des Arts et Métiers qui étaient les partenaires de ce colloque. Le Complexe Industriel et Technologique de Sidi-Bouزيد, représentant les établissements industriels et de développement, a été un collaborateur efficace et pertinent.

L'objectif essentiel de ce **Bulletin** est de créer un espace où interfèrent les idées, les volontés et les possibilités afin de générer des projets et de concrétiser des réalisations conduisant à l'évaluation des ressources et à l'optimisation de la gestion.

Il vient encourager l'expérience qui s'acquiert en introduisant le monde universitaire dans un environnement fertile mais longtemps marginalisé. Témoignant de la volonté de ceux qui s'impliquent dans ce projet, le Bulletin des Sciences et Techniques vient concourir à l'affirmation du rôle de l'université dans le développement durable.

Les acteurs dans les établissements de recherche et d'enseignement, notamment dans les régions de l'intérieur, sont appelés à assurer la vitalité et le mûrissement de ce projet en contribuant à entretenir sa rédaction et à étendre sa diffusion. Et Tous ceux qui œuvrent pour un meilleur lendemain, qu'ils soient chercheurs, techniciens, décideurs ou simples consommateurs, sont donc appelés à se rencontrer dans cet espace pour connaître et se faire connaître.

C'est à travers ce genre de manifestations qu'ils peuvent faire valoir leurs expériences dans un environnement reconnaissant, où leurs traces sont indélébiles et où les conditions de travail ne sont pas toujours favorables.

Il est évident que le projet est ambitieux mais l'euphorie est particulièrement engageante en gardant à l'esprit que l'on démarre dans un environnement qui est, par son aspect rural et virginal, source à la fois de précarité, d'inspiration et d'espoir

Ce **Bulletin** dédié à renforcer, au fil de ses numéros, une plateforme de recherche stimulante qui donne envie d'aller plus loin aussi bien aux débutants qu'aux spécialistes confirmés. Il servira spécialement à ceux qui endurent dans leurs laboratoires mais aussi à ceux qui pâtissent dans leurs applications sur un terrain ou dans une fabrique. La présentation devra, en conséquence, être exceptionnellement signe de qualité.

Les contributions présentées dans ce numéro 1/2015 sont l'œuvre des deux colloques cités au paravant. Le premier sur le thème « **Utilisation des ressources renouvelables pour un environnement sain** » et le second sur la « **Valorisation des produits agroalimentaires pour un développement durable** ».

Des efforts ont été déployés pour que ce premier numéro du **Bulletin des Sciences et Techniques** soit publié ; par ailleurs certaines imperfections seront constatées :

-erreurs d'orthographe et/ou de français qui ont pu échapper aux auteurs puis au correcteur ;

-présentation non homogène des articles (prénom des auteurs, numérotation des tableaux et figures, absence de résumé, Bibliographie, etc) ;

-choix, peut être, inadéquat de police et de taille d'écriture... ;

Et pas mal d'autres qui seront décelées par les lecteurs.

Toutes ces imperfections seront, dans les numéros suivants, prises en compte pour l'amélioration du **Bulletin** du point de vue qualité et forme des articles et présentation générale.

Enfin, nous concluons par un vif remerciement aux **Professeurs membres du comité scientifique** qui ont accepté d'y être bien que ce bulletin est inconnu, nous félicitons son initiateur et nous souhaitons une bonne chance au **Bulletin**, à ses auteurs, à ses lecteurs et à ceux qui voudront le soutenir. Que leur soit tous permis de découvrir et de se faire découvrir. Qu'il soit aussi entendu « **dis sont-ils égaux ceux qui savent et ceux qui ne savent pas, seuls les doués d'intelligence se rappellent** ».

مساهمة الجامعات العربية في التنمية : الواقع والمأمول

زرزار العياشي

كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير. جامعة 20 أوت 1955 سكيكدة، الجزائر

تمهيد

إذا كان التعليم الجامعي هو المصنع الذي يمد المجتمع بالقوى العاملة التي تمثل مواقع الخدمة والإنتاج، فإن البحث العلمي هو المصنع الذي ينتج العلم والفكر، وإذا كان التقدم العلمي لأية دولة يقاس بما توليه من أهمية للبحث العلمي، وما تبذله من جهود متميزة في استثمار ما هو متراكم من معلومات علمية وبخثية في مختلف القطاعات التنموية؛ مما حدا بالكثير من الدول المتقدمة أن توجد آليات ووسائل تمكنها من توفير الميزانيات اللازمة لتمويل البحث العلمي، وتنويع مصادره ولاسيما القطاع الخاص، ففي إسرائيل على سبيل المثال لا الحصر نجد أن معدلات التمويل الحكومي للبحث العلمي داخل الجامعات أعلى نسبة في العالم إذ بلغت (30,6%) بينما يصرف القطاع الخاص ما نسبته (52%) من الإنفاق على الأبحاث والتطوير، بينما عدد الأبحاث التي ينشرها عضو هيئة التدريس في علمنا العربي لا يتجاوز 0,3% من مجموع الأبحاث المنشورة في العالم.

لذلك فالجامعات العربية تقف في الوقت الحاضر على مفترق طرق مهمة وخطيرة في الوقت نفسه، إذ عليها أن تحدد اختيارها بين أن تتجاهل التغيرات التي تجري من حولها وتبقى على حالها، أي أن تختار طريق المحافظة على الواقع الراهن - التخلف - أو أن تتفاعل مع المغيرات والمستجدات وتعمل على تطوير نفسها وتحديث أساليبها، لما يتناسب مع تغيرات العصر السريع، فالجامعات هي نواة التطور ومصدر الإبداع والابتكار، وعليه يمكن إعتبارها البيئة الخصبة والمناسبة التي تنمو وتترعرع فيها البحوث العلمية، فالجامعة في أي مجتمع كان لا يمكن أن تؤدي دورها الكامل في التغيير الاجتماعي بدون تحقيق التفاعل بين الفرد من ناحية والبيئة الاجتماعية من ناحية أخرى، وقد إعترف الكثير من المربين بعلاقة التعليم الجامعي بالتغيير الاجتماعي، لأنه يقوي المهارات ويدركي روح الابتكار لدى الفرد، وأن التعليم الجامعي في المجتمعات النامية له أثر كبير في عملية الرقي الاجتماعي؛ لأنه يساعد على تحسين أوضاع الطبقات الفقيرة من السكان، وييسر فرص العمل للأفراد ويرفع مستوى معيشتهم.

أهمية الدراسة :

إن أهمية هذه الدراسة تزداد الحاجة إليها في ظل التحولات العالمية الجديدة، فالجامعات العربية مطالبة بمواكبة التغيرات والتحولات الحاصلة بحكم موقعها ومكانتها المؤسسية في المجتمع، وهي متعددة المصادر ومتنوعة الأبعاد، يمكن إجمالها فيما يلي:

- تزايد دور الجامعات علمياً في التنمية الاقتصادية، وتعاضم هذا الدور في الوقت الحاضر حتى أصبحت ضرورة للتقدم الاقتصادي والاجتماعي، خاصة من ناحية إنتاج المعرفة ونقلها وتطويرها التي تعد من أهم مصادر القوة التي تعول عليها الدول والمجتمعات كثيرا في تطوير إمكانياتها، إعداد ثرواتها البشرية، وإعداد مواطنين على قدر كبير من الولاء والانتماء.
- إبراز دور الجامعات العربية في إحداث برامج التغيير من أجل التنمية الاقتصادية
- إعطاء الباحث فرصة للبحث، والاطلاع على دور الجامعات العربية في التنمية الاقتصادية.

مشكلة الدراسة

تؤكد شواهد الواقع ونتائج بعض الدراسات، وكذلك خلاصة العديد من المناقشات في الندوات المختلفة حول دور الجامعات العربية في التنمية الاقتصادية على ضعف أداءها لهذا الدور، وأن هناك الكثير من العوامل تحد من وجود شراكة حقيقية وفعالة بين مؤسسات التعليم العالي والمؤسسات الإنتاجية والخدمية.

ولذا تسعى الدراسة الحالية في محاولة البحث عن إشكالية العلاقة بين الجامعات والتنمية الاقتصادية والعلاقة مع المؤسسات الإنتاجية والخدمية في البلدان العربية، وذلك بهدف الوقوف على نمط ما هو متوفر بالفعل من علاقات بين الطرفين، ورصد بعض معوقات المشاركة الفعالة بينهما، وكذلك اقتراح بعض التصورات لإمكانية التغلب على هذه المعوقات. ولتحقيق ذلك سوف نناقش ما يلي:

- ما المشكلات التي تحول دون المساهمة الفعالة للجامعات العربية في التنمية؟
- ما العلاقة بين مدخلات نظام التعليم الجامعي بالبلدان العربية ومنجزاته في التنمية؟
- كيف يمكن التغلب على هذه المعوقات بما يؤدي لزيادة فعالية علاقات التشارك بين الجامعات والمؤسسات الإنتاجية في البلدان العربية؟

فرضيات الدراسة

من أجل تحقيق أهداف البحث نسوق الفرضيات التالية:

- أن الجامعات العربية لا تهتم بالمعاهد البحثية التطبيقية،
- الجامعات العربية تعاني من تدخل السلطات المحلية في سياستها العامة،
- الجامعات العربية تفتقر إلى الاستراتيجيات المستقبلية اللازمة للتنمية الاقتصادية،

أهداف هذه الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى الأتي:

- إبراز دور الجامعات العربية في إعداد الكفاءات العلمية المتخصصة في شتى المجالات، وبخاصة التنموية منها
- التعرف على المنتج العلمي، والإمكانات البحثية، والطاقات العلمية العربية
- توضيح المعوقات التي تحول دون مشاركة الجامعات العربية في التنمية الاقتصادية.

منهجية الدراسة

تقوم منهجية الدراسة على الجانب النظري حيث تركز على بعض المراجع والكتب والأبحاث النظرية في مجال اتبع الباحث في دراسته هذه المنهج الوصفي التحليلي الذي يصف الظاهرة المدروسة وصفاً كمياً وكيفياً من خلال جمع المعلومات وتصنيفها، ومن ثم تحليلها وكشف العلاقة بين أبعادها المختلفة من أجل تفسيرها تفسيراً كافياً والوصول إلى استنتاجات عامة تسهم في فهم الحاضر وتشخيص الواقع وأسبابه.

هيكل الدراسة

- واقع البحث العلمي في الوطن العربي
- التعليم الجامعي وتحديات المستقبل
- معوقات الشراكة بين الجامعات العربية ومؤسسات التنمية الاقتصادية والاجتماعية
- دور الجامعات العربية في التطور التكنولوجي اللازم للتنمية الاقتصادية
- التحديات التي تواجه الجامعات العربية في التنمية الاقتصادية

- بعض المعطيات الإحصائية من منظور علمي مقارن،

1- واقع البحث العلمي في الوطن العربي

إن البحث العلمي في الوطن العربي لا يزال متواضعاً، في المجالين النظري والتطبيقي، ويكون في آخر سلم أولويات هذه الجامعات، فبينما تشكل الأعباء الوظيفية للبحث العلمي في الدول المتقدمة 33% من مجموع أعباء عضو هيئة التدريس، نجد أن نشاطات البحث العلمي التي يقوم بها عضو هيئة التدريس في الجامعات العربية لا تشكل في أحسن الأحوال أكثر من (5%) من مجموع أعبائه الوظيفية، إضافة إلى أن البحث العلمي في الجامعات العربية موجه، وفي أغلب الأحيان، لأغراض الترقية الأكاديمية والتثبيت، ونادراً ما يوجه إلى معالجة قضايا المجتمع ومشكلاته وهمومه، ويتم تعيين عضو هيئة التدريس للتدريس أساساً لا للبحث العلمي.

فالدول العربية لم تستطع مواكبة هذا التقدم العلمي هذا الأمر كشفته دراسة أعدتها جامعة الدول العربية حول خطة العمل العربية للعلوم والتكنولوجيا حيث أشارت إلى أن الجامعات العربية تخصص (1%) من ميزانيتها للبحث العلمي، بينما تتجاوز هذه الحصة في الولايات المتحدة 40%، وقد بلغ حجم الإنفاق على التعليم من الناتج القومي الإجمالي في الكيان الصهيوني 6.6% عام 1999 في حين بلغ في العام نفسه 5.3% في الولايات المتحدة الأمريكية، وبلغت نسبة العلماء والتقنيين في الكيان الصهيوني لكل (10) آلاف شخص في العام 2000، كما بلغت ميزانية معهد وايزمان السنوية (1.2) مليار دولار، في حين بلغت ميزانيات كل الجامعات والمعاهد الأكاديمية العليا في كل الدول العربية (800) مليون دولار فقط.

2- التعليم الجامعي وتحديات المستقبل

ستبقى الجامعات تواجه نوعين من التحديات: تحديات داخلية، وأخرى خارجية، حيث المقصود بتلك **التحديات الداخلية** هي تلك التي تواجه التطوير الذاتي للمؤسسة، وتسببها عوامل داخلية كامنة في المؤسسة ذاتها، ومثل تلك التحديات، قدرة الجامعة على الاستيعاب المتزايد السريع في إعداد الطلبة الناجم عن زيادة عدد السكان، ومن هم في سن التعليم الجامعي وقدرتها على تقديم تعليم عال يتلاءم مع متطلبات المجتمع والتنمية وقدرتها على التكيف مع المتغيرات التكنولوجية سريعة الحدوث، والتغيرات الحاصلة في طبيعة المهن والاختصاصات في سوق العمل وقدرتها على تحقيق التوازن بين متطلبات الفرد ومتطلبات المجتمع والتوازن بين الكم والكيف في العملية التعليمية وسياساتها المتبعة، وخلق التوازن بين وظائف التعليم الجامعي المتمثلة بالتدريس والبحث العلمي وخدمة المجتمع.

أما **التحديات الخارجية** فهي تلك التحديات التي تفرض على الجامعة من خارج إطارها المؤسسي وقد تكون هذه التحديات مرتبطة بالتفاعلات الداخلية للمجتمع أو بتلك التحديات التي يفرضها الواقع الدولي الذي ينتمي إليه المجتمع، وقد تتمثل تلك القضايا التي تفرض في كثير من الأحيان على الكثير من الدول وبخاصة دول العالم الثالث وهي التبعية التكنولوجية أو الفكرية والنظمية وقضايا الأمن الغذائي والأمن الصحي واكتشاف واستغلال الموارد الطبيعية والتعامل مع مختلف قضايا الانفجار المعرفي والثقافي والتكنولوجي، ومنها:

- أن الجامعات تواجه المجتمع الذي يسمى مجتمع ما بعد الصناعة، الذي يعد تجاوزاً كينافياً للثورة العلمية التكنولوجية، حيث هذا المجتمع لا يقتصر على الانتقال من هموم الإنتاج إلى تأكيد سيادة القطاع الثالث من الخدمات، بل هو تصور لوجود قطاع رابع يتجاوز قطاع الخدمات باهتمامه بالنشاطات العلمية والفنية والدينية الثقافية والرياضية الترفيهية، وقادة المجتمع الذين هم علماء وخبراء وليس سياسيين وعسكريين.

- تصاعد حدة الانتقادات الموجهة إلى الجامعة ومنها، عدم قدرة الجامعة على مواجهة المشكلات الاجتماعية كالفقر والحروب والتعصب.

- الاتجاه المتعاظم لتكامل وتداخل المناهج والتخصصات المختلفة، الذي يدعو إلى وجود نوعيات جديدة من المؤهلين تأهيلاً متكاملًا ومتعدد العناصر، لأن حل أي مشكلة من مشكلات العصر ستكون متشابكة مع علوم وأساليب وطرق معرفية أخرى.

3- معوقات الشراكة بين الجامعات العربية ومؤسسات التنمية الاقتصادية والاجتماعية

ترجع معوقات الشراكة المجتمعية، إلى قصور التعاون وعدم استثمار مخرجات التعليم في التنمية الاقتصادية والاجتماعية، إضافة إلى عدم الثقة بإمكانات الجامعات بالمساهمة في حل المشكلات التي تواجه القطاع الخاص، فبينما تساهم الشركات الصناعية بنسبة ما بين 20-30 % من مخصصات البحث العلمي في أمريكا وأوروبا لا تزيد مساهمتها في البلدان العربية عن 3 %، ويمكن أن نعزو ذلك إلى التالي:

- انشغال الجامعات بالتدريس وضعف العلاقة بينها وبين القطاع الاقتصادي،
- هناك فجوة وأزمة ثقة بين القطاع الخاص والجامعات،
- ضالة الوعي المجتمعي بأهمية البحث العلمي، والبنية التحتية في الجامعات من أهم أسباب التخلف في البحث وضعف الشراكة مع القطاع الخاص.
- ضعف الإنفاق على البحث العلمي بسبب تدني مستوى الوعي بأهميته كشرط من شروط التنمية وضعف التشريعات المستندة إلى دراسات علمية متخصصة،
- غياب إستراتيجية وطنية للبحث العلمي تنبثق عنها رؤية وطنية وسياسات عامة وأهداف وبرامج وأنشطة وأولويات وتحدد من خلالها الحقول البحثية المهمة وتكرس لها الجهود ثم ترصد لها النفقات اللازمة عبر خطة وطنية شاملة،
- ضعف التوازن والتكامل في إنتاج البحوث العلمية وذلك من خلال تركيز الجامعات على البحوث الأساسية دون البحوث النوعية التطبيقية،
- ضعف البنية التحتية للمؤسسات البحثية وافتقارها أحياناً مثل: "المختبرات والأساتذة المتمرسين والمكتبات المتطورة واليات إنتاج ونشر البحوث العلمية وشبكات المعلومات الحديثة والاشتراك في المكتبات والمجلات والدوريات والمواقع الدولية،
- ضعف الحوافز المادية للباحثين والعاملين في المؤسسات البحثية وقصور السياسات الحالية وعدم تكاملها وشموليتها، وغياب مراكز الأبحاث الصناعية والتقنية والتطبيقية،
- غياب الربط بين الدراسات العليا والقطاعات الإنتاجية والخدمية، وعدم وجود قاعدة معلومات عن الدراسات يمكن الرجوع إليها، وعدم توفر المكتبات الإلكترونية،
- ضعف عملية التسويق والإعلان عن المنتج البحثي من قبل الجامعات، وضعف التواصل والتنسيق بين قطاع الإنتاج وقطاع البحث العلمي، وعدم قناعة رجال الأعمال بالبحث الجامعي،

4- دور الجامعات العربية في التطور التكنولوجي اللازم للتنمية الاقتصادية

تتعاظم أهمية التكنولوجيا في التنمية الاقتصادية بتعاظم مؤسسات التعليم العالي، حتى غدت سمه اقتصاد القرن الحادي والعشرين، وتدخل التكنولوجيا كعنصر أساسي أكثر فأكثر في تنمية كافة قطاعات الإنتاج والخدمات، ويتجلى ذلك في زيادة نسبة الصادرات التكنولوجية من مجمل الصادرات العالمية،

فالاقتصاد العالمي يتجه أكثر من أي وقت مضى في تاريخ البشرية إلى الاقتصاد المبني على التكنولوجيا، ففي الدول المتقدمة تعتبر زيادة الإنتاج لإسهام التكنولوجيا ما بين 80/90% فيه، في حين إسهام رأس المال والأيدي العاملة ما بين 10/20%، أما الناتج الإجمالي العربي فيبلغ مع النفط 2556 مليار دولار عام 2008، وإذا استثنى البترول فان هذا الناتج يكون حوالي 580 مليار دولار، من الزراعة 80 مليار دولار والباقي من الصناعة، وبالمقارنة بالدول المستخدمة للتكنولوجيا نراه أقل من ناتج هولندا

ذات 16 مليون نسمة، والبالغ إنتاجها الإجمالي 909 مليار دولار، وهو أيضا أقل من خمس إنتاج فرنسا البالغ 2866 مليار دولار، كما أنه أقل من ناتج كوريا الجنوبية البالغ 947 مليار دولار.

ويدل هذا الانخفاض على ضعف استخدام التكنولوجيا في الوطن العربي، وللتدليل على ذلك نأخذ حالة القطاع الزراعي في الوطن العربي حيث تدل الإحصائيات على أن أكثر من 50% من العمالة العربية تعمل في هذا القطاع، إلا أن هذا القطاع لا يشكل سوى 13.8% من عائدات الدخل الإجمالي العربي بدون بتول، أي أن التكنولوجيا المستعملة في هذا القطاع تحتاج إلى إعادة نظر، واهتمام كبير في إدارة الري، ونوع البذور، ونوع السماد، ومنهجية استعماله، وأتمتة الأعمال الزراعية، إدارة الأراضي، وإعادة سياسات التسعير والتسويق والتصدير، وبالمقارنة يقدر الاقتصاديون أن أكثر من 80% من الناتج المحلي الإجمالي في الدول المتقدمة يعود إلى امتلاك التكنولوجيا، بل إن أكثر من 85% من النمو التراكمي لدخل الفرد في الولايات المتحدة الأمريكية يعود إلى التقدم التكنولوجي. أما الوطن العربي فيعود ضعف التكنولوجيا فيه إلى:

- عدم الوعي العام بأهمية التكنولوجيا في التنمية الاقتصادية.
- عدم وجود سياسات رسمية للتكنولوجيا مع آليات محدده بتنفيذها.
- ضعف في عدد العلماء والباحثين وهجرة الكثير منهم.
- ضعف الاستثمار العام والخاص في مجالات التكنولوجيا مثل التعليم الجامعي والبحث والتطوير ونشر المعلومات التكنولوجية.
- عدم اهتمام القطاع الخاص بالاستثمار في التكنولوجيا،

5- التحديات التي تواجه الجامعات العربية في التنمية الاقتصادية

منذ نهاية الخمسينات شهدت المنطقة العربية نمواً متسارعاً في أعداد الجامعات، وفي أعداد الطلبة في كل جامعة، الأمر الذي أدى إلى خلق جملة من التحديات الكبيرة التي مازالت تواجه التعليم الجامعي العربي، أهمها:

أ - حور أعداد الطلاب في الجامعات العربية: تشير الإحصاءات إلى أن عدد الطلبة في البلدان العربية وصل في العام الدراسي 2010 إلى عشرة ملايين طالب، الأمر الذي وضع الجامعات العربية أمام تحدٍ كبير لا يتناسب مع إمكانياتها في التخصصات المختلفة، أو مع أهدافها التعليمية. لأن القبول يتم وفق المعدلات التي حاز عليها الطلبة في امتحان الثانوية العامة، بالمقابل نجد أن بريطانيا تطبق لوائح القبول حسب إمكانيات جامعاتها وفق معايير مقنعة بالنسبة لها، مما يحفز المدارس الثانوية على الارتفاع المستمر بمستوى تلامذتها، علماً بان لتلك الجامعات حق وضع معايير إضافية تعتمد على اختبارات الدخول و المقابلة الشخصية وغير ذلك. وفي غياب مثل هذه الوسائل والخيارات أمام معظم الجامعات العربية، فإن الضغوط الهائلة لأعداد الطلبة على الجامعات العربية قد أثر كثيراً على نوعية تدريب الطلبة وأدائهم ومستوى تخرجهم،

ب - تركيب المناهج الجامعية: ما زال التعليم في الجامعات العربية يركز على المفهوم الأكاديمي مقلداً بذلك من دور الجامعة على الصعيد المهني، حيث إن الخيارات التطبيقية والمهنية في الجامعات العربية لا تزال تشكل 5% فقط، بينما تشكل في الدول المتقدمة إلى 50%،

ج - رغبة الطلاب بالبقاء في دول المهجر (هجرة العقول): تشير دراسات الجامعة العربية إلى أن 54% من الطلاب العرب الذين يدرسون في البلاد الأجنبية لا يعودون إلى بلدانهم، وقد أصبحت الدول العربية تساهم 31% من هجرة الكفاءات العلمية من الدول النامية إلى الدول المتقدمة، ونسبة 2% من العقول العلمية لكندا والولايات المتحدة الأمريكية، أما الدول الأوروبية فيها لا يقل 450 ألفاً من العقول العربية،

د- مراكز البحث العلمي: هناك إقرار عام في التقارير الوطنية بضعف البنى التحتية وقلة فرص البحث العلمي، إذ لا يمتلك الوطن العربي سوى 136 بحثاً لكل مليون مواطن، وهو ما يمثل عشر ما لدى إسرائيل، بينما تملك روسيا حوالي 33 ضعفاً، أما الولايات المتحدة فتمتلك 40 ضعفاً،

ه- استقلالية الجامعة: ما نسبته 64% من الجامعات العربية هي جامعات حكومية أنشئت بأموال عامة، فظلت تلك الجامعات رهينة للإنفاقات الحكومية التي أخذت تتقلص تدريجياً حتى تدهورت معه نوعية التعليم الجامعي،

6- بعض المعطيات الإحصائية من منظور عالمي مقارن

إن مخصصات البحث العلمي في الدول المتقدمة تزداد عاماً بعد آخر، إذ تتضاعف كل ثلاث سنوات تقريباً، حيث تتجاوز نسبة مخصصات البحث العلمي في بعض الدول المتقدمة 4.4% من إجمالي الناتج القومي وقد تصل حتى 6.6% في البعض الآخر، في حين أن كل الدول العربية فشلت في تحقيق نسبة 1.1% من دخلها القومي، وذلك يعود لكون الدول العربية مستهلكة للمعرفة لا منتجة لها، وهذا ما يعد خطراً حقيقياً على مستقبل هذه الدول لما ينتجه من تبعية في كل المجالات وعلى كل الأصعدة وإذا ما حاولنا قياس حجم الإنفاق العربي على البحث العلمي من خلال مقارنته ببعض الدول المتقدمة ستكون النتائج صادمة ففي حين أخذت الدول الصناعية والمتقدمة تكنولوجياً، زمام المبادرة في مجال البحث العلمي، لا بل أصبحت قناعات المؤسسات والشركات الخاصة في هذه الدول بفوائد البحث العلمي وضرورته أمراً مسلماً به، فأصبحت هي الأخرى جزءاً من دائرة البحث العلمي تتفاعل معه، وتظهر نتائج الدراسات الإحصائية بأن الإنتاجية العلمية للوطن العربي في مجال البحث العلمي متدنية جداً:

- ما ينشر سنوياً من البحوث في الوطن العربي لا يتعدى 15 ألف بحث، ولما كان عدد أعضاء هيئة التدريس نحو 55 ألفاً فإن معدل الإنتاجية هو في حدود 0.3%، إسرائيل 1.1%، ألمانيا 7.9%، اليابان 8.2%، أمريكا 30.8% "علماً بأن الحد الأدنى لمعدل الإنتاجية المطلوب من الباحثين هو 2 بحث لكل باحث في كل سنة"،

- يصل معدل الإنفاق على البحث والتطوير في المنطقة العربية إلى 1 دولار للفرد الواحد، بينما يصل في اليابان إلى 195 دولار، وإلى 230 دولار في ألمانيا، و700 دولار في أمريكا حسب إحصائيات مؤسسة العمل العربية سنة 2010، والجدول الموالي يوضح ميزانية البحث العلمي / الدخل القومي في بعض البلدان العربية سنة 2010

- نادراً أن يتجاوز النشاط البحثي الفعلي لعضو هيئة التدريس، في الجامعات العربية، بين 5-10% من مهامه الأكاديمية، بينما يمثل 35-50% من تلك المهام في الجامعات الأوروبية والأميركية.

- ووفقاً للدليل النشر العلمي (Scientific Citation index) يتدنى نصيب البلدان العربية من النشر العلمي في عام 2008 إلى أقل من سدس نصيبهم من سكان العالم، بينما يرتفع نصيب إسرائيل من النشر العلمي إلى عشرة أضعاف نصيبهم من سكان العالم.

صدر تقرير عن الجامعة العربية سنة 2009 بعنوان: "هجرة الكفاءات... نزيف أم فرص" حيث يشير التقرير إلى مايلي:

* نسبة الأطباء العرب في الاتحاد الأوروبي تمثل 18،2%

* تستقبل فرنسا 40% من العقول العربية المهاجرة، الولايات المتحدة الأمريكية 23% وكندا 10%،

* البلدان العربية تساهم بـ 31% من هجرة الكفاءات من البلدان النامية،

* خسارة البلدان العربية عن ذلك تبلغ 200 مليار دولار أمريكي،

البلد	ميزانية البحث العلمي / الدخل القومي
مصر	0,23 %
الأردن	0,34 %
المغرب	0,64 %
سوريا	0,12 %
لبنان	0,30 %
السعودية	0,50 %
الإمارات	0,60 %
الكويت	0.90 %
تونس	1.02 %
إسرائيل	4.70 % (أكبر معدل في العالم)

الجدول رقم (1): ميزانية البحث العلمي / الدخل القومي في بعض البلدان العربية سنة 2010

نسبة الإنفاق على البحث العلمي بالنسبة إلى الناتج المحلي الإجمالي لم تتعد 0.5% في الأقطار العربية كافة لعام 1992 وهي نسبة ضئيلة عند مقارنتها بمثيلاتها في السويد وفرنسا حيث بلغت 2.9 %، و 2.7% على التوالي، أما إحصائيات سنة 2004 لنفس المنظمة العالمية فتقول إن الدول العربية مجتمعة خصصت للبحث العلمي ما يعادل 1.7 مليار دولار فقط، أي ما نسبته 0.3 % من الناتج القومي، علماً أن المؤشرات الدولية للإنفاق على البحث العلمي من الناتج الداخلي الخام كما يلي:

- إذا كان معدل الإنفاق أقل من 1% من الناتج الإجمالي يكون أداء البحث العلمي ضعيف جداً،
- إذا كان معدل الإنفاق من 1-1.6% من الناتج الإجمالي يكون أداء البحث العلمي حرج،
- إذا كان معدل الإنفاق من 1.6-2 % من الناتج الإجمالي يكون أداء البحث العلمي جيد،
- إذا كان معدل الإنفاق أكثر من 1-1.6% من الناتج الإجمالي يكون أداء البحث العلمي مثالي،

الخلاصة:

لا يمكن بأي حال من الأحوال توقع نجاح جهود التنمية الاقتصادية بمعزل عن وجود نظام أكاديمي، يكون قادراً على إشراك الجامعات بخطط التنمية الاقتصادية، كذلك الموجود في الجامعات الأمريكية واليابانية، وبناء على ما سبق فقد خلصت الدراسة إلى عدد من النتائج هي:

النتائج:

يشهد التعليم العالي في الدول العربية العديد من المشاكل بعضها يتركز في التوسع الكمي للتعليم العالي، والتحاق أعداد كبيرة من الطلاب فيه، وقلة إنتاج البحث العلمي وضعف نوعيته بالإضافة إلى قلة الوعي بأهمية وتأثير البحوث العلمية، ومحدودية الجهود التعاونية الدولية وكذلك هجرة العقول.

- إن الاعتماد على تمويل مؤسسات التعليم العالي بشكل رئيسي على القطاع العام أصبح غير كاف بسبب ازدياد عدد الجامعات، وأصبح التوجه نحو تخصصات التعليم العالي أمر لا مفر منه إذ أن دعم الحكومات للجامعات الرسمية سوف يتقلص تدريجياً في الأعوام القادمة.

- ومن أجل التكيف مع المتغيرات الناتجة عن العولمة، فقد أصبح من الضروري اتخاذ إجراءات لإصلاح نظم التعليم من أجل مواكبة المعايير العالمية، فضمام الجودة وإجراءات الاعتماد لا بد منها بالنسبة للبلدان العربية من أجل رفع نوعية رأس المال البشري.

- فيما يخص البحث العلمي، فإن العالم العربي اليوم يواجه مجموعة من العقبات من ضمنها عدم التركيز في أولويات واستراتيجيات البحث العلمي، وعدم كفاية الوقت والتمويل لتحقيق أهداف البحث، وقلة الوعي لأهمية وتأثير البحوث العلمية الجيدة، وعدم كفاية الفرص المتوفرة لربط الشبكات وقواعد البيانات، ومحدودية جهود التعاون الدولي، بالإضافة إلى هجرة العقول والأدمغة العربية.

- يشير تقرير اليونسكو لعام 2005 بأن العالم العربي يساهم فقط بنسبة بين 0.1 - 0.3 % من النشر العلمي العالمي بالمقارنة مع إسرائيل بنسبة 1.1 %، واليابان بنسبة 8.2 %، والولايات المتحدة الأمريكية بنسبة 30.8 %، وهذه الأرقام تشرح نفسها بنفسها وتعمل على تعزيز الرأي القائل بأن الانخفاض الكبير في مستوى الاستثمار في البحوث في العالم العربي .

- أظهرت الدراسات أنه يتم فقدان حوالي 30% من العلماء المؤهلين حديثاً كل عام، كما أن ما يقارب 40 % من الطلاب العرب الذين يدرسون في الخارج لا يرغبون بالعودة إلى بلدانهم بعد التخرج، مما يجعل الغرب المستفيد الأول من العلماء العرب المؤهلين تأهيلاً عالياً في كل عام.

- لا يزال التعليم في الجامعات العربية يعتمد على أسلوب التلقين وغسيل الأدمغة، وليس على أسلوب تعلم كيف تفكر

How to think

التوصيات:

إزاء هذا الواقع الذي تعاني منه الجامعات العربية، ومن أجل أن تغدوا هذه الجامعات مركزاً للنهوض والتقدم والتنمية، وبالقدر الذي يجعلها مستجيبة لظروف العالم المتغير لا بد من إبراز بعض التوصيات:

- التأكيد على دور الجامعات في المجتمع، وذلك بتنفيذ وظائفها ومهامها الموكلة إليها خاصة فيما يتعلق بالبحوث العلمية وما ينجم عنها من نتائج تقودنا إلى خدمة ميادين العمل وقطاعات التنمية الشاملة.

- يجب على الجامعات تعليم الطلاب أنماط التفكير والإبداع كي يكونوا صالحين لعملية التنمية الاقتصادية.

- رسم سياسة موحدة للعلوم والتكنولوجيا وزيادة نسبة مخصصات البحوث في الميزانيات التعليمية وميزانيات الشركات والمؤسسات الصناعية.

- يمكن معالجة تحديات ومعوقات التعليم العالي والبحث العلمي من خلال زيادة الميزانيات المخصصة للتعليم العالي والبحث العلمي، وتحديد أولويات للبحوث ذات الأهمية، ووضع أهداف استراتيجية وخطط عمل قابلة للتنفيذ، وإنشاء قواعد بيانات كافية وشبكات ربط ذات قدرات عالية، بالإضافة إلى تشجيع القطاع الخاص للمساهمة والمشاركة في البحث العلمي والتعليم الجامعي.

المراجع:

1- سليمان محمد العقلي، ورقة مقدمة إلى ندوة تطوير العلاقة بين المصانع الوطنية ومراكز البحث العلمي في المملكة العربية السعودية، الدمام، نوفمبر 1998، ص: 63.

- 2- محمد عبد الهادي، العضا التكنولوجية لعبور الفجوة الرقمية، بحث مقدم إلى كلية علوم الحاسب والمعلومات، الطائف، العربية السعودية، 2006، ص: 11.
- 3- سيد فتحى الخولي، أثر الأنفاق على البحث والتطوير والصيانة والتدريب على أداء شركات القطاع الخاص في المملكة العربية السعودية، مجلة التعاون الصناعي في الخليج العربي، العدد 55، يناير 1994، ص. 09.
- 4- منظمة العمل العربية، مكتب العمل العربي، ورشة عمل حول توظيف الوظائف وتنقل الأيدي العاملة العربية، القاهرة، تشرين الثاني 2005
- 5- محمد العزاوي، متطلبات إصلاح التعليم التقني في الوطن العربي، دراسة، على الرابط
<http://www.al-moharer.net/moh218/melhes218.htm>
- 6- منظمة العمل العربية، التقرير العربي الأول، حول التشغيل والبطالة في الدول العربية، 2008
- 7- علي خليل، دوافع الشراكة للقطاع الخاص والمجتمع المدني مع التعليم التقني في السودان، مؤتمر الاتحاد العربي للتعليم التقني، عمان، 2008.
- 8- عماد أحمد البرغوثي ومحمود أحمد أبو سمرة، مشكلات البحث العلمي في العالم العربي، مجلة الجامعة الإسلامية المجلد الخامس عشر، العدد الثاني، جامعة القدس، فلسطين 2007.
- 9- المجذوب، واقع وأفاق التعليم التقني وموائمه مع سوق العمل، هيئة التعليم التقني-التعليم العالي، السودان، 2009 .
- 10- أسامة العيسى، فرص العمالة في الأسواق العربية، هيئة تنظيم سوق العمل-البحرين، 2006
11. Kotler, and P.E. Murphy; (strategic planning for Higher Education, Journal of Higher Education, 2004.
12. Indices of Technological Development, UNCTAD, Geneva, 2002
13. Schwants, Gary Don: service Quality in Higher Education and perceptions of Traditional and Non- Traditional students DAI- A57/ 11 May, 1997.

**Effect of the annealing temperature on the magnetic properties
and magnetic entropy change**

Dhahri Essebti

Laboratoire de Physique Appliquée, Faculté des Sciences de Sfax, B.P. 1171,
Sfax 3000, Tunisie

Abstract

In this paper, a new method to broaden the range of the magnetic refrigeration temperature by changing the annealing temperature was proposed. Series of $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ ($0.00 \leq x \leq 0.20$) compounds were prepared by solid-state reaction and annealed firstly at a temperature of 1473 K (S1) and then at 1073 K (S2). The magnetic measurements have shown that the annealing at low temperature (1073 K) increases the magnetization and increases the Curie temperature for 183 K (S1) to 241 K (S2) for the $x = 0.00$ sample. The magnetocaloric investigation has exposed that the decrease of the annealing temperature induces a change from a second-order magnetic phase transition to first-order one for S1 and S2 compounds, respectively. The resistivity dependence on the temperature and magnetic field data is used to deduce the magnetic entropy change. We have found that these magnetic entropy change values are similar to those calculated from the magnetic measurements. Finally, we have found an excellent estimation of the magnetic entropy change based on the Landau theory.

Also, we have found that the Relative Cooling Power (RCP) factor remains almost constant as a function of calcium-deficiency concentration (x) and the annealing temperature. Finally, we have deduced that we can use composite magnetocaloric compounds, exploiting a mixing of the same compounds annealed at two different temperatures (1473 K; S1) and (1073 K; S2), for refrigeration over the temperature range 175–264 K.

Keywords: Annealing temperature, Magnetic refrigeration, Composite magnetocaloric compounds, Landau theory

Resume

Dans cette étude, nous avons élaboré une série de matériaux de type $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ ($0,00 \leq x \leq 0,20$) par réaction à l'état solide. Les produits obtenus ont été recuits d'abord à une température de 1473 K (S1), puis à 1073 K (S2). Les mesures magnétiques ont montré que le recuit à basse température (1073 K) augmente l'aimantation et augmente la température de Curie de 183 K (S1) à 241 K (S2) pour l'échantillon $x = 0.00$. Le recuit à des températures faibles entraîne une transition de phase magnétique de second ordre à une de premier ordre respectivement pour les composés S1 et S2. Les mesures de la variation de la résistivité en fonction de la température et du champ magnétique ont été utilisées pour déduire la variation de l'entropie magnétique. Nous avons constaté que les résultats obtenus sont similaires à ceux calculés à partir des mesures magnétiques. Une excellente estimation de la variation de l'entropie magnétique a été effectuée en se basant sur la théorie de Landau.

En outre, nous avons constaté que la puissance de refroidissement relative (RCP) reste à peu près constante en fonction de la concentration en calcium (x) et de la température de recuit.

En conclusion, cette étude permet d'utiliser des composés magnéto composites, exploitant un mélange des mêmes composés recuits à deux températures différentes (1473 K; S1) et

(1073 K; S2), pour la réfrigération magnétique dans une gamme de température de 175 à 264 K.

1. Introduction

Magnetic cooling by the magnetocaloric (MC) effect has attracted much attention in the recent years since it has a lot of advantages over gas refrigeration [1–4]. The MC effect is an intrinsic property of a magnetic material. It is the response of the material to the application or removal of magnetic field, which is maximized when the material is near its magnetic ordering temperature (Curie temperature T_C). When subjected to a magnetic field, the unpaired spins are aligned parallel to the magnetic field, which decreases the entropy and causes the sample to heat up. The removal of the magnetic field results in a reduction in magnetic spin alignment, leading to an increase of the entropy and causing the material to cool down. Among the magnetic materials with potential for magnetic refrigeration, the perovskite-type rare earth manganates $\text{Ln}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ (Ln being a trivalent lanthanide and A a divalent cation) are reported in the literature as promising ones [5–9] but their Curie temperature is different from the room temperature. However, magnetic refrigeration in the room temperature range is of particular interest for potential energy savings and environmental concerns.

In this work, we present our study of magnetization and magnetic-entropy change (ΔS_M) of perovskite manganite $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\square_x\text{MnO}_3$ with a Curie temperature T_C near room temperature.

2. Sample preparation

The perovskite $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\square_x\text{MnO}_3$ samples were prepared using the solid-state reaction technique. The precursors La_2O_3 , CaCO_3 and MnO_2 of high purity (>99.9%) powders were mixed in stoichiometric proportions. The mixtures were heated in air at 1173K for 3 days to achieve decarbonation. After pulverizing again the powder was pressed into pellets forms under 4 tonnes/cm² and sintered at 1673K for 1 day in air with several periods of grinding and repelling.

Finally, these pellets were rapidly quenched to room temperature. This step was made in order to retain the structure present at the annealing temperature.

3. Results and discussion

An example of the comparison of the temperature dependence (T) of the magnetization (M), measured at applied magnetic field of 0.05 T, for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\square_x\text{MnO}_3$ (x = 0.00 and 0.10) compounds annealed at 1473 K and 1073 K is shown in Fig. 1. From this figure, we can note the presence of a magnetic transition from the ferromagnetic phase to paramagnetic one at the Curie temperature T_C , when increasing temperature. For x = 0.00 and 0.05 samples, presenting an orthorhombic structure, we have found that the annealing temperature does not affect the magnetization.

We can mention that the existence of the orthorhombic structure is accompanied by the presence of an orthorhombic distortion resulting from an ordering of the filled $eg-3d_z^2$ orbitals (orbital ordering). This distortion can localize the carriers, leading to the introduction of an important antiferromagnetic superexchange interaction, which competes with the ferromagnetic double-exchange one component. The latter considers the magnetic coupling between pairs of Mn^{3+} and Mn^{4+} ions as responsible for the ferromagnetic behavior.

For the other samples with $x \geq 0.10$, the $M(T)$ curves revealed an important increase of the magnetization for the compounds annealed at 1073 K. This enhancement can be explained by the structural modification. In fact, as noted before, the samples annealed at 1473 K have showed the presence of the Pnma orthorhombic and the R-3c rhombohedral structures.

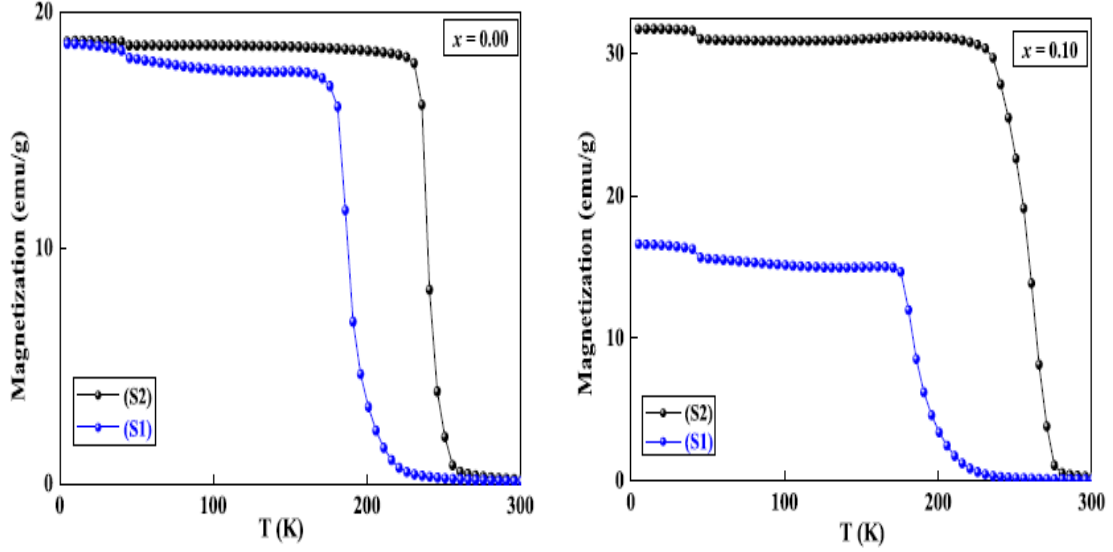


Figure I. Variation of the magnetization (M) vs. temperature (T) measured at applied magnetic field of 0.05 T, for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ ($x = 0.00$ and 0.10) compounds annealed at 1473 K (S1) and 1073 K (S2)

On the other hand, from the structural study, we have found that the decrease of the annealing temperature from 1473 K to 1073 K suppress the orthorhombic phase with the only presence of the rhombohedral one. As consequence, there is suppression of the orthorhombic distortion and reduction of the antiferromagnetic interactions, giving rise to the ferromagnetic double-exchange interactions. This can explain the increase of the magnetization for compounds annealed at 1073 K ($x \geq 0.10$).

In the perovskite crystallographic structure, the manganese Mn ions occupy the B site and are separated by oxygen ions, which mediate the Mn–Mn magnetic interactions.

In several perovskite, the overlap between B-site d orbitals and oxygen p orbitals forms the electronically active band characterized by the one-electron bandwidth W .

Here, we were interested in the most important physical property for industrial application. Such a property is the magnetocaloric effect, which is an intrinsic property of magnetic materials. It is the response of the material to the application or removal of magnetic field, which is maximized when the material is near its magnetic ordering temperature (Curie temperature T_C). So, to examine the effect of the annealing temperature on the magnetic-entropy change (ΔS_M), the temperature and field dependence of the magnetization $M(T, \mu_0 H)$ was done for all samples.

Fig. 2 shows the isothermal magnetization curves for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ ($x = 0.00$ and 0.10) compounds annealed at 1073 K (S2), measured in the magnetic field range of 0–5 T and the temperature range of 100–300 K with step of 5 K.

The $\mu_0 H/M$ versus M^2 plots for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ compounds ($x = 0.00$) (Fig. 3) reveal a change from a positive to negative slope for both S1 and S2 compounds, respectively. This means that the decrease of the annealing temperature induces a change from a second-order magnetic phase transition for S1 to first-order one for S2 compounds, according to the criterion proposed by Banerjee [10].

The magnetic-entropy change ΔS_M was deduced from the $M(T, \mu_0 H)$ curves using the following equation:

$$\Delta S_M \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) = \frac{I}{T_2 - T_1} \left[\int_0^{\mu_0 H_{max}} M(T_2, \mu_0 H) \mu_0 dH - \int_0^{\mu_0 H_{max}} M(T_1, \mu_0 H) \mu_0 dH \right]$$

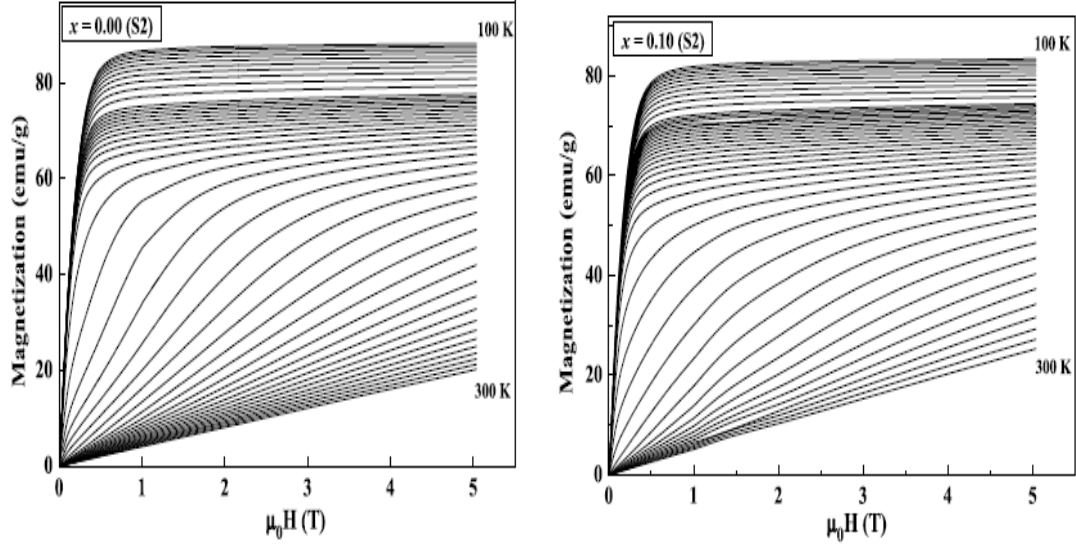


Figure II. Isothermal magnetization for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\square_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.00$ and 0.10) compounds annealed at 1073 K (S2) measured at different temperatures around T_C

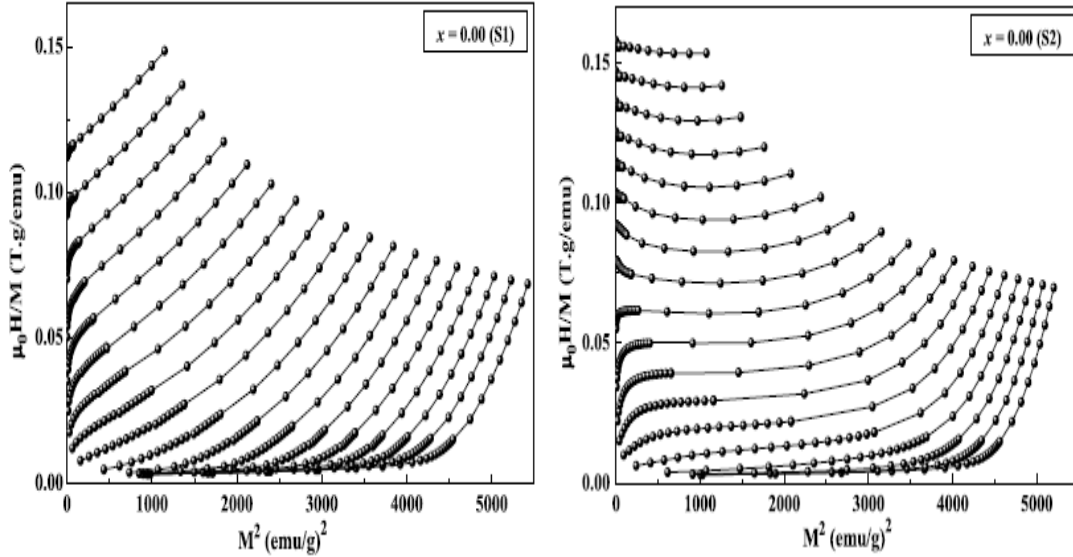


Figure III. μ_0H/M vs. M^2 curves (Arrott plots) for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ sample ($x = 0.00$) annealed at 1473 K (S1) and 1073 K (S2)

Fig. 4 shows a comparison of the temperature dependence of the magnetic-entropy change (ΔS_M) measured for an applied magnetic field of 2 T for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\square_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.00$ and 0.20) compounds annealed at 1473 K (S1) and 1073 K (S2). These curves reveal that the annealing at low temperature (1073 K) enhances the maximum of the magnetic-entropy change (ΔS_{Max}) and decreases the full width at half maximum (FWHM) for all samples. This confirms the change from a second-order to first-order magnetic phase deduced from the Arrott plots.

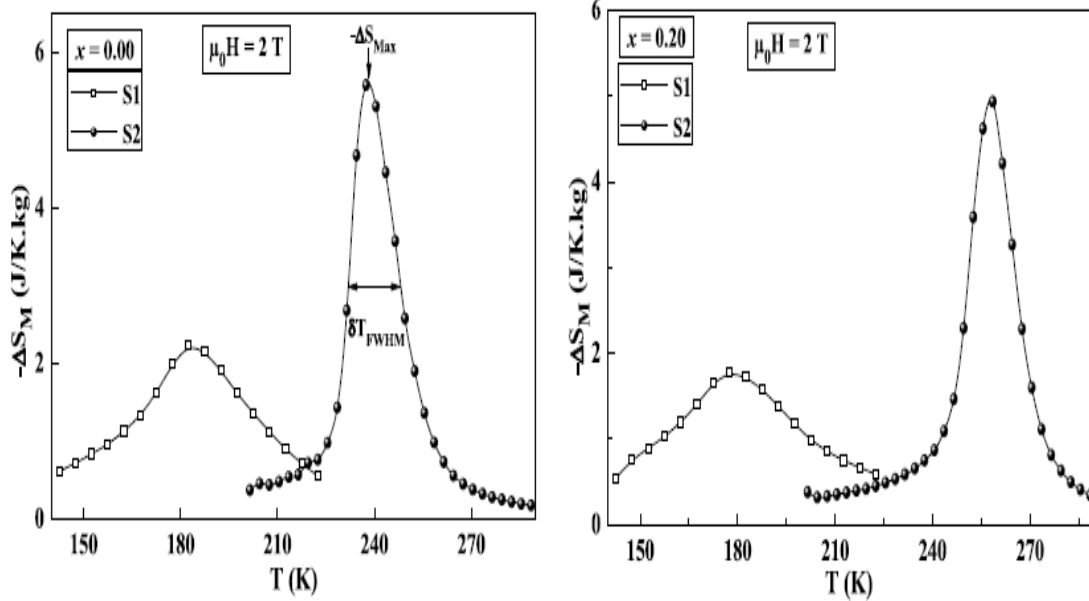


Figure IV. Temperature dependence of the magnetic-entropy change ($-\Delta S_M$) determined at 2T for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ ($x = 0.00$ and 0.20) compounds annealed at 1473 K (S1) and 1073 K (S2)

Many researchers have shown a strong correlation between electrical and magnetic properties [11–13]. In manganites, the CMR and MCE effects are usually observed near the magnetic phase transition temperature. It is obvious that there is a relationship between the change in magnetic entropy and resistivity. In this context, Xiong et al. [14] proposed a relationship between ΔS_M and ρ given by :

$$\Delta S_M = -\alpha \int_0^{\mu_0 H} \left[\frac{\partial \ln(\rho)}{\partial T} \right] d(\mu_0 H)$$

where the parameter α determines the magnetic properties of the sample. For the manganite $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ the parameter α is equal to 21.72 emu/g [14]. For our materials, we found that α is equal to 22.82 emu/g. This is determined from the fitting of ρ versus M curve around the transition temperature T_C with the equation: $\rho = \alpha \exp(-M/T)$ [14] (not shown here).

Now, from the $\rho(H,T)$ curves plotted in Fig. 5, we have estimated the magnetic entropy change (ΔS_M), for an applied magnetic field of 5 T.

Finally, we have attempted to explain the magnetic entropy change obtained from experimental data based on Landau theory of phase transitions [15]. Very often, Landau's theory of second order phase transition and mean-field approximation is used to describe the magnetic properties. The Gibb's free energy can be written as:

$$G(M, T) = G_0 + \frac{a(T)}{2} M^2 + \frac{b(T)}{4} M^4 + \frac{c(T)}{6} M^6 + \dots - \mu_0 H M$$

where $a(T)$, $b(T)$, and $c(T)$ are a temperature dependent parameters containing the information of magnetoelastic coupling and electron–electron interaction [16]. From energy minimization, the magnetic equation of state is derived within this theory,

$$\mu_0 H = a(T)M + b(T)M^3 + c(T)M^5.$$

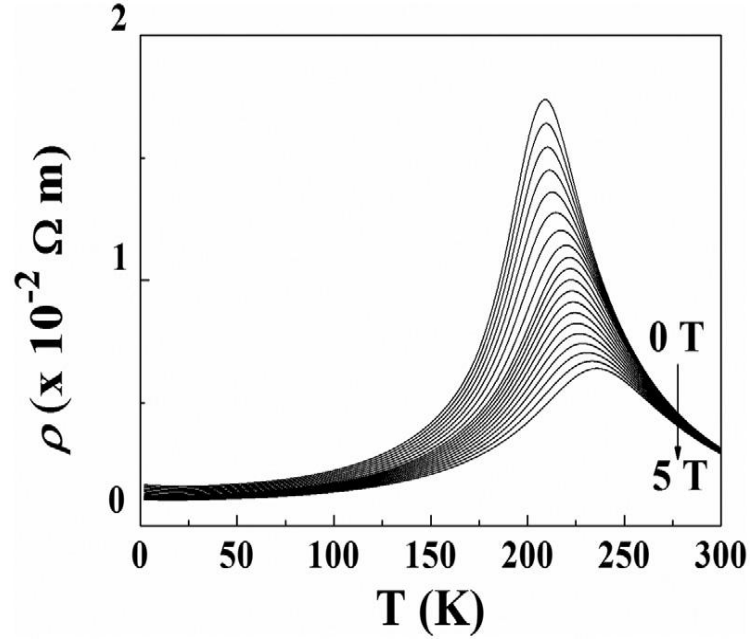


Figure V. Temperature dependence of the resistivity at different magnetic fields (0 - 5 T) for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$.

The values of the $a(T)$, $b(T)$, and $c(T)$ parameters and their dependence on temperature can be obtained from experimental isothermal magnetization measurements from polynomial fit of the magnetization (M) versus the applied magnetic field ($10H$). The magnetic entropy is obtained from differentiation of the magnetic part of the free energy with respect to temperature,

$$-S_M(T, \mu_0 H) = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{\mu_0 H} = \frac{a'(T)}{2} M^2 + \frac{b'(T)}{4} M^4 + \frac{c'(T)}{6} M^6$$

Using the $a(T)$, $b(T)$, and $c(T)$ parameters, the temperature dependence of the magnetic entropy change ($-\Delta S_M$) is calculated through previous equation. A clear correspondence is found between the experimental magnetic entropy change ($-\Delta S_M$) and the estimated one using Landau theory.

In Fig. 6, we have represented the temperature dependence of magnetic entropy change deduced from the experimental $M(T, \mu_0 H)$ curves, the calculated from electrical measurement and estimated by the Landau theory. A clear correspondence is found between the experimental magnetic entropy change ($-\Delta S_M$), the calculated from electrical measurement and the estimated one using Landau theory in the temperature range around T_C . The little difference between these curves can be explained by the effect of the Mn_3O_4 secondary phase on the electrical properties.

The cooling efficiency of magnetic refrigerants is evaluated by means of the so-called Relative Cooling Power (RCP) factor corresponding to the amount of heat transferred between the cold and hot sinks in the ideal refrigeration cycle defined as:

$$\text{RCP} = (-\Delta S_{\text{Max}}) \times \delta T_{\text{FWHM}}$$

where $(-\Delta S_M)$ is the maximum of the magnetic-entropy change and δT_{FWHM} is the full width at half maximum.

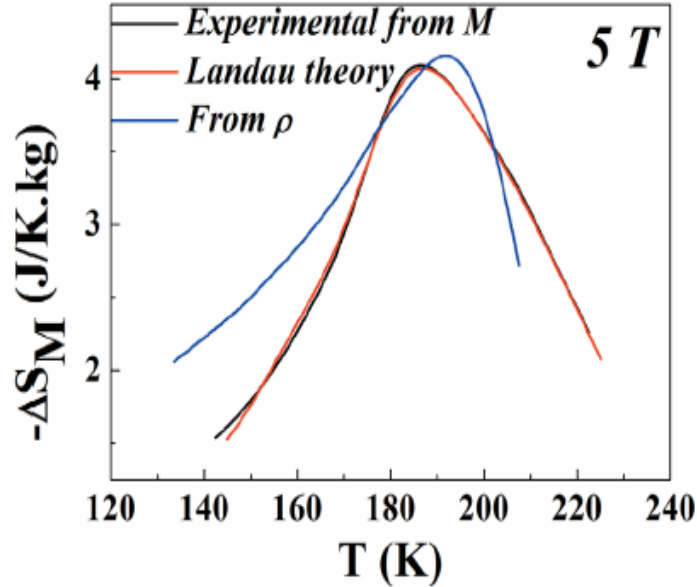


Figure VI. Temperature dependence of the magnetic-entropy change ($-\Delta S_M$) measured from magnetic, electric measurements and estimated by the Landau theory for an applied magnetic field of 5 T.

In Table 1, we have indicated the Relative Cooling Power (RCP) factor values determined for an applied magnetic field $\mu_0 H = 2$ T for S1 and S2 compounds. From this table, we can conclude that for all the calcium-deficiency concentrations (x) and for the two annealing temperatures, samples display high RCP values compared with conventional refrigerant materials [17–19] and can be considered as potential candidate for magnetic refrigeration.

RCP (J/kg) for $\mu_0 H = 2$ T		
x	S1 (1473 K)	S2 (1073 K)
0.00	112	96
0.05	97	98
0.10	103	107
0.15	102	90
0.20	97	85

Table 1. Relative Cooling Power (RCP) determined for an applied magnetic field $\mu_0 H = 2$ T for $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2-x}\text{MnO}_3$ compounds annealed at 1473 K (S1) and 1073 K (S2)

Also, we can note that the RCP factor value remains almost constant as a function of calcium-deficiency concentration (x) and annealing temperature. It is known that the magnetic refrigeration works most efficiently around the Curie temperature of the working substance.

So, a refrigerator can be made of a series of materials with similar physical and chemical properties, which can be broaden the range of the magnetic refrigeration temperature. After that, we can use the composite magnetocaloric compounds, where a series of magnetocaloric materials with comparable RCP value are combined in the aim of the formation of a composite refrigerant. This situation can be well satisfied by considering a mixing of the same

compounds annealed at two different temperatures (1473 K; S1) and (1073 K; S2) for refrigeration over the temperature range 175–264 K.

This new preparation method of composite magnetocaloric compounds presents the important advantageous based on the synthesis of only one series of compounds annealed at different temperatures. As result, we can:

- reduce the used precursor's quantity;
- be sure that all samples are prepared in the same conditions;
- broaden the range of the magnetic refrigeration temperature by changing the annealing temperature.

Acknowledgment

This work is part of the thesis under my direction of Mouadh Khelifi that I thank

References

- [1] X.X. Zhang, J. Tejada, Y. Xin, G.F. Sun, K.W. Wong, X. Bohigas, *Appl. Phys. Lett.* 69 (1996) 3596.
- [2] Y. Xu, M. Meier, P. Das, M.R. Koblishka, U. Hartmann, *Cryst. Eng.* 5 (2002) 383.
- [3] J.S. Amaral, M.S. Reis, V.S. Amaral, T.M. Mendonça, J.P. Araujo, M.A. Sa, P.B. Tavares, J.M. Vieira, *J. Magn. Magn. Mater.* 290–291 (2005) 686.
- [4] M.M. Seikh, L. Sudheendra, C.N.R. Rao, *J. Solid State Chem.* 177 (2004) 3633.
- [5] Z.M. Wang, G. Ni, Q.Y. Xu, H. Sang, Y.W. Du, *J. Appl. Phys.* 90 (2001) 5689.
- [6] S.B. Tian, M.H. Phan, S.C. Yu, N.H. Hur, *Phys. B* 327 (2003) 221.
- [7] H. Chen, C. Lin, D. Dai, *J. Magn. Magn. Mater.* 257 (2003) 2.
- [8] R. Dhahri, N. Abdelmoula, E. Dhahri, F. El Halouani, M. Hussein, *Phase Trans.* 76 (3) (2003) 219.
- [9] N. Abdelmoula, E. Dhahri, N. Fourati, L. Reversat, *J. Alloys Compd.* 365 (2004) 25.
- [10] Banerjee, S.K.: *Phys. Lett.* 12, 16 (1964)
- [11] M. F. Hundley, M. Hawley, R. H. Heffner, Q. X. Jia, J. J. Neumeier, J. Tesmer, J. D. Thompson, and X. D. Wu, *Appl. Phys. Lett.* 67, 860 (1995).
- [12] J. O'Donnell, M. Onellion, M. S. Rzchowski, J. N. Eckstein, and I. Bozovic, *Phys. Rev. B* 54, 6841 (1996).
- [13] B. Chen, C. Uher, D. T. Orelli, J. V. Mantese, A. M. Mance, and A. L. Micheli, *Phys. Rev. B* 53, 5094 (1995).
- [14] C. M. Xiong, J. R. Sun, Y. F. Chen, B. G. Shen, J. Du, and Y. X. Li, *IEEE Trans. Magn.* 41, 122 (2005).
- [15] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *Statistical Physics* (Pergamon, New York, 1958).
- [16] V. S. Amaral and J. S. Amaral, *J. Magn. Magn. Mater.* 272–276, 2104 (2004).
- [17] Phan, M.H., Yu, S.C., Hur, N.H., Yeong, Y.H.: *J. Appl. Phys.* 96, 1154 (2004)
- [18] Mira, J., Rivas, J., Hueso, L.E., Rivadulla, F., Lopez Quintela, M.A.: *J. Appl. Phys.* 91, 8903 (2002)
- [19] Xu, Q.Y., Gu, K.M., Liang, X.L., Ni, G., Wang, Z.M., Sang, H., Du, Y.W.: *J. Appl. Phys.* 90, 524 (2001)

Etude numérique et expérimentale de la pyrolyse de la biomasse avec dépollution des produits de pyrolyse

Abbassi Mohamed Ammar

Unité de Recherche Matériaux, Énergie et Énergies Renouvelables (MEER)
Faculté des Sciences de Gafsa, B.P.19, Zarroug, Gafsa, 2112, Tunisie.

Résumé

Le fonctionnement d'une installation pilote de pyrolyse du bois équipée d'une chambre de combustion des fumées de pyrolyse est régi principalement par la cinétique de la décomposition thermique du bois et de la combustion des fumées de pyrolyse ainsi que par les transferts convectifs et radiatifs qui se déroulent dans les différentes parties de l'installation.

La maîtrise du processus thermo-chimique de la pyrolyse du bois est indispensable pour la dépollution des fumées de pyrolyse et la récupération de l'énergie thermique emportée par ces fumées. Un modèle thermo-chimique est développé pour analyser la cinétique de la pyrolyse du bois et de la combustion des fumées de pyrolyse. Les équations de ce modèle sont couplées à celles qui décrivent les transferts convectifs et radiatifs dans la chambre de combustion des gaz de pyrolyse. Le craquage du goudron est modélisé par une réaction chimique globale ayant pour produits essentiellement des gaz (CH_4 , CO , H_2 et CO_2) et du goudron inerte. Les équations qui régissent les transferts par convection mixte et par rayonnement à l'intérieur du four de combustion des fumées sont résolues par la méthode des volumes finis et l'algorithme TDMA. L'adéquation entre les champs de pression et de vitesse est assurée par l'algorithme SIMPLE. Nous analysons l'influence du débit d'air sur l'évolution temporelle de la perte en masse, des températures dans l'incinérateur et l'emballement des réactions.

Nomenclature :

- C_p : Capacité calorifique molaire à pression constante ($\text{J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$)
- C_V : Capacité calorifique molaire à volume constant ($\text{J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$)
- FGS : Débit molaire du gaz (mol.s^{-1})
- Fa_1 : Débit molaire de l'air (mol.s^{-1})
- FGE : Taux de perte en mole (mol.s^{-1})
- Fa_2 : Flux molaire de l'air au niveau de la chambre de pyrolyse (mol.s^{-1})
- K : Coefficient global de transfert de chaleur ($K=hS$)(W.K^{-1})
- m_A : Masse du bois à l'instant t (Kg)
- $m_{A\infty}$: Masse du bois à la fin du procédé (Kg)
- P_0 : Pression totale (N.m^{-2})
- T_i : Température de la zone i . (K)

1. Introduction

Un des problèmes majeurs que doit affronter actuellement la population mondiale est celui de la pollution atmosphérique engendrée par l'émission des gaz provenant des installations industrielles. Cette pollution a un impact local, sur la santé de la population dans les zones urbaines, mais aussi sur la chimie de l'atmosphère. Le coût global du retraitement des déchets, les investissements nécessaires pour la santé publique et l'incertitude sur l'impact climatique sont autant d'arguments justifiant le développement d'une industrie propre. Actuellement, les

ressources énergétiques renouvelables (dont le bois) et l'énergie nucléaire peuvent être des solutions alternatives aux combustibles fossiles. Dans l'avenir, les énergies renouvelables comme vecteur énergétique deviendront bien plus importantes puisque les sources de combustibles fossiles ne sont pas inépuisables. La biomasse, est une source d'énergie qui pourrait être rentable vue qu'elle est très répandue sur toute la terre. Cependant, son exploitation, en tant que combustible engendre une grande quantité de polluants. Le bois, source d'énergie dans de nombreuses régions du monde, est utilisé par les méthodes classiques et contribue à la pollution atmosphérique. En effet, la carbonisation traditionnelle mène dans la plupart des cas à des taux de conversion, en charbon du bois, faibles et à des dégagements de goudrons et de gaz polluants. Pour pallier ces problèmes et assurer une meilleure maîtrise de l'énergie, de nouvelles technologies ont été élaborées afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour assurer des méthodes de production plus propres contribuant ainsi à une meilleure gestion des ressources forestières. Afin de mener une politique efficace de gestion de la pollution atmosphérique, différents projets visent à éliminer, lors de la carbonisation du bois, les rejets gazeux qui sont classés dangereux pour la santé.

En Tunisie, le bois est la principale biomasse source d'énergie avec 2.65 millions de tonnes en 1997. Les déchets végétaux et les déchets animaux sont évalués respectivement à (339.000 tonnes) et (120.000 tonnes) [1]. Le bois de chauffage représente 72% de la demande en bois primaire tan disque 28% sont consacrés à la production du charbon de bois. Le charbon de bois est un matériau très énergétique ayant une grande importance en Tunisie (148000 tonnes en 1997). La consommation domestique du charbon de bois a atteint 138.000 tonnes en 1997 ce qui représente 94% de la consommation nationale de charbon et 17% dans le bilan énergétique de la Tunisie. Malheureusement la production du charbon de bois en Tunisie est actuellement faite par des méthodes traditionnelles. De telles méthodes utilisées produisent une pollution atmosphérique très significative avec une faible efficacité de conversion de bois en charbon de bois. La conséquence est dramatique sur l'environnement et les ressources en bois. Aussi leur rationalisation s'avère essentielle. Plusieurs techniques et processus de traitement ont été proposés pour valoriser l'énergie des effluents atmosphériques de la carbonisation du bois, mais la technique de carbonisation et de dépollution des fumées s'avère actuellement la plus prometteuse [2]. De plus, la valorisation des fumées de pyrolyse augmente l'efficacité énergétique du procédé [2]. Le travail de Gassara et al.[3] consiste au développement de la première installation de carbonisation munie d'un incinérateur vertical des fumées de pyrolyse. Ce procédé qui assure une valorisation des fumées de pyrolyse est avéré prometteur et avantageux [2]. La conception des systèmes propres de pyrolyse de la biomasse nécessite des outils numériques fiables pour la modélisation de l'émission des polluants qui tiennent compte de tous les paramètres influençant la dynamique, la chimie et la thermodynamique du procédé. Dans le traitement thermochimique du bois, la connaissance des paramètres cinétiques de la dégradation thermique du bois est essentielle, parce que la pyrolyse est toujours la première étape dans n'importe quel processus de gazéification ou de combustion. Trois modes de carbonisation peuvent être employés :

-Pyrolyse par combustion partielle : L'énergie nécessaire pour la combustion est obtenue par la combustion d'une partie de la biomasse. Le rendement de production du charbon de bois est faible et la qualité est variable.

-Pyrolyse par apport externe de chaleur : L'énergie nécessaire pour le chauffage de la biomasse est obtenue par une source externe.

-Pyrolyse par contact direct des gaz chauds : L'énergie nécessaire à la pyrolyse est fournie par les gaz chauds venant d'une source extérieure et mis en contact direct avec la biomasse.

Les méthodes de pyrolyse citées dans la littérature permettent d'augmenter soit le rendement de la masse du charbon de bois soit augmenter l'efficacité énergétique du procédé

utilisé. Seulement quelques travaux ont pour finalité de regrouper à la fois l'augmentation de la masse de charbon, l'efficacité du bilan énergétique, la qualité de charbon, et la propreté du procédé vis-à-vis du dégagement des gaz polluants.

Un modèle thermochimique propre à une installation pilote de carbonisation de bois et d'incinération des fumées de pyrolyse est présenté dans ce chapitre.

Dans ce travail, nous proposons un modèle thermochimique d'une installation pilote de pyrolyse de biomasse équipée d'une chambre de combustion des fumées de pyrolyse fournissant l'énergie thermique nécessaire à la pyrolyse. Ce dispositif contribue d'une part à la production de charbon de bois, par une manière propre et d'autre part, améliore le rendement massique du charbon de bois et l'efficacité énergétique de la conversion thermochimique de biomasse comparée aux procédés classiques de pyrolyse. Ce système peut également assurer la transformation complète du bois en charbon de bois et l'élimination des gaz de goudron et de polluant produits par la pyrolyse du bois. Ce chapitre traite quatre points principaux: D'abord, la description du principe de fonctionnement de l'installation, l'élaboration d'un modèle mathématique permettant de prédire le comportement de l'installation, l'évolution temporelle de la perte de la masse de bois, les températures, les débits molaires de gaz, dans les différentes zones de l'installation pilote. En second lieu, l'emballement des réactions chimiques provoqué par le débit d'air alimentant la zone 2. Troisièmement, le contrôle du fonctionnement du dispositif par le moyen d'une régulation anticipée de type Proportionnel Intégral Dérivée (PID). Enfin, l'effet de la température finale de chambre de carbonisation sur l'optimisation du procédé.

2. DESCRIPTION DE L'UNITE PILOTE DE PYROLYSE DE LA BIOMASSE

L'installation pilote de pyrolyse de biomasse se compose d'un four en métal pour la pyrolyse de biomasse situé sur le four de la combustion des fumées de pyrolyse. Deux tubes de 110 millimètres de diamètre assurent l'écoulement des fumées entre ces deux fours. L'installation pilote est thermiquement isolée par une couche épaisse de laines de verre. La chambre de combustion est connectée à une cheminée pour l'évacuation des gaz de combustion dans l'atmosphère (figure 1).

L'installation pilote peut être divisée en trois zones homogènes. Les zones 1 et 2 correspondent respectivement aux chambres de pyrolyse de biomasse et à la chambre de combustion des fumées de pyrolyse. La zone 3 se compose d'un échangeur de chaleur entre les zones 1 et 2 qui assure le transfert de chaleur de la chambre de combustion des fumées aux chambres de pyrolyse de biomasse. Nous associons à chaque zone une température T_1 , T_2 et T_3 . La température d'air d'alimentation à la zone 2 est T_{ex} .

2.1. Chambre de pyrolyse de la biomasse

Les chambres de pyrolyse sont deux cylindres métalliques de 0.63m^3 de volume chacun. Les parois métalliques sont en contact direct avec les gaz de combustion (zone 3). Pour améliorer l'échange thermique entre les différentes zones et par conséquent augmenter le temps de séjour des gaz chauds dans l'échangeur de chaleur des chicanes inclinées sont disposées le long de la paroi de la zone 3. Chacune des deux chambres de pyrolyse est connectée à la chambre de combustion des gaz de pyrolyse par des tubes collecteurs de fumées.

2.2. Description de l'incinérateur de pyrolyse des fumées

L'incinérateur à une forme cylindrique de 1 m de diamètre et 1.4 m de hauteur (figure1). Dont les parois sont isolées par des briques réfractaires et une couche de laine de verre. Les fumées de pyrolyse de la biomasse provenant des chambres de pyrolyse sont pré-mélangées avec de l'air à l'intérieur de la chambre de combustion; pour les incinérateurs l'énergie libérée par cette combustion est utilisée pour la pyrolyse du bois.

3. Cycle opératoire

La biomasse est chauffée et séchée à l'intérieur des deux chambres de carbonisation par la combustion des déchets de bois ou par l'intermédiaire d'un brûleur à mazout. Avant son introduction dans la chambre de combustion, les fumées de pyrolyse sont pré-mélangées avec de l'air ambiant. Quand les réactions de carbonisation produisent une quantité suffisante de gaz permettant d'assurer l'autonomie de la réaction de pyrolyse, l'alimentation de l'installation pilote par les déchets de bois est arrêtée. L'énergie des gaz de combustion est utilisée pour chauffer les chambres de carbonisation de la biomasse avant d'être rejeté dans l'atmosphère par l'intermédiaire de la cheminée.

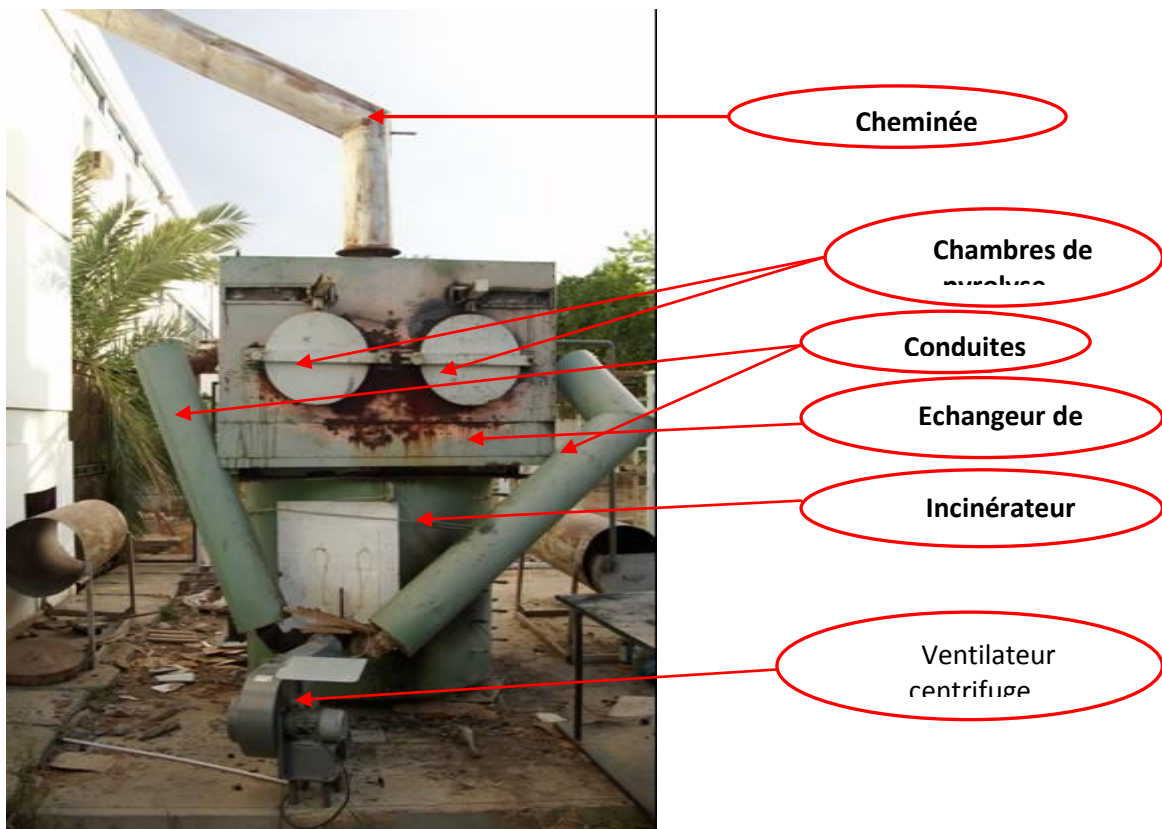


Figure I. Installation pilote de pyrolyse de la biomasse avec combustion des fumées

3.1. Mécanisme de la carbonisation

Lors de la pyrolyse de la biomasse, on peut distinguer deux cas dépendant de la dimension des particules. Dans le cas des particules « thermiquement fines », l'épaisseur de ces particules est réduite et permet de considérer comme négligeable le gradient de température à l'intérieur du solide. La pyrolyse de ces particules est déterminée par la cinétique chimique. Pour les particules « thermiquement épaisses », le processus de la pyrolyse est contrôlé par les transferts de masse et de chaleur et par la cinétique chimique.

3.2. Description de l'installation

L'installation pilote de carbonisation incinération est composée d'un four métallique pour la carbonisation du bois disposé sur un module de combustion incinération des fumées formant le four d'incinération. La connexion entre ces deux fours est assurée par deux conduites de 110mm de diamètre. L'ensemble est isolé par une épaisse couche de laine de verre. Le four d'incinération est surmonté d'une cheminée assurant l'évacuation des fumées dans l'atmosphère.

3.2.1. Four de carbonisation

Le four de carbonisation est formé de deux enceintes cylindriques fermées par deux portes étanches. Deux trémies métalliques de capacité 75kg chacune servent à charger le bois dans le four. Les parois des enceintes de carbonisation, en contact direct avec les gaz de combustion, sont munies de plusieurs chicanes pour améliorer l'échange thermique entre les fumées et le four de carbonisation. Chacune des deux chambres de carbonisation est dans sa partie supérieure équipée d'une conduite pour évacuer les fumées de la pyrolyse du bois vers l'incinérateur.

3.2.2. Four d'incinération

L'incinérateur est constitué d'une enceinte cylindrique de diamètre extérieur 1.5m et de hauteur 1.4m. Ses parois sont composées, de l'intérieur vers l'extérieur, d'une couche de béton réfractaire coulé sur de la tôle en acier d'épaisseur 5mm. L'ensemble est calorifugé par une couche de laine de verre d'épaisseur 10cm.

3.3. Principe de fonctionnement

Afin d'amorcer la réaction d'incinération des fumées, le bois disposé sur les deux trémies du four de carbonisation est chauffé à l'aide d'un brûleur à mazout jusqu'à sa carbonisation. Avant de pénétrer dans le four d'incinération les fumées produites par la carbonisation du bois sont prémélangées avec l'air prélevé dans le milieu ambiant pour être brûlées à l'intérieur de l'incinérateur. Lorsque la réaction de carbonisation produit une quantité suffisante de gaz combustible pour assurer l'autonomie de l'installation le brûleur est arrêté. Les gaz de combustion, provenant de l'incinérateur, sont acheminés à travers le four de carbonisation afin de chauffer le bois avant d'être rejetés dans l'atmosphère via la cheminée.

4. Contrôle du fonctionnement de l'installation

Afin de maîtriser le fonctionnement de l'installation pilote, plusieurs essais expérimentaux ont été effectués pour déterminer la durée et les conditions de stabilité de son cycle de fonctionnement. Les températures sont mesurées avec six thermocouples de type K. Les thermocouples sont reliés à une carte d'acquisition T851 comportant 16 canaux permettant la mesure des températures entre -200 et 1370°C avec une résolution de 0.1°C, pour $T < 1000^\circ\text{C}$ et de 1°C pour $T > 1000^\circ\text{C}$. Les valeurs mesurées sont visualisées simultanément sur la carte d'acquisition et l'écran de l'ordinateur. Le logiciel de traitement des données (Hyper terminal) permet de choisir le pas de temps entre deux mesures et stocke les résultats dans un fichier de données. Pendant les essais primaires de l'installation pilote nous avons constaté que la quantité d'air d'alimentation à l'entrée de la chambre de combustion des gaz (zone 2) a un rôle important. Si une grande quantité est présentée la flamme s'éteint et le processus est arrêté. Si nous diminuons cette quantité, les températures des trois zones augmentent et pour des valeurs critiques du débit d'air d'alimentation, nous avons noté que le fonctionnement de l'installation pilote devient incontrôlable ; ce phénomène s'appelle l'emballement des réactions. Nous proposons d'élaborer un modèle thermo-chimique permettant la prévision de l'emballement des réactions et le contrôle du fonctionnement par l'intermédiaire d'une régulation anticipée de type intégrale proportionnelle dérivée.

5. Modèle thermo-chimique

Pour contrôler le fonctionnement de l'installation, nous avons élaboré un modèle thermo-chimique simplifié en supposant que l'installation pilote peut être décomposée en trois zones homogènes. Les zones 1 et 2 de températures T_1 et T_2 correspondent à la carbonisation du bois et à l'incinération des gaz de pyrolyse et la zone 3 à l'échange thermique entre la zone 1 et 2 et à l'évacuation des gaz de combustion. L'air alimentant la zone 2 est à la température T_{ex} . Pour simplifier les bilans d'énergie, nous avons admis également les hypothèses suivantes :

- Dans la zone 1, il y a une seule réaction; la décomposition du bois.
- Les fumées de pyrolyse sont constituées de CO, CH₄, CO₂, H₂, et des goudrons avec des fractions molaires respectives $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$.
- La masse molaire des fumées est constante.
- La réaction de combustion des gaz de pyrolyse est instantanée et totale.
- L'échange de chaleur entre les différentes zones et le milieu extérieur est négligeable. (Paroi adiabatique)
- Au début du procédé les chambres de pyrolyse (zone 1) contiennent une faible quantité d'air dans.
- Le mélange gazeux est parfait et la pression totale dans les trois zones est constante et égale à la pression atmosphérique.

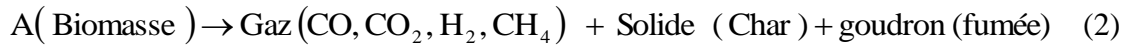
Pour établir le bilan d'énergie et de masse dans les différentes zones de l'installation, on doit respecter l'équation générale suivante pour l'écriture de chaque bilan:

$$\{\text{Accumulation}\} = \{\text{Flux entrant}\} - \{\text{Flux sortant}\} + \{\text{Génération}\} \quad (1)$$

5.1. Bilan de matière au niveau de la chambre de pyrolyse (zone 1)

5.1.1. Bilan massique de bois

À cette étape de la simulation, nous emploierons un schéma relativement simple de réaction de pyrolyse de la biomasse :



La perte de masse dans la chambre de carbonisation est exprimée par une loi de premier ordre de type Arrhenius:

$$\frac{dm_A}{dt} = -k_{0A} (m_A - m_{A\infty}) \exp\left(-\frac{E_A}{RT_1}\right) \quad (4)$$

Les paramètres cinétiques nécessaires sont généralement obtenus expérimentalement en considérant différents schémas cinétiques de décomposition de la biomasse. Les paramètres cinétiques utilisés dans cette étude sont ceux de la référence [4] basé sur un schéma cinétique à une seule étape.

5.1.2. Fumées de pyrolyse

L'équation (5) donne le bilan de matière au niveau de la zone 2, qui s'écrit sous la forme suivante :

$$V_1 \frac{dC_G}{dt} = -F_{GS} + F_{GE} \quad (5)$$

Comme le montre l'équation générale (1), l'accumulation du débit des gaz dans la zone 1 est égale au flux molaire entrant (qui est égale à zéro) diminué du flux molaire de gaz sortant (F_{GS}) auquel s'ajoute la génération interne due au changement de phase et à la décomposition de la biomasse (F_{GE}).

Où F_{GE} est le débit molaire des gaz de pyrolyse, donné par la relation suivante :

$$F_{GE} = -\frac{1}{M_G} \frac{dm_A}{dt} \quad (6)$$

M_G est la masse molaire moyenne des gaz de pyrolyse qui est égale à la masse molaire de chaque gaz multiplié par la fraction molaire correspondante :

$$M_G = 16\alpha + 44\beta + 2\gamma + 28\eta + 18\chi \quad (7)$$

5.1.3. Air

La concentration initiale de l'air au niveau de la zone 1 obéit à la forme générale (équation 1) qui s'écrit sous la forme :

$$V_1 \frac{dC_{a1}}{dt} = -F_{a1} \quad (8)$$

Le débit molaire des fumées à la sortie de la zone 1 est lié au débit volumique à la sortie de la zone 1 et à la concentration des fumées par l'équation suivante :

$$F_{GS} = Q_1 C_G \quad (9)$$

Similairement, le débit molaire au niveau de la zone 1 vérifie l'équation suivante:

$$F_{a1} = Q_1 C_{a1} \quad (10)$$

Avec C_{a1} : concentration des fumées.

En tenant compte des hypothèses décrites ci-dessus l'équation d'état pour les gaz au niveau de la zone 1 s'écrit :

$$P_0 Q_1 = (F_{GS} + F_{a1}) RT_1 \quad (11)$$

5.2. Bilan d'énergie

5.2.1. Chambre de carbonisation du bois (Zone 1)

Dans la zone 1, l'échange de chaleur par conduction-convection avec la zone 3 se fait à travers les murs de la chambre de carbonisation. Le bilan d'enthalpie au niveau de la zone 1 s'écrit sous la forme :

$$\underbrace{\frac{d}{dt}(m_A C_p^* T_1)}_{\text{Accumulation}} = \underbrace{K T_3}_{\text{flux entrant}} - \underbrace{\{K + F_{a1} C_{pa} + F_{GS} C_{pG}\} T_1}_{\text{flux sortant}} + \underbrace{F_{GE} (\Delta H)_G}_{\text{génération}} \quad (12)$$

C_{pa} est la capacité calorifique molaire de l'air, qui se calcule de la façon suivante:

$$C_{pa} = 0.79 C_{PN_2} + 0.21 C_{PO_2} \quad (13)$$

C_{pG} est la capacité calorifique molaire du gaz qui peut être calculée à partir de l'équation (3.14) et en utilisant des données de la référence [5]:

$$C_{pG} = \alpha C_{pCH_4} + \beta C_{pCO_2} + \gamma C_{pH_2} + \eta C_{pCO} + \chi C_{pH_2O} + \delta \{v_{CO} C_{pCO} + v_{CO_2} C_{pCO_2} + v_{H_2} C_{pH_2} + v_{CH_4} C_{pCH_4}\}$$

$$C_{PG} = (\alpha + \delta v_{CH_4})C_{PCH_4} + (\beta + \delta v_{CO_2})C_{PCO_2} + (\gamma + \delta v_{H_2})C_{PH_2} + (\eta + \delta v_{CO})C_{PCO} + \chi C_{PH_2O} \quad (14)$$

Espèce	Vj	Espèce	Vj
CO	0.78 x 0.72222	CO ₂	0.78 x 0.14222
H ₂	0.78 x 0.72222	CH ₄	0.78 x 0.14222
Goudron	-1.00000	Goudron inerte	0.22

Tableau 1. Rendements des produits de goudron [6]

5.2.2. Incinérateur des fumées (Zone 2)

Au niveau de la zone 2, l'air est introduit à un débit molaire initial F_{a2} à la température T_{ex} et se mélange à l'air initial de débit molaire F_{a1} et aux fumées de débit molaire F_{GS} . Les expressions du débit molaire des différents produits de la carbonisation et des produits de l'incinération à l'entrée de l'incinérateur sont reportées dans le tableau 2. Le débit molaire des fumées est calculé par l'expression suivante :

$$F_F = F_{a1} + F_{a2} + \left(\alpha + \beta + \frac{\eta}{2} + \frac{\gamma}{2} \right) F_{GS} \quad (15)$$

Le débit molaire des fumées est égal à la somme des débits molaire de l'air provenant de la zone 1 (F_{a1}), de celui de l'air provenant de l'extérieur (F_{a2}) et de celui produit par la combustion du méthane (αF_{GS}), d'hydrogène ($\frac{\gamma}{2} F_{GS}$) et du monoxyde de carbone (βF_{GS}).

La masse molaire moyenne des fumées peut être évaluée à partir de l'équation suivante:

$$M_F = 28 \times 0.79 \frac{(F_{a1} + F_{a2})}{F_F} + 32 \frac{\left(0,21(F_{a1} + F_{a2}) - (2\alpha + \frac{\gamma}{2} + \frac{\eta}{2}) F_{GS} \right)}{F_F} + 44(\alpha + \beta + \eta) \frac{F_{GS}}{F_F} + 18(\gamma + 2\alpha + \chi) \frac{F_{GS}}{F_F} \quad (16)$$

Pour la zone 2, le bilan d'enthalpie s'écrit sous la forme :

$$\underbrace{V_2 C_{F2} C_{VF} \frac{dT_2}{dt}}_{\text{Accumulation}} = \underbrace{\left\{ F_{a2} C_{pa} T_{ex} + F_{GS} C_{pG} T_1 + F_{a1} C_{pa} T_1 \right\}}_{\text{flux entrant}} - \underbrace{F_F C_{PF} T_2}_{\text{flux sortant}} - \underbrace{F_{GS} (\Delta H)_{comb}}_{\text{Génération}} \quad (17)$$

Entrée	Sortie
Azote : $F_{N_2} = 0.79(F_{a1} + F_{a2})$	Azote : $F_{N_2} = 0.79(F_{a1} + F_{a2})$
Oxygène : $F_{O_2} = 0.21(F_{a1} + F_{a2})$	Oxygène : $F_{O_2} = 0.21(F_{a1} + F_{a2}) - 2F_{CH_4} - \frac{1}{2}F_{H_2} - \frac{1}{2}F_{CO}$
Méthane : $F_{CH_4} = \alpha F_{GS}$	Dioxyde de carbone : $F_{CO_2} = \beta F_{GS} + F_{CH_4} + F_{CO}$
Dioxyde de carbone : $F_{CO_2} = \beta F_{GS}$, Hydrogène : $F_{H_2} = \gamma F_{GS}$ Monoxyde de carbone : $F_{CO} = \eta F_{GS}$ Vapeur d'eau : $F_{H_2O} = \chi F_{GS}$	Vapeur d'eau : $F_{H_2O} = F_{H_2} + F_{CH_4}$

Tableau 2. Débit molaire des gaz au niveau de la zone 2

Où C_{PF} est la chaleur spécifique molaire des fumées qui peut être calculée en utilisant la relation suivante :

$$C_{PF} = \frac{0.79C_{PN_2}(F_{a2} + F_{a1})}{F_F} + \frac{C_{PO_2}[0.21(F_{a2} + F_{a1}) - (2\alpha + \gamma/2 + \eta/2)]F_{GS}}{F_F} + \frac{C_{PCO_2}(\alpha + \beta + \eta)F_{GS}}{F_F} + \frac{C_{PH_2O}(\gamma + 2\alpha + \chi)F_{GS}}{F_F} \quad (18)$$

C_{F2} est la concentration des fumées à la température T_2 , qui se calcule à partir de l'équation d'état en considérant le gaz idéal :

$$C_{F2} = \frac{273}{22.4 \cdot 10^{-3} T_2} \quad (19)$$

$(\Delta H)_{comb}$ est la variation d'enthalpie de la réaction de combustion qui peut être évaluée à partir de $(\Delta H)_{comb}$ de CH_4 , H_2 , et CO .

$$(\Delta H)_{comb} = \alpha(\Delta H)_{combCH_4} + \gamma(\Delta H)_{combH_2} + \eta(\Delta H)_{combCO} \quad (20)$$

5.2.3. Echangeur de chaleur (Zone 3)

Les échanges de chaleur entre les zones 1 et 3 se déroulent sans échange de masse. Le bilan d'enthalpie s'écrit sous la forme :

$$\underbrace{V_3 C_{F_3} C_{pF} \frac{dT_3}{dt}}_{\text{Accumulation}} = \underbrace{K T_1 + F_F C_{pF} T_2}_{\text{Flux entrant}} - \underbrace{\{K + F_F C_{pF}\} T_3}_{\text{Flux sortant}} \quad (21)$$

La concentration C_{F3} au niveau de la zone 3 vérifie la relation suivante :

$$C_{F_3} = \frac{273}{22.4 \times 10^{-3} T_3} \quad (22)$$

6. Méthodologie numérique

Les équations qui régissent les transferts dans l'installation de carbonisation sont discrétisées à l'aide d'une méthode implicite aux différences finies. Cette méthode, basée sur un développement en série de Taylor d'une fonction, permet de transformer ces équations en un système d'équations algébriques dont la résolution est assurée par l'algorithme de Gauss. Un calcul itératif s'avère nécessaire pour déterminer les grandeurs physiques à un instant donné en fonction des variables inconnues à ce même instant et de variables connues à l'instant précédent parce que les Cp des gaz et du bois sont fonction de la température. La détermination du pas de temps optimal qui représente un bon compromis entre le critère de stabilité et l'algorithme de Gauss et une occupation mémoire acceptable nous a conduit à retenir un pas de temps égal à 0.05s.

La procédure de résolution de ces systèmes d'équations algébriques est la suivante. A l'instant initial, les températures des trois zones sont affectées de valeurs arbitraires supposées égales à la température d'entrée des fumées; la concentration initiale des gaz est calculée par la loi des gaz parfaits et les différents débits sont pris égaux à zéro. Les Cp des différents gaz présents et du bois sont calculés en fonction de la température initiale. Le système d'équations algébriques est ensuite résolu et conduit à de nouvelles valeurs des grandeurs recherchées qui sont comparées aux valeurs arbitraires. Si l'écart est supérieur à la précision souhaitée ($\varepsilon < 10^{-8}$), les valeurs des grandeurs calculées remplacent les valeurs arbitraires et la procédure décrite ci-dessus est reprise jusqu'à l'obtention de la précision souhaitée.

7. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les conditions initiales des températures (T_1 , T_2 , et T_3) sont prises égales à 600 K. La température de l'air extérieur alimentant la zone 2 est prise égale à 300 K. Les paramètres cinétiques, thermodynamiques et opératoires sont données dans le tableau 3. Les capacités calorifiques molaires pour H_2O , CO_2 , CH_4 , H_2 , et CO sont celle de la référence [10].

8. VALIDATION

L'analyse de l'évolution temporelle des températures montre l'effet considérable causé par le débit d'air d'alimentation sur les valeurs des températures dans la chambre d'incinération. Les mesures sont prises durant le régime de croisière du fonctionnement de l'installation pilote, Durant lequel la chambre d'incinération est régulièrement alimentée par les gaz provenant des deux chambres de pyrolyse. Pour comparer les valeurs mesurées avec les résultats numériques le modèle mathématique proposé a été appliqué à l'installation pilote. Les températures sont mesurées avec six thermocouples type K. Les thermocouples ont été positionnés dans les emplacements suivants : $T_A(r_1=32\text{ cm}, z_1=36\text{ cm})$, $T_B(r_2=72\text{ cm}, z_2=36\text{ cm})$, $T_C(r_3=54\text{ cm}, z_3=45\text{ cm})$, $T_D(r_4=54\text{ cm}, z_4=65\text{ cm})$, $T_E(r_5=32\text{ cm}, z_5=78\text{ cm})$, $T_F(r_6=72\text{ cm}, z_6=78\text{ cm})$. Les thermocouples sont placés à l'intérieur du four (zone 2) et loin des parois afin d'éviter leur effets. La température dans la zone 2 est la moyenne arithmétique des six valeurs des températures mesurées localement dans la zone 2.

La figure 2 donne la comparaison entre les mesures expérimentales et les résultats calculés à partir du modèle de l'évolution temporelle de la température dans la zone 1. Le débit d'air d'entrée est mesuré par un tube de Pitot positionné à l'entrée de la zone 2. L'air extérieur nécessaire pour la combustion des gaz de pyrolyse est introduit à la zone 2 par l'intermédiaire d'un ventilateur centrifuge (Figure 1). La température extérieure est prise égale à $T_{ex}=300\text{K}$, la température initiale est égale à $T_0=600\text{K}$ et le coefficient d'échange de chaleur global est pris égal à $h=100\text{W/m}^2$.

Paramètres	Valeurs	Unité	Référence
k^0	74000	s^{-1}	[7]
E	88000	J/mol	[7]
α	0.0423	---	[8]
β	0.0991	---	[8]
γ	0.18137	---	[8]
δ	0.4074	---	[8]
η	0.1088	---	[8]
χ	0.1608	---	[8]
$(\Delta H)_G$	-418	KJ/Kg	[7]
$(\Delta H)_{Tar-Cracking}$	42	KJ/Kg	[6]
C_p^*	$1113.68+4.8567(T-273.15)$	(J/Kg/K)	[9]
m_{A0}	100	Kg	données expérimentales
$m_{A\infty}$	30	Kg	données expérimentales

Tableau 3. Valeurs et paramètres de la modélisation

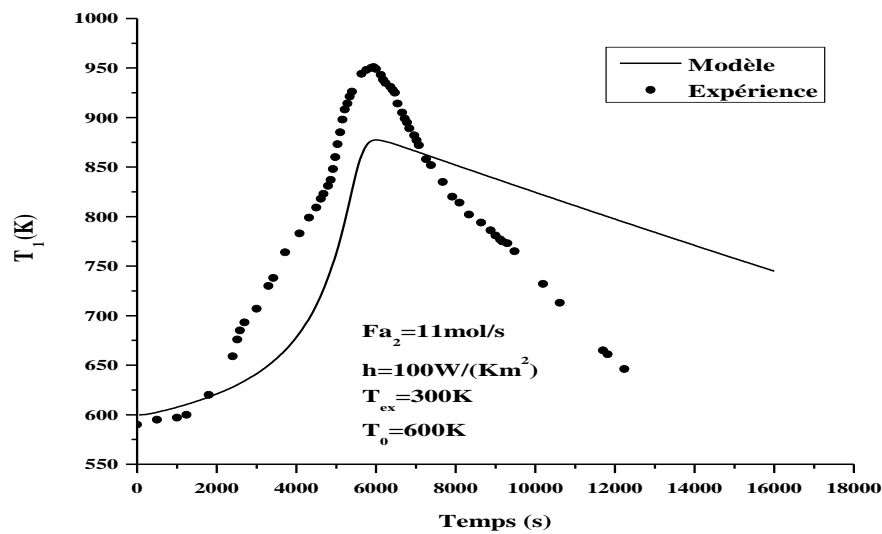


Figure II. Comparaison entre les valeurs mesurées et calculées de la température dans la zone 1

On peut remarquer que les valeurs calculées à partir du modèle sont qualitativement en bon accord avec les valeurs mesurées expérimentalement et l'erreur maximale calculée par l'équation 20 est égale à 15% pour T_1 est l'erreur maximale pour T_2 est égale à 10%.

$$e = \left(\frac{1}{N} \sum_i^N 2 \frac{|T_{cal} - T_{exp}|}{T_{cal} + T_{exp}} \right) \times 100 \quad (20)$$

On peut remarquer que la température mesurée dans la zone 1 est supérieure à la température calculée par le modèle mathématique. En effet, la température mesurée T_2

n'atteint pas la température extérieure rapidement comme c'est le cas pour la température T_2 calculée par le modèle (Figure 6). Ce ci peut être expliqué par :

L'unité pilote a une inertie thermique qui fait que la température de l'incinérateur diminue lentement cependant le modèle élaboré ne tient pas compte de l'inertie thermique. D'un autre coté la température mesurée T_1 diminue rapidement comparée à celle calculée; ce ci est du aussi à l'inertie thermique de la chambre de pyrolyse. En effet, le mur de la zone 2 est composé par une couche en brique (d'épaisseur 10cm), un mur métallique (d'épaisseur 5mm) et une couche en laine de verre (d'épaisseur 10cm). Ceci peut expliquer la diminution rapide de la température mesurée T_1 et la diminution lente de la température mesurée T_2 .

La figure 3 donne la comparaison entre les mesures expérimentales et les valeurs calculées de la température pour la zone 2. Elle montre que la température de la zone de flamme (T_2) augmente graduellement pour atteindre un maximum correspondant à la température adiabatique de combustion des fumées provenant des chambres de pyrolyse, puis diminue à travers la cheminée et les murs du four d'incinération. Vers la fin du cycle, le débit molaire des gaz de pyrolyse diminue provoquant la réduction de la richesse du mélange et par conséquent une diminution de la température dans la zone de flamme jusqu'à atteindre la température ambiante. On remarque à la fin du cycle de pyrolyse il y a une différence entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées des températures T_2 ; ces différences peuvent aussi expliquées par :

- Les hypothèses utilisées lors de la formulation du modèle mathématique et l'état de fonctionnement de l'installation pilote.

- Lors de l'élaboration du modèle mathématique nous avons suppose que le débit molaire d'air d'alimentation est constant, alors que ce débit réellement est variable.

- Dans le modèle nous avons travaillé avec un modèle cinétique simplifié qui s'approche de notre procédé, alors que les mesures effectuées ont montré que la cinétique est plus rapide

- Il ya plusieurs pertes de masse et d'énergie qui ne sont pas contrôlés.

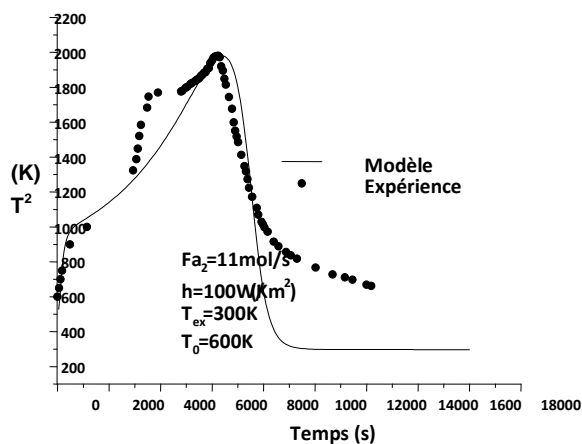


Figure III. Comparaison entre les valeurs mesurées et calculées de la température dans la zone 2

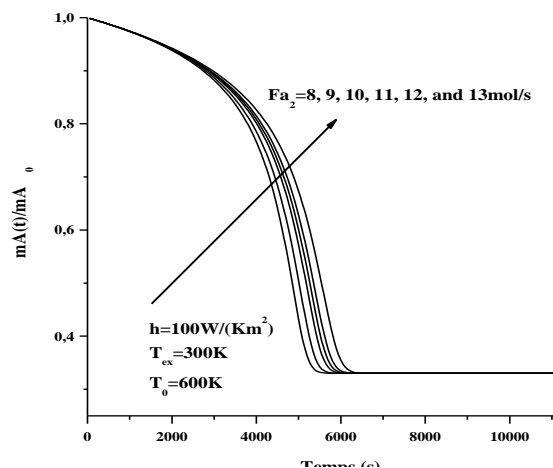


Figure IV. Influence du débit molaire de l'air F_{a2} sur la perte en masse

9. Dégradation de la masse de la biomasse

La figure 4 illustre l'évolution temporelle de la perte de masse pour différentes valeurs du débit d'air d'entrée F_{a2} ($F_{a2}=8, 9, 10, 11, 12,$ et 13mol/s). Trois principales phases peuvent être distinguées : La première est une phase de chauffage caractérisée par le séchage de la biomasse pour éliminer son eau. La deuxième phase montre que la perte de masse augmente rapidement en fonction du temps. Cette augmentation de la perte de la masse résulte de la

décomposition thermique de la biomasse, qui apparaît par le dégagement des gaz et des hydrocarbures oxygénés et la production des liquides et du charbon de bois. Pendant cette phase, les composants les moins stables du bois (hémicelluloses) se dégradent pour donner des gaz oxygénés, de la vapeur d'eau, des acides et du bois torréfié. En effet, cette perte de masse est la conséquence, d'une part, de la décomposition de la cellulose qui est accompagnée d'un dégagement d'eau, d'anhydride carbonique, d'hydrocarbures de poids moléculaire faible, de goudron léger et de charbon de bois et en outre de la décomposition partielle de la lignine en hydrocarbures, du goudron de poids moléculaire important et en composés phénoliques. La troisième partie de la courbe démontre que la troisième phase de la pyrolyse de la biomasse est caractérisée par une diminution d'environ 10% de la perte de masse dû à la décomposition de la lignine qui ne peut être effectuée qu'à une température élevée. Le produit obtenu à la fin de cette phase est le charbon de bois. On note également que si la circulation d'air à l'entrée de la chambre de combustion augmente, la pente de la courbe $m_A(t)$ diminue et réduit par conséquent le taux de conversion de la biomasse en charbon de bois et d'autres composants dérivés.

CONCLUSIONS

Nous avons élaboré un modèle thermochimique (modèle et logiciel) permettant de modéliser le fonctionnement d'une installation pilote de carbonisation du bois avec récupération et incinération des fumées de pyrolyse. Ce modèle permet la prédiction des températures, des débits molaires et des concentrations en chaque zone de l'installation. La recherche du débit molaire critique responsable de l'emballement de la réaction d'incinération a été effectuée. Un système de régulation anticipée Proportionnel Intégrale Dérivée (PID) a été prévu pour contrôler le fonctionnement de l'installation et éviter l'emballement du procédé d'incinération.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]Analyse du bilan de bois-énergie et identification d'un plan d'action en Tunisie, Rapport final de synthèse, 1997.
- [2]K. Halouani and H. Farhat, Depollution of atmospheric emissions of wood pyrolysis furnaces, *Renewable Energy*, Vol. 28, pp. 129-138, 2003.
- [3]M Gassara, K Halouani and L Rekik. Installation pour la carbonisation du bois dans un four métallique. Patent n° 16660 delivered by National Institute of Normalisation and Industrial Property (NINIP), Tunisia le 17.01.1994.
- [4]G. B. Raithby and E. H. Chui, A finite volume method for predicting a radiant heat transfer in enclosures with participating media, *J. Heat Transfer* Vol. 112, pp. 415-423, 1990.
- [5]M. L. Boroson, and J. Howard, product yields and kinetics from vapor phase cracking of wood pyrolysis tars, *AIChE Journal*, Vol. 35, p. 120, 1989.
- [6]D.H. Lee, H. Yang, D.T. Liang. Prediction of gaseous products from biomass pyrolysis through combined kinetic and thermodynamic simulations, *Fuel*, 86, pp. 410-17, 2007.
- [7]M.C. Melaaen and M.G. Gronli. Modeling and simulation of moist wood drying and pyrolysis, In *developments in thermochemical biomass conversion*, Bridgwater, A.V., Boocock, pp. 132-46, Eds, 1997.
- [8]C. Di Blasi, Dynamic behaviour of stratified downdraft gasifiers, *Chemical Engineering Science*, Vol. 55, pp. 2931-44, 2000.
- [9]D.H. Lee, H. Yang, D.T. Liang. Prediction of gaseous products from biomass pyrolysis through combined kinetic and thermodynamic simulations, *Fuel*, 86, pp. 410-17, 2007.
- [10]http://www.me.berkeley.edu/gri_mech/

Procédés de transformation et de valorisation de la sardine

**Tarhouni A.¹, Djendoubi N.^{1,2}, Belguith K.³, Ben Chaouacha-Chekir R.¹,
Sadok S.⁴ et Mihoubi-Boudhrioua N.¹**

¹ UR Ecophysiologie et Procédés Agroalimentaires, Univ. de Manouba, BP-66,
2020 Ariana, Tunisie.

² Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouزيد. B.P. 380. Sidi-Bouزيد 9100, Tunisie.

³ Laboratoire de Biotechnologie et de Valorisation des Bio-Géo Ressources, Institut Supérieur
de Biotechnologies, Sidi Thabet, Université de la Manouba, BP-66, 2020 Ariana, Tunisie.

⁴ Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, la Goulette, Tunis, Tunisie

Résumé

Cet article une synthèse de la littérature portant sur l'investigation des moyens de conservation/transformation de la chair et des déchets de sardine en vue de proposer un procédé intégré de transformation de ce poisson qui constitue une part élevée de la pêche en Tunisie. Les travaux sur les différents procédés de séchage (solaire, convectif, micro-ondes) appliqués aux poissons ont porté sur l'étude expérimentale et la modélisation mathématique des cinétiques de séchage en vue d'examiner les paramètres opératoires qui influent le déroulement de ces procédés et l'impact de ces derniers sur la qualité de la chair (qualités sensorielles, structure, stabilité des lipides, composition en protéines). Les déchets des poissons sont valorisables selon trois voies principales (i) la production de la farine de poisson qui donne la possibilité de production des biocarburants à partir des eaux générées de cette voie (ii) l'ensilage par une acidification directe ou par fermentation anaérobique qui donne la possibilité de production de biogaz et (iii) l'extraction des composés bioactifs ayant un potentiel fonctionnel comme le collagène, les hydrolysats de collagène, la gélatine, les hydrolysats des protéines, l'hydroxipatite, et les acides gras polyinsaturés.

Abstract

The object of this paper is to investigate different means of preservation/processing of fish and fish waste in order to suggest an integrated transformation process for Tunisian sardine. This small pelagic fish is abundant in Tunisia and is characterized by an excellent nutritional value. Different drying processes are applied to fish such as solar, convective and microwaves drying. Studies have focused on the experimental study and mathematical modeling of drying kinetics. Other works investigated the impact of the operating parameters on drying kinetics and flesh quality (sensory qualities, structure, stability of lipids, protein composition). Some authors suggested bio-preservation or irradiation as alternative processes. In This paper the actual utilization of discards, wastage and fish byproducts are also presented. The main applications are: (i) the production of fish meal which gives the possibility to biofuel production, (ii) silage by direct acidification or anaerobic fermentation which gives the possibility of biogas production and (ii) Bioactive compounds extraction different (collagen, collagen hydrolysats gelatin, protein hydrolysats, visceral enzymes, hydroxipatite and polyunsaturated fatty acids).

1. Introduction

La sardine est une espèce de poisson d'intérêt nutritionnel important (teneur en protéines : \approx 19-21 g/100g ; teneur en lipides \approx 2.5-8 g/100g). Cette espèce est très abondante dans le

monde entier et en Tunisie (28717 Tonnes en 2012). Comme tout produit marin, la sardine est vulnérable et elle est exposée aux altérations microbiologiques et autolytiques. Outre le traitement par le froid, qui est le mode de conservation le plus utilisé le long de la chaîne de traitement du poisson jusqu'à sa consommation, d'autres techniques complémentaires ou alternatives sont proposées dans la littérature telles que le séchage (Bellagha et *al.*, 2005 ; Bellagha et *al.*, 2007 ; Boudhrioua et *al.*, 2009), l'irradiation qui est souvent couplée à la réfrigération et la bio-préservation (Najjari et *al.*, 2008) . Les principaux produits issus de la transformation de la sardine en Tunisie sont les conserves, les produits séchés ou salés séchés. Ces procédés génèrent des grandes quantités des déchets (jusqu'à 50% de la matière première) qui peuvent être également valorisées par différentes voies vu leur richesse en matière organique et en composés bioactifs (Ferraro et *al.*, 2013). Ce travail est une synthèse de la littérature portant sur l'investigation des moyens de conservation et/ou transformation de la chair de poisson et des déchets en vue de proposer ultérieurement un procédé intégré de transformation de la sardine.

2. Matériel et Méthodes

Une cinquantaine d'articles scientifiques portant sur la conservation et/ou transformation et valorisation de poissons et leurs sous-produits ont été sélectionnés en vue de déterminer : (i) les principaux procédés de conservation /transformation appliqués pour la chair des poissons et les effets de ces procédés sur les caractéristiques physicochimiques et nutritionnelles des poissons, (ii) ainsi que les principales voies de valorisation des déchets des poissons.

3. Résultats et discussion

Les principaux travaux effectués sur la transformation des poissons ont porté sur deux aspects : l'étude expérimentale et la modélisation mathématique des cinétiques de séchage et l'investigation de l'impact des procédés sur la qualité de la chair. Les techniques de conservation appliquées en plus de la mise en conserve qui se pratique à l'échelle industrielle et le séchage solaire qui se pratique de manière artisanal dans les villes côtières, sont le séchage (solaire, convectif et micro-ondes), la congélation et le salage combiné ou non au séchage. Ces dernières techniques sont explorées le plus souvent à l'échelle de laboratoire en vue d'examiner les paramètres opératoires qui influent le déroulement de ces procédés et l'impact de ces derniers sur la qualité (qualités sensorielles, texture, composition en acides gras et en composés nutritifs).

3.1. Procédés thermiques appliqués à la conservation de poissons

3.1.1. Le séchage solaire

Plusieurs travaux ont été effectués sur le séchage solaire direct ou indirect de poissons et des produits de la mer d'une manière général comme l'étude de Jain et Pathare (2005) effectuée sur la crevette d'eau douce et celle de Kittu et al. (2010) effectuée sur le tilapia à l'aide d'un séchoir à tunnel. Ces études présentent les cinétiques expérimentales et prédites de séchage par des modèles empiriques et déduisent la diffusivité de l'eau dans la chair qui est un paramètre important pour la conception des séchoirs, l'optimisation du processus du séchage ou pour la détermination de la stabilité du produit.

3.1.2. Le séchage convectif

Certains travaux associent le salage du poisson au séchage (Bellagha et *al.*, 2007 ; Boudhrioua et *al.*, 2009). Les effets de modes de salage, durée de salage/ séchage et de la concentration en sel et l'effet de la température de salage et ou de séchage sur les transferts couplés en eau et en sel dans les filets de sardine sont examinés. Des modèles de séchage empiriques sont également proposés pour décrire la cinétique et le déroulement de processus de séchage et de salage. D'autres travaux ont porté sur l'étude du séchage convectif (Hadrach

et *al.*, 2008 ; Djendoubi et *al.*, 2009) de la sardine en décrivant la cinétique de séchage avec des modèles mathématiques et en se focalisant sur l'étude de l'effet des paramètres opératoires de séchage (température, vitesse de l'air, humidité relative).

3.1.3. Le séchage par micro-ondes

Comparé au séchage convectif, le séchage par micro-ondes améliore la qualité des protéines et minimise l'oxydation des lipides (Wu et Mao, 2008). En littérature le séchage par micro-ondes est souvent combiné à d'autres techniques de séchage en vue d'optimiser la qualité de produit ou bien en vue de minimiser la durée de séchage (Zhang et *al.*, 2004). Duan et *al.*, (2010) ont proposé une technique de séchage combinée « micro-ondes /lyophilisation » pour le séchage de concombre de mer de bonne qualité tout en accélérant le processus de séchage et en minimisant la consommation de l'énergie. Le séchage convectif a été également combiné avec le séchage par micro-ondes pour le séchage de tilapia (Duan et *al.*, 2011) Le temps de séchage diminue d'une manière significative et la capacité de réhydratation du produit fini est meilleure.

3.2. Procédés athermiques de conservation de la chair de poissons

Les travaux sur la bio-préservation portent essentiellement, sur l'isolement de certaines bactéries (généralement des bactéries lactiques) ou des substances bactériocines et l'étude de l'effet de leurs activités inhibitrices sur le développement des souches de détérioration présentes dans la chair des poissons (Najjari et *al.*, 2008 ; Anacarso et *al.*, 2013) et sur les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du produit fini (Fall et *al.*, 2012).

L'irradiation est un procédé efficace qui permet de réduire ou d'inactiver complètement les pathogènes présents dans un produit donné permettant ainsi d'assurer sa stabilité au cours de l'application d'autres procédés de conservation ou de transformation. Les travaux sur l'irradiation de poisson portent essentiellement sur l'effet de l'application des rayonnements Gamma sur la composition chimique, microbiologique, la qualité sensorielle et la prolongation de durée de stockage (Mbarki et *al.*, 2008 ; Badr, 2012) ou sur la dégradation des nucléotides ou l'oxydation des lipides (Maltar-Stremecki et *al.*, 2013).

3.3. Effet des procédés de transformation sur la chair de poisson

Les divers procédés de conservation et/ou transformation ont un effet désirable ou indésirable sur la qualité finale de produit. Cet aspect est pris en considération dans certains travaux qui visent l'étude de l'effet de ces procédés sur la structure de la chair, les caractéristiques physicochimiques, la stabilité de la composition en acides gras et la composition en protéines.

Certains travaux ont étudié l'effet de la congélation, le couplage cuisson/congélation sur différents paramètres comme les caractéristiques physicochimiques et sensorielles (Fall et *al.*, 2012), la structure de la chair, la qualité des lipides (oxydation) et la qualité des protéines (Gomèz Estaca et *al.*, 2010).

D'autres travaux ont étudiés l'effet de séchage et de stockage de produit sur sa qualité en termes de structure, couleur et fermeté, stabilité et qualité de certains composants comme les acides gras, les protéines et les antioxydant. Dans ce cadre, Djendoubi et *al.* (2009) ont étudié l'effet des différents paramètres de séchage (durée, température, vitesse de l'air du séchage) la couleur, la texture et le rétrécissement des muscles de sardine. D'autres travaux sur d'autres espèces marines (maquereaux, crevette) ont porté sur l'effet de procédé de séchage sur la composition en protéines, en antioxydant, la qualité des lipides, la fermeté et la couleur de la chair (Bacerra et *al.*, 2014).

3.4. Procédés de transformation et valorisation des déchets de poisson

Les travaux portant sur la valorisation des déchets des poissons visent essentiellement trois volets principaux ; la production de la farine de poisson, la fermentation chimique ou biologique ou l'extraction des composés ayant des propriétés bioactives.

3.4.1. La production de la farine de poisson

La production de la farine de poisson est considérée comme la voie principale de valorisation. La farine obtenue des poissons pélagiques est la plus produite (Péron *et al.*, 2010). Les travaux effectués sur la farine de poissons mettent en valeur d'une part l'effet des différentes conditions de production sur les qualités chimiques et nutritionnelles du produit fini (Hevroy *et al.*, 2004 ; Jayasinghe et Hawboldt, 2013).

La farine est produite à partir des déchets de plusieurs espèces (anchois, alose, capelan) (Hevroy *et al.*, 2004). La première étape de production inclut un broyage, la cuisson et le pressage. Une pâte solide et des eaux usées sont générées. Au cours d'une deuxième étape, les particules restantes sont récupérées des eaux usées qui sont par la suite centrifugées pour la séparation de la fraction huileuse. La pâte solide est par la suite séchée pour obtenir la farine de poisson.

La farine de poisson est un produit relativement sec (8% d'eau), composé essentiellement de protéines (70%), de minéraux (10%) et de lipides (9%). Les propriétés de la farine et sa composition (teneur en acide aminés, en acides gras, digestibilité et palatabilité) peuvent varier en fonction de la matière première et le processus de transformation suivi (Gilberg, 2002.). La farine de poissons est destinée essentiellement pour l'alimentation des organismes marins.

3.4.2. L'ensilage

L'ensilage des déchets des poissons s'effectue par deux méthodes : l'ensilage par une acidification directe (Alwan *et al.*, 1993) ou par une fermentation anaérobique (Zahar *et al.*, 2002). Certains travaux visent l'optimisation de ce processus en étudiant les paramètres influant comme, la température, la source de carbone et la souche bactérienne utilisée (Zahar *et al.*, 2002 ; Faid *et al.*, 1994). La voie biologique donne la possibilité de production de biogaz (Kim *et al.*, 1992, Boualagui *et al.*, 2013).

3.4.3. Extraction des composés bioactifs

L'extraction des composés bioactifs à partir des déchets des poissons est une voie de valorisation qui est bien illustrée dans la littérature. Différents composés sont présents dans les déchets des poissons pélagiques comme le collagène (Nagai et Suzuki, 2000), les hydrolysats de collagène, l'hydroxyapatite (Okada *et al.*, 1988), les hydrolysats des protéines (Kristinsson *et al.*, 2003) et les lipides (Letisse *et al.*, 2006). Le collagène, la gélatine et les enzymes viscérales sont utiles en industrie agroalimentaire, cosmétique et en industrie pharmaceutique (Gomez *et al.*, 2002). D'autres composés comme l'hydroxyapatite (Dorizkhin *et al.*, 2010), les hydrolysats de collagène et les hydrolysats des protéines (Kristinsson *et al.*, 2003) ont des effets bénéfiques sur la santé humaine. Le tableau ci-dessous (tableau 1) résume les applications les plus importantes de ces composés bioactifs issues des déchets des poissons pélagiques.

4. Conclusion

Les procédés de transformation et de conservation de la chair de poisson sont diversifiés, la mise en conserve demeure la seule voie de transformation de la sardine à l'échelle industrielle en Tunisie. En outre, aucune unité industrielle n'existe à notre connaissance pour la valorisation des déchets de poisson. La sardine, caractérisée par une bonne qualité nutritionnelle et présente en grande quantité en Tunisie, constitue une espèce intéressante pour une valorisation alimentaire ou non alimentaire. Le choix du procédé de valorisation reste lié aux propriétés initiales du produit et aux propriétés recherchées dans le produit fini.

Composé bioactif	Applications et propriétés principales	Références
Collagène, gélatine	-Utilisation en industrie alimentaire, pharmaceutique et cosmétique. -Le collagène est une colle biocompatible.	Kim et Mendis., 2006 ; Ferraro et al., 2013
Hydrolysats de collagène	-Activation des fibroblastes et accélération de la synthèse de collagène dermique. -Amélioration de la densité minérale des os. -Traitement des maladies dégénératives. -Activité anti-hypertensive.	(Huey-Jine et al, 2010)
Hydrolysats des protéines	-Propriétés de structuration des aliments. -Antioxydant, antihypertenseur, anti-thrombique, immuno-modulation. -Activité antiproliférative des cellules cancéreuses in vitro.	(Sahena et al, 2010 ; Picot et al, 2006 ; Kristinsson et al., 2000 ; Kristinsson et al, 2003 ; (Garcia-Sanda et al ,2003).
Enzymes viscérales	-Coagulation et hydrolyse des produits. -Dégradation sélective. -Application pour le traitement des eaux usées.	(Ferraro et al, 2013)
Hydroxyapatite	-Un ostéoconductif, substituant des os, haute biocompatibilité. --Application pour le traitement des eaux usées.	(Dorizkhin et al 2010). (Nzihou et al, 2010).
Acides gras	-Prévention et atténuation des maladies cardiovasculaire, dégénératives. -Développement de système nerveux, reproductif, photoréception.	(Sidhu, 2003)

Tableau 1. Propriétés et applications des composés bioactifs extrait des poissons pélagiques

Bibliographie

Anacarso I, Messi P, Condò C, Iseppi R, Bondi * M, Sabia C, de Niederhäusern S. (2013). A bacteriocin-like substance produced from *Lactobacillus pentosus* 39 is a natural antagonist for the control of *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* in fresh salmon fillets. *Food Science and Technology* 55 : 604-611.

Badr H.M. (2012). Control of the potential health hazards of smoked fish by gamma irradiation. *International Journal of Food Microbiology* 154 : 177–186.

Becerra J.A .H, Ochoa Flores A.A , Valerio-Alfaro G , Soto-Rodriguez I, Rodríguez-Estrada M.T, García H.S. (2014). Cholesterol oxidation and astaxanthin degradation in shrimp during sun drying and storage. *Food Chemistry* 145 : 832–839.

Bellagha S, A. Sahli A , Farhat A, Kechaou N , Glenza A. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. (2007). *Journal of Food Engineering* ; 78 : 947–952.

- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Ben Romdan, E., Rachdi, B., Hamdi, M. (2009). Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. *Journal of Environmental Management* ; 90 : 1844–1849.
- Boudhrioua N, Djendoubi N, Bellagha S, Kechaou N.(2009). Study of moisture and salt transfers during salting of sardine fillets. *Journal of Food Engineering* ; 94 : 83–89.
- Djendoubia N, Boudhriouaa N, Bonazzi C, Kechaou N. (2009). Drying of sardine muscles: Experimental and mathematical investigations. *Food and bioproducts processing*; 87: 115–123.
- Dorozhkin S.V. (2010). Bioceramics of calcium orthophosphates. *Biomaterials* ; 31 : 1465–1485.
- Duana, Z, Jiangb L, Wangb J, Yub X, Wangb T. (2011) Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating. *Food and bioproducts processing* ;89 : 472–476.
- Duan X, Zhang M , Mujumdar A.S , Wang S. (2010). Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of Food Engineering* ; 96 : 491–497.
- Faid M, Karani H, Elmarrakchi A, Achkari-Begdouri A. (1994). A biotechnological process for the valorization of fish waste. *Biossource Technology* ; 49 ; 237-241.
- Fall P.A, Pilet M.F, Leduc F, Cardinal M, Duflos G, Guérin C, Joffraud J.J, Leroi F. (2012) Sensory and physicochemical evolution of tropical cooked peeled shrimp inoculated by *Brochothrix thermosphacta* and *Lactococcus piscium* CNCM I-4031 during storage at 8 °C . *International Journal of Food Microbiology* 152 : 82–90.
- Ferraro V, Carvalho A.P, Piccirillo C, Santos M.M, Castro P.M.L, Pintado M.E. (2013). Extraction of high added value biological compounds from sardine, sardine-type fish and mackerel canning residues. *Materials Science and Engineering C* ; 33 : 3111-3120
- Gomez-Gillen, M. C., Turnay, J., Fernandez-Diaz, M. D., Ulmo, N., Lizarbe, M. A., & Montero, P. (2002). Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 16, 25–34.
- Gildberg, A. (2002). Enhancing returns from greater utilization. In H. A. Bremner (Ed.), *Safety and quality issues in fish processing* (pp. 425 e449). Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd.
- Gómez-Estaca J, Giménez B, Gómez-Guillén C, Montero P. (2010). Influence of frozen storage on aptitude of sardine and dolphinfish for cold-smoking process. *LWT - Food Science and Technology* ; 43 : 1246-1252.
- Hadrich B, Boudhrioua N, Kechaou N. (2008). Drying of Tunisian sardine (*Sardinella aurita*) experimental study and three-dimensional transfer modeling of drying kinetics. *Journal of Food Engineering* ; 84 : 92–100.
- Hevrøy, E. M., Sandnes, K., & Hemre, G.-I. (2004). Growth, feed utilisation, appetite and health in Atlantic salmon (*Salmo salar*L.) fed a new type of lipid fish meal, Sea Grain, processed from various pelagic marine fish species. *Aquaculture*; 235: 371-392.
- Jayasinghe P, Hawboldt K. (2013) Biofuels from fish processing plant effluents – waste characterization and oil extraction and quality. *Energy Technologies and Assessments* ; 4 : 36–44.
- Kim, J.Y., Lee, S.M., Lee, J.H.(2012). Biogas production from moon jellyfish (*Aurelia aurita*) using of the anaerobic digestion. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2012.06.010> (Accepted manuscript).
- Kituu G.M, Shitanda D, Kanali C.L, Mailutha J.T, Njoroge C.K, Wainaina J.K, Silayo V.K. (2010). Thin layer drying model for simulating the drying of Tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) in a solar tunnel dryer. *Journal of Food Engineering* ; 98 : 325–331.

Krishna Kafle G , Kim S.H , Sung K. (2013). Ensiling of fish industry waste for biogas production: A lab scale evaluation of biochemical methane potential (BMP) and kinetics. *Bioresource Technology* ; 127 : 326–336.

Letisse, M., Rozieres, M., Hiol, A., Sergent, M., & Comeau, L. (2006). Enrichment of EPA and DHA from sardine by supercritical fluid extraction without organic modifier. I. Optimization of extraction conditions. *Journal of Supercritical Fluids*, 38 : 27–36.

Mbarki R, SalouaSadok S, Barkallah I. (2009). Quality changes of the Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) during chilled storage: The effect of low-dose gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry* 78 : 288–292.

Nagai T, Suzuki N. Isolation of collagen from fish waste material - skin, bone and fins. (2000) *Food Chemistry*. 68 : 277–281.

Najjari A, Ouzari H, Boudabous A, Zagorec M. (2008) Method for reliable isolation of *Lactobacillus sakei* strains originating from Tunisian seafood and meat products. *International Journal of Food Microbiology* 121 : 342–351.

Okada M, Machino T, Kato S. (1988). Bone softening, a practical way to utilize small fish. *Marine Fisheries Review*; 50 (3): 1–6.

Péron G, Mittaine J.F b, LeGallic B. (2010). Where do fishmeal and fish oil products come from? An analysis of the conversion ratios in the global fishmeal industry. *Marine Policy* 34 : 815–820.

Wu T, Mao L. (2008). Influences of hot air drying and microwave drying on nutritional and odorous properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets. *Food Chemistry* ; 110 : 647–653.

Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2006). Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* ; 17 :, 524–534.

Zahar M, Benkerroum N, Guerouali A, Laraki K, El Yakoubi K. (2002). Effect of temperature, anaerobiosis, stirring and salt addition on natural fermentation silage of sardine and sardine wastes in sugarcane molasses. *Bioresource Technology* ; 82 : 171-176.

***Planococcus rifitoensis* bio-control agent of grey-mould disease on tomato and strawberry**

Essghaier Badiia^{1,2,3}, Rebib Hanene¹, Dhieb Cyrine¹, Hajlaoui M.Rebeh²,
Boudabous Abdellatif¹ and Sadfi-Zouaoui Najla¹

¹ Laboratoire Microorganismes et Biomolécules Actives, Faculté des Sciences de Tunis, Campus universitaire 2092, Tunisie.

² Laboratoire de Biotechnologie appliquée à l'agriculture, Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT) 2049 Ariana Tunis, Tunisie

³ Faculté des Sciences et Techniques Sidi-Bouزيد, B.P. 380. Sidi-Bouزيد 9100, Tunisie.

Résumé

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les activités antifongiques d'une bactérie halophile modérée la souche M2-26 de *Planococcus rifitoensis* *in vivo* sur les tomates et les fraises. En conditions de post-récolte, la souche M2-26 est capable de réduire la pourriture grise causée par *Botrytis cinerea* sur deux variétés de tomates testées (verte et rouge) et les fraises avec respectivement les pourcentages de réduction de la maladie 82.75%, 79.75% et 53.5%. Les résultats des bioessais sous serre, ont confirmé l'efficacité de cette souche bactérienne aussi bien dans la réduction de la mort des plantes ainsi que le pourcentage d'attaque avec respectivement 33.33% et 73.32% par comparaison aux plantes non traitées. En outre, les résultats de l'investigation de l'activité antifongique *in vitro*, ont montré l'efficacité de la souche M2-26 à inhiber le pathogène avec (89.66%), de produire des composés volatiles antifongiques (39.65%) ainsi que des enzymes antifongiques; chitinase (67.71U/ml), protéase (1.7 U/ml) et laminarinase (12.9U/ml). L'analyse par Blast, des données de la séquence du gène codant à la chitinase de la souche M2-26 a révélé l'appartenance de l'enzyme à la famille 18 des glycosyl- hydrolases.

Mots clés: bactérie halophile modérée, lutte biologique, pourriture grise, *Botrytis cinerea*

Abstract

In this study, we aimed to evaluate the antifungal activities of the moderately halophilic *Planococcus rifitoensis* strain M2-26, *in vivo* under postharvest and greenhouse conditions on tomatoes and strawberry. The strain M2-26 was able to reduce grey mould disease under postharvest conditions on two varieties of tomatoes (mature green and red tomatoes) respectively with percentage of disease reduction of 82.75% and 79.75% and on strawberries with (53.5%). Under greenhouse conditions for tomato, the strain M2-26 was able to reduce the percentage of plant death of about (33.33%) compared to untreated plant as well as to reduce the disease of about 73.32% compared to untreated plant. On strawberry plant, strain M2-26 was able to protect the fruit quality and to reduce grey mould disease with percentage reduction varying from 46.3 to 44.3% respectively after treatment of 8 and 40 days. Moreover, *In vitro*, the strain M2-26 was able to inhibit the pathogen with (89.66%) and to produce highly antifungal volatile compounds (39.65%). Furthermore, antifungal enzymes have been detected in the cell free supernatant of strain M2-26; chitinase (67.71U/ml), protease (1.7 U/ml) and laminarinase (12.9U/ml). The Blast analysis of chitinase sequence highlighted its relation to those of glycosyl hydrolase family 18.

Key-words: moderately halophilic bacteria, biological control, grey-mould, *Botrytis cinerea*

الخلاصة

الهدف من هذه الدراسة هو تقدير مدى نجاعة البكتيريا المعزولة المتكيفة للملوحة M2-26 نوع *Planococcus rifitoensis* كمضاد للفطر *Botrytis cinerea* المتسبب في العفن الرمادي على الطماطم و الفراولا أثناء فترة خزن الغلال. كما أكدت نتائج الأبحاث نجاح البكتيريا M2-26 على خفض الإصابة بالمرض على النوعين من الطماطم المختبرة (الطماطم الخضراء و الحمراء) وكذلك على حبات الفراولا حسب النسب المئوية الآتية 82.75 - 79.75 و 53.5%. كما أكدت نتائج الأبحاث قدرة هذه البكتيريا على الحد من المرض على نبات الطماطم المختبرة في البيوت المكيفة فقد ساعدت على الحد من نسب موت النبات و قللت الإصابة بالمرض حسب النسب المئوية على التوالي 33.33 و 73.32 % مقارنة بالنباتات الغير معالجة. و من جهة أخرى أثبتت هذه البكتيريا كفاءة كبرى للحد من نمو فطر العفن في وسط زرع إصطناعي بنسبة 89.66% بواسطة مواد ذوابة في الوسط الى جانب إفراز مواد غازية مضادة للفطر بنسبة 39.65%. كما أن البكتيريا قادرة على إنتاج نسب متفاوتة من إنزيمات مضادة للفطر مثل chitinase protease, laminarinase 1.7 و 67.71 و 12.9 وحدة/مل. أما نتائج تحليل تركيبة الجين المصنع لإنزيم chitinase فقد أثبتت إنتماء هذا الإنزيم للأسرة 18 من glycosyl -hydrolase.

الكلمات المفاتيح : البكتيريا المتكيفة للملوحة - العفن الرمادي - مضاد بيولوجي.

1. Introduction

Several fungicides effectively controlled *Botrytis cinerea*, but frequently it acquires resistance against fungicides. Furthermore, for problems of environmental pollution and presence of chemical residues in the food chain, there is increasing concern of consumers about pesticide use. These concerns highlight the need for selective fungicides of microbial origin, which are synthesized biologically, and have been demonstrated to be not only specifically effective on the target organisms but also biodegradable. Therefore, biological control based on the use of microorganisms to suppress postharvest diseases of fruits and vegetables offers an attractive alternative that has gained attention and has shown significant potential (Elad et al. 1994).

Moderately halophilic bacteria are a group of halophilic microorganisms able to grow optimally in media containing a wide range of NaCl concentrations (3-15% NaCl). They constitute a heterogeneous group of microorganisms and have been studied for their ecology, physiology, biochemistry and genetics (Ventosa et al. 1998). However their biotechnological possibilities have not been extensively exploited. Furthermore, our laboratory was the first to take an interest in the study of the antifungal activities from halophilic bacteria. These moderately halophilic bacteria were earlier isolated from shallow salt lakes in Tunisia and selected as the strongest antagonists of *Botrytis cinerea*, the causal agent of grey mould disease on strawberries and tomatoes under commercial standard conditions applied in Tunisia (Essghaier et al., 2009; Sadfi-Zouaoui et al., 2008). It should be noted that, efforts are still being done to find new sources of enzymes, better production techniques and novel applications of these enzymes in unexplored fields. In view of these restrictions, researchers have diverted their attention to the isolation and characterization of enzymes from extremophiles including halophiles (Rothschild and Mancinelli, 2001). The objective of our study was to evaluate, the anti-botrytis activities of *Planococcus rifitoensis* strain M2-26 *in vivo* and *in vitro*, and to determine the sequence of chitinase gene encoding.

2. Materials and Methods

2.1. Microorganisms

Bacterial strain A new strain of moderately halophilic bacterium strain M2-26 was isolated from a Tunisian Sebkh. The morphological physiological and molecular characteristics of this strain were previously described.

Pathogens inoculums Two strains of *Botrytis cinerea* (LPV 01, LPV 02) have been obtained from the collection of the Laboratory of Biotechnology applied to the agriculture of the National institute for agronomic research of Tunisia (INRAT). These fungi were routinely grown on PDA at 28°C and stored on the same medium at 4°C.

Antifungal activity *in vivo* under postharvest conditions

Red tomatoes or mature-green (*Lycopersicon esculentum* cv. Maria) were chosen in this study, and the method applied has previously detailed by Sadfi et al.2008. The percentage of disease reduction of grey mould on the tomato fruits was calculated.

Mature and healthy strawberries were uniform in size and colour, free from wounds and rot were soaked in a bacterial suspension (10^8 CFU/ ml) for 12 s, dried for 1 h and sprayed with a conidial suspension of *B. cinerea* at 10^6 spores/ml) and then placed in plastic tray containers, as detailed by us (Essghaier et al.2009).

Antifungal activity *in vivo* under field conditions

Tomato plants used in this study were grown in 25-cm diameter pots in a plastic house. Each treatment had 10 replicate plants. Tomato plants were sprayed with *B. cinerea* suspension (10^6 spores/ml). The following day plants were sprayed with bacteria at a concentration of 10^8 CFU/ml. The control plants were sprayed only with distilled water and all plants were allowed to dry overnight in the greenhouse. The percentages of dead plants as well as the incidence disease were also determined.

Strawberry plants var Kantanga used in this study were cultivated at the Nord-East region of Tunisia. The bacterial antagonist was adjusted to 10^8 CFU/ml. Three different treatments were conducted: biological treatment (bacterial suspension), chemical treatment (Scala) and control treatment (untreated plants). Each treatment was applied as a spray on strawberry under field conditions at 8, 16, 32 and 40 days after the first treatment. The efficacy of bacterial treatment was compared to a chemical one (Scala) as Positive control and negative control (untreated plants). The disease incidence was measured in percentage (%) as follows $(\%) = (A/B) \times 100$, where **A** is the number of infected strawberry fruits and **B** is the number of total fruits. Quadruplicate independent experiments were performed with 48 plants per treatment.

Fruit decay and quality Strawberry decay (damage), including lesions originating from quiescent infections or other wounds, was evaluated subjectively and scored as none (0, no decay), slight (1, one to three small spots of decay), moderate (2, one-quarter to one-half of fruit decayed) or severe (3, one-half to full fruit rot) as detailed by Wszlaki and Mitcham (2003).

Detection of diffusible and volatile antifungal compounds

Detection of diffusible activity Strain M2-26 was cultured on TSB medium, 10% NaCl for 24h at 37°C. The bacterial suspension was centrifuged at 10.000 g for 10 min at 4°C. Antibiotic (diffusible) assays were performed on 9-cm Petri plates containing 20 ml of PDA medium as previously detailed by us (Essghaier et al. 2009).The results were reported as percentage of the diameter of the inhibition zone.

Detection of antifungal activity of volatiles The production of volatile compounds, by the halophilic strain M2-26 was assayed by a sealed plate method as described by Fiddman and Rossall (1995).

Cell wall degrading enzyme production

The investigation of the antifungal enzyme production (chitinase, glucanase and protease) by strain M2-26 was carried out in a basal medium containing 5 g/l tryptone, 5 g/l yeast extract, 1 g/l K_2HPO_4 at pH 7, and the following specific enzymes substrates were used as carbon source: 0.5% (w/v) colloidal chitin (for chitinase), or 0.2% (w/v) Laminarin (from *Laminarin digitata*; Sigma) (for glucanase) (Lim et al., 1991) or 0.2 (w/v) azocasein (for protease).The incubation was maintained for 3 days at 37°C, 180 rev/min. The cell free supernatants from each culture were collected after a centrifugation at 8000 rpm for 10min, for measurement of enzyme activity: *Chitinase assay* was determined according to the method of Gomez Ramirez et al. (2004) as previously detailed by us (Essghaier et al., 2009). The standard *Glucanase* assay was performed according to the method of Leelasuphakul et al.

(2006). *Protease assay* was determined according to the method of Olajuyigbe and Ajele, 2005. **Chitinase gene determination**

Genomic DNA of strain M2-26 was extracted using Wizard genomic DNA purification Kit (*Promega*, Madison, WI, USA) as previously described Essghaier et al., 2009, and was used as a template to amplify a chitinase encoding gene by polymerase chain reaction (PCR) with a pair of degenerate oligonucleotide primers as detailed by us (Essghaier et al. 2012). DNA and deduced amino acid sequences were compared with those of other chitinase genes from GenBank, using the BLAST and CLUSTALW multiple sequence alignment tools (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>).

3. Results and discussion

In earlier work, the control of grey mould using halophilic bacteria has been successful for pre- and postharvest treatments of the tomato crop in Tunisia (Sadfi-Zouaoui et al., 2008a, 2008b), as well as on harvested strawberries for their effectiveness against *B.cinerea* under postharvest conditions (Essghaier et al., 2009). In the present work, the efficiency of the strain M2-26 of *P.rifitoensis* has been tested in vivo, on tomato and strawberry plant under greenhouse conditions and under postharvest conditions on fruits.

The results presented in figure I, had shown that the strain M2-26 was able to reduce grey mould disease on mature green tomatoes and red tomatoes respectively with percentage of disease reduction of 82.75% and 79.75%, and on strawberries with (53.5%), under postharvest conditions applied in Tunisia. Moreover, on tomato plant, the strain was efficient to reduce the percentage of the plant death compared to untreated tomato with about (33.33%) and to reduce the incidence disease of about 73.32% compared to untreated plant after application time of about 40 d (Figure II).

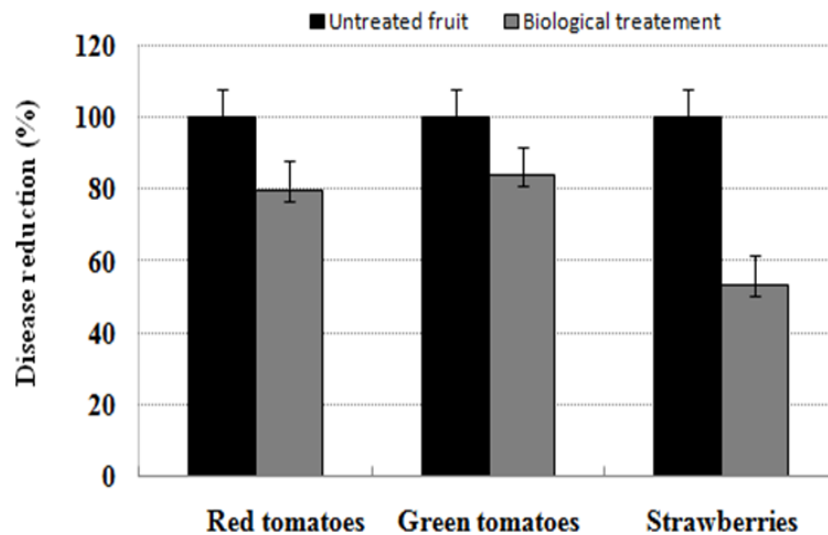


Figure I. Effect of *Planococcus rifitoensis* strain M2-26, applied as 48 h bacterial cultures on the percentage of disease reduction on red, mature-green tomatoes and strawberries. After 5 days of storage at 20°C. Bars indicate standard deviation.

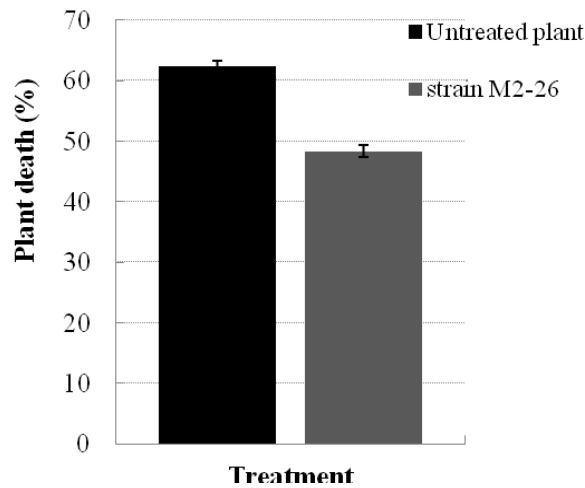
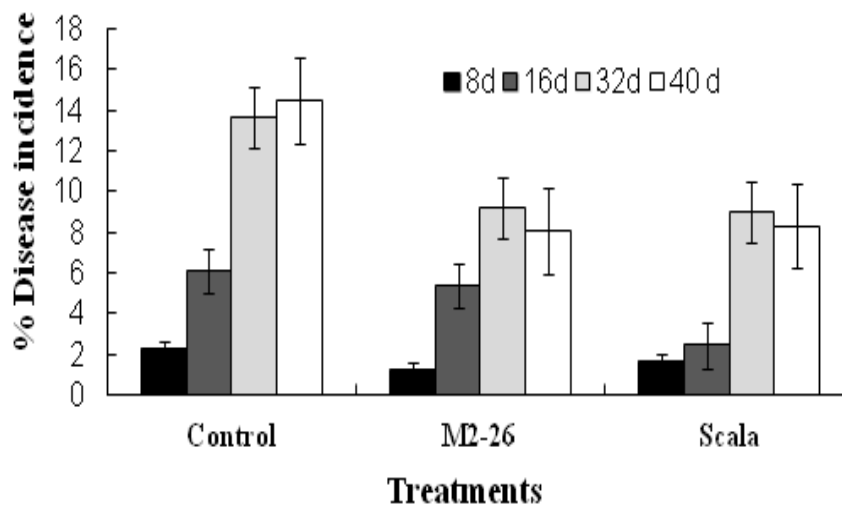


Figure II. Effect of *Planococcus rifitoensis* strain M2-26, applied as curative sprays, on plant death caused by *Botrytis cinerea* under greenhouse conditions. Bars indicate standard deviation.

The figure III a, has shown that the biological treatment (strain M2-26) was able to reduce grey mould disease on strawberry, compared with untreated ones after 8, 16, 32 and 40 days with a percentage reduction varying from 46.3 to 44.3% respectively after treatment of 8 and 40 days. The percentage of disease reduction by chemical treatment varying from 26.61% to 60%, these fluctuation of value may be due to conditions variation in field (eg Temperature, HR%) which can improved fungal development, but activity of biological treatment was more stable. Furthermore, the fruit quality has been also respected by biological treatment compared to chemical fungicides used in the present work (Figure III b).

Therefore, the present study describes the high potentialities of the strain M2-26 of *Planococcus rifitoensis* as good candidate for biological control. The use of such bacteria may constitute an important alternative to synthetic fungicides, which sometimes failed to suppress the development of the fungal pathogen under plant environment.

a



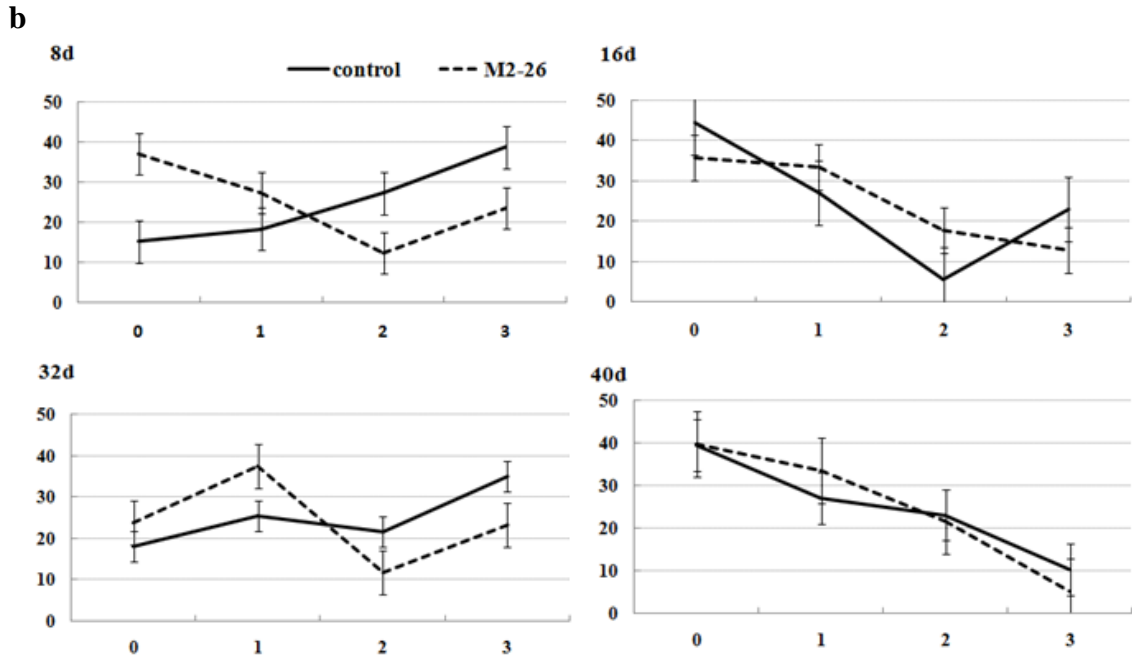


Figure III. Effect of *Planococcus rifitoensis* strain M2-26, on (a) the percentage of disease reduction on strawberry plant, under field conditions, and (b) on fruit quality compared with chemical treatment applied as curative sprays, on strawberry after 8, 16, 32 and 40 days from the first treatment.

Treatment s	Volatiles compounds	Diffusible compounds
Control	0±0	0±0
Strain M2-26	39,74±16,94	89.66±2.51

Table 1: Effect of volatiles and diffusible compounds from *Planococcus rifitoensis* strain M2-26 on mycelia growth inhibition of *Botrytis cinerea* on PDA plates. Values indicate the percentage of mycelia growth inhibition of pathogen expressed in mm.

Note: strain M2-26: biological treatment; Positive control: chemical treatment: (**Scala**) and control ; untreated: no treated strawberry plant used in the study to evaluate the efficacy of the treatments used. Error bars represent the standard deviation.

The investigation of action mode of the strain M2-26 show that, it can produce antibiotic and volatiles compounds able to inhibit *Botrytis* mycelia growth respectively with (89.66%) and (39.65%) (Table 1). Furthermore, the results of antifungal enzymes production reported in figure IV, shown that strain M2-26 can produce hydrolytic extracellular antifungal enzymes especially chitinase with 67.71U/ml, than laminarinase with 12.9U/ml and protease with 1.7 U/ml.

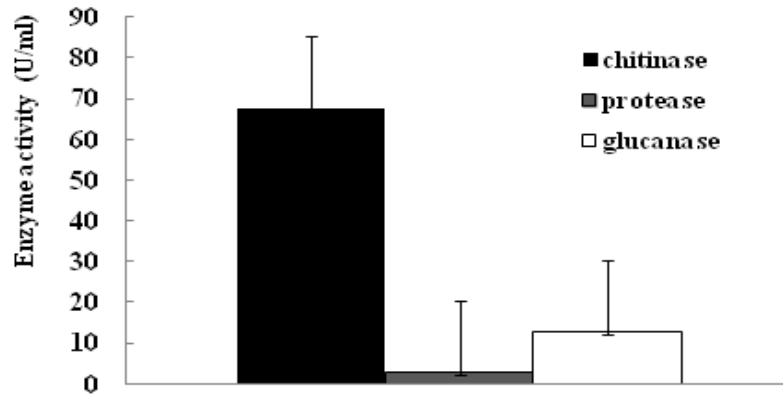


Figure IV: Antifungal extracellular hydrolytic enzymes in cell free supernatants of *Planococcus rifitoensis* strain M2-26. Enzyme activity is expressed in units per ml of cell-free supernatant.

The results obtained in this work, present an additive argument of the ability of halophilic microorganisms to be good candidates to control the activity of phytopathogenic fungi and screened for the production of bioactive compounds such as antibiotics and antifungal substances. Bacteria from hypersaline environments produce a wide range of extracellular salt-tolerant hydrolytic enzymes, which have diverse potential usages in different areas such as food technology, feed additives, and chemical industries (eg Sanchez-Porro et al. 2003). For our knowledge, we have been the pioneer to investigate the antifungal enzyme produced by the halophilic antagonist such as chitinase, glucanase and protease (Sadfi-zouaoui et al..2008a; Essghaier et al.2011; Essghaier et al.2010).

Previously, we have been reporting the biochemical characteristics of the antifungal chitinase produced by the strain M2-26 of *P.rifitoensis*, the present study interest in the determination of the sequence of gene coding to chitinase produced by the strain M2-26. The Blast analysis of chitinase sequence obtained from strain M2-26, highlighted its relation to those of glycosyl hydrolase family 18 with high homology with *Bacillus* species (Figure V).

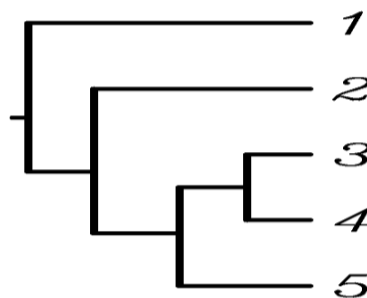


Figure V. Phylogenetic relationships based on sequence of domain catalytic sequence chitinase from *P.rifitoensis* strain M2-26, with those of other *Bacillus* species of 18 family glycoside hydrolases. The phylogenetic tree was calculated by the neighbor-joining method imp and drawn using the program Tree View.

Note: 1: *Planococcus rifitoensis* strain M2-26; 2: *Bacillus cereus* strain 53 (GU134906.1); 3: *Bacillus thuringiensis* serovar konkukian strain S4 Chi39 (GQ183830.1); 4: *Bacillus anthracis* chi36 (EF040226.1); 5: *Bacillus cereus* Chi36 (AF275724.1)

4. Conclusion

Strain M2-26 of *Planococcus rifitoensis*, could be a good biological candidate of greymould disease under postharvest and field conditions for tomato and strawberry.

Strain M2-26, produces antifungal compounds able to inhibit fungal growth *in vitro*. Strain M2-26 has interest potentialities of application in agriculture purpose.

Bibliographie

Elad Y, Kohl J, Fokkema N (1994) Control of infection and sporulation of *Botrytis cinerea* on bean and tomato by saprophytic bacteria and fungi. *Eur J Plant Pathol* 100:315–336.

Essghaier, B, Hedi A, Hajlaoui M R, Boudabous A, Sadfi-Zouaoui N (2012). *In vivo* and *in vitro* evaluation of antifungal activities from a halotolerant *Bacillus subtilis* strain J9. *African Journal of Microbiology Research* Vol. 6(23), 23 January 2012 (DOI: 10.5897/AJMR11.403).

Essghaier, B. Fardeau, M.L., Cayol, J.L. Hajlaoui, M.R. Boudabous, A. Jijakli H. Sadfi-Zouaoui, N. (2009). Biological control of grey mold in strawberry fruits by halophilic bacteria. *Journal of Applied Microbiology* .106 (3): 833-846.

Essghaier, B. Hedi,A. Bejji, M. Jijakli, H. Boudabous, A. Sadfi-Zouaoui, N. (2011). Characterization of a novel chitinase from a moderately halophilic bacterium *Virgibacillus marismortui* strain M3-23. *Annals of Microbiology*. (DOI 10.1007/s13213-0324-4).

Essghaier, B. Rouaissi, M. Boudabous, A. Jijakli, H. Sadfi-Zouaoui, N. (2010). Production and partial characterization of chitinase from a halotolerant *Planococcus rifitoensis* strain M2-26. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 26:977-984. (DOI 10.1007/s11274-009-0259-0).

Fiddman, P.J. and Rossall, S. (1995) Selection of bacterial antagonists for the biological control of *Rhizocotonia solani* in oilseed rape (*Brassica napus*). *Plant Pathol* 44, 695–703.

Leelasuphakul, W., Sivanunsakul, P. and Phongpaichit, S. (2006) Purification, characterization and synergetic activity of b-1, 3-glucanase and antibiotic extract from an antagonistic *Bacillus subtilis* NRS 89-24 against rice blast and sheath blight. *Enzyme Microb Technol* 38, 990–997.

Olayjuyigbe FM, Ajele JO (2005). Production dynamics of extracellular protease from *Bacillus* species. *Afr. J. Biotech.* 4(8): 776-779.

Rothschild LJ, Mancinelli RL (2001). Life in extreme environments. *Nature*. 409: 1092-1101.

Sadfi-Zouaoui, N., Essghaier, B., Hajlaoui, M.R., Fardeau, M.L., Cayol, J.L., Ollivier, B. and Boudabous, A. (2008a) Ability of moderately halophilic bacteria to control Grey mould disease on tomato fruits. *J Phytopathol* 156, 42–52.

Sadfi-Zouaoui, N., Essghaier, B., Hannachi, I., Hajlaoui, M.R. and Boudabous, A. (2008b) First report on the use of moderately halophilic bacteria against stem canker of greenhouse tomatoes caused by *Botrytis cinerea*. *Ann Microbiol* 57, 337–339.

Sanchez-Porro C, Martin S, Mellado E, Ventosa A (2003) A. Diversity of moderately halophilic bacteria producing extracellular hydrolytic enzymes. *J Appl Microbiol* 94:295–300.

Ventosa, A., Nieto, J.J. and Oren, A. (1998) Biology of moderately halophilic aerobic bacteria. *Microbiol Mol Biol Rev* 62, 504–544.

Extraction et incorporation de l'oméga 3 dans le yaourt

**Hajji-Boubakri Hajer, Maalej-Achouri Ines, Lasfar Khalil,
Zddini Latifa et Zerguini Ala.**

Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sidi-Bouزيد
Route de Gafsa, 9100 Sidi-Bouزيد, Tunisie.

Résumé

Ce travail consiste à caractériser des graines de lin et de l'huile de lin en premier temps, puis étudier la possibilité de l'ajout de cette l'huile comme ingrédient dans le yaourt. Pour ce faire, on a réalisé des analyses physico-chimiques et microbiologiques. La caractérisation physicochimique des graines de lin a montré que la teneur en eau est faible de l'ordre de 6,25%, la teneur en cendres est de l'ordre de 3,15%, le taux des protéines est de l'ordre de 18,49% et la quantité de matière grasse est de l'ordre de 30,03%. Les analyses microbiologiques montrent une absence totale des coliformes, des anaérobies sulfite réducteur (ASR), des salmonelles, des levures et moisissures. Les analyses par chromatographie en phase gazeuse (CPG) montrent que l'huile de lin est riche en acide gras insaturés surtout en oméga 3 : acide α linoléique (55,82%), en acide oléique (18,08%) et en acide linoléique (16,36%). Ces résultats sont importants et permettent donc l'augmentation de la valeur nutritionnelle du yaourt.

Les analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles sont faites sur le yaourt au lin et sur un yaourt témoin. Les résultats trouvés montrent que l'huile de lin n'a pas d'influence ni sur le pH, ni sur l'acidité. Par contre il a augmenté l'extrait sec total de 1,55% par rapport au yaourt témoin. Les analyses bactériologiques portées sur le yaourt au lin montrent une absence totale des coliformes totaux et fécaux et des levures et moisissures.

Cette étude est accomplie par une analyse sensorielle faite sur une série de yaourts comportant des pourcentages différents de l'huile de lin (0,5- 1- 1,5- 2- 3- 4- 5% en masse). En se basant sur l'appréciation du goût, l'odeur et la couleur, on a constaté que la dose 2% est la meilleure.

Abstract

This work is to characterize flaxseed and flaxseed oil in first time, and then explores the possibility of adding this oil as an ingredient in yogurt. In fact, we made physico - chemical and microbiological analyzes. The physicochemical characterization of flaxseed showed that the water content is low in the order of 6.25% which limits bacterial growth, this is confirmed by microbiological analyzes based on research of total coliforms, staphylococcus, of ASR, salmonella and of yeasts and molds, in which there is a total absence of these bacteria. The ash content is of the order of 3.15%, the rate of protein which is about 18.49 % and the amount of fat which is in the range of 30.03 % make these seeds a source of these minerals, protein and fat. Analysis by gas chromatography (GC) showed that flaxseed oil is rich in unsaturated fatty acids especially omega 3: linolenic acid (55.82 %), oleic acid (18.08 %) and linoleic acid (16.36 %), which increases the nutritional value of yoghurt.

Physicochemical, microbiological and sensory analyzes are made on yogurt with flax and a witness yoghurt. The found results demonstrate that flaxseed oil has no influence on either the pH or acidity. But it increased the total dry extract by 1.55 % compared to the witness yoghurt. Bacteriological analyzes carried on yogurt flax show absence of fecal coliforms and yeasts and molds. This study is performed by a sensory analysis done on a series of yogurt containing different percentages of flaxseed oil (0.5 - 1 - 1.5 to 2 - 3 - 4 to 5 % by mass). Based on the assessment of taste, odor and color, it was found that the 2% dose is the best.

1. Introduction

Les produits laitiers frais fermentés, comme le yaourt, sont des aliments de grande consommation dans de nombreux pays. La dynamique actuelle du marché des denrées alimentaires oblige les industriels à formuler constamment de nouveaux produits. Ainsi, l'intérêt récent des consommateurs pour des produits allégés en matière grasse a conduit à l'utilisation d'ingrédients tels que des agents de texture, ou des épaississants ou encore des gélifiants. Dans ce contexte, on a essayé de produire un nouveau produit du yaourt enrichi avec l'huile de lin.

Le lin cultivé (*Linum usitatissimum*) est une plante annuelle de la famille des Linacées cultivée principalement pour ses fibres, mais aussi pour ses graines oléagineuses. Ce type d'ingrédient alimentaire est très riche en acides gras insaturés. Dans le monde, le lin est surtout cultivé pour sa graine qui contient environ 41 % d'huile, riche en oméga-3, en particulier de l'acide gras nommé acide alpha-linolénique. L'huile de lin en contient 57 % en moyenne, ainsi que 16 % d'acide linoléique. [Asp, N. G. 1996, Makni et al 2010 (a)].

Cependant, au cours de ce travail, on a caractérisé les graines de lin et l'huile de lin dans un premier temps. Par la suite et après l'ajout de l'ingrédient, on a fait les analyses nécessaires effectuées sur le nouveau produit telles que les analyses physico-chimiques et les analyses microbiologiques.

2. Méthodes et Matériel

2.1. Matériel

Le lin a été collecté de la région de Sidi Bouzid puis après broyage, il a été caractérisé. Par la suite, on a déterminé quelques paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

2.2. Caractérisation physico-chimiques des graines de lin

- L'humidité : C'est le pourcentage d'eau libre contenue dans une masse donnée de produit. C'est un séchage d'une prise d'essai à une température de 100 à 105°C durant 4 à 6 heures dans une étuve chauffée électroniquement.
- Le taux de cendre : Il s'agit d'une incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante, à une température de 550 +/-10°C, jusqu'à combustion complète de la matière organique, et pesée du résidu obtenu.
- Le taux de protéine : A l'aide de l'acide sulfurique, selon KJELDHAL, on détruit la matière organique, ensuite on distille l'ammoniaque par entraînement à la vapeur. Après alcalinisation, on procède au titrage la teneur en azote multipliée par 5,7 donne la teneur en protéine brute.
- La matière grasse : Extraction de la matière grasse présente dans l'échantillon par le système de SOXHLET.

2.3. Caractérisations microbiologiques des graines de lin

On a fait une analyse microbiologique des graines de lin. Cette analyse est basée sur la recherche de germes totaux, des coliformes totaux, des staphylococcus, des ASR, des salmonelles et des levures et moisissure. La recherche des germes totaux se fait par comptage des colonies obtenues en milieu solide PCA, après incubation en aérobiose à 30°C durant 48 heures. De même, la recherche des coliformes totaux se fait par dénombrement des colonies obtenues en milieu solide gélose au deoxycholate lactose agar après incubation à 37°C pendant 48 heures. Le dénombrement des *Staphylococcus aureus* se fait sur milieu Baird Parker après incubation à 37°C pendant 24 heures. Les anaérobies sulfite réducteurs (A.S.R.) sont des bacilles gram+ sporulant, ils forment des colonies caractéristiques à 46°C sur milieu caractéristiques sur milieu gélosé en tube à base de sulfite et de citrate de fer ammoniacal. La recherche des Salmonelles se fait par comptage sur milieu sélectif des colonies obtenues après

incubation à 37°C pendant 24 heures. Le dénombrement des levures et moisissures se fait sur milieu acide PDA après incubation à 30°C pendant 72 heures.

2.4. Extraction et caractérisation de l'huile de lin par CPG

L'extraction de l'huile de lin se fait à l'aide de la méthode SOXHLET en suivant trois étapes; la désagrégation du produit en présence de l'acide chloridrique 4N, une extraction de la matière grasse à l'aide de l'éther de pétrole dans une cartouche à extraction et la récupération de la matière grasse en éliminant l'éther de pétrole et un étuvage à 105°C pendant 2 à 3 h puis une réfrigération dans le dessiccateur. Par la suite, cette huile a été analysée par chromatographie en phase gazeuse.

Cette méthode consiste, après formation d'esters méthyliques volatils des acides gras, à les entraîner à travers une colonne contenant des particules poreuses (phase stationnaire) à haute température, par gaz vecteur (phase mobile) de telle sorte que, selon le partage entre le gaz entraîneur et les particules, les divers esters sortent de la colonne à des moments différents. Un système électrique permet de détecter les esters à la sortie de la colonne et de traduire leur passage par une courbe dont la surface est proportionnelle à la quantité de l'ester. Le gaz entraîneur est un gaz inerte : azote, argon ou hélium. La phase stationnaire est de la silicone, du polyéthylène glycol... La colonne de chromatographie est souvent capillaire et longue de plusieurs mètres, sous forme de serpent. On opère à haute température, 160 à 300°C. Cette température peut être constante ou variable selon un programme préétabli qui varie avec la composition du mélange à analyser. Les esters sortent d'autant plus lentement qu'ils ont plus de carbones et plus de doubles liaisons. L'identification de ces esters se fait par mesure de la durée de la traversée de la colonne après étalonnage de celle-ci avec des acides gras standard.

Mode opératoire : L'échantillon doit être sec et limpide, peser environ 1 g de l'huile de lin. En conséquence, opérer selon l'ISO R661, mais en chauffant l'échantillon juste au-dessus de son point de fusion.

Préparation des esters méthyliques : Introduire la prise d'essai dans la fiole. Ajouter environ 40 ml de méthanol, 0.5 ml de la solution méthanoïque d'hydroxyde de potassium et le régularisateur d'ébullition. Adapter le réfrigérant à reflux à la fiole. En présence d'acides gras contenant plus de deux doubles liaisons, il est recommandé d'éliminer l'air contenu dans la solution méthanoïque et le ballon de barbotage d'azote durant quelques minutes et en maintenant un courant d'azote dans la partie supérieure de réfrigérant pendant la saponification. Porter à l'ébullition, la solution doit devenir limpide, la réaction est normalement terminée au tour de 5 à 10 min. Refroidir la fiole sans courant d'eau et transvaser le contenu de la fiole dans une ampoule. Ajouter environ 40 ml d'eau, agiter et laisser décanter. Les esters se rassemblent dans les phases hépatiques supérieures. Soutirer la phase aqueuse dans une seconde ampoule à décanter et l'extraire à nouveau par 20 ml d'heptane. Réunir les deux extraits et laver deux fois avec 20 ml d'eau. Laisser décanter puis sécher sur sulfate de sodium. La solution d'esters filtrée sur coton et évaporer jusqu'à 20 ml environ le solvant d'eau bouillante, avec barbotage d'azote dans une fiole conique de 50 ml.

2.5. Préparation traditionnelle du nouveau produit

Pour obtenir le lait pasteurisé, 1 litre de lait cru subit une ébullition pendant 20 min. Par la suite, un pot de yaourt nature est ajoutée et 5 cuillères de sucre. Bien mélangé, l'huile de lin est additionnée à raison de 2%. Cette dose a été choisie suite à plusieurs essais à différentes concentrations allant de 0.5, 1, 1.5, 2 jusqu'à 5%. On a alors remarqué que la dose 2% est la meilleure en se basant sur l'appréciation du goût, l'odeur et la couleur. La dose 3% semble rendre le produit amer. Après incubation 10 heures à 42°C, le nouveau produit obtenu est pris pour faire les analyses nécessaires telles que les analyses physico-chimiques et microbiologiques. La figure 1 illustre le diagramme de préparation traditionnelle du nouveau produit.

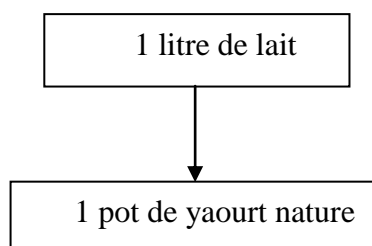


Figure I. Diagramme de préparation traditionnelle de nouveau produit

2.6. Détermination du pH du nouveau produit

Placer la solution à analyser sous agitation magnétique; tremper la sonde propre et sèche dans la solution à analyser, après étalonnage, on fait la lecture directe de la valeur du pH.

2.7. Détermination de l'acidité du nouveau produit

Mettre quelques grammes du yaourt additionné de l'huile de lin dans un erlenmeyer et ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine et titrés par NaOH 0,1 N jusqu'à atteindre une coloration rose.

2.8. Détermination de l'extrait sec total du nouveau produit

Dans une capsule séchée et tarée, introduire 2 g de yaourt. Laisser étuver pendant 3 heures à une température égale 103°C. Faire sortir l'échantillon et introduire dans un dessiccateur jusqu'à refroidissement.

2.9. Caractérisation microbiologique du nouveau produit

On a fait une analyse microbiologique du nouveau produit c'est-à-dire du yaourt additionné de l'huile de lin. Cette analyse est basée sur la recherche de coliformes fécaux, des coliformes totaux et des levures et moisissure.

3. Résultats et discussion

3.1. Composition chimique des graines de lin

Les résultats des analyses physicochimiques portés sur les graines de lin sont donnés par le tableau N°1. En fait, le lin présente une faible teneur en eau de l'ordre de 6,27%, d'où la diminution du risque de la prolifération microbiologique.

La valeur des cendres est égale à 3,15888%, elle est assez élevée ce qui nous montre que les taux des éléments minéraux est important (fer, zinc, cuivre, sel) dans les graines de lin. [Asp, N. G. 1996, Makni et al 2010 (a)].

Le taux de protéines trouvé est de 18,49%, cette valeur est très importante ce qui nous indique que les graines de lin constituent une bonne source de protéines végétales.

Les graines de lin sont oléagineuses du fait que leur teneur en matière grasse présente une valeur égale à 39,03%. Cette huile peut servir pour la consommation humaine à cause de sa richesse en oméga 3 et autres acides gras polyinsaturés. [Asp, N. G. 1996, Makni et al 2010 (b)].

Analyse effectuée	Prise d'essai	Résultats
Humidité	10,05g	6,27%
Taux de cendre	5,83g	3,16%
Protéines	1,02g	18,50 %
Matière grasse	5,25g	39,03%

Tableau 1. Analyses physico-chimiques effectuées pour les graines de lin.

3.2. Etat microbiologique des graines de lin

Le tableau 2 montre les résultats des analyses microbiologiques. On a observé une absence totale de microorganismes dans les graines de lin broyées ainsi que l'huile de lin (Tab. 2). Donc on peut conclure que notre produit n'est pas contaminé ce qui indique que les graines de lin ne permettent pas le développement des microorganismes.

3.3. Composition acide de l'huile de lin

La figure 2 illustre l'analyse chromatographique par CPG de l'huile de lin. Après l'analyse par la chromatographie (CPG), on a remarqué que l'huile de lin est saturée en acide gras polyinsaturés tels que l'acide- ω -linoléique qui est l'acide gras majoritaire qui dépasse les 50% (55.82%).[5]. Ces résultats sont très importants, vue que l'huile de lin est très riches en acide gras insaturé donc il va permettre l'augmentation de la valeur nutritionnelle du yaourt. [De Roissart et Luquet 1994, Richardson et al 2011, Cahiers de nutrition et de diététique 2001].

Le tableau 3 présente la composition acide de l'huile de lin. En effet, les acides gras composant l'huile de lin sont : 90% des acides gras insaturés totaux : 20% des monoinsaturés et 70% des polyinsaturés et 10% des acides gras saturés.

Germes recherchées	Milieu de culture	T (°C)	Incubation	Résultat
Germes totaux	PCA	30°C	48 h	N
Coliformes totaux	Gélose ou désoxycholate	37°C	48 h	N
<i>Staphylococcus aureus</i>	Baird parker	37°C	48 h	N
ASR	TSN	46°C	24 h	N
Salmonelles	Gélose XLD, Hektoen	37°C	24h	N
Levure	PDA	30°C	72 h	N
Moisissure	PDA	30°C	72 h	N

Tableau 2. Etat microbiologique des graines de lin

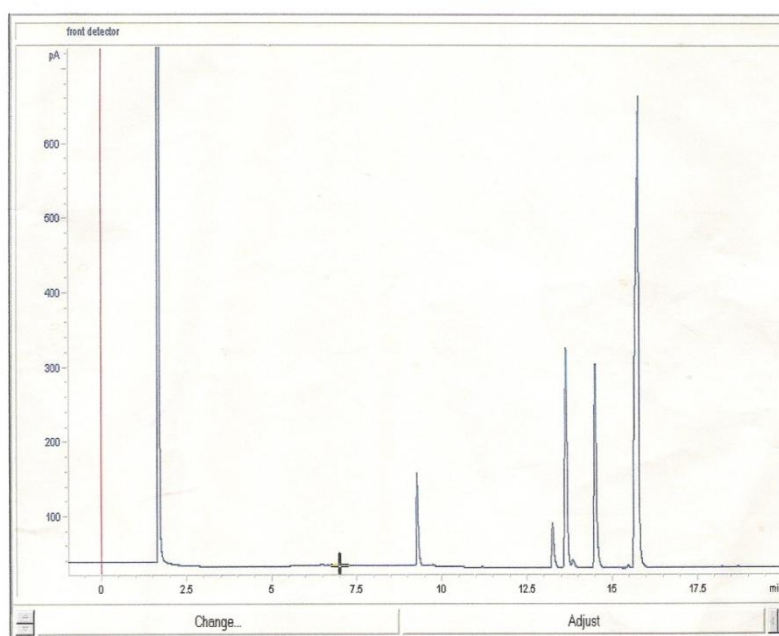


Figure II : Chromatogramme d'analyse par CPG de l'huile de lin

Acide gras	%
C16 :0	5.48
C18 :0	3.38
C18 :1 n-9	18.08
C18 :1 n-7	0.70
C18 :2 n-6	16.36
C18 :2 n-8	0.18
C18 :3 n-3	55.82

Tableau 3. Composition acide après l'analyse de l'huile de lin par CPG
3.4. Propriétés du nouveau yaourt au lin

Le pH, l'acidité et le pourcentage de l'extrait sec du nouveau produit (yaourt additionné de l'huile de lin) sont regroupés dans le tableau 4.

La valeur du pH a été déterminée après l'ajout de l'huile de lin comparé au yaourt témoin. La valeur du pH trouvée est de 4,6. Le pH du yaourt ferme acceptable est entre 4,3 et 4,7; les résultats trouvés pour les 2 types de yaourt sont dans cet intervalle. Donc l'ajout de l'huile de lin n'influe pas sur le pH du yaourt.

	Yaourt témoin	Yaourt avec l'huile de lin
pH	4.5	4.6
Acidité	87	88
Extrait sec total (%)	21	22.5

Tableau 4. Analyses physico-chimiques du nouveau produit c'est-à-dire du yaourt additionné de l'huile de lin.

Selon la norme NT 14.23 (1997), L'acidité de yaourt ferme acceptable est entre 80 et 100. Les résultats trouvés pour les 2 types de yaourt sont dans l'intervalle acceptable de l'acidité. Elle est de 88 pour le yaourt témoin et 87 pour le nouveau produit. Donc l'ajout de l'huile de lin pour le yaourt n'influe pas beaucoup sur l'acidité. Le nouveau produit présente un pourcentage d'extrait sec total de 22.5% alors que pour le témoin, l'extrait sec total est de 21%. D'après les résultats trouvés, on a remarqué que l'ajout de l'huile de lin permet l'augmentation de l'extrait sec total du yaourt qui est de 1,55 %. Les résultats des analyses microbiologiques sont résumés dans le tableau 5. On a observé une absence totale des microorganismes dans le nouveau yaourt. Donc on peut conclure que notre nouveau produit n'est pas contaminé ce qui indique que l'huile de lin ne permet pas le développement des bactéries.

	Yaourt témoin	Yaourt avec l'huile de lin
Coliformes fécaux	-	-
Coliformes totaux	-	-
Levure et moisissure	-	-

Tableau 5. Analyses microbiologiques du nouveau produit

4. Conclusion

La caractérisation physico-chimique des graines de lin a montré que la teneur en eau est faible. La teneur en cendres, le taux de protéines et la quantité de matières grasses sont importants, avec une composition acide riche en acide linoléique (oméga 3) de l'huile de lin, en outre l'absence de risque de contamination par les microorganismes tel que les coliformes, la anaérobies sulfite réducteur et les levures et moisissures, font de cette graine un bon additif alimentaire. En tenant compte que, les acides gras oméga 3 sont très importants

et sont utilisés dans plusieurs applications thérapeutiques telles que : le développement normal du cerveau du fœtus et du nourrisson, la dyslexie et les troubles de l'attention, les maladies cardiovasculaires,... l'utilisation de cette huile de lin comme un additif alimentaire dans un aliment largement consommé comme le yaourt peut être un enjeu industriel et économique important.

Bibliographies

Asp, N. G. (1996) Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. *Food Chemistry*, 57 (1), 9-14.

Cahiers de nutrition et de diététique 2001, 36, 2S1-2S163.

De Roissart H., Luquet F.M. (1994). Bactéries lactique, 2, loriga (chemain de Saint georges, F-384.10, France), pp25-428.

Makni M., Fetoui H., Gargouri N.K., Garoui M., Jaber H., Makni J., Boudawara T., & Zeghal N. (2010) (a). Hypolipidemic and hepatoprotective seeds mixture diet rich in ω -3 and ω -6 fatty acids. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2239–2246.

Makni M., Fetoui H., Gargouri N.K., Garoui M., Jaber H., Makni J., Boudawara T., & Zeghal N. (2010) (b). Flax and Pumpkin seeds mixture ameliorates diabetic nephropathy in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2407–2412.

Richardson ES, Iaizzo PA, Xiao YF, 2011. Electrophysiological mechanisms of the anti-arrhythmic effects of omega-3 fatty acids, *Journal of Cardiovascular Translational Research* 4:42–52.

**Caracteristiques morphologiques et activites antifongique et antiparasitaire
d'*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.**

Bargougui Ahlem¹, Le Pape Patrice², Loiseau Philippe M.³ et Triki Saida¹

¹ Département de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire de Biochimie, Université Tunis El-Manar, Tunis 2092, Tunisie.

² Département de Parasitologie et Mycologie Médicale, EA 1155 IICiMed, UFR des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques Nantes Atlantique Universités, 1 rue Gaston Veil, 44035 Nantes cedex, France.

³ Chimiothérapie Antiparasitaire, UMR 8076 CNRS BioCIS, Faculté de Pharmacie, Univ. Paris-Sud, rue J. B. Clément, 92296 Châtenay-Malabry cedex, France.

Résumé

Opuntia ficus-indica est bien adapté aux conditions climatiques difficiles et il est une source intéressante d'ingrédients alimentaires dans le régime alimentaire et également dans l'industrie alimentaire.

La présente étude vise à mesurer des paramètres morphologiques du fruit du cultivar tardif de la région de Bouargoub et cultivé à la région de Nabeul, on a effectué séparément l'extraction du jus aux trois différents solvants organiques: l'eau, le méthanol et l'acétate d'éthyle.

Opuntia ficus-indica a été utilisé en médecine traditionnelle pour le traitement des abcès et l'inflammation de la peau. Il était donc intéressant d'évaluer dans la présente étude, les activités antifongiques et antileishmanienne des divers extraits de fruit qui pourraient être associées à la guérison de la peau.

L'extrait à l'acétate d'éthyle présente une activité contre *Aspergillus fumigatus* avec une valeur CI₈₀ de 173,3 µg/ml. L'extrait méthanolique a une activité contre *Leishmania major* et *Leishmania mexicana* de CI₅₀ de 194,1 et 349,3 µg/ml respectivement et l'extrait à l'acétate d'éthyle a une activité contre *Leishmania major*, *Leishmania mexicana* et *Leishmania donovani* de CI₅₀ de 58,7; 147,7 et 40 µg/ml respectivement. Par contre ses extraits sont inactifs contre *Trypanosoma brucei brucei* et *Trichomonas vaginalis*.

Nous avons aussi évalué le niveau de cytotoxicité de nos extraits, nous avons testé leur action en présence de deux lignées cellulaires de fibroblastes d'embryons humains MRC-5 et Hela et on a trouvé CMI de 131,2 et 90,5 µg/ml respectivement.

Mots clés: *Opuntia ficus-indica*, critères morphologiques, extraction, activité antifongique, activité antileishmanienne, test de cytotoxicité.

Abstract

The *Opuntia ficus-indica* is very adapted to the difficult climatic conditions and it is a source of interesting ingredients of the diet and the food industry.

This study is trying to measure the morphologic parameters of cultivar fruit of Bouargoub region and grown in the region of Nabeul. We separately applied the extraction of the juice into three organic solvents: water, the methanol and the ethyl acetate.

The *Opuntia ficus-indica* was used in traditional medicine in the treatment of abscess infections and skin inflammations. Thus it was interesting in this study to evaluate the antifungal and antileishmanial activities of the different extracts of the juice which could be associated to the skin recovery.

The extract of the ethyl acetate presents an effect against *Aspergillus fumigatus* with a value IC₈₀ of 173,3 µg/ml. The methanol extract has an activity against *Leishmania major* and *Leishmania mexicana* of IC₅₀ of 194,1 and 399,3 µg/ml respectively and the ethyl acetate extract has an effect against *Leishmania major*, *Leishmania mexicana* and *Leishmania donovani* of CI₅₀ of 58,7; 147,7 and 40 µg/ml respectively. By contrast its extracts has no effect against *Trypanosoma brucei brucei* and *Trichomonas vaginalis*.

We also valued the level of cy to toxicity of our extracts, we've tested their action in presence of two cellular lines of fibroblasts of human embryo MRC-5 and Hela and thus found MIC of 131,2 and 90,5µg/ml respectively.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*, morphological criteria, extraction, antifungal activity, antileishmanial activity, cytotoxicity assay.

1. Introduction

La culture du cactus est devenue tellement importante qu'il a été décidé de créer un réseau international la concernant. Ce réseau, appelé «Réseau International FAO de Coopération Technique sur le Cactus » a été créé en 1991 au Mexique. Il a pour mission de promouvoir la culture et l'utilisation du cactus au niveau mondial. Il fonctionne à travers des représentants régionaux, il est chapeauté par un coordinateur général élu pour une durée de quatre ans. Actuellement, c'est un Tunisien, le Dr Ali Nefzaoui, qui en a la responsabilité. Ainsi le centre d'excellence en matière de valorisation en tant que fourrage et pour l'amélioration pastorale revient à la Tunisie, celui de la conservation et la valorisation des ressources génétiques au Mexique.

Opuntia ficus-indica a été introduit en Afrique du Nord à la fin du 16^{ème} siècle, il a été utilisé au début comme haie. En Tunisie, les cactus sont connus au moins depuis le 17^{ème} siècle et se sont propagés lentement.

Le cultivar sans épines a été introduit en Tunisie plus récemment, au 20^{ème} siècle (Aounallah et al., 2002) et depuis, les surfaces plantées ont augmenté nettement. Cette augmentation est due principalement aux subventions de gouvernement par plusieurs projets internationaux de développement.

En outre, la stratégie nationale pour l'amélioration du terrain qui a eu lieu depuis le 19^{ème} siècle a contribué à l'expansion de cette récolte au climat aride et semi-aride du pays. La surface totale plantée est estimée à 600.000 (Ben Salem et al., 2004).

Le secteur utilisé pour la production du fruit est principalement dans le « Cap Bon » : région où la technique de scuzzulature a été utilisée depuis des décennies. Cette technique a vu le jour accidentellement en Italie, lorsqu'un agriculteur en refusant de vendre sa production, a procédé à la suppression totale des fleurs pour anéantir la récolte. Un peu plus tard, il a observé l'apparition d'une deuxième vague de floraison.

La production intensive du cactus, utilisant des techniques plus avancées a été récemment développée dans le nouveau secteur de la région du nord-est et aussi dans la région du centre ouest à Kasserine.

Le but de ce travail est une étude morphologique comparative entre un cultivar inerme tardif Bouargoub, un autre cultivar inerme tardif Soliman de la même région de Nabeul et un cultivar épineux précoce de la région de Kasserine en se référant à un travail qui a été publié dans le même laboratoire de biochimie de la Faculté des Sciences Tunis, celui de El Guizani et al., 2012.

Ainsi que l'extraction du jus du fruit du cultivar Bouargoub séparément avec trois différents solvants organiques : l'eau, le méthanol et l'acétate d'éthyle. En outre, l'évaluation des activités biologiques des divers extraits obtenus contre deux champignons: *Aspergillus niger* et *Candida albicans* et plusieurs parasites: *Leishmania major*, *Leishmania mexicana*, *Leishmania donovani*, *Trypanosoma brucei brucei* et *Trichomonas vaginalis*.

2. Méthodes et Matériels

2.1. Matériel végétal

Ce travail porte sur un cultivar inermis de l'espèce *Opuntia ficus-indica* qui est tardif (octobre-novembre 2009-2010) en raison de l'application de la scuzzulature et qui provient de la région de Bouargoub-Nabeul (Figure I).



Figure I. Le fruit du cultivar tardif Bouargoub-Nabeul, *Opuntia ficus-indica*

2.2. Critères morphologiques des fruits

L'échantillonnage du cultivar a été effectué le 25 octobre pour le tardif, 30 fruits ont été prélevés. Ces fruits sont broyés un à un, leur volume est mesuré et ils sont conservés au congélateur à -20 °C. Les graines sont séchées dans l'étuve à 50 °C jusqu'à poids constant. Puis leur nombre total est déterminé, ainsi que leur poids total.

Les critères morphologiques suivants ont été évalués :

- la forme du fruit, la couleur de la pulpe, de l'écorce et du jus
- taille, longueur et diamètre de chaque fruit
- poids frais du fruit, de la pulpe et de l'écorce
- poids sec total des graines, poids sec total des graines/fruit et poids moyen d'une graine
- nombre total de graines et nombre des graines/fruit
- pourcentage du poids frais de la pulpe/fruit, du poids frais de l'écorce/fruit, des graines/fruit et des graines/pulpe
- volume total du jus et pourcentage du jus/fruit

30 répétitions ont été réalisées pour chaque type de mesure puis une moyenne est calculée.

Par la suite, nous nous sommes intéressés au jus du cultivar.

2.3. Préparation des extraits de fruits:

Des fruits sans écorce du cultivar sont pesés, les pulpes sont broyées à l'aide d'un mixeur ce qui permet de séparer le jus et les graines. Après centrifugation (3000 rpm, 1h, -4 °C), des jus récupérés des fruits sont divisés, les surnageants sont recueillis et divisés en trois parties qui serviront à l'extraction par le méthanol, par l'acétate d'éthyle ou par l'eau.

Dans des erlenmeyer on dépose 100 g de jus frais et 100 ml de solvant. Puis les erlens sont agités dans un "Shaker" pendant 24 h. Une filtration est nécessaire à cause du colmatage dû à la viscosité du jus.

Pour les extractions à l'acétate d'éthyle, ce filtrat est transvasé dans une ampoule à décanter pour récupérer la phase supérieure (jaune-verdâtre) qui correspond à l'extrait recherché, riche en polyphénols. La phase inférieure aqueuse de couleur rose est à éliminer.

Avec l'eau ou le méthanol on n'obtient qu'une seule phase.

Les trois extraits obtenus sont traités à l'évaporateur rotatif pour éliminer le solvant. Enfin le poids du résidu sec est déterminé puis les divers échantillons sont conservés au congélateur à -20°C.



Figure II. Les deux phases de l'extrait à l'acétate d'éthyle

2.4. Mesure du pH du jus

L'électrode d'un pH-mètre préalablement étalonné à 20°C, est plongée dans le jus dont la température doit être comprise entre 20 et 25°C. Deux répétitions sont effectuées et le pH est exprimé avec précision de deux décimales.

2.5. Activités biologiques

2.5.1. Activité antifongique - Méthode microdilution - (Clinical and Laboratory Standards Institute, 2008 a, b)

Une suspension cellulaire concentrée ont été cultivées à 37°C dans une solution de sérum physiologique et de Tween 80 à 0,01%.

Une suspension de *Candida albicans* a été préparée à environ 2.10^3 cellules/ml ou une suspension de spores d'*Aspergillus fumigatus* à 2.10^4 spores ont été inoculées dans des plaques à 96 puits puis des concentrations d'extraits ont été ajoutées en triplicate.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures. 10 µl d'Uptiblué™ ou d'Alamar blue™ sont ajoutés dans chaque puits et l'incubation se poursuit à 37°C pendant 4 heures pour l'évaluation contre *Candida* et 20 heures contre *Aspergillus*. La DO des puits dans la plaque est mesurée au spectrofluorimètre-Dynatech, Fluorolite 1000-(filtre d'excitation 550 nm, filtre d'émission 590 nm).

2.5.2. Activité antileishmanienne *in vitro* contre des promastigotes de *Leishmania major* (MHOM/SEN/96/NAN2) et *L. mexicana* (MHOM/MX/95/NAN1) (Le Pape et al., 2002)

Les promastigotes ont été cultivées à 26 ° C dans un milieu de Schneider complet (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO), complété par 15 % de sérum de bovin foetal (Sigma), la pénicilline (100 UI/ml) et la streptomycine (100 µg/ml).

Les promastigotes de *L. major* et *L. mexicana* (2.10^6 parasites/ml) dans la phase de croissance exponentielle tardive ont été inoculées dans des plaques à 96 puits puis des concentrations d'extraits ont été ajoutées en triplicate.

Après incubation des cultures pendant 96 h à 26°C, la viabilité des promastigotes a été vérifiée à l'aide de la méthode rézasurine spectrofluorimétrique. Quatre heures avant la mesure, 10 µl de solution de rézasurine (700 µM) ont été ajoutés. Puis la fluorescence a été mesurée avec le lecteur de plaque Fluorolite 1000 (Dynatech) avec une longueur d'onde d'excitation de 550 nm et une longueur d'onde d'émission de 590 nm.

L'intensité de fluorescence produite est directement proportionnelle aux résultats du nombre de cellules vivantes. Les résultats été exprimés en CI_{50} , ce sont les concentrations qui inhibent la croissance des parasites de 50%. L'amphotéricine B ou la pentamidine étaient utilisés comme composés de référence anti-leishmaniose.

2.5.3. Activité antileishmanienne *in vitro* contre des promastigotes de *L. donovani* (MHOM/ET/67/HU3) (Mbongo et al., 1997)

Les formes promastigotes de *L. donovani* (MHOM/ET/67/HU3) ont été cultivées dans un milieu M-199 supplémenté avec 40 mM d'Hepes, 100 µM d'adénosine, 0,5 mg/l d'hémine, 10% sérum bovin fœtal (FBS) inactivé par la chaleur et 50 µg/ml de gentamycine à 26 °C dans un environnement sombre, sous une atmosphère à 5 % de CO₂. Toutes les expériences ont été réalisées avec des parasites dans leur phase logarithmique de croissance.

Dans des plaques microtitrées de 96 puits à fonds plats, 200 µl de milieu de culture sont placés dans chaque puits qui contient la concentration maximale du composé à tester (C1), et 100 µl dans ce qui suit (C2-C7 et contrôles), 2 µl (10 mg/ml) de la solution mère de chaque extrait et fraction dissoute dans le DMSO sont ajoutés en C1 jusqu'à 2% (v/v) de DMSO dans le volume final, le DMSO n'a pas d'effet sur la croissance du parasite et une dilution en série dans le puits est effectuée. Après 1 h à 27°C sous une atmosphère à 5% de CO₂, 100 µl de milieu de culture complété avec 1,75 x 10⁶ promastigotes/ml d'une culture en phase logarithmique (dénombrement avec une cellule de Malassez) ont été ajoutés dans les puits. Le volume final dans chaque puit est de 200 µl. Les tests biologiques ont été réalisés à trois reprises et à chaque concentration testée en triple exemplaire ont une période d'incubation de 3 jours à 26 °C dans l'obscurité sous une atmosphère de 95% air + 5% CO₂.

La viabilité des parasites a été évaluée par un la méthode de dosage colorimétrique (MTT) à l'aide du colorant tétrazolium qui est un produit insoluble de couleur jaune qui est réduit en MTT-formazan de couleur bleue par les mitochondries des cellules viables

Après incubation des cellules avec le réactif MTT, une solution détergente a été ajouté pour lyser les cellules et dissoudre les cristaux colorés de formazan . Les échantillons ont ensuite été lues en utilisant un lecteur de plaque ELISA à une longueur d'onde de 570 nm. La quantité de couleur produite est directement proportionnelle au nombre de cellules viables. Les résultats sont exprimés par la concentration inhibant la croissance des parasites à 50% (CI₅₀) après une période d'incubation de 3 jours. L'amphotéricine B et la pentamidine ont été utilisés comme composés de référence antileishmanienne (Chollet et al., 2008).

2.5.4. Activité trypanocide *in vitro* contre *Trypanosoma brucei brucei* CMP (Loiseau, 2000)

Les essais sont réalisés sur des trypanomastigotes de la souche rapide de *T.b.brucei* CMP menant à la mort des souris trois jours après l'infection. En bref, le sang de souris infectées (18-20 g, Janvier, Le Genest Saint Isle, France) a été recueilli de façon aseptique par un prélèvement sinus rétro-orbital et les formes sanguines de *T. brucei brucei* ont été purifiés à partir d'une centrifugation

(900 g, 4 °C). Les trypanosomes ont été maintenues *in vitro* pendant 24 h dans l'obscurité à 37°C dans une atmosphère à 5% de CO₂, dans un milieu essentiel minimal (Gibco BRL) comprenant 25 mM d'Hepes et des sels de Earle on a ajouté 2 mM de glutamine, 1 g de glucose supplémentaire par litre, 10 ml de milieu essentiel minimum des acides aminés non essentiels (100x ; Gibco BRL) par litre, 0,2 mM de 2-mercaptoéthanol, 2 mM de pyruvate de sodium, 0,1 mM d'hypoxanthine, 0,016 mM de thymidine, 15% de sérum de cheval inactivé par la chaleur (Gibco BRL), et 50 µg de gentamycine par ml. L'évaluation trypanocidale des extraits a été réalisée dans des plaques à 96 puits dans un volume final de 200 µl contenant 2x10⁵ trypanomastigotes préalablement purifiés par centrifugation (900 g, 4 °C) à partir du sang d'une Souris Swiss infectée), et les échantillons à tester. La pentamidine a été utilisé comme composé de référence. la Concentration Minimale Efficace (MEC) a été définie comme étant la concentration minimale à laquelle aucun parasite viable n'a été observée au microscope. Cette valeur a été confirmée par l'injection intrapéritonéale de la culture correspondante bien à la MEC à une souris Swiss pour confirmer que les parasites non mobiles ont été tués et vraiment pas en mesure de diviser dans les souris.

2.5.5. Activité sur *Trichomonas vaginalis in vitro* (Camuzat-Dedenis et al., 2001)

La souche de *Trichomonas vaginalis* (CMP c11) employée a été isolée chez une femme en 1987. Elle est sensible au metronidazole. Les extraits à tester sont mis en contact avec 10^4 protozoaires par ml. La culture est réalisée en conditions d'anaérobiose, à 35 °C pendant 48 heures. Le nombre de parasites (par ml) est déterminé microscopiquement avec un hémocytomètre. Les résultats sont comparés avec le tube témoin dans lequel aucun extrait n'a été ajouté.

2.5.6. Cytotoxicité (Moret et al., 2009)

Des cellules Hela et MRC-5 ont été repiquées tous les 4 jours dans du milieu RPMI 1640 et FBS à 10% (Sigma-Aldrich). Les cellules ont été récoltées après une incubation de 5 minutes avec une solution de trypsine (Sigma-Aldrich). 100 µl des suspensions cellulaires des cellules Hela et MRC-5 à 10^5 /ml ont étéensemencées dans une microplaque à 96 puits. Après 24 heures d'incubation à 37 °C et 5% de CO₂, 100 µl d'extrait ont été ajoutés en double exemplaire. Après 96 heures, 10 µL de solution de résazurine (700 µM) était ajoutée. Après une incubation de 4 heures à 37 °C, 5% CO₂, la fluorescence a été mesurée à 590 nm avec une excitation à 550 nm.

3. Résultats et discussions

3.1. Critères morphologiques

Plusieurs paramètres morphologiques ont été analysés pour le cultivar tardif Bouargoub cultivé dans la région de Nabeul. Ce cultivar présente des dimensions proche que le cultivar inerme tardif, Soliman cultivé aussi dans la région de Nabeul dont son poids est de 140,72 g, la longueur et le diamètre sont respectivement de 9,57 cm et 4,96 cm. Les fruits de ces deux cultivars atteignent presque le double du poids moyens du cultivar précoce épineux de la région du centre ouest à Kasserine (74,25 g) qui a comme longueur et diamètre 6,67 et 3,94 cm, respectivement. En effet ces deux cultivars sont tardifs et ceci en raison de l'application de la scuzzulature. Cette technique consiste en un avortement manuel des premières fleurs et des nouvelles raquettes pour obliger la plante à en développer de nouvelles après 30 à 40 jours (Barbera et al., 1993). Les fruits obtenus sont plus gros et se développent en automne. La couleur est également caractéristique du cultivar. Le cultivar épineux présente une coloration jaune orange tandis que les cultivars Bouargoub et Soliman sont rose-violet.

Le nombre de graines par fruit ainsi que leur poids total ont été déterminés puis comparés pour les trois cultivars. Les fruits des cultivars Bouargoub et Soliman, bien que plus gros, contiennent moins de graines : 195 et 236 graines moyennement/fruit, respectivement alors que le cultivar épineux, 265 graines/fruit. Ce qui correspond à 3,86 ; 4,87 et 11,9 % de la pulpe. Ces graines constituent presque 10-15 % de la pulpe selon Pimienta-Barrios (1994).

Les quantités de jus par fruit, 55,43 et 49,80 ml sont obtenues avec les cultivars tardifs, respectivement Soliman et Bouargoub par rapport à 24,68 ml de jus/fruit du cultivar épineux (Tableau 1). Ce qui nous reflète de considérer le volume de jus comme un paramètre caractéristique dans l'appréciation de la qualité du fruit.

Les différences entre les cultivars tardifs et précoce pourraient être expliquées par l'effet de la scuzzulature et, ou par l'effet géographique. Par contre, les différences entre les deux cultivars tardifs, met en évidence l'effet de l'environnement entre les deux zones Bouargoub et Soliman de la région de Nabeul, surtout les variations de précipitations en octobre-novembre.

30 fruits	Moyenne
Longueur (cm)	10,00
Diamètre (cm)	5,187
Poids frais du fruit(g)	136,3
Poids frais de pulpe (g)	77,67
Poids de l'écorce (g)	59,00
Poids Sec des graines/fruit (g)	2,983
Pourcentage du Poids frais de pulpe/fruit (%)	55,80
Pourcentage du Poids frais de l'écorce/fruit (%)	41,91
Poids moyen d'une graine (mg)	10,00
Nombre des graines/fruit	195
Pourcentage des graines/fruit (%)	2,187
Pourcentage des graines/pulpe (%)	3,865
Volume du jus/fruit (ml)	49,80
PS de l'écorce/fruit (g)	12,70

Tableau 1. Critères morphologiques du cultivar Bouargoub d' *Opuntia ficus-indica*

3.2. Le pH :

Les jus des trois cultivars ont des pH peu variables, de l'ordre de 6, il est proche de la neutralité. En effet les valeurs sont de 6,79 ; 5,77 et 5,81 respectivement pour les cultivars Bouargoub, Soliman et épineux.

Nos valeurs sont en accord avec celles des travaux réalisés antérieurement. Par contre nos valeurs sont moins acides que celles rapportées par Chavez-Santoscoy et al. (2009) et Diaz-Medina et al. en 2007, où le pH allant de 4,27 à 5,46 et 3,32, respectivement.

Pimienta (1990); Sepulveda et Sàenz (1990), ont permis de classer ce fruit de pH élevé (5,3-7,1) parmi les groupes à faibles acidités (pH>4,5).

Selon Felker et al. (2005), le pH de la maturité du fruit de cactus varie entre 5,6 et 6,5.

Ainsi, ce type de jus de fruits nécessiterait un traitement thermique (de 115 °C) dans le cas d'une valorisation industrielle afin d'obtenir un meilleur contrôle du développement d'éventuels microorganismes (Sàenz, 1995).

3.3. Rendement d'extraction en composés actifs de jus

Afin d'extraire les composés phénoliques du jus du cultivar Bouargoub, supposés être le siège des activités biologiques, nous avons choisi trois solvants : le méthanol habituellement utilisé avec ces molécules, l'acétate d'éthyle moins polaire et l'eau, qui serait plus adéquat en cas de valorisation médicale des extraits de cette plante. Puis les rendements ont été déterminés.

Les résultats montrent que les rendements des extractions obtenues avec l'eau (3,3 g/fruit) et le méthanol (3,45 g/fruit) à partir de 100 ml de jus, sont plus importants que ceux obtenus avec l'acétate d'éthyle (0,15 g/fruit), (Tableau 2) ce qui peut s'expliquer par le fait que ce dernier solvant est plus sélectif de certains composés, au contraire l'eau et le méthanol extraient beaucoup plus de substances.

Rendement d'extraction	Solvant	Rendement d'extraction
g d'extrait/fruit	Eau	3,3
	Méthanol	3,45
	Acétate d'éthyle	0,15
g d'extrait/100g PF pulpe (%)	Eau	4,32
	Méthanol	4,51
	Acétate d'éthyle	0,196
g d'extrait/100g PS pulpe (%)	Eau	47,14
	Méthanol	49,28
	Acétate d'éthyle	2,14

Tableau 2. Rendement d'extraction de jus de fruits du cultivar Bouargoub d'*Opuntia ficus indica*

3.4. Evaluations des activités biologiques

3.4.1. Activité antifongique - Méthode de microdilution -

Trois concentrations différentes 500, 25 et 1,25 µg/ml pour chacun des extraits ont été préparées et testées contre deux souches d'*Aspergillus fumigatus* (AF7 et AF 210498) et une souche de *Candida albicans* (CA 98001). Cette méthode d'évaluation a été optimisée au laboratoire à la recherche et à l'obtention de la concentration minimale inhibitrice à 80% (CI₈₀) d'*Aspergillus* et de la concentration minimale inhibitrice à 50% (CI₅₀) de *Candidas albicans*. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 3.

Extrait	AF 7 (CI ₈₀)	AF 210498 (CI ₈₀)	CA 98001(CI ₅₀)
Eau	> 500	2,5 % à 500 µg/ml	> 500
Methanol	> 500	> 500	> 500
Acéthate d'éthyle	173,3 µg/ml	32,5% à 500 µg/ml	> 500
Amphotéricine B	0,79 µg/ml	0,85 µg/ml	0,82 µg/ml

CI₈₀ : Concentration Inhibitrice à 80 %

CI₅₀ : Concentration Inhibitrice à 50 %

Tableau 3. Activité antifongique des extraits de jus de fruits d'*Opuntia ficus-indica*

Le dépistage antifongique a prouvé que l'extrait à l'acétate d'éthyle de jus du cultivar Bouargoub a le meilleur pouvoir antifongique contre *Aspergillus fumigatus* 7 par rapport aux autres extraits étudiés, on obtient une avec CI₈₀ de 173,3 µg/ml.

Ce même extrait a inhibé la croissance d'*Aspergillus fumigatus* 210498 au pourcentage respectif 32,5 % à 500 µg/ml. D'autre part, tous les extraits se sont montrés inactifs contre *Candida albicans* 98001.

Les effets antifongiques des extraits peuvent être attribués éventuellement à une combinaison de différents composés phytochimiques qui provoquent des dommages au niveau des membranes cellulaires entraînant la mort (Fogliani et al., 2005).

3.4.2. Evaluation de la cytotoxicité de l'extrait à l'acétate d'éthyle du cultivar Bouargoub sur des fibroblastes humains MRC-5 et Hela

Nous avons testé l'action de l'extrait à l'acétate d'éthyle du jus du cultivar Bouargoub qui été le plus actif contre les champignons testés en dessus, en présence de deux lignées

cellulaires de fibroblastes d'embryons humains pour évaluer le niveau de cytotoxicité par un test colorimétrique de prolifération cellulaire utilisant le MTT (Mossman, 1983).

Ainsi, un extrait peut inhiber la croissance du champignon ou parasite sans pour autant posséder de propriété antifongique ou antiparasitaire intrinsèque. La toxicité envers le champignon le parasite serait donc induite dans ce cas. Un extrait antifongique ou antiparasitaire intéressant est celui qui tue le champignon ou le parasite sans tuer la cellule hôte.

Les lignées MRC-5 sont moins sensibles à la toxicité de l'extrait à l'acétate d'éthyle de jus du cultivar Bouargoub (Tableau 4).

Extrait à l'acétate d'éthyle du jus du cultivar Bouargoub	CMI ($\mu\text{g/ml}$)	
	MRC-5	Hela
	131,2 \pm 51,2	90,5 \pm 27

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

Tableau 4. Résultat de test de cytotoxicité avec des lignées cellulaires MRC-5 et Hela

Ces concentrations toxiques sont importantes à connaître afin de fixer les limites, en prévision de l'étude des activités antifongiques et antiparasitaires entreprises avec nos extraits.

Nos résultats sont proches de celui trouvé en 2012 par Dhaouidi et al. qui ont montré qu'une concentration supérieure à 106,43 $\mu\text{g/ml}$ d'extrait à l'acétone de jus du fruit *Opuntia ficus-indica* tunisien est capable de diminuer significativement *in vitro* la viabilité des cellules cancéreuses humaines de types neuroblastome SH-SY5Y et fibroblastes 3T3 jusqu'à 50-60%, une à trois heures après traitement.

3.4.3. Activité antileishmanienne "*in vitro*" des extraits de fruits du cultivar Bouargoub sur des promastigotes (*L. major*, *L. mexicana* et *L. donovani*)

Le potentiel antileishmanien (CI_{50}) des extraits obtenus par trois solvants à partir de fruits du cultivar Bouargoub d'*Opuntia ficus-indica* a été évalué "*in vitro*" contre trois espèces de leishmanioses : *L. major* (MHOM/SEN/96/NAN2), *L. mexicana* (MHOM/MX/95/NAN1) et *L. donovani* (MHOM/ET/67/HU3).

Deux techniques d'évaluation du pouvoir antileishmanien ont été utilisées : celle de Le Pape et al. (2002) pour *L. major* et *L. mexicana*, où les extraits sont considérés comme inactifs avec des $CI_{50} > 500 \mu\text{g/ml}$ et celle de Mbongo et al. (1997) où les extraits sont considérés inactifs avec des $CI_{50} > 500 \mu\text{g/ml}$ pour *L. donovani* et aussi *L. mexicana* où l'inactivité est limitée à 100 $\mu\text{g/ml}$. Deux molécules utilisées dans les traitements antileishmaniens, l'amphotéricine B (polyène) et la pentamidine (composé aromatique) ont été testées au cours de nos expériences pour servir de témoins positifs.

On remarque globalement que l'extrait à l'acétate d'éthyle est plus actif contre les trois souches de leishmania que ceux obtenus avec les autres solvants (Tableau 5) avec des CI_{50} de 58,7 $\mu\text{g/ml}$ contre *L. major*, 147,7 $\mu\text{g/ml}$ contre *L. mexicana* et un peu plus efficaces contre *L. donovani*, 40 $\mu\text{g/ml}$.

L'extrait aqueux n'a aucune activité contre les trois parasites $CI_{50} > 100 \mu\text{g/ml}$, l'extrait méthanolique a une activité faible contre *L. major* et *L. mexicana* de CI_{50} égales à 194,1 et 349,3 $\mu\text{g/ml}$, respectivement.

		L. major (CI₅₀)	L. mexicana (CI₅₀)	L. donovani LV9 wt (CI₅₀)
Extrait	Eau	> 500	> 500	>100
	Methanol	194,1 ± 0,0	349,3 ± 0,9	>100
	Acétate d'éthyle	58,7 ± 6,5	147,7 ± 9,4	40
Amphotéricine B		–	–	0.078 µM
Pentamidine		–	6,3 ± 0,4	–

Tableau 5. Résultats du test de l'activité antileishmanienne mesurée en CI₅₀ (µg/ml) pour les de jus de fruit d'*O. ficus-indica*

Tous nos extraits surtout méthanoliques et aqueux ont été inactifs contre *L. mexicana* avec CI₅₀>100 µg/ml. Ces résultats confirment ceux obtenus avec des extraits de même type de plusieurs plantes dont *Acanthospermum hispidum*, *Byrsocarpus coccineus*, *Carpolobia lutea*, qui ont été évalués par Bero et al. en 2011. Ce qui prouve que ces deux solvants ne sont pas sélectifs des composés actifs contre *L. mexicana*. Par contre les composés extraits des raquettes d'*Opuntia ficus-indica* par le méthanol ont été actifs contre *L. donovani* d'où la spécificité d'interaction produit actif et souche de Leishmanie.

3.4.4. Evaluation trypanocidale contre *Trypanosoma brucei brucei* "in vitro"

Les limites de l'arsenal thérapeutique justifient la recherche de nouvelles substances trypanocides. C'est dans ce cadre que l'activité trypanocide des extraits de figuier de Barbarie a été recherchée.

Nous avons testé le pouvoir trypanocidale contre *Trypanosoma brucei brucei* (CMP) des extraits des trois solvants de jus du cultivar Bouargoub (Tableau 6).

Nos échantillons peuvent être considérés comme inactifs, si leur CME est supérieure à 125 µg/ml.

Echantillons (10 mg/ml)	<i>T. b.brucei</i> CME (µg/l)
Extrait à l'acétate d'éthyle	>125
Extrait au methanol	>125
Extrait à l'eau	>125

CME : Concentration Minimale Efficace.

Tableau 6. Résultats des activités contre *Trypanosoma brucei brucei* des extraits des trois solvants de jus du cultivar Bouargoub

3.4.5. Activité contre *Trichomonas vaginalis* "in vitro"

Après avoir testé tous nos échantillons précédents contre le parasite *Trichomonas vaginalis* "in vitro", nous remarquons qu'à la concentration de 10 mg/ml, ils sont tous inactifs (Tableau 7), car ils présentent une CME supérieure à 50 µg/ml.

En 2010, De Villiers et al., ont montré qu'à une concentration légèrement supérieure à celle de nos échantillons, l'extrait aqueux de feuilles de *Cussonia spicata* a une CMI = 13.3 mg/ml contre *Trichomonas vaginalis*. L'extrait méthanolique de feuilles de *Cussonia gamtoosensis* a une CIM = 0.3 mg/ml à des concentrations inférieures, ainsi que l'extrait aqueux de feuilles de *Schefflera umbellifera* (CMI = 4,5 mg/ml).

Echantillons	T. vaginalis (µg/ml)
Extrait à l'acétate d'éthyle	>50
Extrait méthanolique	>50
Extrait à l'eau	>50
Pentamidine	3.1 µM

CME : Concentration Minimale Efficace.

Tableau 7. Activités contre *Trichomonas vaginalis* des extraits du jus du cultivar Bouargoub d'*Opuntia ficus-indica*

4. Conclusion

Dans le cadre de la valorisation du fruit de figuier de Barbarie, nous avons entrepris une étude des critères morphologiques et mise en évidence des activités biologiques.

Les différences des critères morphologiques entre les cultivars tardifs Bouargoub et Soliman de la région de Nabeul et précoce de la région de Kasserine d'*Opuntia ficus-indica* pourraient être expliquées par l'effet de la scozulature et, ou par l'effet géographique. Ainsi, les différences entre les deux cultivars tardifs, met en évidence l'effet de l'environnement entre les deux zones Bouargoub et Soliman de la région de Nabeul, surtout les variations de précipitations en octobre-novembre.

Les jus des trois cultivars ont des pH peu variables, de valeurs de 6,79 ; 5,77 et 5,81 respectivement pour les cultivars Bouargoub, Soliman et épineux, proches de la neutralité.

Les rendements des extractions obtenues avec l'eau () et le méthanol (g/fruit) à partir de 100 ml de jus, sont plus importants que ceux obtenus avec l'acétate d'éthyle de 3,3 ; 3,45 et 0,15 g/fruit, respectivement.

L'extrait à l'acétate d'éthyle de jus du cultivar Bouargoub a la meilleure activité antifongique contre *Aspergillus fumigatus* 7 par rapport aux autres extraits étudiés avec CI₈₀ de 173,3 µg/ml.

L'extrait à l'acétate d'éthyle est évalué qu'il devient toxique à une CMI de 131,2 µg/ml contre les fibroblastes MRC-5 par rapport à une CMI de 90,5 µg/ml contre les lignées cellulaires Hela.

L'extrait à l'acétate d'éthyle est plus actif contre les trois souches de leishmania que ceux obtenus avec l'eau et le méthanol (Tableau 9) avec des CI₅₀ de 58,7 µg/ml contre *L. major*, 147,7 *L. mexicana* et un peu plus efficaces contre *L. donovani*, 40 µg/ml. L'extrait méthanolique a puvé aussi de pouvoir antileishmanien, moins efficace contre *L. major* et *L. mexicana* de CI₅₀ égales à 194,1 349,3 µg/ml, respectivement.

Par contre ces extraits n'ont pas prouvé d'activité anti-*Trypanosoma brucei brucei* et anti-*Trichomonas vaginalis*.

Bibliographiques

Aounallah K., Nefzaoui A., Bettaieb T. and Tissaoui T., 2002. Effet de l'application de la "Scozzolatura" sur la reffloration et la précocité de la production de fruits chez le figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) ; 9ème journée de l'IRESA.

Barbera G., Carimi F. and Inglese P., 1993. Effects of GA3 and Shading On return bloom of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.). *Journal of the South African society for Horticultural Science* ; 3: 9-10.

Ben Salem H. and Nefzaoui A., 2004. Spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *Small Ruminant research* ; 51: 65-73.

Bero, J., Hannaert, V., Chataigne, G., Herent, M.-F. and Quetin-Leclercq, J., 2011. In vitro Minimum inhibitory concentrations of medicinal plants used in Northern Peru as antibacterial remedies. *J Ethnopharmacol*, 132(1) : 101–108.

Camuzat-Dedenis B., Provot O., Cointeaux L., Peyrou V., Berrien J.-F., Bories C., Loiseau P., Mayrargue J. and Perroux V., 2001. Synthesis and in vitro trichomonocidal activities of some new dialkylperoxides and 1,2,4-trioxanes. *European Journal of Medicinal Chemistry* ; 36 : 837-842.

Chavez-Santoscoy R.A., Gutierrez-Urbe J.A. and Serna-Saldívar S.O., 2009. Phenolic composition, antioxidant capacity and *in vitro* cancer cell cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia spp.*) juices. *Plant Foods Hum. Nutr* ; 64 : 146–152.

Chollet C., Crousse B., Bories C., Bonnet-Delpon D., Loiseau P.M., 2008. *In vitro* antileishmanial evaluation of fluoro-artemisinin derivatives against *Leishmania donovani*. *Biomed Pharmacother* ; 62 : 462-465.

CLSI (2008a) Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts; approved standard-third edition; CLSI document M27-A3 . *Clinical and Laboratory Standards Institute*, Wayne.

CLSI (2008b) Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of filamentous fungi; approved standard CLSI document M38-A2. *Clinical and Laboratory Standards Institute*, Wayne.

De Villiers, B.J., Van Vuuren, S.F., Van Zyl, R.L. and Van Wyk, B.E., 2010. Antimicrobial and antimalarial activity of *Cussonia* species (Araliaceae). *Journal of Ethnopharmacology*; 129:189-196.

Dhaouadi K., Raboudi F., Funez-Gomez L., Pamies D., Estevan C., Hamdaoui M. and Fattouch S., 2012. Polyphenolic Extract of Barbary-Fig (*Opuntia ficus-indica*) Syrup: RP–HPLC–ESI–MS Analysis and Determination of Antioxidant, Antimicrobial and Cancer-Cells Cytotoxic Potentials. *Food Analytical Methods* ; 10.1007/s12161-012-9410-x.

Diaz Medina E.M., Rodriguez Rodriguez E.M. and Diaz Romero C., 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus-indica* fruits. *Food Chemistry* ; 103 : 38-45.

El-Guizani T., Tlili N. and Triki S., 2012. Fruit characteristics and chemical proprieties of juice and seeds of three *Opuntia ficus indica* cultivars. *African Journal of Biotechnology* ; 11 (6) : 1460-1464.

Felker P., Rodriguez del C.S., Casoliba R.M., Filippini R., Medina D. et Zapata R., 2005. Comparaison of *Opuntia ficus-indica* varieties of Mexican and Argentine origin for fruit yield and quality in Argentina; *Journal of Arid Environments* ; 60 : 405-422.

Fogliani, B., Raharivelomanana, P., Bianchini J-P, Bourai`ma-Madjèbi S. and Hnawia E., 2005. Bioactive ellagitannins from *Cunonia macrophylla*, an endemic Cunoniaceae from New Caledonia. *Phytochemistry*; 66: 241-247.

Le Pape P., Pagniez F. and Abdala-Valencia H., 2002. A new automatized fluorometric assay for anti-*Leishmania* drug screening. *Acta Parasitologica* ; 47:79-81

Loiseau P.M., Lubert P. and Wolf J-G, 2000. Contribution of dithiol ligands to *in vitro* and *in vivo* trypanocidal activities of dithiaarsanes and investigation of ligand exchange in an aqueous solution. *Antimicrobial Agents Chemotherapy*; 44: 2954-2961.

Mbongo N., Loiseau P.M., Lawrence F., Bories C., Craciunescu D.G. and Robert-Gero M., 1997. In vitro sensitivity of *Leishmania donovani* to organometallic derivatives of pentamidine. *Parasitology Research* ; 83 : 515-517.

Moret V., Laras Y., Cresteil T., Aubert G., Ping D.Q., Di C., Barthelemy-Requin M., Beclin C., Peyrot V., Allegro D., Rolland A., Angelis F.D., Gatti E., Pierre P., Pasquini L., Petrucci E., Testa U. and Kraus J.L., 2009. Discovery of a new family of bis-8-hydroxyquinoline substituted benzylamines with pro-apoptotic activity in cancer cells:

synthesis, structure-activity relationship, and action mechanism studies. *European Journal of Medicinal Chemistry* ; 44: 558-567.

Pimienta B.E., 1990. El Nopal tunero (1st Edn). Jalisco, Mexico. Universidad de Guadalajara : 246.

Pimienta B.E., 1994. Prickly pear (*Opuntia* spp.) a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments* ; 28(1) : 1-12.

Sàenz C., 1995. Food Manufacture and by products. In : Barbera G., Inglese P., Pimienta-Barrios E.(eds), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear : 137-143. FAO, *Plant Production and Protection* ; 132 : 216.

Sepúlveda E. and Sàenz C., 1990. Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos* ; 30 : 551-555.

Etude de l'évolution des teneurs en phénols et en flavonoïdes totaux et de l'activité anti-oxydante des feuilles de mauve (*malva parviflora*) au cours de son cycle végétatif

Messaoudi I.¹, Ksouri R.², Ben Chaouacha-Chekir R.¹ et Mihoubi-Boudhrioua N.¹

¹ UR Ecophysiologie et Procédés Agroalimentaire, Université de la Manouba, BP-66, 2020 Ariana, Tunisie.

² Centre de Biotechnologie de Borj Cédria, B.P. 95. Hammam-Lif, 2050, Tunisie.

Resumé

Cette étude vise à déterminer l'évolution de la composition phytochimique de la *Malva parviflora* au cours de son cycle végétatif. Les prélèvements des échantillons de la plante sont effectués chaque 15-20 jours depuis les jeunes pousses formées de deux feuilles (stade 1) jusqu'au stade de bourgeonnement. Les jeunes pousses de la plante ont des teneurs en eau plus élevés ($83,61 \pm 0,73$ g d'eau/ 100g MF) que le stade de pré bourgeonnement ($77,89 \pm 0,56$ g d'eau/ 100g MF). Les teneurs en phénols totaux varient de $106,56 \pm 9,76$ mg EAG /g MS pour le stade 1 à $179,31 \pm 4,13$ mg EAG /g MS pour le stade de pré bougonnement. Les teneurs en flavonoïdes varient de $38,08 \pm 3,69$ mg EQ /g MS à $113,95 \pm 15,14$ mg EQ /g MS. La valeur la plus faible de la concentration inhibitrice, IC50, est enregistrée pour les jeunes feuilles ($1243,79 \pm 10$ µg/ml d'extrait).

Mots clés: *Malva parviflora*, feuilles, composition phyto-chimique, cycle végétatif, activité anti-oxydante

Abstract

This study aims to determine changes in the phytochemical composition of the *Malva parviflora* leaves during its growth cycle. Samples are collected from the plant every 15-20 days from of stage of young leaves (stage 1) to the stage of budding. Young leaves have higher water contents (83.61 ± 0.73 g water / 100g FM) then leaves of pre budding stage (77.89 ± 0.56 g water / 100g FM). The total phenols content ranges from 106.56 ± 9.76 mg GAE / g DM for stage 1 to 179.31 ± 4.13 mg GAE / g DM for the stage of pre budding. Total flavonoids content varies from 38.08 ± 3.69 mg QE / g to 113.95 ± 15.14 mg DM QE / g DM. The lowest IC50 value is registered for young leaves (1243.79 ± 10 ug / ml of extract).

Key words: *Malva parviflora*, leaves, phyto-chemical, vegetative cycle, antioxidant activity

1. Introduction

Malva parviflora est l'une des plantes les plus fréquemment employées dans le pourtour méditerranéen. C'est aussi une des plantes autochtones comestibles de la Tunisie. Elle est à la base de préparation de plats caractéristiques de la gastronomie traditionnelle tunisienne et méditerranéenne.

Le recours à cette mauve en applications alimentaire et non alimentaire (cosmétique, pharmaceutique) revient à son potentiel émoullant due à sa richesse en mucilage (20%) (Schmidgall et al, 2000) et à son potentiel antioxydant avec un pourcentage d'inhibition de 94,3% (Kambizi et al, 2006). La composition des feuilles de la plante (glucides : $71,89 \pm 0,35$ g/100 g MS, lipides : $3,09 \pm 0,27$ g/100 g MS, protéines : $14,26 \pm 0,44$ g/100 g MS) lui confère des vertus nutritionnels et nutraceutiques (Barros et al, 2010). Les substances

naturelles issues de cette plante sont mises à profit dans l'industrie, en pharmacie et en cosmétologie, parmi ces composés on retrouve aussi des métabolites secondaires (composés phénoliques).

L'objectif de ce travail est d'examiner les évolutions des teneurs en phénols totaux, en flavonoïdes, en eau, de l'activité anti-oxydante des feuilles ainsi que la couleur des feuilles au cours des stades végétatifs de la plante pour une exploitation optimale de la plante.

2. Matériels et méthodes

A. Matière végétale

On a réservé une parcelle, qui reste inculte pour toute la durée du prélèvement, de la région de Béja pour les prélèvements des feuilles de mauve (*Malva parviflora*). Toute la couverture végétale est livrée aux conditions aléatoires du climat. Les feuilles de mauves sont récoltées à différents stades végétatifs depuis les jeunes pousses végétatifs jusqu'au stade de bourgeonnement.

Durant l'étude expérimentale, la cueillette a été réalisée au cours de la période d'Octobre 2012 à Février 2013 à raison d'un prélèvement tous les 15-20 jours comme le montre le tableau 1.

Date du prélèvement	Nombre de feuilles sur la tige principale	Stades végétatifs
15/10/2012	2	Stade 1
05/11/2012	4	Stade 2
19/12/2012	6	Stade 4
04/01/2013	8	Stade 6
17/01/2013	10	Stade 8
25/02/2013	Plus que 12	Stade de pré-bourgeonnement

Tableau 1. Date de prélèvement des échantillons des feuilles de mauve

Toutes les analyses qui suivront sont effectuées en triples et les résultats sont exprimés sous forme de moyenne \pm écart type.

B. Teneur en eau

La teneur en eau est déterminée par déshydratation d'un échantillon de feuilles de mauve dans une étuve à 105°C pendant 24h. Une fois la masse de l'échantillon finale est constante on calcule la teneur en eau en g /100 MF (matière fraîche) et on détermine la teneur en matière sèche (MS).

C. Evaluation de la couleur

Les trois paramètres de couleurs L*, a* et b* des feuilles de mauves sont déterminés à l'aide d'un colorimètre qui est un analyseur de couleur (MASELLI LC, Beijing). L'échantillon à analyser est mis dans une cuve contenu dans l'appareil.

Le paramètre L* indique la luminosité de l'échantillon, il varie de 100 (le blanc) à 0 (le noir), le paramètre a* indique les couleurs rougeâtres (a* > 0) ou verdâtres (a* < 0). Alors que le paramètre b* indique les couleurs jaunâtres (b* > 0) ou bleuâtres (b* < 0).

D. Teneur en phénols totaux

La teneur en phénols totaux (PT) des extraits éthanoliques (1g/20ml) obtenus à partir des feuilles de mauve est déterminée selon la méthode de Folin Ciocalteu à une absorbance de 760 nm selon le protocole décrits par Wong et al (2006). On réalise une gamme étalon avec l'acide gallique. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS).

E. Teneur en flavonoïdes totaux

L'évaluation de la teneur en flavonoïdes totaux dans les différents extraits éthanoliques des feuilles de mauve est réalisée selon la méthode du trichlorure d'aluminium. L'absorbance est mesurée à 510 nm. Le protocole est réalisé comme décrit Djeridane et al. (2006). Dans les mêmes conditions, la gamme étalon est préparée avec une solution standard de Quercetine de concentration égale à 1 mg/mL. Les résultats sont exprimés en microgramme d'équivalent de Quercetine par milligramme de matière sèche (mg EQ/g MS).

F. Activité antiradicalaire

L'évaluation de l'activité antiradicalaire dans les extraits des feuilles de mauve est déterminée par la méthode de DPPH. La lecture d'absorbances est réalisée à 520nm pour cinq gammes de concentration d'extraits.

3. Resultats et discussions

3.1. Variations de la teneur en eau et de la couleur des feuilles

La teneur en eau des feuilles de mauve varie en diminuant en fonction du stade végétatif (Figure I). Les jeunes pousses de la plante ont des teneurs en eau plus élevées ($83,61 \pm 0,73$ g d'eau/ 100g MF) que les feuilles du stade de pré bourgeonnement ($77,89 \pm 0,56$ g d'eau/ 100g MF). Couplan et Styner (1994) rapportent que la teneur en eau est de 80 g d'eau /100g MF pour la *Malva sylvestris* et de 78 g d'eau/ 100g MF pour la *Malva rotundifolia* sans indiquant le stade de récolte de la plante. Barros et al. (2010) rapportent que la teneur en eau de la *Malva sylvestris* est de 76 g d'eau/ 100g MF pour des plantes récoltés au mois de juillet en période de floraison.

Les feuilles de mauves sont à fortes humidités et les différences entre les valeurs rapportées sont essentiellement dues aux conditions géographiques, édaphiques du sol, climatiques et au stade végétatif de la plante.

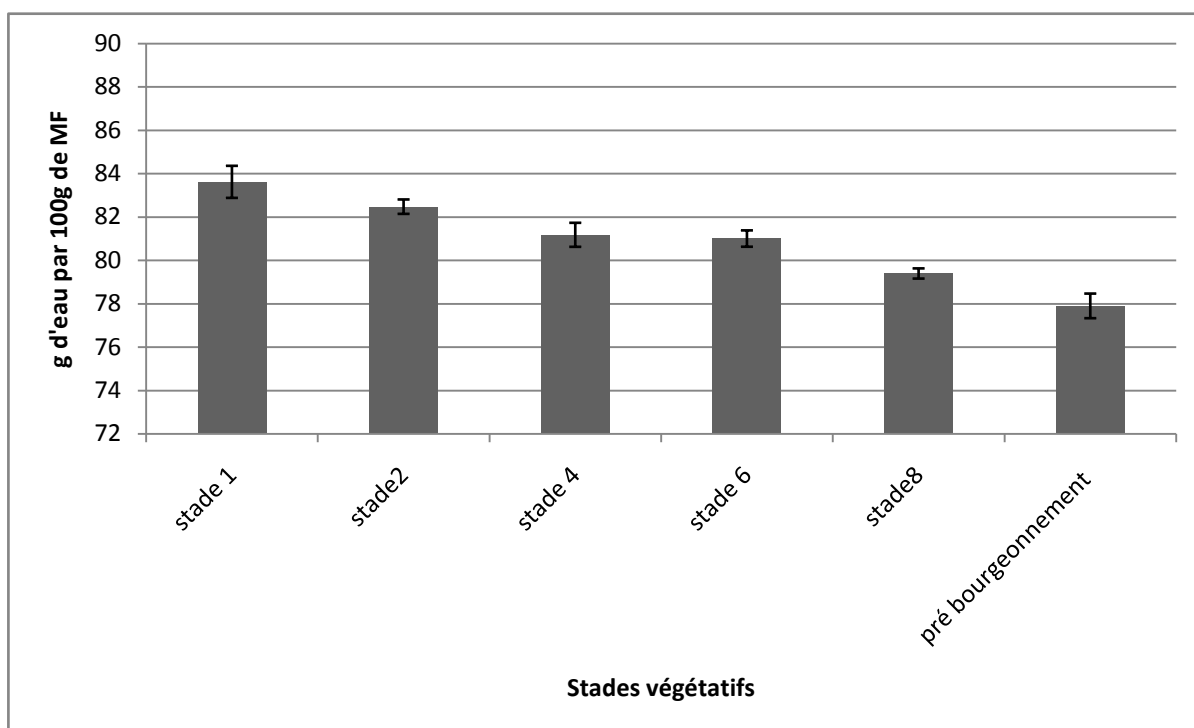


Figure I. Variation de la teneur en eau des feuilles de *Malva parviflora* en fonction du stage végétatif.

Les différents stades végétatifs sont associés aussi à une modification du teint verdâtre des feuilles de mauve (Tableau 2).

	Stade 1	Stade 2	Stade 4	Stade 6	Stade 8	Stade de pré bourgeonnement
a	5,30±0,07	7,62±0,31	9,54±0,06	9,66±0,09	12,04±0,08	-19,92±0,27
b	5,34±0,06	6,70±0,08	7,88±0,05	8,30±0,05	9,60±0,02	9,50±0,30
L	27,62±0,38	31,84±0,43	32,58±0,10	32,13±0,06	34,81±0,02	36,54±0,26

Tableau 2. Les paramètres de couleurs des feuilles en fonction des stades végétatifs

3.1. Variations des teneurs en phénols et en flavonoïdes totaux et de l'activité antioxydante des feuilles

On note une augmentation de la teneur en phénols totaux en fonction du stade végétatif. En effet, les teneurs en phénols totaux varient de $106,56 \pm 9,76$ mg EAG /g MS pour le stade 1 à $179,31 \pm 4,13$ mg EAG /g MS pour le stade de pré bougonnement (Figure II). Barros et al. (2010). rapportent une teneur de 386.45 mg EAG /g d'extrait pour les feuilles de *Malva sylvestris* portugaise alors que Conforti et al. (2008) rapportent une teneur de 28 mg EAG/g d'extrait pour les feuilles de mauve italiennes. Falleh *et al* (2008) explique la large variation des teneurs en composés phénoliques dans une plante à un certain nombre de facteurs intrinsèques (espèce, stade végétatif) et extrinsèques (sol, climat). Les différences des teneurs rapportées peuvent aussi s'expliquer par le fait que le dosage par le réactif Folin-Ciocalteu n'est pas spécifique aux phénols, mais beaucoup de composés à groupement phénoliques pouvant exister dans les produits peuvent réagir avec ce réactif (vitamine, acides aminés, protéines,...), donnant une surestimation des phénols totaux (Tawaha et al, 2007).

Les phénols sont particulièrement abondants dans légumes qui contiennent des teneurs qui varient de 25 à 100 mg /100 g MS. Ces valeurs restent toujours inférieures à celles rapportées pour les fruits qui peuvent atteindre 500 mg / 100 g dans certains fruits comme la pomme, le raisin ou les cerises (Scalbert et al, 2005).

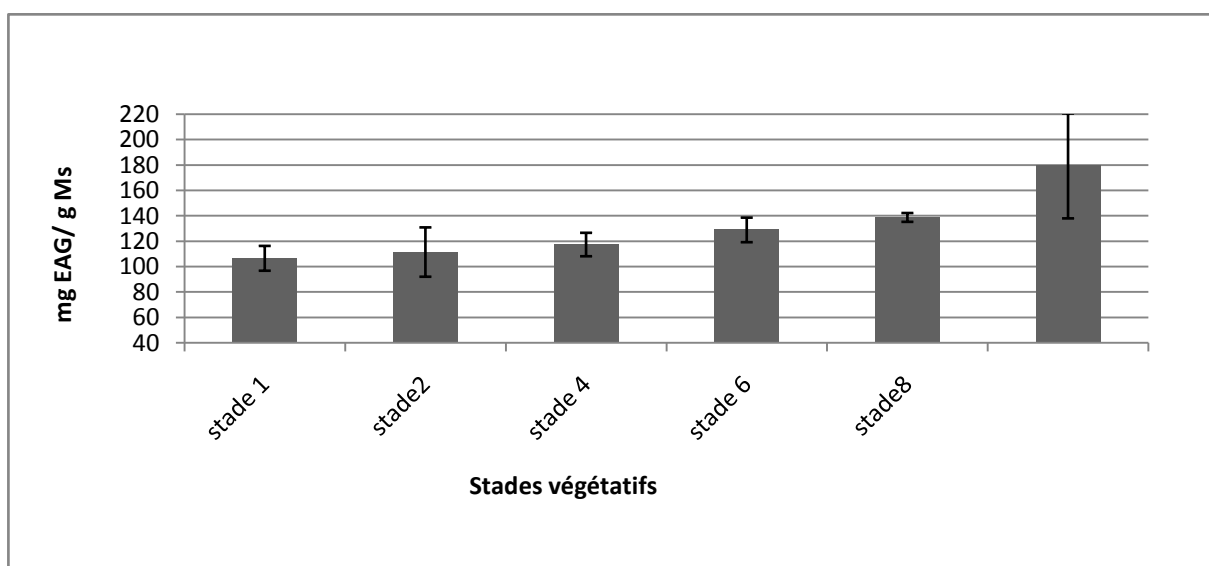


Figure II. Variation des teneurs en phénols totaux des feuilles de *Malva parviflora* en fonction du stage végétatif.

Les variations des teneurs en flavonoïdes sont représentées dans la figure III. Les teneurs en flavonoïdes varient de $38,08 \pm 3,69$ mg EQ /g MS pour le stade 1 à $113,95 \pm 15,14$ mg EQ /g MS pour le stade de pré bourgeonnement. Les résultats ne concordent pas avec ceux de Barros et al. (2010) qui montrent que les feuilles de mauves *Sylvestris* contiennent $210,81 \pm 7,99$ mg EQ /g d'extraits alors que les fleurs contiennent $46,55 \pm 5,26$ mg EQ /g d'extraits. Le dosage des ces composés pour l'ensemble de la tige fleurie est de $143,40 \pm 7,86$ mg EQ /g d'extraits. Les feuilles de mauve Italienne contiennent $4,77$ mg EQ /g d'extraits (Conforti et al., 2008).

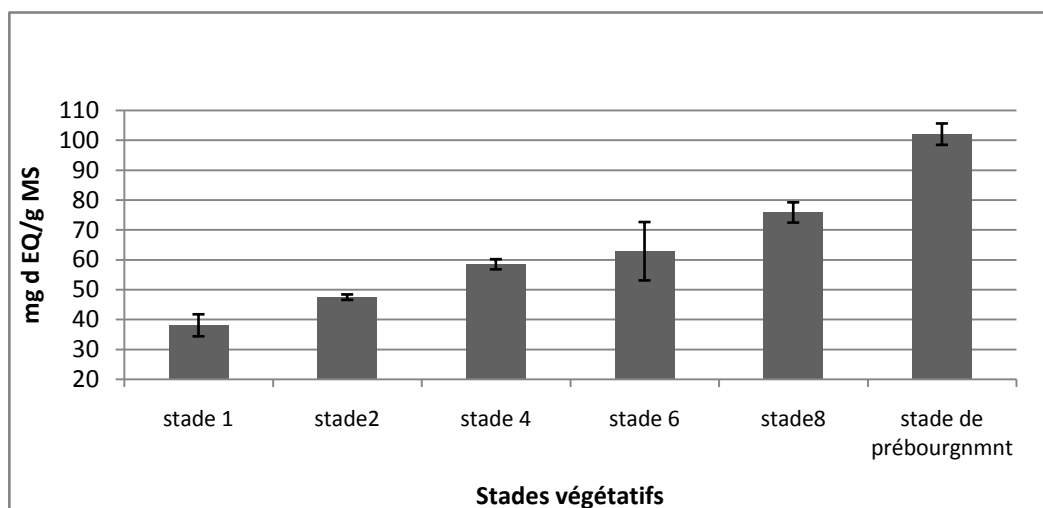


Figure III. Variation des teneurs en flavonoïdes totaux des feuilles de *Malva parviflora* en fonction du stage végétatif.

Pour l'activité anti radicalaire, on remarque que la CI_{50} augmente graduellement en fonction du temps (Figure IV). La CI_{50} la plus élevée été obtenu pour le stade de pré bourgeonnement avec CI_{50} égale à $1330,31 \pm 10$ μ g/ml d'extrait alors que la valeur la plus faible est enregistrée au stade 1 avec les jeunes feuilles ($1243,79 \pm 10$ μ g/ml d'extrait).

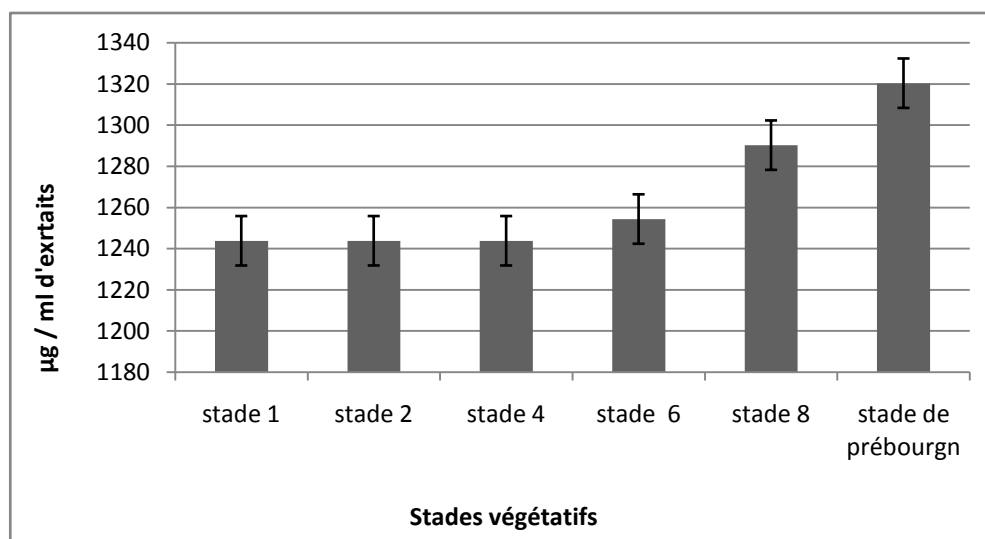


Figure IV. Variation de l'activité antioxydante (CI_{50}) des feuilles de *Malva parviflora* en fonction du stage végétatif.

Flores (2011) rapporte que les composés phénoliques sont les agents les plus anti oxydants. Ils agissent sur les ions super oxydes, hydroxydes et l'oxyde nitrique en leurs fournissant un hydrogène avec un électron. Le composé nouvellement formé se stabilise par résonance, permettant de diminuer le stress oxydatif. Cependant, selon Mavi et al. (2004), il n'existe pas de corrélation entre l'activité oxydante de la mauve et sa composition quantitative en composés phénoliques.

4. CONCLUSION

Les teneurs en eau les plus élevées ($83,61 \pm 0,73$ g d'eau/ 100g MF) et la concentration inhibitrice, IC50 la plus faible ($1243,79 \pm 10$ µg/ml d'extrait) sont enregistrés pour les jeunes feuilles. Le changement de composition est accompagné d'un changement de couleur des feuilles qui devient de plus en plus foncée. La couleur verte la plus foncée ($a = -19,92 \pm 0,27$), les teneurs les plus importantes en phénol ($179,31 \pm 4,13$ mg EAG /g MS) et en flavonoïdes ($113,95 \pm 15,14$ mg EQ /g MS) totaux sont enregistrés pendant le stade de pré bourgeonnement. En outre, ces résultats suggèrent d'autres études pour l'isolement et la quantification individuels des composés phénoliques et des flavonoïdes.

Toute fois au stade de pré bourgeonnement il y a aussi formation de lignine se qui rends les brindilles et les limbes de la plante peu comestibles et non appétant. Ceci explique la raison pour laquelle la consommation traditionnelle des feuilles de mauve se fait au stade intermédiaire qui précède le pré bourgeonnement.

Bibliographie

-Barros L., Maria Carvalo A. et Ferrierra I. 2010. Leaves, Flowers, Immature fruits and Leafy flowered stems of *Malva sylvestris*: A comparative study of the nutraceutical potential and composition.

-Conforti, F., Sosa, S., Marrelli, M., Menichini, F., Statti, G.A., Uzunov, D., Tubaro, A., Menichini, F., Loggia, R.D. 2008. *In vivo* anti-inflammatory and *in vitro* antioxidant activities of Mediterranean dietary plants. *J. Ethnopharmacol.* 116, 144-151.

-Couplan.F.et Styner.E. 1994. Guide des plantes sauvages comestibles et tixiques – Delachaux et Niestlé.diseases." *Crit Rev Food Sci Nutr* 45: 287-306.

-Djeridane, A., Yous, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., Vidal, N. 2006. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chem.*, 97: 654-660.

-Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M., Abdell,C. 2008. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities . *C. R. Biologies*, 331: 372-379.

Flores M., 2011, *Malva sylvestris* L. et autres mauves de France, Thèse pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Nantes, Faculté de pharmacie de France..221.

-Kambizi L, Adebola PO, Afolayan AJ (2006). Effects of temperature, pre-chilling and light on germination of *Withania somniifera* a high value medicinal plant. *S. Afr. J. Bot.* 72: 11-14.

Mavi A.,Terzi Z.,Ozgen U.,Yildirim A., et Coskun M.2004. Antioxydant proprieties of some Medicinal Plants : Prangos ferulacea(Apiacea), Sedum sempervivoides (Crassulaceae), Malva neglecta (Malvaceae), Crucjata taurica (Rubiaceae), Rosa pimpinellifolia(Rosaceae) Galium verum subsp. Verum (Rubiaceae), Urtica dioica (Urticaceae)- *Biol.Pharm.Bull.*27(5). 702-705.

-Scalbert A., Manach C. Morand C. et ESY C.2005. "Dietary polyphenols and the prevention of diseases" *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45:287–306. ISSN: 1040-8398

-Schmidgall J, Schnetz E et Hensel A. 2000. Evidence for bioadhesive effects of polysaccharides and polysaccharide-containing herbs in an ex vivo bioadhesion assay on buccal membranes. *Planta Med.* Feb: 66(1):48-53.

-Wong, C.C., Li H.B., Cheng K.W. et Chen F. 2006. A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chem.*, 97: 705-7011

citrus peels phenolic compounds: molecular structure, biological activity, functional properties and different extraction methods: a review

M'hiri N. ^{1,2}, Ioannou I. ², Ghoul M. ² and Mihoubi-Boudhrioua N. ¹

¹ UR11ES44, Ecophysiologie et Procédés Agroalimentaires, Institut Supérieur de Biotechnologie de Sidi Thabet, Université de la Manouba, BP-66, 2020 Ariana, Tunisie.

² Université de Lorraine, ENSAIA- Laboratoire d'Ingénierie de biomolécules (LIBio), 2 avenue de la Forêt de Haye, TSA 40602 Vandoeuvre Cedex 54518, France

Abstract

Several applications were reported in literature for phenolic compounds of citrus peel such as functional food, cosmetic and pharmaceutical applications thanks to their antioxidant activities. The major phenolic compounds of citrus peel are flavanones glycosides followed by polymethoxylated flavones. The most abundant flavanones in sweet orange are hesperidin (20.70 ± 0.38 - 29.50 ± 0.32 mg/g dry weight) followed by narirutin (0.025 - 0.360 ± 0.004 mg/g dry weight) and didymin. Whereas it is naringin (1.10 mg/g dry weight) and neohesperidin (0.66 mg/g dry weight) in bitter orange. The qualitative and quantitative phenolic composition of citrus peel varied according to various factors such as citrus peel variety, climatic and environmental factors, maturity stage and method of extraction. In fact, the total phenol content of the orange peel ranges from 1.06 to 7.30 g/100g dry weight. This variability can also be due to the lack of a standard method for phenol determination. Several extraction methods have been reported in literature for the extraction of phenols from citrus peel like conventional solvent extraction, ultrasound assisted extraction, microwave assisted extraction, high hydrostatic pressure extraction and supercritical CO₂ extraction. The extraction methods may cause the degradation of the targeted compounds due to high applied temperature and pressure or long extraction times. A multi-factors extraction optimization taking into accounts both extraction efficiency and preservation of antioxidant activity is essential for optimal valorization of these by products.

Key words: Citrus peels, phenolic compounds, functional properties, characterization, quantification, extraction and analytical methods.

Résumé

Plusieurs applications ont été rapportées dans la littérature pour les composés phénoliques d'écorces d'agrumes (industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques) grâce à leurs activités antioxydantes. Les principaux composés phénoliques d'écorces d'agrumes sont les flavanones glycosidés suivis par les flavones polyméthoxylés. Les flavanones les plus abondants dans les écorces d'orange douce sont l'hésperidine ($20,70 \pm 0,38$ à $29,50 \pm 0,32$ mg/g de poids sec), suivie par la narirutine ($0,025$ à $0,360 \pm 0,004$ mg / g de poids sec) et le didymine. Alors que la naringine ($1,10$ mg/g de poids sec) et le néohesperidine ($0,66$ mg/g de poids sec) sont les composés majeurs dans les écorces d'orange amère. La composition phénolique des écorces d'agrumes varie en fonction de divers facteurs tels que les caractéristiques du fruit (variété, stade de maturité) et les méthodes d'extraction. Plusieurs procédés d'extraction ont été rapportés dans la littérature pour l'extraction de phénols à partir d'écorces d'agrumes comme l'extraction conventionnelle par solvant, l'extraction assistée par ultrasons, l'extraction assistée par micro-ondes, l'extraction sous haute pression et l'extraction par CO₂ supercritique. Les méthodes d'extraction peuvent provoquer la dégradation des

composés d'intérêt en raison de la température appliquée et la pression élevée ou des longues périodes d'extraction. Une optimisation d'extraction multi-facteurs en prenant en compte à la fois l'efficacité d'extraction et la conservation de l'activité antioxydante est nécessaire pour une exploitation optimale de ces sous produits.

1. Introduction

Citrus, with a production of 100 million tons, is the most abundant crop in the world (Huang et al., 2010). Citrus peel, remaining after juice extraction, is the main citrus waste and it constitutes almost 50% of the fruit mass (Li et al., 2006). Valorisation of citrus peel attracts the interest of scientists because this by product is a rich source of high added value. Citrus peel can be dried and fermented for the production of valuable products like biogas, ethanol, or volatile flavouring compounds (Djilas et al., 2009) or used for extraction, separation and purification of bioactive molecules with great interest in the development of healthy products (Li et al., 2006). Indeed, citrus peel contains many molecules with interesting properties, which can be used in various industries; for example, pectin obtained from the peel by acid extraction and dietary fibre obtained by mechanical processing (Djilas et al., 2009). Citrus peel is also an important source of essential oils, especially limonoids (Espirad, 2002) which have a wide variety of therapeutic effects such as antiviral, antifungal and antibacterial, activity (Ma et al., 2009). Citrus peel represents also a rich source of natural phenolic compounds unique to citrus, which are relatively rare in other plants (Bocco et al., 1998). Total phenol contents ranged from 1.06 to 7.30 g/100g DW for orange peel Maltaise variety (Kammoun et al., 2011), and bitter orange peel (Cheynier et al., 2006), respectively. Citrus peel contains high amounts of flavanone glycosides (hesperidin, neohesperidin, narirutin, naringin), lower amounts of polymethoxylated flavones (sinensetin, tangeretin, nobiletin) and traces of flavonols, glycosylated flavones and hydrocinnamic acid (Kawaii et al., 1999). Many scientists investigated the phenolic potential of citrus peel for functional food, cosmetic and pharmaceutical applications. For example, citrus by-products could be used as food additives in food industry, alternative to synthetic. Currently, flavonoid extraction from citrus peel has attracted considerable scientific interest and the ability of methods to extract phenolic compounds from citrus peel has been evaluated. The mainly used method is the conventional solvent extraction. Other methods are also simultaneously or sequentially used such as: ultrasound assisted extraction, microwave assisted extraction, supercritical and subcritical extraction, and high hydrostatic pressure extraction. This review will cover the updated literature available on the chemistry of citrus peel phenolic compounds and the different extraction methods.

2. Material and methods

The references likely to provide quantitative information on phenolic compounds of citrus peel and corresponding extraction methods were selected on the basis of their titles and abstracts. The corresponding full papers were collected. The comprehensiveness of the literature search was further confirmed by examination of the citations in the collected articles, as well as in review papers. A total of 53 scientific papers were thus collected.

3. Résultats and discussion

3.1. Phenolic compounds of citrus

Flavanones are found in high concentration in citrus peels as compared to the fleshy part (Nogata *et al.*, 2006). Naringenin and hesperetin are the most important flavanones. The most abundant compounds in sweet orange, regardless of variety are hesperidin (20.7 ± 0.38 - 29.5 ± 0.32 mg/g DW), followed by narirutin (0.025 - 0.360 ± 0.004 mg/g DW) (Sawalha *et al.*,

2009) and didymin (Gattuso et al., 2007). Whereas in bitter orange, the major phenols are naringin (1.1 mg/g DW) and neohesperidin (0.66 mg/g DW) (Sawalha et al., 2009). Neohesperidin is abundant in lemon and lime (0.5-6.12±0.07 mg/g DW) but not in all citrus fruits and hesperidin (9.42±0.41 mg/g DW) was the main flavanones in all lemon cultivars while the levels of diosmin (0.13±0.04 mg/g DW) and eriocitrin were lower (Del-Rio et al., 2004). Tumbas et al. (2010), reported that mandarin peels are rich in flavanones: hesperidin (58.40-80.90 mg/g DW) followed by naringin (7.66-15.3 mg/g DW) and naringin (0.54±0.02 mg/g DW). Naringin is the most abundant flavonoid in grapefruit peel (Wang et al., 2008). Four polymethoxyflavones have found namely sinensetin (0.08±0.02-0.29±0.01mg/g DW), nobiletin (0.2-14.05 mg/g DW), tangeretin (0.16-7.99 mg/g DW) and heptamethoxyflavone (Toledo-Guillén et al., 2010; Li et al., 2012). These polymethoxylated flavones are the most hydrophobic flavonoids (Manach et al., 2004).

The hydroxycinnamic acids are more common than the hydroxybenzoic acids (Balasundram et al., 2006). The contents of phenolic acids of citrus peels (oranges, mandarin, lemon, grapefruit, and bergamot) are recapitulated in **Table 1**. Gorinstein et al. (2001) found that the four hydroxycinnamic acids (ferulic, sinapic, p-coumaric and caffeic) are mainly present in bound forms and mostly in peels. They indicate that the major phenolic acid in citrus peels was ferulic acid (323.0±3.1-4491.0±4.2 µg/g DW for grapefruit, lemon respectively) and the lowest one was caffeic acid (56.0±0.5- 143.7±5.0µg/g DW for grapefruit, mandarin respectively). Similar results were reported by Bocco et al. (1998), Ma et al. (2009) and Hayat et al. (2010) for bergamot (36±0.008 µg ferulic acid /g DW) and for mandarin (1187.6±5.3µg/g DW; 1299.5±88.0µg/g DW respectively). However, this result is contrasted with the finding of Wang et al. (2008) for orange, mandarin and lemon. The order of abundance of phenolic acids in citrus peel is: coumaric acid (229.1±1.21-346±2.45µg/g DW), ferulic acid (45.3±0.4-150±4.89 µg/g DW), sinapic acid (44.9±1.62-94.2±1.22 µg/g DW) and caffeic acid (3.06±0.03-80.0±3.72 µg/g DW).

Citrus fruit	Caffeic acid	p-coumaric acid	Ferulic acid	Sinapic acid
Orange	95±0.8 ^a	279±2.5 ^a	392±4 ^a	349±3.1 ^a
	12.6±1.21 ^b	229.1±1.21 ^b	45.3±0.4 ^b	44.9±1.62 ^b
	229±0.021 ^d	193±0.011 ^d	1580±0.132 ^d	954±0.027 ^d
Grapefruit	56±0.5 ^a	131±1.3 ^a	323±3.1 ^a	319±3 ^a
Mandarin	3.06±0.03 ^b	346±2.45 ^b	150±4.89 ^b	94.2±1.22 ^b
	143.7±5.0 ^c	299.7±6.2 ^c	2755.6±43.7 ^b	194.9±14.9 ^c
	50.9±0.5 ^e	97.9±1.2 ^e	1187.6±5.3 ^c	218.2±2.2 ^e
	57.01±2.1 ^f	106.8±1.2 ^f	1299.5±88.0 ^f	155.6±6.7 ^f
Lemon	142±1.3 ^a	349±3.4 ^a	4419±4.2 ^a	421±4.1 ^a
	80.0±3.72 ^b	264.1±4.19 ^b	59.1±0.93 ^b	59.6±0.47 ^b
Bergamot	6±0.000 ^d	71±0.006 ^d	36±0.008 ^d	30±0.007 ^d

^(a) Gorinstein et al., 2001 (FW); ^(b) Wang et al., 2008; ^(c) Xu et al., 2008; ^(d) Bocco et al., 1998; ^(e) Ma et al., 2009; ^(f) Hayat et al., 2009

Table 1. Hydroxycinnamic acids levels in citrus peels (µg/g DW)

3.2. Functional properties and potential applications for citrus peels

Phenolic compounds are generally involved in plant defense against ultraviolet radiation or aggression by pathogens (Manach et al., 2004). It may act also as phytoalexins (Popa et al., 2008). They contribute to the sensory and organoleptic properties (colour, taste, astringency) of fruits and vegetables. Many scientists investigated the phenolic potential of citrus peels for functional food, cosmetic and pharmaceutical applications. For example, citrus byproducts

could be used as save food additives in food industry, alternative to synthetic antioxidant to prevent the deterioration of fatty foods and to prolong their shelf life (Abd El-aal et al., 2009; Tumbas et al. 2010).

Table 2 summarized the functional properties and main applications of citrus peels phenolic compounds. Some glycosylated flavanones can be easily transformed into the corresponding dihydrochalcones, which are potential natural sweeteners (Frydman et al., 2005; Cheynier et al., 2006). Moreover, anthocyanins are used in the food industry as colorants (E163) in confectionery, dairy products, and desserts or to compensate for fading fruit induced by some processing steps (Mackeix et al., 2006). In addition, the citrus flavonoids (flavanones and polymethoxylated flavones) have been found to have pharmaceutical properties, which include anticancer, antiviral, antimicrobial, and anti-inflammatory activities (Bocco et al., 1998).

3.3. Extraction and analytical methods

Extraction of citrus peel phenolic compounds has attracted considerable scientific interest in order to use them as natural antioxidant and to replace synthetic additives which may be toxic. The mainly used method is the conventional solvent extraction which can give reasonable yield but it causes degradation of the thermolabile compounds of the extract (Tiwari et al., 2013). Others methods used accelerators such as high hydrostatic pressure extraction, using high temperatures (50-200°C) and pressures (10-15 MPa), which decreases the extraction time remarkably but it can lead to phenolic compounds degradation because of the high applied temperature and pressure. SC-CO₂ technique is an environmentally friendly extraction used CO₂ as solvent which is inexpensive, can easily be obtained at a high purity and is food-grade (Brunner, 2005). However, supercritical fluid extraction is also restricted to non-polar extracts. The economics and onerous operating conditions of the SC-CO₂ processes have restricted the applications to some very specialized fields such as coffee decaffeination (Galanakis et al., 2012). Ultrasound assisted extraction appear to be a technique of choice for thermolabile components as the operating temperature can remain low during the process. However, the ultrasonic energy is not homogeneously distributed which limits the precision of the method at low temperature and within short time (Chemat et al., 2008). Microwave assisted extraction, is used to separate both polar and non polar phenolic compounds. It is a less matrix-dependent method and it needs less selective conditions by using wide spectrum organic solvents (Camel, 2001). To take advantages of the different extraction methods and to limit their drawbacks, combined approaches such as instant controlled pressure drop technology and ultrasound assisted extraction were used to intensify the extraction operation.

Different analytical methods were used to quantify and to identify citrus peels phenolic compounds. Spectroscopy is the main technique used for the quantification of phenolic compounds of citrus peels. The Folin–Ciocalteu assay is widely used for determining total phenolics, pH differential method for the quantification of total anthocyanins and colorimetric method for total flavonoids. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) is the most analytical methods used for phenols. Coupled methods such as LC-MS were also used for compounds structures illustration with brief mention in literature of less widely employed techniques (GC-MS, CE) (Ignat et al., 2011).

Table 2. Functional properties and main field of use of phenolic compounds of citrus peel

Compound	Family	Property	Application	Reference
Hesperidin (Oranges and mandarin)	Flavanones	-Antiviral activity, -Moderate antimicrobial activity against <i>Salmonella typhi</i> and <i>S. typhimurium</i> , - Antiallergic activity via inhibition of histamine release, -Chemopreventive agent against colon carcinogenesis induced by azoxymethane	Food industry and Pharmaceutical preparations	Kaul et al., 1985 Kawaguchi et al., 2004 Matsuda et al., 1991 Nogata et al., 2006
Eriocitrin (lemon)	Flavanones	-Used in numerous multi-vitaminic complexes (maintaining integrity and peripheral circulation), -High stability during processing and storage,	Pharmaceutical preparations	Del Rio et al., 2004
Narinigin (grapefruit)	Flavanones	-Flavour beverages, sweets and bakery products (bitter taste), -Oil stabilizer (antioxidant and anti-mutagenic activity), -Reduction of cholesterol level in plasma, - Reduction of the risk of atherosclerosis, -Protection of plasma vitamin E levels, -Enhancement of ethanol metabolism, -Anti-apoptotic agent.	Perfumery Food industry Pharmaceutical preparations	Giannuzzo et al., 2003 Nogata et al., 2006; Naderi et al., 2003 ; Ghanim et al., 2007 Zhang et al., 2007
Naringin, Neohesperidin, hesperidin	Flavanones	- Synthesis of dihydrochalcones (sweetness)	Food industry	Frydman et al., 2005 ; Cheynier et al., 2006,
Nobiletin, tangeretin, sinensetin	Polymethoxylated flavones	-Pharmacological activities : Anti-inflammatory activity: activation of vital energy, circulation, and disperse stagnation physical	Pharmaceutical preparations	Ho et al., 2008; Huang et al., 2010 ; Tumbas et al., 2010 Li et al., 2012
Diosmin	glycosylated flavones	-Activation ingredient of certain drugs (illnesses of the circulatory system), -Improvement of muscular tone and vascular resistance to inflammatory processes (chronic venous, insufficiency and rheumatic arthritis.	Pharmaceutical preparations	Del Rio et al., 2004

4. Conclusion

Citrus peels contain a high amount of flavonoids, especially flavanones. Among flavanones, the naringenin and hesperitin aglycones and their glycosides are the most important phenolic compounds. In fact, citrus peels contain a high level of hesperidin (0.066-62.01 mg/g DW), neohesperidin (0.09-4.37 mg/g DW), narirutin (0.025-15.3 mg/g DW) and naringin (0.45-6.06 mg/g DW). Phenolic compounds of citrus peels were used in several applications in food industry, cosmetic and pharmaceutical applications, thanks to their antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antiviral, antiallergic activities. This review showed also that there are different extraction methods of citrus peels phenolic such as conventional solvent extraction or others techniques used accelerators such as microwave or ultrasound, supercritical/subcritical fluid and also high pressure or combined techniques. However, it is necessary to find the extraction method which takes into account both extraction efficiency and preservation activities of phenolic compounds should allow optimal use of phenolic content of citrus peel.

Bibliography

- Abd El-al, H.A., Halaweish F.T., 2009. Food Preservative Activity of Phenolic Compounds in orange peel extracts (*Citrus sinensis L.*). *Lucrări Științifice*, 53, Seria Zootehnie.
- Bocco, A., Cuvelier, M.E., Richard, H., Berset, C., 1998. Antioxidant activity and phenolic composition of citrus peel and seed extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46 (6): 2123–2129.
- Brunner, G., 2005. Supercritical fluids: technology and application to food processing. *Journal of Food Engineering*. 67 (1–2): 21–33 p.
- Camel, V., 2001. Recent extraction techniques for solid matrices-supercritical fluid extraction, pressurized fluid extraction and microwave-assisted extraction: their potential and pitfalls. *The Analyst*. 126 (7): 1182–1193 p.
- Chemat, F., Tomao, V., Virost, M., 2008. Ultrasound-assisted extraction in food analysis. In *Handbook of Food Analysis Instruments* by Semih Ötles. CRC press, Boca Raton, Florida, USA. 85-103 p.
- Cheynier, V., Sarni-Manchado, P., 2006. Les polyphénols en agroalimentaire; Lavoisier-Tec & Doc, Paris, 50-59 p.
- Djilas, S., Canadanovic-Brunet, J., Cetkovic, G., 2009. By-products of fruits processing as a source of phytochemicals. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*. 15 (4): 191–202 p.
- Espiard, E., 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits ; (Ed) TEC &DOC, France, 259-265 pp.
- Frydman, A., Weisshaus, O., Huhman, D.V., Sumner, L., Bar-Peled, M., Lewinsohn, E., Fluhr, R., Gressel, J., Eyal, Y., 2005. Metabolic Engineering of Plant Cells for Biotransformation of Hesperedin into Neohesperidin, a Substrate for Production of the Low-Calorie Sweetener and Flavor Enhancer NHDC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 9708-9712 p.
- Galanakis, C.M., 2012. Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*. 26, 68-87 p.
- Gattuso, G., Barreca, D., Gargiulli, C., Leuzzi, U., Caristi, C., 2007. Flavonoid Composition of *Citrus* Juices. *Molecules*. 12: 1641-1673 p.
- Gorinstein, S., Martin-Belloso, O., Park, Y., Haruenkit, R., Lojek, A., Caspi, A., Libman, I., Trakhtenberg, S., 2001. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chemistry*. 74: 309–315 p.

- Hayat, K., Zhang, X., Chen, H., Xia, S., Jia, C., Zhong, F., 2010. Liberation and separation of phenolic compounds from citrus mandarin peels by microwave heating and its effect on antioxidant activity. *Separation and Purification Technology*. 73: 371-376 p
- Huang, Y.S.; Ho, S.C., 2010. Polymethoxyflavones are responsible for the anti-inflammatory activity of citrus fruit peel. *Food Chemistry*. 119: 868-873 p.
- Ignat, I., Volf, I., Popa, V., 2011. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*. 126: 1821–1835 p.
- Kammoun Bejar, A.; Ghanem, N.; Mihoubi, D.; Kechaou, N.; Boudhrioua Mihoubi, N., 2011. Effect of Infrared Drying on Drying Kinetics, Color, Total Phenols and Water and Oil Holding Capacities of Orange (*Citrus Sinensis*) Peel and Leaves. *International Journal of Food Engineering*. 7 (5): 1-5 p.
- Kawaii, S., Tomono, Y., Katase, E., Ogawa, K., Yano, M., 1999. Effect of citrus flavonoids on HL-60 cell differentiation. *Anticancer Research*. 19, 1261-1269 p.
- Li, W., Wang, Z., Wang, Y.P., Qun Liu, C.J., Sun, Y.S., Zheng, Y.N., 2012. Pressurised liquid extraction combining LC–DAD–ESI/MS analysis as an alternative method to extract three major flavones in *Citrus reticulata* ‘Chachi’ (Guangchenpi). *Food Chemistry*. 130: 1044–1049 p.
- Li, B.B., Smith, B., Hossain, M., 2006. Extraction of phenolics from citrus peels II. Enzyme assisted extraction method. *Separation and purification technology*. 48, 189-196 p.
- Ma, Y., Chen, J., Liu, D., Ye, X., 2009. Simultaneous extraction of phenolic compounds of citrus peel extracts: Effect of ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 16: 57-62 p.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A., Sarni-Manchado, P., 2006. Composés phénoliques dans la plante-Structure, biosynthèse, répartition et rôles. In *Les polyphénols en agroalimentaire*, 398 p. Sarni-Manchado P., Cheynier V., Eds. Paris: Lavoisier. 1-28.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L., 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Journal of Clinical Nutrition*. 79, 5: 727-747 p.
- Nogata, Y., Sakamoto, K., Shiratsuchi, H., Ishii, T., Yano, M., Ohto, H., 2006. Flavonoid composition of fruit tissues of citrus species. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 70: 178-192 p.
- Popa, V.I., Dumitru, M., Volf, I., Anghel N., 2008. Lignin and polyphenols as allelochemicals. *Industrial Crops and Products*. 27: 144–149 p.
- Routray, W., Orsat, V., 2012. Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food Bioprocess Technology*. 5, 409-424 p.
- Sawalha, S.M.S., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., 2009. Quantification of main phenolic compounds in sweet and bitter orange peel using CE–MS/MS. *Food Chemistry*. 116: 567–574
- Tiwari, B.K. Brunton, Nigel, N.P. Brennan, C.S. *Handbook of Plant Food Phytochemicals: Sources, Stability, and Extraction*; Jhon Wiley and Sons: The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, UK, 2013; 502 pp.
- Toledo-Guillén, A.R., Higuera-Ciapara, I., García-Navarrete, G., De la Fuente, J.C., 2010. Extraction of Bioactive Flavonoid Compounds from Orange (*Citrus sinensis*) Peel Using Supercritical CO₂. *Journal of Biotechnology*. 150–576 p.
- Tumbas, V.T., Četković, G.S., Djilas, S.M., Čanadanović-Brunet, J.M., Vulić, J.J., Knez, Z., 2010. Antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata*) PEEL. *BIBLID*. 40: 195-203 p.
- Wang, Y., Chuang, Y., Hsu, H., 2008. The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan, *Food Chemistry*. 106: 277–284 p

Valeur nutritionnelle et potentiel fonctionnel de la sardine

**Tarhouni A. ¹, Belguith K. ³, Djendoubi N ^{1,2}., Ben Chaouacha-Chekir R ¹, Sadok S ⁴
et Mihoubi-Boudhrioua N. ¹**

¹ UR Ecophysiologie et Procédés Agroalimentaires, Université de la Manouba, BP-66, 2020 Ariana, Tunisie.

² Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouزيد, B.P. 380, Sidi-Bouزيد 9100, Tunisie.

³ Laboratoire de Biotechnologie et de Valorisation des Bio-Géo Ressources, Institut Supérieur de Biotechnologie, Institut Supérieur de Biotechnologies, Sidi Thabet, Université de la Manouba, BP-66, 2020 Ariana, Tunisie.

⁴ Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, la Goulette, Tunis, Tunisie.

Résumé

Une multitude de molécules et de composés bioactifs sont présents dans la chair et les déchets de sardine, petit pélagique très abondant, à valeur nutritionnelle importante mais reste encore mal valorisée. L'objectif de ce papier est de faire une synthèse bibliographique sur un paramètre étroitement lié à la santé (humaine et animale) le potentiel fonctionnel nutritionnel de la chair et des sous produits de la sardine. A part sa richesse en acides gras polyinsaturés, la chair de la sardine est riche en vitamines, en éléments minéraux, en oligoéléments et en protéines ayant une digestibilité exceptionnelle. La consommation des acides gras sous forme de nutraceutiques ou d'aliments fonctionnels permet d'une part la prévention de certaines maladies (maladies cardiovasculaires, diabésité ou diabète type 2, obésité, maladies inflammatoires chroniques, certaines formes cancéreuses) et d'autres part l'amélioration du fonctionnement d'organes et de systèmes vitaux en cas de certaines pathologies (du système nerveux, de la rétine, du rein...). Les quantités immenses des déchets générées des industries de transformation sont riches en molécules intéressantes comme le collagène et la gélatine ayant des applications en industries cosmétiques, pharmaceutiques et agroalimentaires. Les hydrolysats de collagène ayant une activité anti-hypertensive, permettent également l'activation des fibroblastes, l'amélioration de la densité minérale et le traitement des maladies dégénératives, l'hydroxyapatite est un constituant primordial des os, les hydrolysats des protéines ont une activité anticancéreuse, anti-thrombique et une capacité d'immunomodulation.

Mots clés : sardine, chair, déchets, santé, acides gras polyinsaturés, composés bioactifs

Abstract

Sardine is a small pelagic fish with high nutritional value but it remains poorly valued particularly in Tunisia. Numerous bioactive compounds are present in sardine flesh and sardine discards wastage and byproducts. This paper illustrates the nutritional and healthy attributes of sardine muscles and byproducts. Beside its richness in polyunsaturated fatty acids, the flesh of the sardine is rich in vitamins, minerals, oligoelements and in proteins having an exceptional digestibility. Polyunsaturated fatty acids are valuable compounds and are actually used in different applications (pharmaceutical products, nutraceuticals and functional foods). Their consumption is associated with the prevention and alleviation of a number of health complications such as cardiovascular diseases, diabetes, inflammatory chronic diseases, cancer. These polyunsaturated fatty acids are also abundant in certain specific organs and body systems (nervous system, retina) and contribute to their

development and functionality. The immense recuperated quantities of wastage and byproducts generated are rich with bioactive compounds such as collagen, protein hydrolysates, hydroxyapatite and gelatin which have various applications in cosmetic, pharmaceutical and functional food.

Keywords: sardine, flesh, byproducts, bioactive compounds, nutritional and healthy attributes

1. Introduction

Les organismes marins et spécifiquement la sardine (espèce d'intérêt) sont une véritable source des molécules et composés bioactifs ayant une valeur nutritionnelle et un potentiel fonctionnel excellents et originaux. Cependant cette espèce demeure mal valorisée malgré son abondance, elle constitue une part élevée des pêches en Tunisie. L'extraction de ces molécules est avérée une voie prometteuse de valorisation. En plus des éléments nutritifs (protéines, oligoélément, vitamines) (Arino et al., 2013). La sardine est riche dans sa partie comestible en acides gras polyinsaturés particulièrement l'oméga 3-PUFAs intervenant dans la prévention de plusieurs maladies telles que les affections cardiovasculaires, l'hypertension artérielle. La sardine est classée parmi les 11 poissons les plus riches en oméga 3- PUFAs recommandée dans le guide nutritionnel de l'état de Michigan (State of Michigan Fish Advisory Guidelines) et de l'association américaine cardiaque (American Heart Association) (Sidhu; 2003). Malgré la faible exploitation et valorisation des déchets de sardine obtenus à partir des industries de transformation. Ils sont également riches en composés nutritifs et bioactifs (Ferraro et al., 2013). Ce travail est une synthèse de la littérature portant sur l'évaluation du potentiel fonctionnel santé de la partie comestible (la chair) et des déchets issus des industries de transformation tunisienne.

2. Matériel et méthodes

Une cinquantaine d'articles scientifiques portant sur les caractéristiques nutritionnelles et fonctionnelles des organismes marins sont investiguées afin de mettre en valeur les potentiels nutritionnels et fonctionnels liés à la santé de la chair de poissons (i) et des déchets des poissons pélagiques (ii).

3. Resultats et discussion

3.1. Caractéristiques nutritionnelle et fonctionnelle de la chair

En littérature, les travaux sur les poissons gras et en particulier la sardine illustrent leurs apports nutritionnels (richesse en protéines et en lipides) et leurs richesses en acides gras polyinsaturés (tableau 1).

Composés	Teneur: ^a : g/100 g ; ^b : mg/100 g
Eau ^a	73-80
Protéines ^a	19- 21
Lipides ^a	2.5-8.03 ± 0.14
Cendres ^a	1.54 ± 0.50
Minéraux :	
Na ^b	103.10 ± 0.01
Mg ^b	27.26 ± 0.01
Ca ^b	56.32 ± 0.01
Fe ^b	1.31 ± 0.01

Tableau 1. Composition chimique globale de la chair de sardine.

Les protéines issues des poissons contiennent tous les acides aminés essentiels et sont caractérisées par une haute digestibilité. La digestion de ces protéines donne des peptides ayant des propriétés bioactives bénéfiques pour la santé humaine. La taurine, un acide aminé apporté par la consommation des poissons, intervient dans différentes activités biologiques comme la régulation osmotique, la stabilisation des membranes cellulaires, l'amélioration des défenses immunitaires et a une activité anti-inflammatoire (Kitts and Weiler, 2003 ; Ness et al, 2014).

Les poissons sont riches également en élément minéraux comme le cuivre, le manganèse, le zinc et le sélénium (Olmedo et al, 2013 ; Afonso., 2013). Un taux élevé de sélénium dans le plasma est corrélée avec une bonne consommation des poissons. Ce composé joue un rôle dans la prévention de certaines formes cancéreuses essentiellement le cancer de prostate. Les poissons sont également riches en vitamines liposolubles (A, B3, B6, B12, E et D) (Sidhu, 2003). Une carence en vitamine D est liée à l'ostéomalacie et un bon apport peut avoir un effet bénéfique sur le déroulement des mécanismes cardiovasculaires.

Les acides gras polyinsaturés présentent un des éléments majeurs des poissons gras comme la sardine. Dans la littérature, les travaux illustrant les effets sur la santé de l'organisme des-ees éléments apportés par la consommation directe de la chair sont nombreux (Cardoso et al 2013 ; Hul, 2011 ; Sidhu et al, 2003). Ils sont utilisés en industrie agroalimentaire en tant que nutraceutiques extraits de la chair de poisson ou en tant qu'ingrédients pour la formulation d'aliments fonctionnels. Ils sont de même exploités comme produits de santé (Maangani et Poli, 2013) dans les industries pharmaceutiques.

Les effets des acides gras sur la santé sont approuvés à travers des études montrant leur contribution à l'amélioration de la structure-fonction des organes de l'organisme humain (la rétine, le système nerveux) ou de ses cellules (photorécepteurs, neurones, autres cellules), les acides gras polyinsaturés font partie intégrante du cytosquelette de la membrane cellulaire et sont dans ce cas des les éléments vitaux et de structure pour le système nerveux et rétinien (Laurizen et al., 2001). Ils permettent d'atténuer les complications de la vision survenues chez les personnes diabétiques (Burdge., 1998). En outre, ils sont présents au niveau de système reproductif (Burdge., 1998). De ce fait, ils ont des effets bénéfiques pour la femme enceinte en améliorant le développement prénatal et postnatal.

Les acides gras polyinsaturés sont bien connus par la prévention des maladies cardiovasculaires (de Leiris et al., 2009). Les acides gras des poissons ont des effets anti-athérogéniques et anti-thrombiques (Gibson, 1988). Ils diminuent non seulement le taux de triglycérides dans le plasma mais aussi la pression artérielle.

La consommation de ces acides gras est associée aussi à la diminution des risques de diabète (Patel et al, 2009) type 2. Une autre étude a montré qu'ils ont un effet sur la diminution de la résistance à l'insuline chez le diabète type 2 en améliorant le métabolisme et en abaissant l'hypertension et le taux de triglycérides dans le plasma (Monotri et al., 2000).

L'administration des acides gras PUFAs permet de protéger ou soulager les symptômes des nombreuses maladies comme les maladies inflammatoires telles que la polyarthrite rhumatoïde et quelques troubles intestinaux) (Calder, 2008 et Rosell et al., 2009).

Certaines études ont également mentionnées le rôle préventif des acides gras polyinsaturés contre certaines formes cancéreuses (Szymanski et al., 2010). Ainsi la présence d'une activité anti-cancéreuse des PUFAs est mise en évidence in vitro (Hull, 2011). Cette activité est liée à une inhibition du développement des cellules cancéreuses. Le tableau 2 suivant résume les principaux effets santé des acides gras polyinsaturés.

Effets sur la santé	Références
-Prévention et atténuation des maladies cardiovasculaires	-De Leiris et al., 2009;., 2009; Saremi and Arora., 2009
-Prévention et soulagement de nombreuses maladies inflammatoires (polyarthrite rhumatoïde, de l'intestin)	-Calder., 2008; James and Cleland., 1997; Rosell et al., 2009;
-Diminution du risque du diabète -Amélioration de la résistance à l'insuline chez les diabétiques en abaissant l'hypertension et le taux de triglycérides	-Patel et al., 2009 -Berry., 1997; Monotri., 2000
-Activité anticancéreuse -Prévention contre certains types de cancer	-Hull et al., 2011 -Norat et al., 2005; Spencer et al., 2009; Szymanski et al., 2010
-Elément structurant du système nerveux -Implication dans la photo-réception	-Brein et Sampson, 1965 ; Laurizen et al, 2001 -Burdge., 1998

Tableau 2. Potentiel fonctionnel des acides gras

3.2. Caractéristiques nutritionnelle et fonctionnelle des déchets de poisson

Les résidus de la chair des poissons et de leurs hydrolysats (peptides de différentes tailles issus d'une décomposition chimique ou enzymatique) sont une source des protéines non négligeable. Les déchets des poissons issus des industries de transformation sont riches en composés bioactifs dans certains cas supérieurs à ceux du produit frais (Dumay et al, 2006). Plusieurs biomolécules peuvent être extraites des déchets de poissons, leurs valorisations surtout dans les secteurs industriels agroalimentaires et de santé sont d'intérêt socio-économique. Le collagène, les hydrolysats de collagène, la gélatine, l'hydroxyapatite, l'acide gras polyinsaturé ω -3, les acides aminés, les enzymes viscérales et les hydrolysats des protéines peuvent être extraits à partir des déchets des poissons pélagiques (Ferraro et al, 2013).

Le collagène, une composante principale de la matrice extracellulaire, joue un rôle dans la protection mécanique, la réparation des tissus et des organes et dans la régulation physiologique de l'environnement cellulaire. En industries, il est incorporé dans les aliments, les produits cosmétiques et dans les biomatériaux. Le collagène a la caractéristique de ne pas provoquer une réaction immunitaire importante (Salgado et al, 2004), de ce fait il peut être utilisé comme colles biocompatibles pour l'adhésion cellulaire (Taguchi et al, 2006). Les hydrolysats de collagène sont des peptides obtenus par une hydrolyse enzymatique par des protéases (pepsine, trypsine) de collagène dénaturé (après un traitement à 70-90°C). La gélatine est une protéine hydro-colloïde ayant la propriété de former un gel. Ajoutée aux aliments, elle confère une élasticité, une consistance et une stabilité. En plus elle a des utilisations en industrie pharmaceutique et cosmétique (encapsulation). Le phosphate de calcium précipité sous forme d'hydroxyapatite (HAp) — $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ est un composant principal des os et des écailles des poissons, ce bioproduit pourra être utilisé dans des biomatériaux pour les comblements osseux en application dentaire ou orthopédique. Les protéines isolées des résidus de la chair de poissons ont de bonnes propriétés fonctionnelles comme la réactivité du groupement thiol SH. Les enzymes viscérales issues des organismes marins ont des propriétés différentes de celles issues des organismes supérieurs : stabilité au pH et à la température (Rustad et al., 2001). Le tableau 3 résume les principales propriétés et le potentiel fonctionnel de ces composés.

Composés bioactifs	Applications et principales propriétés	Références
Collagène	-Utilisation en industrie alimentaire, pharmaceutique et cosmétique -Une colle biocompatible	-Ferraro et al. 2003 -Taguchi et al., 2006
Gélatine	-Propriétés rhéologiques exceptionnelles -Fondante dans la bouche et libère les arômes. -Bonne digestibilité. -Soluble à température ambiante.	Ferraro et al., 2013
Hydrolysats de collagène	-Activations des fibroblastes et accélération de synthèse de collagène dermique. -Amélioration de la densité minérale des os. -Traitement des maladies dégénératives. -Activité anti-hypertensive	- Huey-Jine et al., 2010
Hydrolysats des protéines	-Propriétés de structuration des aliments Antioxydant, antihypertenseur, anti-thrombique, immunomodulation Activité anti-proliférative des cellules cancéreuses in vitro	-Sahena et al., 2010 ; -Picot et al., 2006 -Kristinsson et al., 2003 -Gaecia-Sanda et al., 2003.
Enzymes visérales	-Coagulation et l'hydrolyse des produits. -Dégradation sélective. -Traitement des eaux usées.	(Ferraro et al, 2013)
Hydroxyapatites	-Ostéoconductif, substituant des os, haute biocompatibilité Nettoyage des eaux usées	(Dorizkhin et al 2010). (Nzihou et al, 2010).

Tableau 3. Potentiel fonctionnels des composants de déchets de poisson et des résidus de la chair.

4. Conclusion

La chair et les déchets de poissons sont riches en composés nutritionnels et bioactifs ayant des applications cosmétiques, médicales et alimentaires fonctionnelles diversifiées. Les voies de valorisation/ transformation de la chair et des déchets de poisson sont variées mais l'adoption d'une voie donnée est sans doute liée à l'objectif visé, à la qualité initiale du produit et à sa disponibilité. La sardine, espèce de poisson caractérisée par son excellente valeur nutritionnelle, demeure peu exploitée et constitue une espèce de poisson prometteuse pour la valorisation alimentaire et non alimentaire en Tunisie.

Bibliographie

Afonso C, Lourenço H.M, Cardoso C, Bandarra N.M, Carvalho M.L, Castro M, Nunes M.L. (2013). From fish chemical characterisation to the benefit-risk assessment. *Food Chemistry*; 137: 99–107.

Ariño A, Beltrán J.A, Herrera A, Roncalés P. (2013). Fish and seafood: Nutritional Value. *Encyclopedia of Human Nutrition*; (2013): 254–261.

Burdge, G.C., 1998. The role of docosahexaenoic acid in brain development and fetal alcohol syndrome. *Biochemical Society Transactions*; 26: 246–252.

Calder PC. (2008). Polyunsaturated fatty acids, inflammatory processes and inflammatory bowel diseases. *Molecular nutrition and Food Research*; 52:885–97.

Cardoso C, Afonso C, Lourenço H, Nunes M.L. (2013). Seafood consumption health concerns: The assessment of methylmercury, selenium, and eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acids intake. *Food Control*; 34; 581-588.

De Leiris J, de Lorgeril M, Boucher F. (2009). Fish oil and heart health. *J Cardiovascular Pharmacology*; 54:378–84.

Dumay J, Donnay-Moreno C, Barnathan G, Jaouen P, Bergé J.P. (2006). Improvement of lipid and phospholipid recoveries from sardine (*Sardina pilchardus*) viscera using industrial proteases *Process Biochemistry*; 41 (11): 2327–2332

Ferraro V, Carvalho A.P, Piccirillo C, Santos M.M, Castro P.M.L, Pintado M.E. (2013). Extraction of high added value biological compounds from sardine, sardine-type fish and mackerel canning residues. *Materials Science and Engineering C*; 33: 3111-3120.

Gibson, R.A., 1988. The effects of diets containing fish and fish oil on disease risk factors in humans. *Australian and New Zealand Journal of Medicine*; 18: 713–722.

Hull M.K. (2011). Omega-3 polyunsaturated fatty acid. *Best Practice and Research Clinical Gastroenterology* ; 25 : 547-554.

Kitts DD, Weiler K. (2003). Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery. *Current Pharmaceutical Design* 2003;9:1309–23

Lauritzen L, Hansen HS, Jørgensen MH, Michaelsen KF. (2001). The essentiality of long chain n-3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. *Progress in Lipid Research*; 40:1–94.

Marangoni F, Poli A. (2013). N–3 fatty acids: functional differences between food intake, oral supplementation and drug treatments. *International Journal of Cardiology*;170: 12–15.

Montori VM, Farmer A, Wollan PC, Dinneen SF. Fish oil supplementation in type 2 diabetes: a quantitative systematic review. *Diabetes Care* 2000;23:1407–15

Nesse K.O, Nagalakshmi A.P, Marimuthu P, d, Preetida M.S, Bhetariya j, Manki Ho, Simon R.R. (2014). Safety evaluation of fish protein hydrolysate supplementation in malnourished children. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; 69; 1–6.

Olmedo P, Hernández A.F, Pla A, Femia P, Navas-Acien A, Gil F. (2013). Determination of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples. Risk and nutritional assessment and mercury–selenium balance. *Food and Chemical Toxicology*; 62: 299–307.

Patel PS, Sharp SJ, Luben RN, Khaw K-T, Bingham SA, Wareham NJ, et al. (2009). Association between type of dietary fish and seafood intake and the risk of incident Type 2 diabetes. *Diabetes Care*;32:1857–63.

Rosell M, Wesley IS, Rydin K, Klareskog L, Alfredsson L. (2009). Dietary fish and fish oil and the risk of rheumatoid arthritis. *Epidemiology*; 20:896–901.

Rustad T, Storrø I, Slizyte R. (2001). Possibilities for the utilisation of marine by-products. *International Journal of Food Science and Technology*; 46 (10): 2001–2014.

Salgado A.J, Coutinho O, Reis L, Macromol. (2004). Bone tissue engineering: state of the art and future trends. *Macromolecular Bioscience*; 4 : 743–765.

Szymanski KM, Wheeler DC, Mucci LA. (2010). Fish consumption and prostate cancer risk: a review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*; 92:1223–33.

Sidhu K.S. Health benefits and potential risks related to consumption of fish or fish oil. (2003). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*; 38: 336–344

T. Taguchi, H. Saito, H. Aoki, Y. Uchida, M. Sakane, H. Kobayashi, J. Tanaka. (2006). Biocompatible high-strength glue consisting of citric acid derivative and collagen. *Materials Science and Engineering*; 26:9-13.

Aptitude fromagere et qualité du fromage du lait de dromadaire tunisien

Salhi Mejda¹ et Othmane Mohamed El-Houcine²

¹ Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Sidi Bouزيد. 9100 Sidi Bouزيد, Tunisie.

² Centre Régional des Recherches Agricoles (CRRA), Sidi Bouزيد/Laboratoire des Productions Animales et Fourragères (INRAT), Ariana, Tunisie.

Resumé

Cette étude a pour objectifs d'optimiser la production du fromage à partir du lait de dromadaire réputé pour ses faibles aptitudes fromagères et d'étudier l'influence des caractéristiques physicochimiques du lait sur le rendement fromager. Notre étude a porté sur un troupeau de la région d'El Fayedh de Sidi Bouزيد. Une variation phénotypique importante a été enregistrée pour le TB et pour le TP des laits individuels. Le rendement fromager individuel moyen obtenu a été de 13,68 %. Le rendement fromager a montré une corrélation positive avec le TB et avec le TP. Les analyses microbiologiques du fromage après affinage ont prouvé qu'il est de qualité hygiénique satisfaisante. Un test hédonique a montré l'appréciation du fromage de dromadaire par le consommateur

Mots clés : lait, dromadaire, fromage

Abstract

Our study aims to optimize the production of cheese from camel milk and to study the influence of the physicochemical characteristics of milk on cheese yield. Our study focused on a herd of El Fayedh from Sidi Bouزيد. A significant phenotypic variation was recorded for TB and TP of individual milks. The average yield individual cheese obtained was 13.68 %. Cheese yield showed a positive correlation with TB and TP. Microbiological analyzes of cheese after ripening showed that it has a satisfactory hygienic quality. A hedonic test showed the appreciation of camel cheese by the consumer.

Keywords: milk, camel, fromager.

ملخص

تهدف دراستنا لتحسين إنتاج الجبن من حليب الإبل، ودراسة تأثير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للحليب على عائد انتاج الجبن. ركزت دراستنا على قطيع من منطقة فائض بسيدي بوزيد. تم تسجيل التباين المظهري الكبير ل TB و TP للحليب الفردي. تم الحصول على متوسط عائد جبن فردي يقدر ب 13.68%. أظهرت النتائج وجود علاقة ترابط إيجابية بين عائد الجبن و TP و TB. وأظهرت التحاليل الميكروبيولوجية نوعية صحية مرضية للجبن. وأظهر الإختبار الذوقي إستحسان المستهلك لجبن الإبل.

1. Introduction

Le dromadaire (*Camelus dromedarius*) occupe une place de choix dans les zones arides et semi-arides en raison de sa parfaite adaptation aux conditions drastiques de vie: manque d'eau et de pâturage, températures élevées. Il est exploité pour sa viande, sa laine et son lait (Al Haj et Al Kanhal, 2010). Il est aussi utilisé comme moyen de transport et comme animal de course (Al Haj et Al Kanhal, 2010). Selon les statistiques de la FAO, la population cameline est estimée en 2008 à vingt millions de têtes dont 84 % sont des dromadaires répartis entre le nord et le nord-est de l'Afrique; le Moyen orient; le sud de l'Asie et l'Australie. En Tunisie, on compte en 2013 deux milles trois cents éleveurs possédant quatre vingt milles femelles aptes à la reproduction (Magazine de l'agriculture tunisienne, 2013). Le troupeau est localisé

essentiellement au centre et au sud du pays. La production laitière est estimée en 2013 à vingt milles tonnes par an. Le lait de dromadaire est connu pour ses diverses vertus nutritionnelles (richesse en vitamine C, en acides gras insaturés et en minéraux) et diététiques (effets hypotenseurs, hypoglycémians, hypo allergisants, hypocholestérolémians, anticarcinogènes, anti-diabète) (Konuspayeva *et al*, 2009). Cependant, il est réputé de ses faibles aptitudes fromagères qui se traduisent par une coagulation lente et l'obtention de gels friables et fragiles (Ramet, 1993 et 1985). Cette faible aptitude à la coagulation est reliée à une faible teneur en caséines K et une plus grande taille des micelles de caséines du lait camelin par rapport au lait bovin (Farah Et Ruegg, 1989). Notre étude a pour objectifs: 1) l'optimisation d'un protocole de micro- fabrication fromagère à partir du lait de dromadaire; 2) l'étude de la relation entre les caractéristiques physicochimiques du lait et le rendement fromager et 3) l'analyse des qualités microbiologique et sensorielle du fromage après affinage.

2. Matériel et méthodes

2.1. Echantillonnage

Le lait provient d'un troupeau de la région d'El Fayedh de Sidi Bouzid. Le troupeau renferme vingt-trois femelles dont sept sont allaitantes (tableau 1). Il est conduit en élevage extensif sur des parcours naturels. L'alimentation est basée surtout sur des arbustes de "Hmadha" et subit une complémentation à l'auge de type cactus, bois de taille d'olive. Le pâturage dure 8 heures, de 6 h à 14 h. La production laitière journalière des femelles de dromadaire étudiées varie entre 1,5 à 3 litres. Sept échantillons sont récupérés de la traite totale de chaque Nega. Le suivi a duré 40 jours.

N° de l'individu	Age/an	Nombre de mises bas	Date de dernière mise bas
1	18	12	15/02/2012
2	5	2	20/02/2012
3	12	7	10/02/2012
4	5	1	18/02/2012
5	8	3	01/04/2013
6	12	7	03/04/2013
7	10	4	05/04/2013

Tableau 1. Résultats de l'enquête sur les femelles de dromadaire étudiées

2.2. Production du fromage

La méthode de micro-fabrication fromagère s'inspire de celle d'Othmane et al. (2003) mise au point pour le lait de brebis (figure 1). L'adaptation de la méthode consiste à utiliser un plan factoriel à trois facteurs et à deux niveaux pour optimiser le rendement fromager. Dans ce but, on a essayé (1) 2 types de présures, d'origines animale (MAXIREN-15; 15.000 MICU/ml) et microbienne de *Mucor miehei* de même force coagulante, (2) deux doses de présure supérieures à la dose couramment utilisée pour le lait de vache et (3) deux concentrations de CaCl₂ (Tableau 2). Le choix des niveaux des facteurs est basé sur les travaux réalisés par Ramet (1985 et 1993). Le rendement fromager frais (R_f) est calculé en

divisant la masse du caillé obtenu par la masse initiale du lait. Il est exprimé en g de fromage par 100 g de lait.

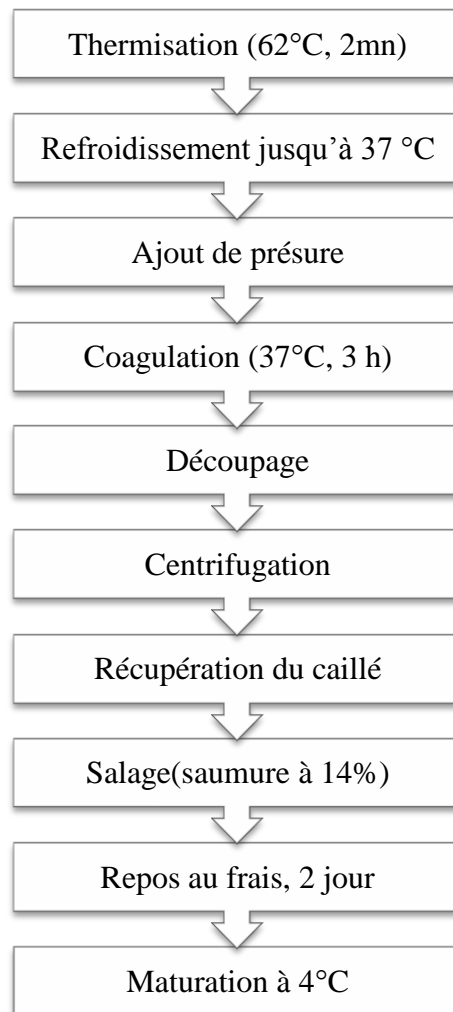


Figure I. Protocole de micro-fabrication fromagère (d'après Othmane et al, 2003 avec quelques modifications)

Facteur	Niveau (+)	Niveau (-)	Unité
Enzyme de coagulation	Microbienne	Animale	-
Dose de l'enzyme	8	3,2	µl d'enzyme/10ml de lait
Ajout de CaCl ₂	10	0	g CaCl ₂ /100 l de lait

Tableau 2. Plan factoriel complet pour l'optimisation du rendement fromager.

2.3. Analyse physicochimique du lait

Immédiatement après la collecte, les échantillons sont soumis aux analyses physicochimiques. La détermination des taux butyreux et protéique, des teneurs en lactose, en sels minéraux, en extrait sec dégraissé et de la densité est faite à l'aide du Lactoscan (LA) Ultrasonic Milkanalyser (Bulgarie).

2.4. Analyse microbiologique

Les échantillons du lait et du fromage affiné sont soumis aux analyses microbiologiques prescrites par la norme tunisienne NT ENR 16-40 (1988) (INNORPI, 2007).

2.5. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle du fromage affiné est effectuée par un test hédonique sur 44 dégustateurs naïfs de différents âges, sexes et fonctions. L'objectif de ce test est de déterminer l'acceptabilité par le consommateur du fromage affiné préparé à partir du lait de dromadaire. La note varie entre 1 (je n'aime pas) et 7 (j'aime beaucoup).

3. Résultats et discussions

3.1. Optimisation d'un protocole de micro-fabrication fromagère

Pour améliorer l'aptitude du lait de dromadaire à la coagulation, trois facteurs à deux niveaux ont été évalués: la nature de l'enzyme de coagulation, la dose de l'enzyme et la quantité de CaCl_2 ajoutée (tableau 3). D'après les résultats, le facteur type d'enzyme a un effet négatif significatif. D'après Ramet (1993), les deux enzymes testées ont des affinités analogues. Le facteur dose de l'enzyme a une forte influence positive. En effet, le surdosage de l'enzyme réduit le temps de prise, augmente la vitesse de raffermissement du gel ainsi que sa fermeté maximale (Ramet, 1985). L'ajout de CaCl_2 présente un effet positif significatif moindre. En effet, il permet d'augmenter le degré de minéralisation des micelles et ainsi d'augmenter le rendement fromager et la fermeté du gel.

Pour un meilleur rendement fromager, on va utiliser la présure animale à une dose de $8\mu\text{l}$ par 10 ml. Puisqu'il se fait après traitement de stabilisation du lait, on a choisit de négliger l'ajout de CaCl_2 par crainte d'une recontamination du lait.

Essai	Facteurs			N	R _f
	Présure	Dose	CaCl ₂		
1	-	-	-	4	10,12(±0,79)
2	+	-	-	4	6,07(±1,04)
3	-	+	-	4	13,11(±0,62)
4	+	+	-	4	13,88(±0,20)
5	-	-	+	4	6,07(±1,27)
6	+	-	+	4	8,5(±1,27)
7	-	+	+	4	13,65(±0,32)
8	+	+	+	4	14,1(±0,53)

Tableau 3. Matrice du plan factoriel complet avec les valeurs du rendement fromager.

3.2. Caractéristiques physicochimiques du lait de dromadaire

Les résultats de l'analyse chimique des laits individuels sont récapitulés dans le tableau 4. Les valeurs moyennes observées pour les taux butyreux et protéiques ont été de 2,44 et 2,85 % avec des coefficients de variation de 41,47 et 22,86 %, respectivement. Ceci montre une variation phénotypique importante surtout pour le taux butyreux. Ces résultats sont en accord avec ceux mentionnés dans la littérature pour le lait de dromadaire en Tunisie (Ellouze et Kamoun, 1989, El-Hatmi et al., 2006) et ailleurs (Kouniba et al., 2005). Cette variabilité est généralement liée à divers facteurs: rang et stade de lactation, race, type d'élevage, saison, etc (Haddadin et al, 2008; Konuspayeva et al., 2005). Toutefois et, comme pour les bovins, l'alimentation du dromadaire reste le facteur le plus déterminant (Dereje et Udén, 2005; Mehaia *et al*, 1995; Ramet, 1993). Dans la présente étude, la variabilité du rendement fromager est déterminée par les facteurs intrinsèques à l'animal: âge et stade de lactation étant donné que tous les individus sont soumis aux mêmes conditions d'élevage.

Variable	N	X	Min	Max	CV(%)
TB(%)	28	2,44	0,64	4,4	41,47
TP(%)	28	2,85	1,01	4,61	22,86
L(%)	28	4,52	3,47	5,66	11,62
S(%)	28	0,65	0,47	0,94	13,40
ESD(%)	28	7,75	5,45	10	13,07

N: nombre d'échantillons; X:moyenne; CV: coefficient de variation

Tableau 4. Composition chimiques du lait de dromadaire.

Le taux moyen de lactose était de 4,52 % avec un coefficient de variation de 11,62 %. D'après la littérature, le taux de lactose dans le lait est presque constant et varie très peu chez toutes les races camelines (Ellouze et Kamoun, 1989).

La valeur moyenne des sels minéraux était de 0,65 % avec un coefficient de variation de 13,40 %. Les cendres sont représentées principalement par les phosphates, par les citrates, par les chlorures. Ces matières minérales ne sont pas toutes en solution, une partie d'entre elles est associée aux protéines. Ces deux formes sont dans un état d'équilibre qui contribue à la stabilisation des micelles de caséines (Ramet, 1993).

Les valeurs des densités des laits varient entre 1,034 et 1,022 ce qui confirmé par comparaison avec d'autres études sur le lait de chamelle, qui montrent que cette dernière oscille entre 0,99 et 1,034 (Ramet, 1985). La densité dépend essentiellement à la teneur en matière grasse ; plus la teneur en matière grasse est élevé plus la valeur de la densité est faible et vice versa (Ramet, 1985). Le pH est entre 6,5 et 6,7.

3.3. Influence de la composition chimique sur le rendement fromager individuel

Le suivi de l'évolution du rendement fromager et des paramètres physico chimiques des laits des sept femelles de dromadaire a abouti aux résultats présentés dans la figure II.

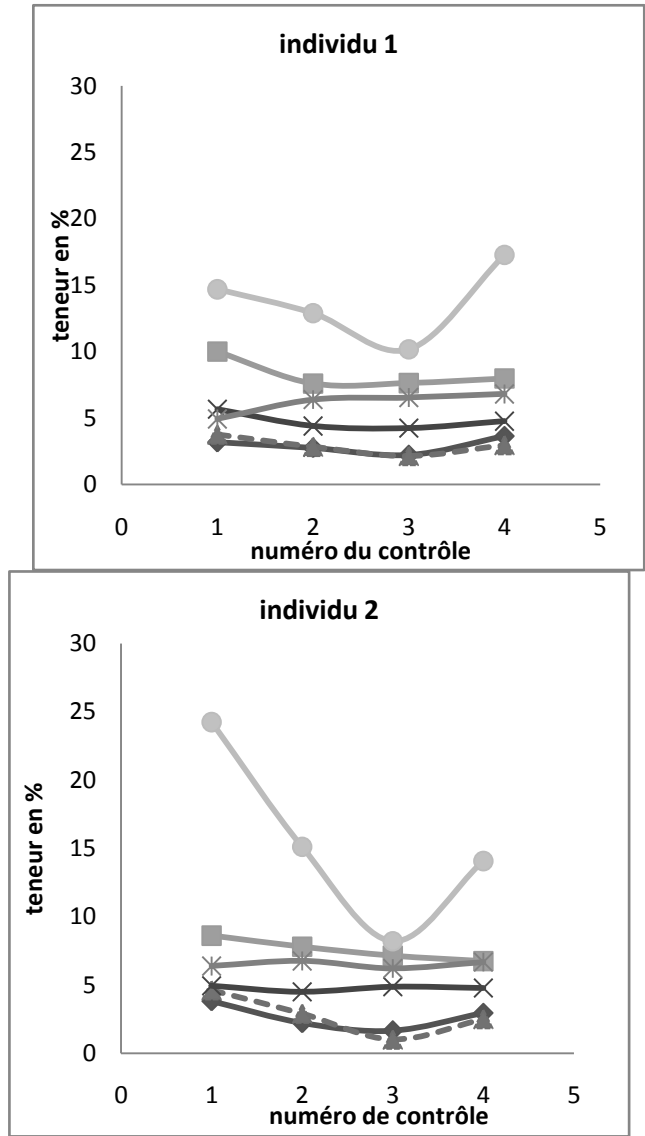


Figure II. Evolution du rendement fromager et des paramètres physico-chimiques des laits individuels

◆ TB(%) ■ ESD(%) ▲ TP(%) × L(%) * PH ● Rf(%)

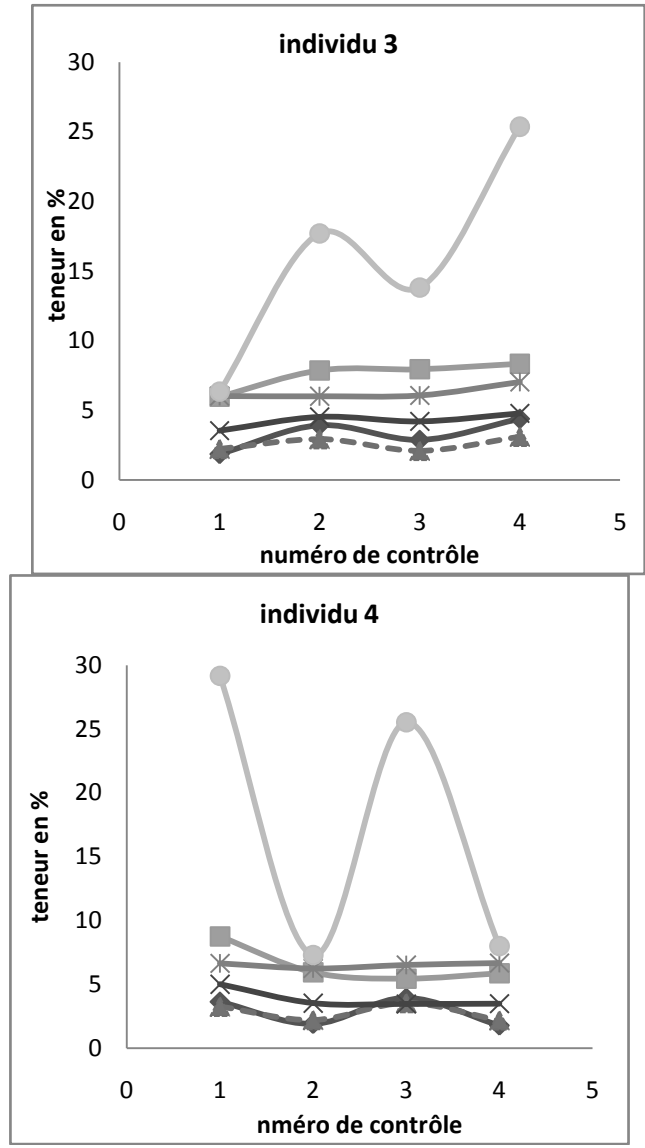


Figure II (suite 1). Evolution du rendement fromager et des paramètres physico-chimiques des laits individuels

—◆— TB(%) —■— ESD(%) - -▲- - TP(%) —×— L(%) —*— PH —●— Rf(%)

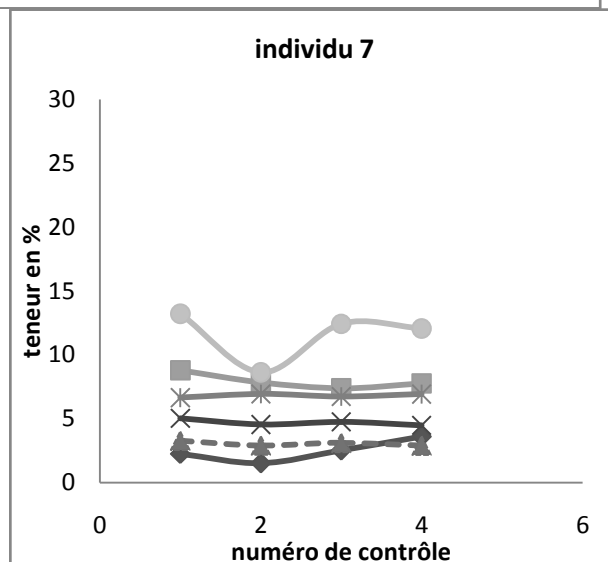
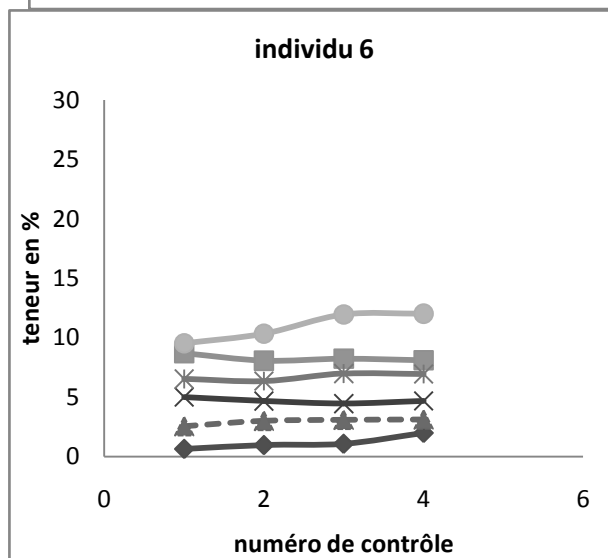
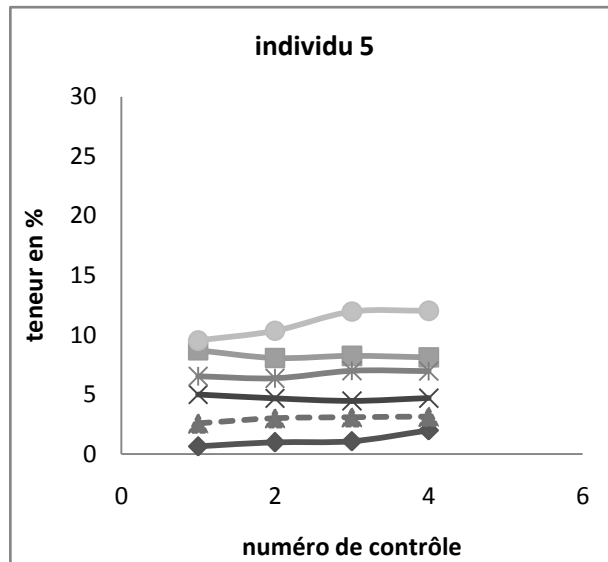


Figure II (suite 2). Evolution du rendement fromager et de la composition physico-chimique des laits individuels

◆ TB(%) ■ ESD(%) -▲- TP(%) × L(%) * PH ● Rf(%)

Les courbes montre que le rendement fromager est essentiellement lié à la teneur en matières grasses et à la teneur en protéiques. En effet, le rendement fromager est corrélé positivement avec le taux butyreux et le taux protéique avec des coefficients de 0,79 et 0,60, respectivement (tableau 5). Ses relations sont traduites d'une manière significative dans l'équation de régression suivante: $R_f = 3,8 TB + 2,97 TP - 4$ ($R^2 = 0,72$, $P < 0,05$).

Cependant, l'évolution du rendement fromager est plus accentuée que celles des constituants du lait: le rendement fromager individuel moyen du lait de dromadaire est de 13,68 % avec un coefficient de variation très élevé, soit 42,92 %. Le rendement fromager dépend non seulement de la composition du lait mais également de bien d'autres facteurs non identifiés ou non identifiables (Othmane et al. 2003). L'évolution du pH ne semble pas avoir une influence claire sur celle du rendement fromager.

	<i>TB</i> (%)	<i>ESD</i> (%)	<i>TP</i> (%)	<i>L</i> (%)	<i>TP+T</i> <i>B</i>
<i>ESD</i> (%)	0,04	1			
<i>TP</i> (%)	0,42	0,46	1		
<i>L</i> (%)	0,09	0,88	0,36	1	
<i>TP+TB</i>	0,90	0,24	0,76	0,23	1
<i>R_f</i> (%)	0,79	0,23	0,60	0,24	0,85

Tableau 5. Coefficient de corrélation (R) entre le rendement fromager et les paramètres physicochimiques du lait.

Pour les individus 5, 6 et 7, le phénomène d'inversion des taux butyreux et protéique ($TB < TP$) est observé. Outre les variations induites au niveau de la texture du fromage (caractère onctueux, fermeté de la pâte), des valeurs de *TB* plus faibles que le *TP* peuvent poser le problème du non respect du Gras/Sec du fromage imposé par les normes.

3.4. Qualité du fromage de dromadaire affiné

Aux cours de l'affinage, le fromage montre une désacidification progressive (figure III.a) due à une transformation de l'acide lactique en composés de flaveurs par des levures telles que *Geotrichum candidum*. L'humidité a diminué suite au salage (figure III.b). De plus, le pH est au voisinage du point isoélectrique des caséines qui perdent alors leur pouvoir de liaison avec l'eau (Ramet, 1985).

Les résultats des analyses bactériologiques du fromage ont montré sa conformité à la norme (NT ENR 16-40 (1988)). Ceci revient à la qualité hygiénique satisfaisante du lait. Naturellement, le lait de dromadaire se conserve bien contre les germes grâce à des composés antimicrobiens endogènes (Konuspayeva *et al*, 2009). De plus, la traite se fait d'une manière hygiénique et l'état sanitaire du troupeau est contrôlé. D'autre part, l'opération de salage est l'une des étapes les plus déterminantes de la qualité microbiologique du fromage.

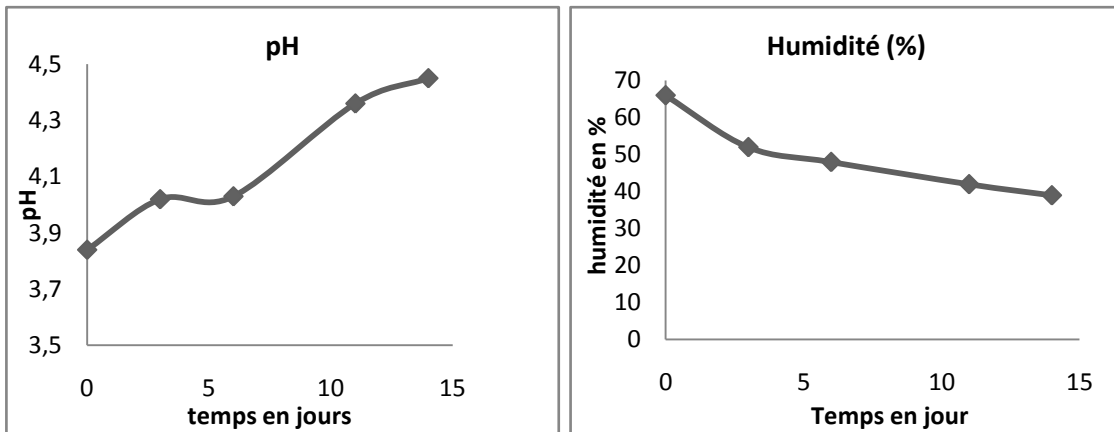


Figure III. Évolution du pH(a) et de l'humidité (%) (b) au cours de l'affinage

Les résultats de l'analyse sensorielle du fromage affiné a montré que le fromage de dromadaire affiné est apprécié par la majorité des dégustateurs (figure IV.a). Les résultats moyens pour les différentes caractéristiques organoleptiques du fromage affiné sont acceptables et supérieurs à la moyenne (figure IV.b).

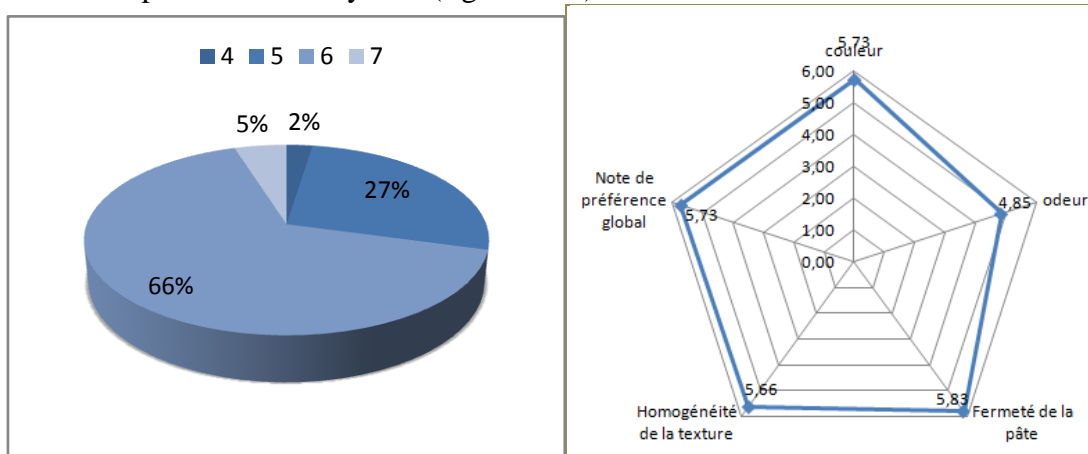


Figure IV. Distribution des notes de préférences globales (a) et des différentes caractéristiques organoleptiques (b) du fromage

La couleur de notre produit final apparaît rouge orangé. Cette couleur est fort probablement développée par *Brevibacterium linens* qui sont appelés "ferments du rouge" et qui se développent en présence de sel. Elles synthétisent des pigments caroténoïdes donnant une couleur virant du jaune au rouge (Guiraud, 2003; Rattray et Fox, 1999). Parmi les dégustateurs, 17% n'ont pas aimé l'odeur du fromage (note inférieure à 4). Cette odeur forte résulte du phénomène de lipolyse et qui produit des acides gras en alcools, aldéhydes et cétones, responsables du goût et de l'arôme caractéristiques du produit. La majorité des personnes enquêtées ont apprécié la fermeté du fromage et l'homogénéité de sa texture. La bonne homogénéité de la texture s'explique par la nature des caséines du lait camelin. Ces dernières se distinguent par leur degré de phosphorylation et donc par leur capacité de liaison aux minéraux, ce qui est considéré comme un élément fondamental pour la structure et de la texture des fromages (Gaucheron, 2005).

4. Conclusion

Malgré sa réputation de difficulté de coaguler, on a réussi à adapter une méthode de micro-fabrication fromagère, conçue pour le lait de brebis, au lait de dromadaire. Les modifications apportées, spécifiques au lait de dromadaires, consistaient à (1) quintupler (5 fois) la dose de la présure, (2) augmenter la durée de coagulation à 3 heures, (3) augmenter la durée de centrifugation du caillé à 20 minutes et (4) étendre la période d'égouttage à l'air libre. L'adaptation de la méthode nous a permis d'étudier l'évolution des rendements fromagers individuels sur une période de la lactation et d'évaluer leurs relations avec la composition chimique des laits étudiés. Les rendements fromagers obtenus ont varié d'un individu à l'autre selon l'état physiologique de l'animal. Ils ont été hautement corrélés aux constituants majeurs du lait, à savoir la matière grasse, les protéines. Toute tentative d'optimisation du rendement fromager doit alors passer par une amélioration qualitative du lait. La divergence parfois accentuée entre l'évolution des rendements fromagers et celle de la composition chimique des laits indique que le rendement fromager est plutôt sujet à d'autres facteurs non contrôlés ou non contrôlables. Le fromage ayant subi un affinage a montré une qualité hygiénique satisfaisante et a joui d'une bonne acceptabilité de l'échantillon des personnes enquêtées.

Bibliographie

- Al Haj, O.A. et Al kanhal H. A., 2010. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International dairy journal*, 20:811-821 pp.
- El-Hatmi H., Khorchani T., Attia H., 2006. Characterization and composition of camel (*Camelus dromedarius*) milk and colostrums. *Microbiologie et hygiène alimentaire* 18: 13-17pp.
- Farah, Z. & Rüeegg, M. W. (1989). The size distribution of casein micelles in camel milk. *Food microstructure*, 8, 211-216.
- Gaucheron F., 2005. The minerals of milk. *Reprod. Nutr. Dev.* 45 :473-483pp
- Guiraud J.P. 2003. *Microbiologie alimentaire*. Dunod. Ed paris : de 397 à 419 ; 139, 140.
- Haddadin, M. S. Y., Gammoh, S. I., & Robinson, R. K. (2008). Seasonal variations in the chemical composition of camel milk in Jordan. *Journal of dairy research*, 75, 8-12.
- INNORPI. NT ENR 16-40 (1988). Catalogue 2007 des normes tunisiennes. ISSN 0330-8252.
- Konuspayeva, G, Faye, B, et Loiseau, G. (2009). The composition of camel milk: a meta-analysis of the literature data. *Journal of food composition and analysis*, 22: 95-101pp.
- Kouniba A., Berreda M., Zahar M., Bengoumi M., 2005. Composition and heat stability of Moroccan camel milk. *Journal of camel practice and research*, 12: 105-110.
- Ministère de l'agriculture, 2013. Magazine d'agriculture tunisienne, p 32 ; 35.
- Mehaia M.A. (1995). The fat globule size distribution in camel, goat, ewe and cow milk. *milchwissenschaft*, 50, 260-263.
- Othmane M.H., I.f. De la fuente, and f. San primitivo. 2003. Individual cheese yield as a selection goal in milking ewes: experiences and prospects in the churra breed. *Cah. Options méditerranéennes*, 55 : 115-123.
- Ramet, J.P. 1993. La technologie des fromages au lait de dromadaire (*Camelus dromedarius*). *FAO production et santé animales*. 113.
- Ramet J.P., 1985. La fromagerie et les variétés de fromages du bassin Méditerranéen. Archives des documents de la FAO, Département de l'agriculture.
- Rattray.F.P. et Fox P.F., 1999. Aspects of enzymology and biochemical properties of *Brevibacterium linens* relevant to cheese ripening: a review. *Journal of dairy science*, 82, (5): 891-909pp.

Essai de recherche-développement d'un projet de valorisation des produits avicoles: cas des ovo-produits

Koussani Wafa, Ayadi Emna et Khamassi Faten
Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis, Tunisie.

1. Introduction

Le secteur avicole, à travers ses deux composantes, poulet de chair et œuf de consommation, occupe une place importante dans l'économie Tunisienne, en contribuant activement à l'autosuffisance nationale en produits avicoles et à la création d'emploi.

Le secteur de l'œuf de consommation connaît quelques distorsions pendant certaines périodes essentiellement pour la saison estivale où le marché de l'œuf se porte mal : surproduction, mévente, consommation en dents de scie, etc. De ce fait, certaines améliorations s'imposent pour lever ces distorsions.

C'est dans ce cadre que le présent travail s'inscrit. Il consiste à une étude de faisabilité d'un projet de valorisation des produits avicoles, aboutissant à la production des ovo-produits. Ce projet, ayant un aspect innovant, vise la valorisation des œufs, le dynamisme et la praticité de la vie professionnelle des industries agroalimentaires utilisant les œufs.

2. Constat et problématique

La Tunisie est dotée d'une production d'œuf très importante qui répond à tous les besoins de consommation, mais la consommation d'œufs est très variable, elle décroît pendant la saison estivale ce qui engendre un décalage entre la production et la consommation. D'où nous distinguons une opportunité de valoriser les œufs et de les présenter d'une manière profitable.

- Quelles sont alors les formes de valorisation des œufs ?
- Quelle est la situation des ovo-produits dans le monde et en Tunisie ?
- Quelle est l'utilité de la mise en place d'un projet de valorisation des œufs ?

Pour mener à bien notre étude, il s'agira d'examiner la situation du secteur avicole, notamment de celui de l'œuf de consommation en Tunisie, de voir la situation des ovo-produits dans le monde, d'étudier l'attitude des industriels utilisant les œufs envers les ovo-produits et la prédisposition des producteurs d'œufs d'entreprendre l'activité de cassage des œufs et de juger, à la lumière des résultats, la faisabilité de ce projet.

2.1. Situation de l'industrie de cassage des œufs (des ovo-produits) dans le monde

Une casserie d'œuf est une usine qui réunit et casse les œufs pour l'industrie agroalimentaire. Le cassage d'œufs industriel est un procédé agroalimentaire qui permet d'obtenir des ovo-produits à l'aide de machines spécialisées. Les œufs collectés dans les élevages sont cassés mécaniquement. Les blancs et les jaunes sont séparés, filtrés puis pasteurisés et conservés au froid à + 2 °C avant d'être expédiés. Les coquilles peuvent être récupérées pour être réutilisées dans l'agriculture pour l'amendement des sols.

L'intérêt de l'ovo-produit est :

- Pratique et rapide : la vie des professionnels est facilitée car ils n'ont plus besoin de casser les œufs, de séparer le jaune du blanc, etc.
- Economique : les professionnels peuvent commander la partie de l'œuf dont ils ont besoin. On ne gaspille plus l'un des éléments de l'œuf non utilisé dans une recette.
- Sain : il conserve toutes les qualités de l'œuf.

- Flexible : le client est libre de choisir s'il souhaite enlever un ou plusieurs composants de l'œuf.
- Sur-mesure : les ovo-produits sont livrés dans un conditionnement adapté aux besoins du client.

Au niveau mondial, la part des ovo-produits représente environ 10% des œufs produits. Les grands producteurs mondiaux d'ovo-produits sont : la France, l'Allemagne et l'Italie, les USA, le Mexique et le Brésil.

2.2. Situation des ovo-produits en Tunisie

En Tunisie, la production des ovo-produits n'existait et n'existe pas jusqu'à nos jours, néanmoins, il existe des industries agro-alimentaires Tunisiennes utilisant les œufs qui font recours à l'importation des ovo-produits, qui facilitent leurs productions et dynamisent leurs vie professionnelle.

Parmi les ovo-produits utilisés en Tunisie et qui sont importés, on trouve les œufs séchés (en poudre), les quantités et les valeurs de ces ovo-produits importés sont représentées par le tableau suivant :

Année	Poids en Kg	Valeur en DT
2008	4000	35 404
2009	350	4 879
2010	7 200	53 904
2011	14 000	117 168
2012	134 565	1 435 622
Total	160 115	1 646 977

Tbleau 1. Evolution de l'importation des ovo-produits (œufs en poudre) en Tunisie (O.C.T)

L'examen du tableau 1 montre que, la quantité des ovo-produits importée est en progression croissante pendant les cinq dernières années essentiellement pour l'année 2012 où les quantités des ovo-produits importées étaient importantes et leurs valeurs étaient en hausse aussi, ce qui montre que la consommation et l'acceptation des ovo-produits a commencé à entrer dans l'esprit des industriels tunisiens puisque ce sont de nouveaux produits mais qui sont très répandus et très consommés dans le monde.

On peut dégager aussi d'après ce tableau, l'utilité et l'importance des ovo-produits pour les industries agro-alimentaires qui ont eu recours à l'importation vu que ces produits n'existent pas dans notre pays. Ainsi, il importe de noter l'utilité de l'installation de l'activité de cassage des œufs (production des ovo-produits) car les industries agro-alimentaires ont besoin de ces ovo-produits et dans le but de réduire leurs importations. On peut constater aussi l'opportunité de l'implantation d'un projet de cassage industriel des œufs, vu que la Tunisie est dotée d'une production importante d'œufs et qu'elle assure son autosuffisance en œufs, donc pourquoi fait-on recours à l'importation des ovo-produits tandis qu'on est dotée des moyens qui permettent de les produire.

Il faut signaler que la Tunisie a commencé à importer, pour la première fois, en 2012 des ovo-produits liquides additionnés de sucre ou d'autres édulcorants. La quantité des ovo-produits importés est de 2030 Kg avec un prix de l'ordre de 7849 DT.

3. Methodologie de travail

La méthodologie que nous allons suivre repose sur deux aspects :

- L'aspect théorique à travers la recherche documentaire.
- L'aspect pratique à travers des enquêtes que nous allons mener auprès des acteurs dont les réponses vont constituer des variables à interpréter.

Pour ce faire, nous avons opté pour l'enquête auprès :

- ❖ Des industriels utilisant les œufs qui constituent les clients cibles que nous avons visés pour notre projet.

- ❖ Des producteurs d'œufs qui constituent les fournisseurs de notre projet.

Pour la réalisation matérielle de l'enquête nous avons opté par l'enquête assistée.

4. Resultats et discussions

Afin de vérifier les résultats obtenus dans la première partie et de justifier l'utilité de l'activité de cassage des œufs, nous avons mené des enquêtes auprès des producteurs d'œuf et des industriels utilisant les œufs.

Dans cette partie, nous présentons les principaux résultats des enquêtes effectuées suivis par quelques recommandations que nous jugeons utiles.

4.1. Analyse de l'enquête auprès des industriels utilisant les œufs

Vu que l'activité de production des produits de la pâtisserie et de la confiserie est très répandue dans la région de Sfax, nous l'avons choisie pour la réalisation matérielle de l'enquête auprès des industriels utilisant les œufs. Néanmoins, afin de diversifier notre échantillon, nous avons réalisé quelques questionnaires dans la région de Tunis, Ariana, Monastir et Tataouine qui ont été choisies par hasard.

Les industriels enquêtés dans la région de Sfax sont de l'ordre de 40, ceux dans la région de Tunis, Ariana, Monastir et Tataouine sont respectivement de l'ordre de 5, 3, 1 et 1.

Dans le but de voir de près l'attitude des industriels sur les ovo-produits, nous avons choisi les industriels utilisant les œufs de différents secteurs d'activité :

- 70% de ces derniers sont des pâtissiers,
- 24% sont des confiseurs,
- seulement 6% d'entre eux ont pour secteur d'activité la biscuiterie.

D'après l'enquête que nous avons mené, nous avons remarqué que les pâtissiers sont les industriels les plus consommateurs d'œufs dans leurs productions. La quantité d'œuf utilisée par jour est variable selon la production de l'industrie. En effet :

- 56 % des industriels enquêtés utilisent quotidiennement une quantité d'œuf qui varie entre 500 et 1000 unités,

- 42 % d'entre eux ont une quantité d'œuf utilisée par jour qui varie entre 100 et 500 et ce selon la demande adressée au industriel.

Il en ressort que la majorité des industriels utilisent une quantité importante d'œufs/jour.

D'après l'enquête menée au près des industriels, nous avons remarqué que le cassage des œufs et la séparation entre le jaune et le blanc d'œuf se font manuellement s'ils ont seulement besoin, pour l'un de leurs produits, du blanc ou du jaune d'œuf. Le cassage des œufs manuellement peut engendrer des problèmes au sein de l'industrie parmi lesquels ils ont cités : la perte de temps, la perte d'œuf, les débris de la coquille, la sélection et le lavage de l'œuf avant le cassage.

Au cours de nos entretiens auprès des industriels, nous avons pu étudier leur prédisposition d'acheter des ovo-produits. En effet:

- la majorité (82%) des industriels enquêtés est prédisposés à acheter les ovo-produits et ils ont apprécié le projet de cassage industriel des œufs et trouvent qu'il est bénéfique. En effet, ils ont explicité que ces ovo-produits vont les permettre de résoudre assez de problèmes qu'ils confrontent, de minimiser les pertes qu'ils subissent et de dynamiser et faciliter leur activité,

- les 18% restants ont refusé d'acheter les ovo-produits pour divers raisons parmi lesquels leur préférence d'utiliser dans leur production des œufs frais qui sont cassés manuellement le jour même, d'autres veulent connaître l'origine de la provenance de l'œuf et

s'approvisionner eux-mêmes des producteurs d'œufs, entre autre certains parmi eux ont essayé auparavant d'utiliser des œufs en poudre qui n'étaient pas rentables.

4.2. Analyse de l'enquête auprès des producteurs d'œufs

Notre échantillon d'enquête est réparti sur cinq régions. En effet, sur les 16 producteurs d'œufs enquêtés, 56% sont localisés dans la région de Sfax puisque cette région est un acteur important dans le secteur d'œuf de consommation et 19% d'entre eux sont de la région de Tunis. Mais afin de diversifier notre échantillon nous avons enquêté des producteurs localisés dans les régions de Nabeul, Bizerte et Gabes.

D'après nos enquêtes, nous avons pu noter que :

- 63% des producteurs d'œufs enquêtés ont un niveau d'instruction supérieur ce qui va avantager l'activité d'élevage des poules pondeuses et ce qui va induire le développement de cette activité qui nécessite la connaissance des nouvelles technologies de production et de la conduite du marché puisque le secteur de production des œufs de consommation est très sensible. Les producteurs ayant un niveau d'instruction secondaire représentent 31% de ceux enquêtés et seulement 6% des producteurs qui ont un niveau d'instruction primaire.

Nous avons noté aussi que la production journalière d'œufs dépend de l'effectif des poules pondeuses dont dispose le producteur et peut être variable d'une période à une autre. En effet, la plupart des producteurs enquêtés ont une production journalière d'œufs variant entre 10 000 et 50 000 unités.

Il est clair qu'une part non négligeable (31%) des producteurs produise une quantité moyenne qui dépasse les 100 000 unités d'œufs par jour, cette production importante, mis à part qu'elle va être commercialisée et/ou stockée, elle peut être valorisée par d'autres manières.

Lors des entretiens que nous avons menés, les producteurs d'œufs ont signalé des problèmes qui résident dans le triage et la sélection des œufs avant le stockage ce qui demande de la main d'œuvre supplémentaire. D'autres producteurs souffrent de l'augmentation de la casse des œufs et des pannes électriques qui peuvent surgir ainsi que la capacité de stockage limitée et la difficulté de commercialisation : Parmi les 16 producteurs enquêtés :

- 14 se sont montrés prédisposés d'entreprendre l'activité de cassage des œufs en tant qu'activité de développement du secteur et ils ont apprécié l'idée du projet puisque c'est un projet innovateur qui va engendrer des valeurs ajoutées et augmenter les profits.

- Les deux autres producteurs ont exprimé leur réticence d'entreprendre cette activité et ils n'ont pas apprécié l'idée du projet. Pour l'un d'entre eux, le secteur de production des œufs de consommation est très sensible dans notre pays car l'Etat veut toujours intervenir dans la fixation des prix. Il n'a pas donc envie d'investir dans ce secteur et il s'est montré averse au risque. Pour l'autre producteur, les moyens matériels et financiers l'empêchent d'investir dans un tel projet.

A la lumière des résultats des enquêtes effectuées auprès des industriels utilisant les œufs et des producteurs d'œufs, et ayant intégré dans ces dernières des questions relatives à la situation actuelle des producteurs d'œufs et des industriels utilisant les œufs, nous pouvons constater l'utilité et l'importance de l'implantation d'un microprojet de cassage et de valorisation des œufs. Nous constatons aussi lors des visites sur terrain que tout type de producteur d'œuf est intéressé par ce projet. Le nombre de bâtiments dont disposent les producteurs n'a pas influencé leur attitude envers le projet de cassage des œufs. Au contraire, ils se sont trouvés motivés à pratiquer cette activité.

Compte tenu des attitudes des industriels utilisant les œufs ainsi que des producteurs d'œufs enquêtés envers les ovo-produits et leur utilité pour l'industrie agro-alimentaire, nous pouvons juger qu'un tel microprojet est techniquement faisable ; reste à déterminer sa rentabilité économique et financière pour décider de l'entreprendre ou pas.

5. Conclusion

L'aviculture n'est plus le métier d'aventurier et la production de l'œuf, qui demande des investissements considérables, tant intellectuels que financiers, est devenue une industrie très importante. C'est sur cette industrie moderne que la production des ovo-produits a pu se développer, souvent initiée par des aviculteurs soucieux de rechercher des produits à valeur ajoutée plus importante que celle du banal œuf en coquille.

Dans ce sens, nous avons proposé l'étude de faisabilité d'un microprojet de cassage et de valorisation des œufs, aboutissant à la production des ovo-produits et visant la praticité et le dynamisme de la vie professionnelle des industries agroalimentaires utilisant les œufs. L'objectif de cette étude était de disposer de l'ensemble des éléments qui nous permettent de juger de l'opportunité de la mise en œuvre d'un tel projet.

Partant du constat de la situation du secteur avicole en Tunisie, notamment celui de l'œuf de consommation ; matière première pour le projet proposé qui a pour objet secondaire, de promouvoir ce secteur à travers la valorisation des œufs et en utilisant de nouvelles technologies. À l'industrie de cassage des œufs succède une activité industrielle qui emploie les technologies les plus évoluées du domaine de la biochimie, du froid, de la physique et de la mécanique pour inventer, mettre au point, fabriquer, conserver et distribuer de nouvelles présentations de l'œuf et de nouveaux produits dérivés d'une innovation fertile et prometteuse.

Les industries agroalimentaires en Tunisie utilisant les ovo-produits ayant recours à l'importation, nous avons constaté l'utilité d'installer le projet de cassage des œufs (production des ovo-produits) en Tunisie vu que nous avons identifié, lors de nos enquêtes, des clients potentiels qui sont montrés intéressés par les ovo-produits proposées.

A la lumière des résultats obtenus suite aux enquêtes menées auprès des industriels utilisant les œufs et des producteurs d'œufs, nous avons constaté la volonté des industries utilisant les œufs, d'acheter les ovo-produits et l'appréciation de ces derniers de l'idée du projet. Ils ont explicité l'utilité d'un tel projet pour eux. Quant aux producteurs d'œufs, ils ont exprimé leur prédisposition d'entreprendre une telle activité et se sont montrés motivés pour l'installation d'un tel projet. Cette étude nous permet de conclure que le microprojet de cassage et valorisation des œufs peut être faisable sur le plan technique et peut contribuer à l'atténuation de certains problèmes rencontrés par les industries agroalimentaires.

Toutefois, l'exécution d'un projet nécessite aussi bien une étude technique qu'économique et financière pour juger de sa rentabilité. En outre, étant donnée que l'ovo-produit, fruit du projet proposé, est un nouveau produit sur le marché Tunisien, une étude marketing s'avère indispensable afin de faire connaître l'ovo-produit et d'optimiser sa force de vente.

L'étude économique et financière, ainsi que l'étude marketing de ce produit peuvent être un prolongement enrichissant à ce travail.

Bibliographiques

Aliou M., 2007. Guide pratique d'élaboration de microprojet lié aux activités génératrices de revenus, 1ère édition.

Bergaoui R., 2009. L'aviculture Tunisienne : situation, difficulté et perspectives. CIHEAM- options méditerranéennes.

Dufour N., 1995. Les œufs et les ovo-produits.

FAO. 2011. Evolution du secteur avicole en Tunisie. Document de travail FAO production et santé animales N° 5. Rome.

Gittenger J.P., 1985. Analyse Economique des Projets Agricoles, 2e Edition, Economica, Paris.

Groupement Interprofessionnel des Produits Avicoles et Cunicoles Tunisie, 2013. Bulletin d'information avicole Numéro 49- Novembre 2012.

Commercialisation des Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) dans le sud-est tunisien : Etat actuel et perspectives de développement

Gammoudi Taoufik

Institut des Régions Arides (IRA), 4119-Médenine, Tunisie.

Résumé

Dans la région du sud-est tunisienne, les Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) représentent une alternative prometteuse pour le développement durable des zones marginales. Le rôle que ces plantes peuvent jouer dans cette région et les opportunités qu'elles présentent sont incontestables, mais les contraintes et les exigences de ce secteur ne sont pas moins importantes à considérer.

Le marché des PAM dans cette région, est encore fragile et à l'état traditionnel. Les stratégies relatives à la commercialisation de ces plantes n'ont pas été développées pour mieux valoriser cette activité sur le marché local, suite à une absence d'organisation des différentes relations entre les opérateurs intervenants au niveau du marché de ces plantes.

Sur la base de méthodes quantitatives et grâce à un important travail de terrain mené au sud-est tunisien, l'objet de ce travail est d'analyser la filière des PAM dans cette zone et les opportunités de son développement socio-économique.

Mots clés : PAM, commercialisation, filière, développement socio-économique, sud-est tunisien

Abstract

In the south-east of Tunisia, the Aromatic and Medicinal Plants (AMP) represent an alternative of development the marginal areas. The role that plants can play in the region and the opportunities that they present are incontestable but the constraints and requirements of this sector are not less important to consider.

In this region the AMP market is still fragile and in the traditional state. The strategies relative to the commercialization of these plants were not developed to value this activity on the local market.

Based on quantitative methods and through an important fieldwork in the southern-east of Tunisia, the object of this work is to analyze the sector of AMP in this zone and the opportunities of its socioeconomic development.

Keywords: AMP, commercialization, network, socio-economic development, south-east of Tunisia

1. Introduction

Dans les régions économiquement sinistrées et à fortes contraintes environnementales, la Tunisie a réaffirmé toute l'importance de la concrétisation du processus de développement durable. Pour créer des sources de revenu, réduire la pauvreté et stabiliser les gens dans leurs régions d'origine, le pays a mis en place des programmes de développement local intégré et des stratégies de valorisation et de conservation des ressources naturelles et culturelles. En dépit de ces efforts, le modèle de développement souffre de contraintes structurelles relatives au faible degré de diversification de l'économie locale (Elloumi, 2006) et au chômage qui s'accumule année après année. Il souffre aussi d'un déséquilibre régional du marché du travail et des différentiels de revenus.

Le sud-est tunisien est caractérisé par une biodiversité importante marquée surtout par un couvert végétal spontané très riche en Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) qui bénéficie d'une forte image de qualité et d'authenticité spécifique au paysage de la région (Sghaier et *al.* 2011). Ce secteur reste parmi les activités rentables non encore suffisamment valorisé. Les opportunités économiques qu'offre ce secteur, sont loin d'être négligeable. Le marché des PAM est encore fragile et à l'état traditionnel (Gammoudi et *al.* 2010). Aucune stratégie relative à la commercialisation n'a été développée sur le marché. La commercialisation des produits des PAM, pose aujourd'hui de nombreux problèmes liés à la difficulté de maîtriser et de prévoir la production et en même temps de gérer la demande. Dans ces conditions, l'ajustement entre la demande et l'offre finale est particulièrement complexe face à des incertitudes portant sur la quantité et sur la qualité. Les objectifs assignés de ce travail consistent à développer le marché des PAM dans le sud-est tunisien en vue de mieux valoriser ce secteur qui peut jouer un rôle important au niveau de l'amélioration des sources de revenus et la création de nouvelles perspectives d'emploi.

2. Matériel et méthodes

L'approche méthodologique adoptée a été structurée en plusieurs étapes et a combiné plusieurs outils méthodologiques. Les bases conceptuelles et théoriques se sont référées aux travaux de Malassis (1995) et ceux de Bencharif (2008).

Dans une première phase de ce travail, une recherche bibliographique a été menée portant sur :

- ✓ la situation du marché national du secteur des PAM ;
- ✓ L'importance des PAM à l'échelle locale au niveau du sud-est tunisien ;

La deuxième phase de ce travail a été conçue pour collecter et analyser les différentes statistiques et données disponible se rapportant à la thématique de l'étude :

- ✓ les statistiques régionales et nationales ;
- ✓ les bases de données disponibles à l'IRA ;
- ✓ les différents projets nationaux et internationaux en relation avec la filière des PAM.

La dernière étape de ce travail, soit l'enquête par questionnaire auprès des principaux acteurs et intervenants tout le long de la filière des PAM (agriculteurs/cueilleurs, collecteurs, herboristes, vendeurs ambulants, commerçants intermédiaires et consommateurs), a été mené dans la région du sud-est tunisien (Gouvernorat de Médenine et Tataouine). En effet, trois modèles de questionnaire ont formé les principaux outils de ce travail :

- ✓ Questionnaire « agriculteur/cueilleur » : il s'adresse au groupe de la population locale qui effectue la cueillette et la récolte des PAM ;
- ✓ Questionnaire « commerçant intermédiaire » : ce questionnaire est destiné aux collecteurs, aux herboristes, aux vendeurs ambulants et aux commerçants intermédiaires ;
- ✓ Questionnaire « consommateur » : il est destiné à la population locale.

La méthode de sondage suivie dans ce travail s'inspire de la nature même de la population mère dont la majorité des acteurs sont inconnus et non listés. Pour résoudre ce problème, il a été fait recours à la méthode d'échantillonnage non probabiliste « boule de neige ». Il s'agit d'interroger des gens au hasard, sans chercher à les trier selon des caractéristiques. Une fois ces personnes interrogées, elles sont mises à contribution pour identifier d'autres membres de cette population qui sont à leur tour utilisés en tant qu'informateurs et ainsi de suite. Ainsi, l'échantillon a touché 158 individus dont 31 agriculteurs, 15 commerçants intermédiaires et 102 consommateurs.

3. Résultats et Discussions

3.1. Place de la Tunisie sur le marché mondial

3.1.1. La production

La flore tunisienne qui comporte environ 2163 espèces dont 149 plantes sont généralement utilisées en thérapeutique humaine particulièrement en milieu rural. Le domaine forestier de la Tunisie est de 1062000 ha répartis en forêts naturelles (500 000 ha, soit 47 %), forêts issues de reboisements (287 000 ha, soit 27 %), maquis et garrigues (245 000 ha, soit 23 %) et les forêts privées (30 000 ha, soit 3 %) (APIA, 2008).

D'après Ghoudi (2002), les PAM cultivées en Tunisie, produisent plus de 2000 tonnes de matières premières sous forme de feuilles, fleurs, fruits, graines et racines. La production par espèce, montre que le Bigaradier du Cap Bon constitue l'essentiel des espèces arboricoles cultivées pour la production de fleurs avec environ 100 600 pieds et une production de 900 tonnes par an. Le Géranium, cultivé essentiellement au Cap Bon, à l'Ariana et à Gafsa, est en production croissante (503 tonnes). Les rosiers cultivés dans la région de l'Ariana, de Kairouan et de Gafsa produisent près de 125 tonnes. La Menthe douce et la Verveine dont la demande est constamment croissante, produisent respectivement 13,6 et 8,1 tonnes (Tab. 1).

Culture	Superficies (ha)	Productions (Tonnes)
Nom français		
Fleurs d'orangers	352	1102,5
Géranium	42,5	503
Jojoba	300	0
Rose	164	125
Fenouil	120	200
Menthe douce	17,39	13,6
Basilic	9,16	41,5
Autres	26	15,2
Total	1031,05	2000,8

Tableau 1: Superficies et Productions des principales PAM cultivées en Tunisie (Ghoudi, 2002)

3.1.2. L'exportation

Sur le marché international, les propriétés physiques, chimiques et organoleptiques des PAM tunisiennes et leurs produits dérivés ont répondu aux exigences des marchés internationaux (Jehle, 2002). L'exportation tunisienne est en moyenne de 2650 tonnes par an de plantes sous différentes formes, dont 1 % seulement était destinée à des pays hors Europe, essentiellement les Etats-Unis d'Amérique (APIA, 2008).

L'exportation des PAM fraîches et séchées ainsi que les parties des plantes constitue un intérêt certain pour l'économie tunisienne. En 2002, l'exportation a atteint une valeur de 1,17 millions de dinars tunisien (DT), dont 94% des plantes utilisées dans des produits médicinaux (fraîches et séchées). Pour l'année 2005, l'exportation a enregistré une véritable reprise en valeur et en quantité. Avec une nouvelle hausse de 45% de valeur et une forte progression de quantité exportée (50%), la Tunisie confirme et renforce sa place sur les marchés internationaux (Figure I).

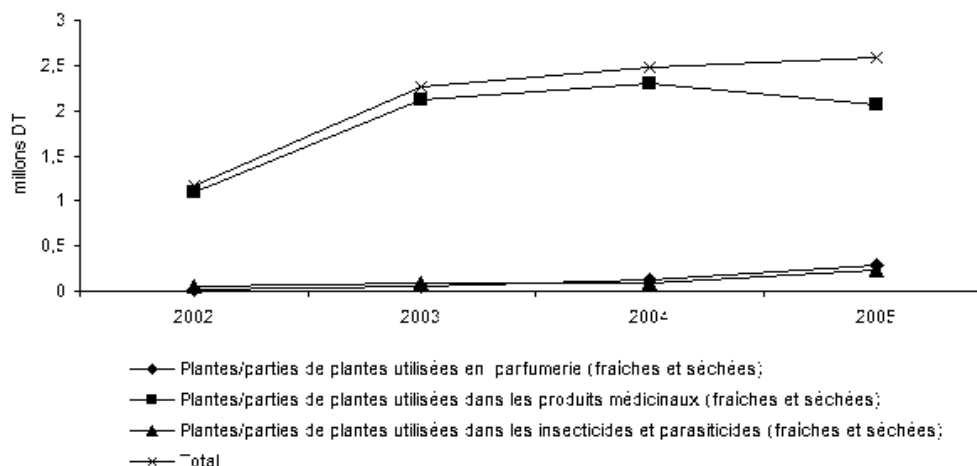


Figure I : Les exportations tunisiennes des PAM et des parties des plantes pour les utilisations industrielles (MDCI, 2002, 2003, 2004 et 2005)

Le marché tunisien d'exportation est orienté aussi vers les huiles essentielles, les eaux distillées, les arômes et les parfums. L'apport de l'exportation à la balance commerciale est important. Presque 65 % de la valeur d'exportation des PAM et leurs produits dérivés proviennent d'huiles essentielles. En effet, le néroli et l'essence de romarin sont les principales huiles destinées à l'exportation. La valeur des exportations des arômes et des parfums pour l'industrie alimentaire, l'industrie des boissons et la parfumerie est en nette progression en quantité qu'en valeur. En effet, entre 2002-2005 la quantité exportée a été multiplié par 2,5 pour passer de 323T à 800T ; de même la valeur d'exportation a passé de 5,8 MD en 2002 à 10,9 MD en 2005 (Figure II).

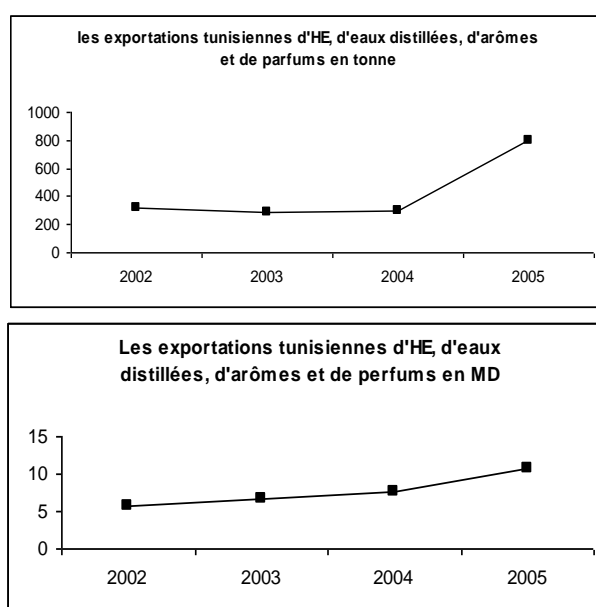


Figure II : Les exportations tunisiennes d'huiles essentielles, d'eaux distillées, d'arômes et de parfums (MDCI, 2002, 2003, 2004 et 2005)

Les exportations d'huiles essentielles tunisiennes sont fortement concentrées sur le marché de l'Union Européenne (61%), avec 23 % seulement vers les pays africains et 4% vers les

pays nord-américains et asiatiques. La France et l'Italie importent chaque année plus de 3 millions de dollars américains d'huiles essentielles. Les pays arabes, en particulier la Libye, l'Arabie Saoudite et les Emirats Arabes Unis (EAU), importent des quantités importantes des extraits d'huiles. La Libye est le premier marché arabe avec une moyenne de 4,4 millions de DT (2002-2005), devant l'Arabie Saoudite (2,1 millions DT) et les EAU (1,5 millions DT) (MDCI, 2005).

3.2. Analyse de la filière des PAM et leurs produits dérivés dans le sud-est tunisien

3.2.1. Les principales espèces consommées et leurs usages

A travers l'histoire, les PAM ont toujours occupée une place importante dans les familles rurales. Dans la région du sud-est, la plupart des ménages considèrent la plante comme étant un produit traditionnel pour traiter certaines maladies (la fièvre, la grippe, le rhumatisme, etc.). Quant à l'usage alimentaire la population locale considère certaines espèces comme le *Juniperis phoenicea*, le *Thymus hirtus* et l'*Artemisia herba-alba*, utiles pour le condiment des repas traditionnels. La préparation et le mode d'utilisation se font d'une manière traditionnelle et suivant le besoin de chaque consommateur (Gammoudi et al. 2010). La plupart des plantes sont consommées soit directement soit après transformation sous forme de poudre ou bouillons et aussi sous forme d'huiles essentielles. D'après le résultat de l'enquête, sur un total de 72 espèces utilisées et récoltées dans la région du sud-est, les principales espèces consommées sont : le *Rosmarinus officinalis*, le *Thymus hirtus*, le *Juniperus phoenicea* et l'*Artemisia herba-alba* (Figure III).

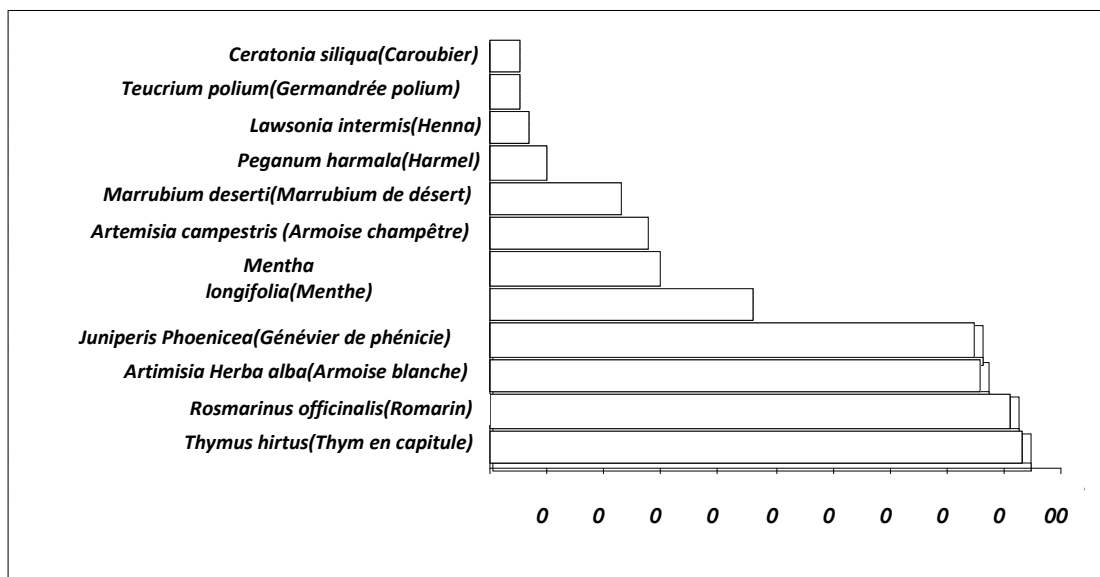


Figure III : Les principales espèces consommées dans la région du sud-est tunisien (Enquête, 2010)

3.2.2. Etat du marché et analyse de la filière

La filière représente l'ensemble des intermédiaires entre production et consommation et leurs liaisons. Il s'agit de visualiser la chaîne d'intermédiaires entre production et consommation (Malassis 1998 ; Bencharif, 2008). L'identification d'une filière nécessite l'existence d'informations qui ne sont pas toujours disponibles et fiables. La qualité de l'analyse d'une filière va dépendre essentiellement de l'importance et de la cohérence des données de base. L'identification ne pourra donc être menée à bien qu'à partir du traitement de certaines grandeurs économiques de base. Il faudrait pour cela disposer d'informations et de séries statistiques qui permettent de décrire la structure de la filière et les flux qui la caractérisent et d'analyser son évolution sur une longue période (Bencharif, 2008). L'étude de la filière des PAM obéit à une multitude facteurs économiques, politiques, sociaux,

culturels. Cette étude est confrontée à la complexité du système étudié, lorsqu'elle se fait sur une grande échelle spatiale. Le travail sur une zone délimitée s'avère nécessaire comme une première étape de cette étude.

La politique de distribution des PAM et leurs produits dérivés dans le marché du sud-est s'effectuent soit par les interactions des divers marchés formels et informels, soit par la récolte directe des exploitants du couvert végétal (Figure IV). Les principales espèces récoltées sont les mêmes que les espèces dont l'usage est déclaré pour la consommation. Malgré, sa présence répandue dans la chaîne, la collecte des espèces spontanées nécessite une autorisation délivrée par le ministère de l'Agriculture (loi n°88-20 du 15 avril 1988 du code forestier interdit l'exploitation des PAM dans les parcours). Les quantités récoltées passent par les étapes de séchage puis de stockage avant quelles soient conditionnées et mises sur le marché. De nombreux vendeurs utilisent des techniques traditionnelles pour transformer leurs produits. Une bonne partie des espèces séchées est constituée, par des parties de plantes (feuille, fruit, racine, tige, etc.).

Certaines PAM sont transformées en huile essentielle et en eau de parfum. Les extractions se font d'une manière traditionnelle ; directement après leur récolte afin de conserver les huiles et les eaux extraites des plantes.

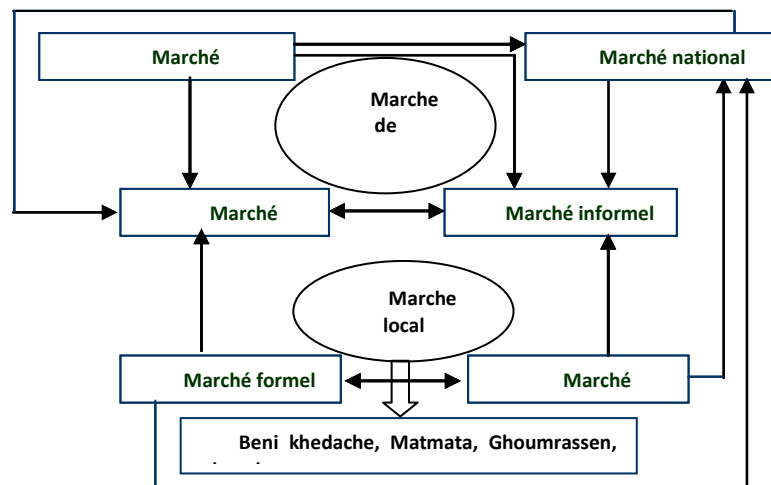


Figure IV : Les flux commerciaux des PAM et leurs produits dérivés sur le marché du sud-est tunisien (Enquête, 2010)

—————> Les flux commerciaux

Marché formel : C'est un marché qui se caractérise par la commercialisation des produits des PAM et leurs dérivés (huiles essentielles, eaux des parfums, produits cosmétiques, miel, etc.) suivant les normes légales du code de commerce tunisien. La plupart de ces produits finis provenant des marchés nationaux et locaux (industries, commerçants, apiculteurs, etc.) et des marchés internationaux (à travers l'exportation légale).

Marché Informel : C'est un marché illégal qui se caractérise par la commercialisation des produits des PAM et leurs dérivés (huiles essentielles, eaux des parfums, produits cosmétiques, miel, etc.). La plupart des produits finis provenant des marchés internationaux (Egypte, Chine, Inde, Syrie, Lybie, pays des golfs), nationaux et locaux ; légales et illégales.

Les principaux opérateurs de la filière des principales espèces consommées dans la région du sud-est tunisien sont synthétisés dans le schéma prospectif (Figure V).

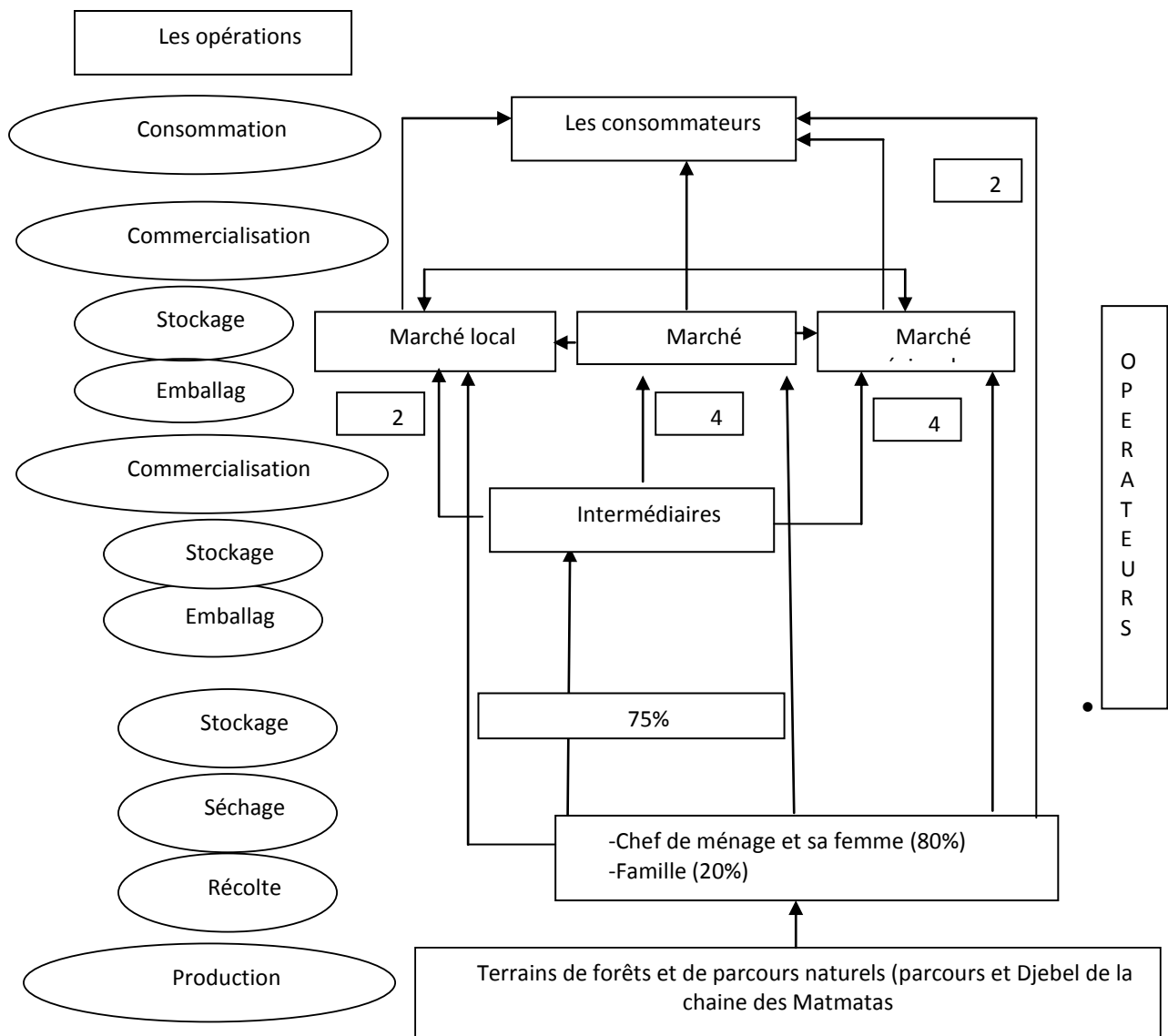


Figure V : Carte de la filière des principales espèces consommées dans la région du sud-est tunisien (Source : enquête, 2010)

-Les opérateurs

Les collecteurs : Se sont les ménages ruraux qui habitent proche de zones de Djebel et de parcours naturels de la chaîne des Matmatas¹. Ils peuvent être des chefs des ménages avec l'aide des épouses (80%) ou bien des familles entières (20%).

Les intermédiaires : Se sont des commerçants, des paysans qui se procurent à la commercialisation des PAM. La commercialisation se fait à l'état brut, conditionné, en huile essentielle et huile concrète. Ses intermédiaires originaires de la région ou d'autres régions tunisiennes s'approvisionnent directement auprès des collecteurs pour vendre ensuite leurs produits sur les différents marchés régionaux et nationaux. Les quantités collectées pour la commercialisation (75% du total collecté) sont distribuées avec des proportions égales (40%) entre les deux marchés nationaux et régionaux.

Le marché local, régional et national : Il s'agit des herboristes permanents, des vendeurs ambulants, des commerçants, des pharmacies, des grands espaces et des acheteurs qui

¹ Située dans le sud-est de la Tunisie, la chaîne de Matmata est constituée d'un relief de haut plateau et Jebel compris entre le Dahar à l'Est et la Jeffara à l'Ouest. Elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 426 500 ha soit 5% de la superficie du sud. Elle couvre le territoire de trois gouvernorats de Gabès, Médenine et Tataouine

arrivent des différentes régions de la Tunisie. La distribution se fait d'une manière égale (40%) entre le marché régional et le marché national. Le marché local n'accueille que 20% de ce type des espèces.

Les consommateurs : Se sont des consommateurs, locaux, régionaux et nationaux. Les consommateurs (55%) s'adressent directement aux vendeurs ambulants. Par contre 29% des consommateurs s'approvisionnent auprès des herboristes permanents.

-Les étapes / fonctions de la filière

Les principales fonctions ou étapes rencontrées le long de cette filière sont les suivantes :

Production : Elle est assurée au niveau du domaine forestier et des parcours naturels (Djebel/Oued) de la chaîne de Matmatas du sud-est tunisien.

Récolte, séchage et stockage : Cette fonction est assurée par les membres de la famille, en particulier par le chef de ménage et sa femme.

Commercialisation : La matière première est commercialisée et/ou stocké à l'état brut. À l'échelle nationale, la commercialisation est assurée au niveau de la famille, souks locaux, régionaux et nationaux, en gros et /ou détail. De plus, elle est assurée, en partie, directement par les producteurs et les intermédiaires (emballage).

4. Conclusion et recommandations

Les perspectives locales, régionales, nationales et internationales sont très prometteuses pour le développement des PAM. En tant que ressources locales des territoires ruraux, les PAM offrent aujourd'hui de véritables atouts au développement rural et territorial.

Afin de promouvoir ce secteur, il est proposé d'instaurer un environnement socio-économique convenable permettant une valorisation durable des PAM à travers :

- l'identification des caractéristiques techniques, physico-chimiques et biologiques des principales espèces consommées et vendues sur le marché (identité, description, composition, usage, etc.) ;
- la mise en place de programmes de Recherche-Développement spécifiques avec des objectifs précis pour une valorisation optimale du potentiel naturel existant ;
- l'amélioration des performances techniques de la qualité et de la commercialisation (emballage, extraction des huiles, distribution, etc.) ;
- la disposition d'une bonne politique de communication essentielle, véritable et motrice pour la commercialisation (formation des différents opérateurs, publicité, etc.) ;
- le développement d'une stratégie de prix permettant l'organisation, la planification et le contrôle des principales espèces sur le marché ;
- l'encouragement des jeunes qualifiés pour installer des micro-entreprises des différents opérateurs du secteur ;
- le développement d'une stratégie de diversification des activités liées à ce secteur (apiculture, l'élevage, etc.) ;
- la sensibilisation à l'importance socio-économique et environnementale des PAM ;
- la promulgation d'une politique permettant l'exploitation et la commercialisation des PAM spontanées;
- l'installation des projets de culture et de multiplication des principales espèces des PAM.

Evidemment, il est d'intérêt de souligner que la mise en œuvre de ces recommandations ne pourra se faire qu'à travers un processus stratégique bien planifié et agencé à court, moyen et long terme.

Bibliographie

APIA (Agence de Promotion des investissements Agricoles), 2008, *Revue annuelle du ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydraulique*, pp. 1-28

Bencharif A., 2008, Introduction à l'analyse des filières agroalimentaires, cours d'Analyse des filières agroalimentaires, document de base, IAMM.

Elloumi, M., 2006, « Les politiques de développement rural en Tunisie : Acquis et perspectives », *Options Méditerranéennes*, Sér. A, n°71, pp. 55-65.

Gammoudi T., Sghaier M., et Khatteli H., 2010, « Contribution à la valorisation socio-économique des Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) dans les régions arides du sud-est tunisien », *Revue des Régions Arides(Tunisie)*, 24 (2 (numéro spécial), p. 1453-1461.

Ghoubi Z., 2002, « Importance socioéconomique et étude de la filière des plantes aromatiques et médicinales, des épices et des huiles essentiels en Tunisie », Rapport scientifique du projet : « Diversité biologique, valeurs économiques et culturelles des plantes aromatiques et médicinales de la Tunisie méridionale », IRA Médenine (Tunisie), ARS-OIRP (USAD), ICARDA (Syrie), pp. 1-56

Jehle P., 2002, Elaboration d'une stratégie de marketing international pour le secteur tunisien des plantes aromatiques et médicinales : Diagnostic des opportunités et des contraintes dans le domaine de l'exportation des plantes aromatiques et médicinales tunisiennes vers l'Union Européenne et les Etats-Unis, Rapport scientifique du projet « Diversité biologique, valeurs économiques et culturelles des plantes aromatiques et médicinales de la Tunisie méridionale », IRA, ARS-OIRP (USAD), ICARDA, P.1-62

Malasis L., 1995, *Economie Agro-alimentaire*, Tome 1 : Economie de la production, Cujas.

MDCI (Ministère du Développement et de la Coopération Internationale), 2002, Statistiques du Commerce Extérieur, N° 33, Volume B: Exportations, 2002.

MDCI (Ministère du Développement et de la Coopération Internationale), 2003, Statistiques du Commerce Extérieur, N° 34, Volume B: Exportations, 2003.

MDCI (Ministère du Développement et de la Coopération Internationale), 2004, Statistiques du Commerce Extérieur, N° 35, Volume B: Exportations, 2004.

MDCI (Ministère du Développement et de la Coopération Internationale), 2005, Statistiques du Commerce Extérieur, N° 36 Volume B: Exportations, 2005.

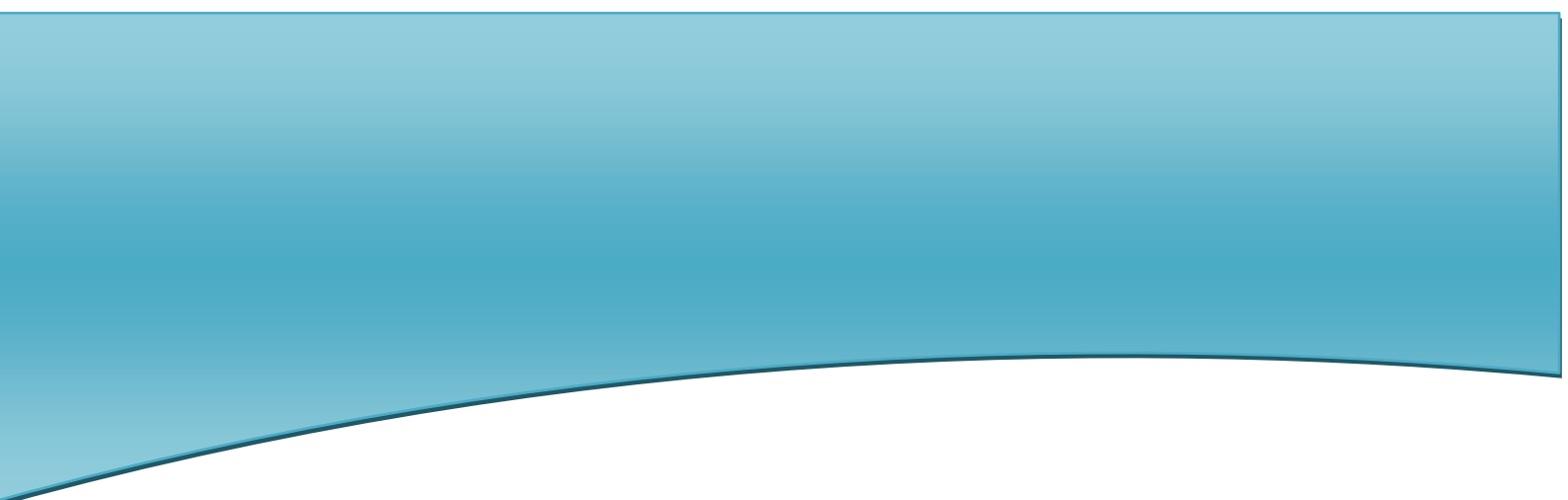
Sghaier M., Khatteli H., et Gammoudi T., 2011, *Filière des Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) dans le sud-est de la Tunisie : Importance et perspectives de développement*, Edition IRA, Tunisie, 121p.



La Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouzyd

Organise





BULLETIN DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Directeur-Fondateur :

Pr. Mohamd Sghaier
ZAAFOURI

Comité Scientifique :

Pr. L. ALOUI

Fac. Sci. Gafsa. Université de Gafsa

Pr. I. BASDOURI

Fac. Sci. Gafsa. Université de Gafsa

Pr. A. BOUAZIZI

Fac. Sci. Monastir.

Université de Monastir

Pr. N. BOUDHRIUA

Centre Rech. Tech. Energie Sidi-

Thabet. Université de Mannouba

Pr. M. CHAIEB

Fac. Sci. Sfax. Université de Sfax

Pr. E. DHAHRI

Fac. Sci. Sfax. Université de Sfax

Pr. M.A. EL AOUBANI

Centre de Biotechnologie de Borj-

Cedria. Université Tunis-Cartage

Pr. M. EL OUNI

Fac. Pharmacie de Monastir.

Université de Monastir

Pr. M.M. GAMMOUDI

I.S.A.M. de Mannouba.

Université de Mannouba

Pr. S. GUERMESI

Fac. Sci. Sfax. Université de Sfax

Pr. A. OMRANE

Fac. Lett. Sci. Humaines Kairouan

Université de Kairouan

Pr. M.S. ZAAFOURI

Fac. Sci. Techni. Sidi-Bouزيد.

Université de Kairouan

Pour information :

**-Faculté des Sciences et
Techniques**

de Sidi-Bouزيد.

BP. 380 Sidi-Bouزيد 9100

-Tél. : 76 636 475

-Fax : 76 634 383

**-Email : ftsidibouزيد@
yahoo.fr**

Appel à Contribution

Bienvenue au Bulletin des Sciences et Techniques de la Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouزيد

Le **Bulletin des Sciences et Techniques**, publié par la **Faculté des Sciences et Techniques de Sidi-Bouزيد**, est destiné à la diffusion de la recherche scientifique, technique et de l'innovation technologique réalisée par les chercheurs.

Il couvre tous les domaines scientifiques, sans distinction entre les disciplines, à condition que le contenu obéisse aux normes exigées par la communauté scientifique internationale. Il s'intéresse en outre aux domaines techniques et aux innovations technologiques ayant un impact direct sur les secteurs économiques et environnementaux.

Ce Bulletin apparaît pour combler un vide dans la publication scientifique et technique à l'intérieur du pays et en particulier dans la zone géographique du centre-ouest.

Objectifs :

Il vise à :

-développer l'esprit de la recherche chez les jeunes enseignants-chercheurs, les chercheurs, les ingénieurs et les innovateurs de la technologie ;

-constituer un support de réflexion et de diffusion des résultats de la recherche dans les différents domaines scientifiques, techniques et les innovations technologiques ;

-encourager les chercheurs à faire valoir leurs connaissances et à s'occuper aux sujets scientifiques, technologiques et du développement durable.

Procédures de soumission :

1. Les articles doivent être soumis dans l'une des langues : Arabe, Française ou Anglaise.

2. Les manuscrits doivent être dactylographiés en interligne 1,5 et en **police Times New Roman de taille**

12 sur Word, avec des **marges normaux (2,5 haut, bas, droite et gauche)**.

3. Les auteurs doivent mentionner leurs institutions et leurs adresses en bas de leurs noms.

4. Les figures, les graphiques et les photos doivent être en noir et blanc et numérotés en chiffres romains successivement selon leur ordre dans le texte. Les tableaux sont aussi numérotés successivement selon leur ordre dans le texte mais en chiffres arabes.

5. Les résumés ne doivent pas excéder 20 lignes et ils doivent comporter une version en langue Française et une autre en langue Anglaise et si possible une version en langue arabe.

6. Plan de l'article : Introduction concise exposant les objectifs de la recherche ; Méthodes et Matériels ; Résultats et Discussion ; Conclusion et Bibliographie.

7. L'article entier ne doit pas dépasser les 10 pages dactylographiées selon les normes définies ci-dessus

8. Les auteurs cités dans le texte doivent être classés, dans la bibliographie, selon l'ordre de la parution dans le texte.

9. D'une manière générale les articles doivent obéir aux normes connues de la publication scientifique.

10. Les articles sont soumis à l'avis préalable du comité scientifique. Selon l'avis, l'article peut être rejeté ou accepté sous réserve de correction ou accepté pour publication. Une notification est adressée à l'auteur cité en premier lieu. Dans tous les cas, l'article ne sera pas remis à son auteur sauf pour correction.

11. Le premier auteur de l'article accepté recevra gratuitement 05 tirés-à-part de son article.

N.B. Les articles doivent être adressés au **Directeur du Bulletin** à l'adresse électronique:

ftsidibouزيد@yahoo.fr ou par courrier (papier + support numérique) à l'adresse postale : **Directeur du Bulletin des Sciences et Techniques. Faculté des Sciences et Technique de Sidi-Bouزيد. PB 380 Sidi-Bouزيد 9100 (Tunisie)**

