

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007



Table des matières

<i>Cérémonies d'ouverture et de clôture du séminaire</i>	7-28
<i>Procédés de fermentation - Simulation et optimisation des procédés alimentaires</i>	29
La biotechnologie et les fermentations traditionnelles africaines. <i>Thonart Ph., Guiro A., Ndoye A., Tine E., Ndir B., Hamdi M., Ziadi M., Destain J., Dortu C., Ghalfi H., Delvigne F., Ndoye B., Ongena M.</i>	31-37
Effets antibactériens du surnageant de culture neutralisé d'une souche lactique productrice de bactériocine, additionné de sel, sur différents poissons conservés à 10°C au Sénégal. <i>Bakar Diop M., Duboisdauphin R., Ndiaye K., Destaing J., Tine E., Ngom E. H. A., Thonart, P.</i>	39-44
Caractérisation du séchage convectif de la variété de mangue Amélie. <i>Dissa A.O., Desmorieux H., Bathiebo D.J., Koulidiati J.</i>	45-50
Clarification et concentration de jus de fruits tropicaux d'orange et de melon par des techniques membranaires. <i>Cissé M., Sakho M., Dornier M., Diop, C.M., Reynes M., Sock O.</i>	51-56
Modèle de simulation dynamique du procédé d'extraction par solvant d'huile oléagineuse. <i>Mbaye C.T., Tine E., Mbengue M.</i>	57-62
Influence du traitement enzymatique des amandes de <i>Ricinodendron heudelotii</i> (Bail.) Pierre ex Pax sur l'extraction et la qualité de l'huile. <i>Tchiegang C., Ngo Nlend M. C., Kapseu C., Ketaona A., Dandjouma A., Dzondo-Gadet M.</i>	63-68
Détermination des énergies d'attraction intermoléculaire de l'hystérèse des isothermes de sorption d'eau de l'amande de karité (<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn). <i>Nkouam G.B., Kapseu C., Divine Nde B., Barth D., Dirand M., Njintang Yanou N.</i>	69-74
Optimisation du séchage des cossettes d'igname par modélisation couplée transferts-réactions <i>Méot J.M., Gibert, O., Métowanou K.</i>	75-80

Prise en compte de l'environnement dans le transfert de technologie. Cas des séchoirs <i>Desmorieux H. Idriss Y.</i>	81-86
<i>L'apport des femmes dans la transformation des produits alimentaires</i>	87
Transformation des produits oléagineux par les femmes en Afrique subsaharienne: le cas des fruits de karité (<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn). <i>Kapseu C.</i>	89-94
-L'apport des femmes dans la transformation des produits alimentaires. <i>Tchandjou Djoumbi M.</i>	95-100
<i>Sécurité et qualité des aliments</i>	101
Détermination spectrofluorimétrique du taux d'histamine dans les produits halieutiques. <i>Dione M., Douabalé S. E., Isselmou, M.L., Saleck O., Coly A., Gaye Seye M.D., Tine A.</i>	103-108
Amélioration des techniques traditionnelles de fumage en pays du Sud. <i>Goli T., Rivier M., Bruneau M., Sébastian P., Collignan A.</i>	109-114
Qualité du cacao camerounais : facteurs influençant la présence et l'activité des moisissures productrices de l'Ochratoxine A. <i>Mounjouenpou P., Gueule D., Fontana-Tachon A., Guyot B., Guiraud J.P.</i>	115-120
Intégration de la qualité hygiénique dans la conception locale des équipements agroalimentaires. <i>Azouma Y. O.</i>	121-126
Aflatoxines dans les aliments : recherche et dosage dans les huiles et les pâtes d'arachide de préparation artisanale. <i>Ndiaye B., Fall M., Sarr S. O., Diop A., Diop Y. M.</i>	127-131
Etude de l'effet des conditions du séchage sur la texture et la couleur des filets de sardine. <i>Djendoubi N., Boudhrioua-Mihoubi N., Kechaou N., Bonazzi C.</i>	133-138

Evolution des arômes au cours de la maturation des olives et étude de leur originalité polyphénolique. <i>Collin S., Nizet S., Muls S., Iraqi R., Bouseta A.</i>	139-144
Evaluation des potentiels nutritionnels et technologiques de quelques produits locaux du Sénégal. <i>Cissé M., Sakho M., Dornier M., Reynes M., Sock O.</i>	145-150
<i>Communications par voie d'affiche</i>	151
Etude de la qualité du lait en poudre enrichi en vitamine D vendu à Dakar. <i>Ndiaye B., Fall M., Sarr S. O., Diop A., Diop Y. M.</i>	153
Etude de la qualité chimique des huiles végétales alimentaires artisanales consommées au Sénégal. <i>Ndiaye B., Fall M., Sarr S. O., Diop A., Diop Y. M.</i>	155
Influence du séchage par entraînement à l'air chaud sur l'aptitude au fractionnement par voie humide du maïs. <i>Malumba K.P., Deroanne, C., Massimango T., Béra F.</i>	157
Caractérisation sociale et technologique de la transformation du maïs en Centrafrique. <i>Grembo A.I., Betibangui S.S.</i>	159
Qualité microbiologique de la farine de poissons en alimentation de volaille au Sénégal. <i>Ibrahim I., Aeyssou N C, Mar Diop C, Seydi M, Alamedji R B.</i>	161
Etude de l'effet du traitement par champ électrique pulsé et de la vitesse d'agitation sur la couleur des tissus de pommes, bananes et carottes déshydratés osmotiquement. <i>Amami E., Khezami L., Kechaou N., Vorobiev E.</i>	163
Valorisation biotechnologique des coques vides d'arachides : production industrielle de compost. <i>Yakam Tchatchouang C.L., MBengue M.</i>	165
Mise en place du système HACCP dans la fabrication de produits roulés fermentés à base de mil. <i>Diallo L., Tine E., Diagne, D.A.</i>	167
C ¹ Sec-T ¹ : un séchoir pour les produits granulés. Principe et méthode de dimensionnement. <i>Méot J.M., Marouzé C., Rivier M.</i>	169
Développement d'un séchoir pour la filière mangue séchée en Afrique de l'Ouest.	171

Rivier M., Méot J.M.

Influence de l'état physiologique des graines de *Carapa procera* 173
sur la qualité chimique de l'huile extraite.

Gbaya, K.C.J., Ayessou N.C., Mar-Diop C.

Production d'acide lactique à partir de jus de datte par *Lactobacillus* 175
casei subsp. rhamnosus en culture batch et continue.

Nancib N., Nancib A., Boudrant J.

- Index des Auteurs 177-178

- Index des mots clés 179-180

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

CEREMONIES D'OUVERTURE ET DE CLÔTURE DU SEMINAIRE

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

Mot de bienvenue de la représentante GP3A Afrique Subsaharienne

Monsieur le Recteur, Président de l'Assemblée de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar,
Monsieur le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar,
Monsieur le Représentant de l'Agence Universitaire de la Francophonie,
Madame la Coordinatrice du Réseau Génie des Procédés Appliqué à l'Agroalimentaire,
Monsieur le Recteur, Professeur Souleymane SECK, Directeur Honoraire de l'ESP
Mesdames, Messieurs les participants,
Chers étudiants,
Chers invités,

C'est avec un réel plaisir et au nom l'ensemble des enseignants - chercheurs de l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, que je vous souhaite la bienvenue au Sénégal.

Notre institution, l'Ecole Supérieure Polytechnique, a été choisie pour abriter les travaux du 6^{ème} séminaire régional du Génie des Procédés Appliqué à l'Agroalimentaire (GP3A) sur le thème « *Transformation, conservation, qualité des aliments : nouvelle approche de lutte contre la pauvreté* ».

Nous prenons le relais à la suite de

Yaoundé au Cameroun du 9 au 11 décembre 2002 sur : « *Séchage et technologies post-récolte* »

Rabat au Maroc du 16 au 17 juin 2003 sur : « *Conservation des aliments, sécurité et qualité, procédés* »

Chisinau en Moldavie du 12 au 14 mai 2004 sur : « *Maîtrise et gestion de la qualité dans l'industrie alimentaire* »

Ouagadougou au Burkina-Faso du 8 au 10 novembre 2005 sur : « *Maîtrise des procédés, qualité et sécurité des aliments, OGM, risques en agroalimentaire* »

et Tunis en Tunisie 27-29 novembre 2006 sur « *Technologies douces et procédés de séparation au service de la qualité et de l'innocuité des aliments* ».

Cette manifestation scientifique de haut niveau universitaire avec 19 communications orales et 27 posters attendus, aura le mérite de rassembler les chercheurs venant d'Afrique du Nord (Algérie, Tunisie), d'Afrique centrale (Cameroun, Tchad, Centrafrique), d'Afrique de l'Ouest (Mali, Burkina, Togo) et d'Europe (Belgique, France) .

Le thème choisi est d'actualité au vu des problèmes alimentaires que connaît le Monde actuel et se répartit en différents cinq sous thèmes :

- Sécurité et qualité des aliments,
- Simulation et optimisation des procédés alimentaires,
- Procédés fermentaires,
- Valorisation des sous-produits de l'agroalimentaire,

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007

- L'apport des femmes dans la transformation des produits alimentaires.

Ce moment sera mis à profit pour échanger les différentes expériences et résultats de recherche. Ceci, je l'espère, contribuera à surmonter les difficultés liées à la conservation afin d'améliorer la qualité de nos produits locaux transformés.

Mesdames, Messieurs,

Je saisis l'occasion, au nom du comité d'organisation, pour remercier les Autorités Universitaires qui n'ont ménagé aucun effort pour la tenue de ce séminaire, notamment :

Monsieur le Recteur, Président de l'Assemblée de l'Université, pour son soutien et la mise à disposition de ce tout nouveau site de l'UCAD II,

Monsieur le Directeur de l'ESP pour la constance de son soutien moral, matériel et financier,

Monsieur le Professeur Souleymane SECK pour ses conseils et sa contribution personnelle.

Mes remerciements s'adressent à tous ceux qui, de près ou de loin par leurs actions, leurs remarques ou leurs conseils avisés nous ont aidés à relever le défi de l'organisation ces journées.

Je ne saurais terminer sans souhaiter à nos hôtes africains et européens, un agréable séjour au Sénégal pays de la téréanga et un plein succès à vos travaux.

Je vous remercie.

Docteur Mama. SAKHO
Maître-assistante ESP-Dakar

Discours du Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique

Monsieur le Recteur de l'Université Cheikh Anta Diop,
Madame la Coordinatrice du réseau GP3A,
Monsieur le Représentant de l'Agence universitaire de la Francophonie,
Monsieur le Directeur honoraire et Professeur Souleymane SECK ancien Recteur de l'Université SENHOR d'ALEXANDRIE
Mesdames, Messieurs les séminaristes,
Mesdames, Messieurs les enseignants,
Chers étudiants,
Chers invités,

L'Ecole Supérieure Polytechnique, mais j'allais dire l'Université Cheikh Anta Diop, est très honoré d'accueillir, aujourd'hui, le 6^{ième} séminaire régional du réseau GP3A. A ce propos, je voudrai souhaiter la bienvenue aux participants et les remercier d'avoir choisi notre institution pour la tenue de cette importante manifestation scientifique dont le thème : « Transformation, Conservation et Qualité des aliments : nouvelle approche de la lutte contre la pauvreté » n'est pas du tout fortuite.

En effet, la plupart des pays en développement, dont le Sénégal, sont confrontés à une pléiade de la pauvreté et de la faim notamment en milieu rural.

C'est pourquoi, la lutte contre ce fléau des temps moderne est l'une des préoccupations majeures du système des Nations Unies et de l'ensemble de nos états.

L'Ecole Supérieure Polytechnique participe à la préservation de la qualité des aliments tant par la formation de cadre que par le truchement de la recherche. En effet, le Département Génie Chimique et Biologie Appliqué de l'Ecole Supérieure Polytechnique forme avec l'appui des partenaires des techniciens supérieurs et des ingénieurs en agroalimentaire, qui, en fait, sont les relais au sein du tissu industriel. Sur le plan de la recherche, le Laboratoire de Biotechnologie et les équipes de chercheurs travaillent sur des thèmes pratiques comme les ferments lactiques, la valorisation de l'huile de « *carapa procera* » etc....

Le laboratoire d'Analyse et d'Essai logé au sein du département Génie Chimique et Biologie Appliqué participe au contrôle et à l'amélioration de la qualité des aliments. Il faut souligner que c'est le laboratoire qui sert de référence pour le Sénégal en matière de contrôle pour l'Union Européenne.

Je voudrai aussi revenir un peu en arrière et peut être évoquer quelques souvenirs de notre institution.

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007

En 1986, lorsque le Professeur Souleymane SECK était Directeur de l'ENSUT, l'Institut Sénégalais de Normalisation venait de naître au Sénégal et je me souviens les premières comités techniques et scientifiques, les 1^{ères} réunions, ont eu lieu à l'ENSUT et nous avons pendant de très longues années présidé le comité technique agroalimentaire.

En 1988, quand l'ONUDI avait dépêché un expert marocain, pour organiser le 1^{er} séminaire sur la qualité des aliments d'exportation, c'est l'ENSUT qui avait été choisie à l'époque ; c'était encore le Professeur Souleymane SECK qui était le Directeur.

Nous avons donc une longue tradition du management de la qualité.

En 1992, nous avons aussi tenu un séminaire cette fois ci organisé par nous même sur le management de la qualité. En janvier 2000, nous avons organisé un grand séminaire sur le management de la qualité : « Système de management de la qualité : mise en place et enjeux ». Il y avait une trentaine de participants issus du milieu industriel. En 2004, juillet 2004, nous avons organisé un grand séminaire, cette fois ci, sur le management intégré « Qualité – Sécurité - Environnement ». C'est lors de ce séminaire que les industriels nous avaient demandé de mettre en place une formation sur le management de la qualité. En octobre 2004, en basculant sur la réforme LMD, nous avons mis en place la licence professionnelle « Hygiène - Qualité – Sécurité - Environnement » qui, aujourd'hui, est géré à notre grande satisfaction par le Département Génie Chimique et Biologie Appliqué et cette année, ils comptent démarrer 3 masters :

- le Master 1 sur le management de la qualité ;
- le Master 2 ;
- et un Master en qualité dans les bioindustries en collaboration avec le CWBI dont le Professeur THONART est ici présent.

Monsieur le Recteur,
Madame la Coordinatrice,
Eminent Chercheurs et scientifique,

Nous sommes tous convaincus que le secteur de l'agriculture et dont l'agro-industrie peut favoriser de manière significative la croissance économique et contribuer à la création de richesse susceptible de faire reculer la pauvreté.

Cependant, il est indispensable de maîtriser en particulier la question de la transformation et de la conservation de la production agricole.

J'espère que ces 3 jours de réflexion sur ce thème nous permettront de parvenir à des propositions intéressantes et concrètes à soumettre à nos décideurs.

Je ne saurai terminer mon propos sans remercier vivement Monsieur le Ministre de l'Education qui n'a pas pu être malheureusement présent à cette cérémonie mais qui est bien

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007

représenté par Monsieur le Recteur ; mais aussi renouveler notre profonde gratitude à Monsieur le Recteur de l'UCAD qui pour son soutien et ses encouragements. Je voudrai également rendre hommage à l'ancien Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique, ex ENSUT, ancien Recteur de l'Université d'Alexandrie, le Professeur Souleymane SECK, pour avoir parrainé notre candidature en vue de l'organisation du séminaire.

Enfin je souhaite un agréable et fructueux séjour à tous les participants et plein succès à vos travaux.

Je vous remercie de votre bienveillante attention.

Professeur Elhadji Abib Ngom

Discours du professeur Sonia Collin, coordinatrice du réseau GP3A

C'est avec beaucoup de plaisir que je m'adresse à vous à l'occasion du sixième Séminaire d'Animation Régionale du réseau de chercheurs « Génie des Procédés Appliqué à l'Agro-Alimentaire » (GP3A), d'autant qu'il s'agit de la première manifestation scientifique de mon mandat en tant que coordinatrice de ce réseau.

Le mérite de la concrétisation de ces rencontres revient au Comité d'organisation, en particulier à sa présidente Mme Mama Sakho et au coordonnateur fondateur du réseau, le Prof. Jean Crouzet, qui n'ont ménagé aucun effort pour assurer un programme scientifique de grande qualité. Je tiens ici à leur transmettre tous mes remerciements.

Vous êtes maintenant un peu plus de 200 chercheurs à vous êtes inscrits comme membre actif de notre réseau GP3A. Rien que pour l'Afrique sub-saharienne, vous êtes 61. Notre mission première est de favoriser les contacts et synergies entre chercheurs du secteur agro-alimentaire, qu'ils soient intéressés en amont par le génie des procédés, ou plus en aval, par la qualité des denrées alimentaires. Mama Sakho est votre représentante régionale. Pour nous aider à mieux vous connaître, n'hésitez pas à prendre contact avec elle.

Je vous invite à aller fréquemment sur notre site internet <http://www.gp3a.auf.org> car je le mets à jour très régulièrement pour vous. Vous y trouverez des informations de différentes natures relatives au secteur GP3A : journaux pour publications de vos travaux, congrès à venir, coordonnées de tous nos membres, laboratoires GP3A à travers la Francophonie, formations universitaires dans le secteur, détail des activités antérieures et à venir, ..

L'année 2008 sera l'occasion pour nous de démarrer de nouvelles recherches en réseau. Nous venons de publier un appel d'offre sur le site. Les dossiers doivent être déposés pour le 30 novembre 2007.

Enfin, comment ne pas déjà vous parler de nos premières journées scientifiques qui se tiendront en septembre 2008 à Louvain-la-Neuve. Contrairement aux SAR, nous visons un public de spécialistes d'une problématique plus précise, issus des différentes parties du monde que nous couvrons via ce réseau. Le thème retenu pour ces premières journées scientifiques est : « Spécificité et richesse polyphénolique de matières premières issues des pays du Sud. Opportunités pour l'industrie des boissons fermentées ».

Je vous souhaite à tous un séminaire très enrichissant, tant sur le plan scientifique que humain.

Professeur Sonia Collin
Coordonnatrice du Réseau GP3A

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Discours de Khalef Boulkroune représentant de l'AUF

Monsieur le Recteur de l'Université Cheik Anta Diop de Dakar,
Monsieur le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique,
Madame la Coordinatrice du réseau « Génie des procédés appliqué à l'agro alimentaire,
Monsieur le Professeur Souleymane Seck,
Mesdames, Messieurs, Chers collègues

Le Professeur Michèle Gendreau-Massaloux, Recteur de l'Agence universitaire de la Francophonie, retenue à Paris par ses multiples taches, m' a demandé de m'exprimer en son nom à l'occasion de cette séance d'ouverture du 6^{ème} Séminaire régional, du réseau GP3A centré sur le thème « Transformation, conservation et qualité des aliments ».

Il m'est agréable de rappeler que les réseaux de chercheurs de l'AUF correspondent à l'une des premières actions de structuration de la Recherche multilatérale, mise en place pour répondre à la demande des Ministres de l'Enseignement supérieur et la Recherche des pays ayant le français en partage.

Les réseaux de chercheurs, dont fait partie le vôtre, restent au cœur du dispositif de notre agence. Ce dispositif est constitué :

- de bourses de mobilité qui permettent à des jeunes chercheurs de préparer une thèse de Doctorat ou d'effectuer un séjour post-doctoral,
- de filières universitaires : qu'elles soient de 2^{ème} ou 3^{ème} cycle,
- de pôles d'excellence

Toutes ces actions complémentaires les unes aux autres donnent une cohérence à la politique de l'AUF en terme de formation et de recherche universitaire dans un cadre multilatéral.

Je reviens aux réseaux de chercheurs pour rappeler qu'ils ont pour objectifs de densifier les relations et créer de partenariats entre les chercheurs francophones du Nord et du Sud, autour de thématiques communes. Quatre missions leurs sont dévolues :

- 1 – Mise en place d'actions de recherche en réseau
- 2 – Organisation de Journées scientifiques
- 3 – Organisation d' animation et Séminaires régionaux
- 4 – Elaboration d'outils d'information scientifique et technique.

En plus de ces axes d'activité que je viens d'évoquer, les réseaux de chercheurs sont de plus en plus sollicités pour apporter leurs expertise et leur éclairage sur des problèmes auxquels sont confrontés les pays francophones, à l'instar du reste de la planète.

Ces champs d'expertise peuvent être liés à l'environnement, à l'économie, à la pauvreté, à la santé, mais aussi à la qualité des aliments ; thème de votre présent séminaire.

Mesdames, Messieurs,

Je me réjouis que l'un de nos réseaux de chercheurs ait choisi le Sénégal, l'un des pays les plus actifs au sein de l'Agence universitaire de la Francophonie. En voici quelques chiffres :

- 50 bourses de mobilités ont été attribuées en 2006 – 2007 à des étudiants et enseignants chercheurs Sénégalais,
- les universités Sénégalaises ont bénéficié de 2 pôles d'excellence et de 2 Projets de coopération scientifique inter-universitaire (PCSI)
- 2 formations universitaires sont également soutenues par l'AUF au sein de l'Université Cheikh Anta Diop.

Par ailleurs, à travers son corps professoral, l'Université Cheik Anta Diop de Dakar, l'une des universités les plus importantes de l'Afrique francophone, rayonne au delà de ses frontières, puisque rien qu'à travers le programme d'appui aux universités membres de l'AUF, 29 missions d'enseignement ont été effectuées en 2007 vers les universités des pays voisins.

N'oublions pas que ce même corps professoral a apporté sa contribution aux structures de l'AUF. Citons Monsieur Oumar Sock, de l'Ecole Supérieure Polytechnique, ex-membre du Conseil scientifique ; Monsieur Lat Soucabé M'bow, Directeur du bureau de L'AUF en Afrique Centrale et Monsieur Aloyse Raymond Ndiaye, ici présent, qui était Vice-Recteur à la Régionalisation de l'AUF.

Notre ami Aloyse, fraîchement retraité, jeune senior donc, a choisi de rester actif, puisqu'il dirige le Master soutenu par l'AUF, dans le cadre de la création de l'Institut des Arts et de la Culture.

Avant de clore mon discours, permettez-moi Mesdames, Messieurs, d'adresser à la veille de son départ de la tête de l'exécutif de l'AUF, un vibrant hommage à Madame le Recteur Michèle Gendreau-Massaloux, qui grâce aux réformes qu'elle a initiées dès son arrivée (réforme des statuts, réforme des programmes, réforme de la structure, réhabilitation du Conseil scientifique et mise en place de la régionalisation) a permis à l'AUF de devenir un opérateur de la Francophonie, respectable et incontournable dans tout ce qui a trait à l'enseignement supérieur et à la recherche ; qu'elle en soit chaleureusement remerciée.

Mesdames, Messieurs, qu'il me soit permis, de présenter mes plus vifs remerciements

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007

- à Monsieur Abdou Salam Sall, Recteur de l'Université Cheik Anta Diop de Dakar pour avoir soutenu et accueilli cette manifestation au sein de son Université,
- à Monsieur Abib Ngom, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique, qui s'est personnellement impliqué dans l'organisation de ce séminaire et au soutien matériel qu' il a apporté,
- à Madame Mama Sakho, cheville ouvrière de cette manifestation.

Mes remerciements iront également au Comité d'organisation et au Comité scientifique, en particulier Madame Sonia Collin, Coordinatrice du réseau, et Monsieur Jean Crouzet, Coordonnateur fondateur du réseau.

Merci à vous tous d'être venus et bons travaux !

Dakar, le 21 novembre 2007
Khalef Boulkroune

Discours du Recteur de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar Président de l'Assemblée de l'Université

Monsieur le Recteur de l'Université Senghor d'Alexandrie Professeur Souleymane SECK,
Monsieur le Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar,

Monsieur le Représentant de Madame la Rectrice de l'Agence Universitaire de la Francophonie,

Madame la Coordinatrice du Réseau GP3A,

Madame la Présidente du comité d'organisation,

Mesdames, Messieurs les membres du personnel enseignants,

Chers participants

Mesdames, Messieurs du Personnel Administratif et de Service,

Mesdames, Messieurs,

L'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar est particulièrement honorée de vous accueillir au moment où elle célèbre son 50^{ème} anniversaire. A sa création en 1957 elle était la 18^{ème} université française. Loin d'être la propriété du Sénégal, elle servait à la formation des intellectuels de toute la sous région ouest africaine, voire même au-delà et c'est la raison pour laquelle Monsieur le représentant de Madame la Rectrice de l'Agence Universitaire de la Francophonie, nous essayons tant bien que possible de continuer sur les sillons tracés par la France pour créer des masses critiques pour l'Afrique.

Je voudrais, à mes frères Africains qui sont venus en terre sénégalaise leur dire qu'ils sont chez eux parce que tous les africains doivent se sentir bien partout sur la terre africaine. Je voudrais aussi remercier et féliciter le réseau du Génie des Procédés Appliqué à l'Agro-alimentaire (GP3A).

Nous nous réjouissons du choix porté sur l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar pour abriter votre séminaire internationale sur le thème « Transformation, Conservation et Qualité des aliments : nouvelle approche de lutte contre la pauvreté ». Force est de constater que votre thématique est d'une pertinence telle que nous ne pouvons manquer de faire quelques observations.

Vous savez les universitaires ont ceux-ci de particuliers, ils ne sont jamais satisfaits. Et nous ne comprenons pas pourquoi nous autres universitaires reprenons les concepts des grands organismes sans les questionner sans les interroger sur la base de nos intelligences collectives. En Afrique l'on dit souvent qu' « il faut lutter contre la pauvreté ». Moi, j'aurais suggéré qu'on dise qu'en Afrique, il faut créer des richesses. La meilleure façon de lutter contre la pauvreté c'est de créer les richesses. Pourquoi, ne pas renforcer le paradigme et dire « Transformation, Conservation et Qualité des aliments : nouvelle approche pour la création de richesses sur le continent africain et ailleurs ». Oui, vous avez raison de dire que le secteur de l'Agriculture et de l'agroalimentaire constitue un maillon extrêmement important dans la chaîne de relance des activités de développement. Nous sommes persuadés que votre réseau riche de plus de 200 chercheurs dont 61 originaires d'Afrique au Sud du SAhara se penchera sur cette question. D'ailleurs comme l'a si bien dit Mme Collin, l'année 2008 sera l'occasion de démarrer de nouvelles recherches en réseau. Déjà vos premières journées

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007

scientifiques prévues en Septembre 2008 apporteront une meilleure compréhension et utilisation des matières premières issues des pays du Sud.

Je ne saurais terminer mon propos sans vous souhaiter pleins succès dans vos travaux et réitérer l'engagement de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar à vous appuyer pleinement dans vos missions.

Je vous remercie de votre aimable attention.

Professeur Abdou Salam SALL
Recteur de l'Université Cheikh Anta DIOP de DAKAR

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Mot du Professeur Souleymane Seck, Directeur Honoraire de l'ESP de Dakar ex ENSUT de Dakar

L'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar (ESP) a tenu du 21 au 23 novembre 2007, un séminaire sur les procédés de transformation, de conservation et de contrôle de qualité des aliments, nouvelle approche de lutte contre la pauvreté.

La cérémonie d'ouverture a été présidée par le Recteur de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Monsieur le Professeur Abdou Salam SALL, en présence du Directeur de l'ESP, Monsieur le Professeur El Hadji Abib NGOM, de Monsieur Khalef Boulkroune représentant l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), Madame Sonia Collin Coordonnatrice du réseau des chercheurs GP3A et de Madame Jacqueline Magnier chargée de Programmes à l'AUF.

Dans son exorde, le Recteur de l'UCAD, Monsieur le Professeur Abdou Salam SALL a souligné la pertinence de « l'acronyme » et celle du thème, au regard de son intérêt pour les pays en recherche de développement, c'est-à-dire de croissance, source de richesses.

Devant un auditoire composé d'industriels, d'étudiants et d'éminents chercheurs et de scientifiques africains et européens dont le Professeur émérite Jean CROUZET, Professeur à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc de Montpellier et Madame, le Recteur a mis en exergue la vocation africaine de l'UCAD qui fut, dès sa création en 1957, la 18^{ème} Université française et qui se glorifie depuis, de belles lettres, en s'ouvrant sur le monde extérieur, tout en se préservant des courants d'air néfastes susceptibles de vicier les us et coutumes qui constituent la spécificité de la culture africaine.

Le Recteur a de même, mis en avant, la nécessité d'établir une symbiose entre le monde intellectuel et le monde rural. Aussi, envisage-t-il de mettre en place au sein de l'UCAD une filière en agriculture, décentralisée en milieu rural, afin que les étudiants qui y seront formés soient en relation constante avec la réalité. Ainsi, la théorie sera-t-elle en permanence irriguée par la pratique, comme dans un mécanisme d'osmose qui va de l'une vers l'autre.

Plus qu'une simple cérémonie officielle, cette manifestation aura permis aux participants de partager quelques points des réflexions qui ont été soulevées par le Recteur et dont la hauteur a enrichi les débats.

En ma double qualité de Directeur Honoraire de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Dakar ex ENSUT et de Recteur Honoraire de l'Université Senghor d'Alexandrie d'Egypte, je tiens à féliciter tous les acteurs qui ont contribué à la réussite de ce séminaire qui sera, sans nul doute, un levier de plus dans la dynamique impulsée à l'Université Cheikh Anta DIOP, depuis sa création, et dont la vocation est d'être un creuset formatif et d'union de tous les étudiants africains qui auront la charge de conduire la destinée de leur pays respectif.

C'est en ce sens que l'UCAD est un passage obligé pour l'intégration africaine, tant il est vrai que les liens de solidarité, de compréhension et d'amitié s'y tisseront et y fleuriront, puisque c'est souvent après que les hommes aient partagé, soit les mêmes bancs de l'école, soit le métier des armes, que des liens durables qui faciliteront les discours politiques et des prises de position qui engagent l'avenir se créent, entre eux ; l'Ecole Normale William Ponty, en son temps, nous l'a suffisamment prouvé. L'UCAD qui a fait ses preuves par sa vocation africaine ainsi que l'Université du Futur Africain (UFA) qui est en gestation prendront assurément le relais.

Je confonds dans mes félicitations et encouragements le Directeur de l'ESP, Monsieur El Hadji Abib NGOM qui, par ses initiatives heureuses et répétées, s'inscrit dans la dynamique de ses prédécesseurs et Mme Mama SAKHO, Maître – assistante à l'ESP, Docteur es sciences et coordonnatrice du réseau GP3A subsaharienne qui n'a ménagé ni son talent, ni sa science pour que le séminaire auquel nous avons assisté soit, à tous points de vue, exemplaire.

Une couronne de plus à l'ESP (ex ENSUT), dans les jardins que l'ENSUT de Dakar lui a légués, de même que sa vocation originelle qui est de rester, pour longtemps encore, grâce au dévouement de son corps professoral, gardien de la flamme sacrée, un outil de développement au service du Sénégal et de l'Afrique toute entière.

Souleymane SECK
Professeur des Universités.
Directeur Honoraire de l'ESP, ex ENSUT.
Recteur Honoraire de l'Université
d'Alexandrie d'Egypte

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Synthèse générale

Le thème du séminaire : « *Transformation, Conservation et Qualité des aliments : Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté* » dont l'objectif est de promouvoir la qualité et la sécurité alimentaire et aussi de valoriser les sous produits de l'agroalimentaire.

Ceci a permis de dégager les sous-thèmes : « Procédés de fermentation, simulation et optimisation des procédés alimentaires, sécurité et qualité des aliments, l'apport des femmes dans la transformation des produits, la valorisation des sous produits de l'agroalimentaire.

Les différents sous-thèmes ont été illustrés par des communications sur la fermentation, le séchage, la conservation, surtout la qualité qui a été abordée sur différents aspects.

Monsieur Thonart a mis en évidence une démarche scientifique permettant d'améliorer la qualité des produits fermentés à partir de produits locaux ; T. Goli par l'amélioration des techniques de fumage ; C. Kapseu par l'amélioration des méthodes de transformation du fruit de Karité.

La prolongation de la durée de conservation de produits types poissons fermentés par la production de bactériocine a été abordée aussi.

L'étude de la transformation des fruits en boisson avec des techniques plus performantes que les techniques classiques comme l'évaporation sous vide ou la cryoconcentration améliore la qualité. Des perspectives de recherche sur l'emploi de membranes organiques sont envisagées.

Toujours concernant la qualité des méthodes de dosage fiables de l'histamine ont été développées.

En plus les qualités organoleptiques de produits transformés ont été étudiées sur le filet de poisson, sur les olives etc.

Concernant la sécurité des aliments, il a été démontré que la qualité des produits bruts et des produits fabriqués dépendent fortement des conditions de récolte et de la conservation (cacao, arachide, mil pour les farines infantiles).

Par ailleurs, la conception des équipements a été traitée pour une meilleure qualité hygiénique des aliments surtout d'origine tropicale.

Il est important de noter la part occupée par la valorisation des sous produits agroalimentaires. Ainsi Dr Sylla a défini les conditions d'utilisation des co-produits de la sole.

Enfin l'apport des femmes dans la transformation a été introduit, car occupant une place importante dans la transformation des produits agricoles.

Mama SAKHO

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

QuickTime™ et un
décompresseur TIFF (LZW)
sont requis pour visionner cette image.

Remerciements

Au nom du réseau de chercheurs Génie des Procédés Appliqué à l'Agro Alimentaire de l'Agence Universitaire de la Francophonie, je tiens à adresser tous mes remerciements à Monsieur Abdou Salam SALL recteur de l'Université Cheick Anta Diop, à Monsieur Elhadji Abib NGOM directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique et à Monsieur le recteur Souleymane SECK, ancien directeur de l'Ecole Nationale Supérieure Universitaire de Technologie. Tous trois se sont totalement engagés dans l'organisation et la tenue du 6^{ème} séminaire régional du GP3A et ont mis à la disposition des organisateurs d'importants moyens financiers, matériels et humains, ils nous ont donné un parfait exemple de ce qu'est la Teranga sénégalaise.

Mes remerciements vont également au comité local d'organisation, avec une mention spéciale à sa présidente Madame Mama SAKHO, ce comité a multiplié les réunions pour assurer le succès de cette manifestation.

Je ne saurais oublier l'action des personnes du secrétariat pour leur accueil et l'empressement qu'ils ont mis à résoudre avec bonheur les divers problèmes qui leur ont été posés, ainsi que celle des techniciens qui ont surmonté les caprices des outils numériques de communication. Enfin je rendrais leur large sourire aux charmantes hôtessees qui ont illuminé par leurs tenues chatoyantes nos différentes séances de travail.

Ce séminaire a vu une participation effective et active des enseignants chercheurs, des chercheurs mais aussi des industriels et des étudiants, l'implication de ces derniers, j'en sur, ira droit au cœur de l'AUF et de sa rectrice au moment de son départ en retraite.

Les débats très fournis qui ont eu lieu après la présentation des exposés de qualité sont très certainement liés en partie au réseau tissé par les anciens étudiants de l'IUT, de l'ENSUT et de l'ESP mais aussi au sens critique et à l'ouverture d'esprit propres au peuple sénégalais.

Je pense m'être fait l'interprète des participants à ce séminaire auprès de nos hôtes que je remercie encore du fond du cœur.

Professeur Jean Crouzet
Coordonnateur Fondateur du Réseau GP3A

Les Posters

Outre les différentes communications 15 posters ont été affichés. Quatre thèmes ont été traités, à savoir :

- 1- La qualité
- 2- Le séchage
- 3- La valorisation des sous produits
- 4- La transformation

Qualité

Qualité et procédure c'est-à-dire mise en place d'un système HACCP pour les groupements de femmes au Sénégal.

Sur la qualité microbiologique de la farine de poisson en aliments de volaille.

Qualité des huiles et du lait en poudre consommé au Sénégal.

Enfin la caractérisation des huiles alimentaires

Valorisation

Valorisation des sous produits de l'arachide pour l'obtention de compost

Valorisation des fruits et légumes : le cas des dattes en Algérie

Séchage

Il est plutôt axé vers la conception de séchoirs pour la maïs, les produits granulés, pour les fruits et légumes (mangues, gombo), pour la viande. (kilichi)

Transformation

Effet du procédé (Traitement par champs électrique) sur les caractéristiques organoleptiques surtout la couleur.

Enfin un procédé de transformation du maïs en Centrafrique par méthode artisanale.

D'une manière générale, tous les posters sont bien présentés et respectent les normes internationales.

Prix des meilleurs posters :

A l'issue de l'évaluation en tenant compte des critères suivants :

- 1) Implication des jeunes dans le poster,
- 2) Implication des femmes,

6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007

- 3) Innovation,
 - 4) Qualité du poster,
 - 5) Nombre de visiteurs du poster
- le jury déclare les résultats suivants :

1^{er} prix : Mme Tchandjou Madeleine (Cameroun) : *L'apport des femmes dans la transformation des produits alimentaires.*

2^{ème} prix : Abdou Karim Issa et al. (Sénégal) : *Qualité microbiologique de la farine de poissons en alimentation de volaille au Sénégal*

3^{ème} prix : Mmes Grembo Adèle Irénée et Betibangui Sylvie (Centrafrique) : *Caractérisation sociale et technologique de la transformation du maïs en Centrafrique*

Codou MAR DIOP
César KAPSEU

**PROCEDES DE FERMENTATION -
SIMULATION ET OPTIMISATION DES
PROCEDES ALIMENTAIRES**

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

LA BIOTECHNOLOGIE ET LES FERMENTATIONS TRADITIONNELLES AFRICAINES

Philippe Thonart^{1*}, Amadou Guiro³, Ababacar Ndoye³, Emmanuel Tine⁴, Babacar Ndir³, Moktar Hamdi⁵, Manel Ziadi⁵, Jacqueline Destain¹, Carine Dortu¹, Hakim Ghalfi¹, Frank Delvigne¹, Bassirou Ndoye^{1,2}, Marc Ongena¹

¹ Unité de Bioindustries, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Passage des déportés, 2, B-5030 Gembloux, Belgique. ² Nouvelle adresse : Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, INAF, Université Laval, Québec, Canada. ³ Institut de Technologie Alimentaire, Route des Pères Maristes, BP 2765, Dakar Hann, Sénégal. ⁴ Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheick Anta Diop, BP 5085 - Dakar Hann, Sénégal. ⁵ INSAT, Tunis, Tunisie.
thonart.p@fsagx.ac.be

Mots clé : Fermentation ; starter ; bactéries lactiques ; acétiques ; nététo ; biopesticides.

1. RÉSUMÉ

La biotechnologie microbienne et spécialement les bioindustries peuvent apporter à l'Afrique une rationalisation des procédés de fermentations traditionnelles par une connaissance des microorganismes qui gèrent la fermentation mais également par la standardisation du procédé par l'utilisation de starters (cultures de microorganismes). Les bioindustries permettront de mieux conserver les aliments tout en donnant une valeur ajoutée. La biotechnologie microbienne peut également apporter de nouvelles technologies de conservation en intégrant les bactériocines ou en utilisant les biopesticides en remplacement des pesticides d'origine chimique. Il ne faut pas oublier les technologies de fermentation traditionnelle en Europe et peu valorisée en Afrique. Le vinaigre est un bon exemple. Des technologies appropriées (dans ce cas, des souches thermotolérantes) permettent une adaptation du procédé aux conditions du milieu. L'Afrique a besoin d'innovation et spécialement en ce qui concerne l'alimentation.

2. INTRODUCTION

Les aliments fermentés traditionnels en Afrique occupent une place importante dans l'alimentation sénégalaise et constituent un premier stade de développement. Leur valorisation et leur développement représentent une alternative intéressante du point de vue économique et de plus constituent une technique de conservation peu coûteuse. En effet, les techniques traditionnelles sénégalaises, voire africaines, sont des biotechnologies empiriques de première génération: elles se résument aux fermentations domestiques de produits végétaux et animaux. Les mécanismes de la fermentation de ces produits (farine et couscous de mil, nététo de néré ou *Parkia biglobosa*, laits caillés divers, poissons et autres produits de la mer etc.) sont souvent mal connus.

Nous pensons qu'une amélioration des connaissances en microbiologie et en biochimie peut faire évoluer les conditions de production de beaucoup d'aliments traditionnels en Afrique; à une biotechnologie empirique où les actions sont répétées sans en connaître les motifs, doit se substituer une biotechnologie scientifique. Il apparaît donc nécessaire d'étudier de façon

exhaustive d'une part les mécanismes biochimiques de la fermentation traditionnelle et d'autre part la physiologie et l'écologie des souches microbiennes susceptibles d'être responsables de cette fermentation. Cela permettra de préciser leur fonctionnement optimal en culture pure ou associée, ce qui est indispensable pour une bonne maîtrise des procédés de production à grande échelle.

Dans une seconde phase, les pays africains et spécialement le Sénégal, doivent intégrer des fermentations permettant une valorisation de produits. Nous développerons l'exemple du vinaigre mais les fermentations à partir de viandes auraient pu être également décrites. Un troisième niveau est constitué par l'utilisation de la biotechnologie afin d'améliorer les conditions de conservation et la sécurité alimentaire. L'exemple des bactériocines pour les produits carnés et de la mer fera l'objet d'un chapitre. Ces 3 stades permettront aux pays africains d'augmenter les potentialités de valoriser les produits agricoles et de constituer des entreprises qui lutteront contre la pauvreté.

3. DE LA FERMENTATION TRADITIONNELLE AU STARTER

En partenariat avec plusieurs institutions africaines ITA et ESP (Dakar), DTA (Ouagadougou) et INSAT (Tunis)), des fermentations traditionnelles ont été étudiées et une stratégie similaire a été élaborée. Dans cette perspective, la méthodologie de travail fait intervenir séquentiellement :

- i) la description précise du procédé traditionnel de fermentation suite à une étude bibliographique et à des observations faites sur le terrain,
- ii) la caractérisation microbiologique du produit à différentes étapes de la filière production-consommation,
- iii) l'analyse des risques et l'identification des points critiques de contrôle du procédé traditionnel de fabrication,
- iv) la caractérisation biochimique et nutritionnelle du produit,
- v) le développement d'un nouveau procédé de fermentation en utilisant un starter,
- vi) la mise au point de la production du starter à un stade industriel et
- vii) l'identification de partenaires industriels accompagnée de l'étude de faisabilité et du transfert de technologie et/ou introduction du starter en milieu réel.

Une culture de starter peut être définie comme une préparation microbienne incluant au moins un microorganisme à ajouter à une matière première pour produire un aliment fermenté en accélérant et en dirigeant son procédé de fermentation. Ces starters peuvent être sous forme liquide congelé ou sous forme de poudre sèche obtenue par lyophilisation, atomisation ou fluidisation. La stratégie « de la cellule au starter » comporte plusieurs étapes dont la première est l'isolement de souches bactériennes à partir de la matière première utilisée pour la fermentation artisanale « naturelle ». Ce screening doit se faire sur base des propriétés fonctionnelles recherchées selon le type de produit voulu mais aussi sur base de propriétés technologiques (facilement cultivables, conditionnables) et implique la mise au point d'un procédé de production en bioréacteurs pour la fabrication d'un starter économiquement rentable. Cela nécessite tout d'abord l'optimisation des conditions de culture à petite échelle au laboratoire. Une fois définies, il s'agit d'assurer leur transfert vers des productions à plus grande échelle en bioréacteurs et la mise au point d'un procédé de séchage pour le conditionnement dans le respect de la conservation des propriétés fonctionnelles initiales de la

souche. Cette démarche générale sera illustrée au travers de plusieurs exemples de développement de produits.

Le cas du nététu

La fermentation des graines du caroubier africain ou néré (*Parkia biglobosa*) pour la production de nététu occupe une place importante dans l'économie sénégalaise en exploitant les ressources locales. Dans la partie sud du pays (Casamance), cette activité d'artisanat alimentaire rural est devenue de plus en plus dynamique en s'orientant vers une économie monétaire à la demande des marchés urbains. Toutefois, la précarité des installations des ateliers traditionnels de transformation, le statut des transformatrices, leur ignorance des caractéristiques du produit à transformer, leur manque de respect de bonnes pratiques de fabrication ainsi que les mauvaises conditions de distribution et de vente contribuent à l'altération rapide du nététu et à la perte de sa qualité marchande.

Une amélioration des connaissances microbiologiques et biochimiques du produit à fermenter et du procédé de fermentation permettrait dès lors de faire évoluer positivement les conditions actuelles de production et de vente ainsi que la mise sur le marché d'un nététu de bonne qualité organoleptique et hygiénique. Notre étude des caractéristiques microbiologiques et organoleptiques des trois types de nététu vendus sur les marchés de la ville de Dakar a démontré la tendance thermotolérante de la microflore sporulée de ce type de produit [1]. Une caractérisation plus poussée de la flore microbienne dans le produit a permis d'isoler et d'identifier deux souches de *Bacillus subtilis* dénommées NTO1 et NTO2 selon le profil biochimique (API, acides gras) et génétique (analyse de restriction de l'ADNr et test d'homologie ADN:ADN). Pour valider le choix de ces souches en tant que starters commercialisables, nous avons procédé dans un troisième temps à l'étude comparée des profils aromatiques des nététus de fabrication traditionnelle et des nététus obtenus par fermentation contrôlée en unité pilote après inoculation avec ces deux souches. Ces analyses ont révélé que les nététus du commerce présentent des profils aromatiques comparables à ceux des nététus obtenus via fermentation contrôlée en utilisant NTO1 et NTO2. Ceci montre le rôle et l'intérêt de ces deux souches dans la fermentation des graines de caroube [1, 2].

4. LES BIOTECHNOLOGIES AU SERVICE DES PRODUITS ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRES

4.1. Les bactéries lactiques productrices de bactériocines

En dépit des progrès récents en technologie et des concepts d'assurance qualité, l'application des pratiques d'hygiène (ex. HACCP) dans les ateliers de production de certains produits alimentaires en Afrique s'est montrée insuffisante pour assurer l'absence des bactéries d'altération et pathogènes dans le produit final. Cette problématique a donc incité les chercheurs à développer de nouvelles technologies notamment celles qui utilisent des agents biologiques pour réduire les contaminations par des pathogènes. Les bactéries lactiques productrices de bactériocines représentent un modèle de choix pour réaliser cet objectif [3]. La majorité des bactéries lactiques productrices de bactériocines ont été isolées des produits alimentaires.

Nous nous sommes fixés l'objectif de parvenir à une contribution significative dans l'étude de la diversité des bactéries lactiques productrices de bactériocines à travers la sélection de nouvelles souches de ce type dans les produits alimentaires d'origines belge, marocaine, sénégalaise et péruvienne. Nos résultats corroborent les travaux antérieurs puisque les

produits alimentaires en général, et ceux fermentés de façon artisanale en particulier, constituent une niche écologique de choix pour l'isolement de bactéries lactiques productrices de bactériocines. Nous avons noté que le lait et les produits laitiers représentent une source importante pour la sélection de ces souches. Elles appartiennent aux genres *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Streptococcus* et *Leuconostoc*. Les souches peuvent être sélectionnées non seulement sur la base de leurs performances technologiques mais également en tenant en compte d'autres propriétés (par exemple l'aptitude à améliorer la qualité microbiologique et la stabilité du produit fini) et être utilisées comme cultures starters. Par exemple, l'efficacité d'une souche de *Lactobacillus curvatus* isolée de la viande a été étudiée contre *L. monocytogenes* dans différents produits alimentaires (saumon fumé à froid, lard, viande du porc crue).

4.2. Les farines fermentées : le mil et le gari

En Afrique, les céréales sont une des bases de l'alimentation humaine. La fermentation permet leur conservation, détruit leurs facteurs antinutritionnels tel que les phytates et améliore la digestibilité. La fermentation traditionnelle telle que souvent appliquée en Afrique, mène à une fermentation non contrôlée et à des produits finaux de qualité inconstante. Ces problèmes peuvent être associés à la croissance de microorganismes pathogènes. La fermentation lactique des céréales permet leur acidification et donc leur conservation dans des conditions adaptées.

Le mil est une céréale très répandue au Sénégal. Cette céréale est fermentée et séchée au soleil et au gaz après avoir été réduite en farine afin de faire du couscous ou du arraw (un produit roulé après fermentation et de granulométrie plus grosse). La fermentation traditionnelle du mil au Sénégal a été étudiée à Dakar et à Thiès. Des études microbiologiques ont permis de montrer que les microorganismes impliqués dans la fermentation sont des bactéries lactiques et des levures. Les bactéries lactiques permettent l'acidification de la farine et donc sa conservation, tandis que les levures permettent de développer les arômes de la farine fermentée. Afin de développer un starter séché pour la fermentation, des souches ont été isolées de mil en fermentation et étudiées pour leurs propriétés telle que l'acidification et la résistance à des traitements de séchage. Une souche lactique appartenant à l'espèce *Lactobacillus plantarum* a été sélectionnée et un procédé de production de ce starter a été mis au point permettant de conditionner le starter sur son substrat d'origine, la farine de mil préalablement stérilisée. Ce mode de conditionnement permet de produire le starter localement et de le rendre économiquement accessible. Le Gari est une farine de manioc fermentée très populaire en Afrique de l'Ouest et Centrale. Afin de mettre au point un starter, la microflore responsable de la fermentation du manioc durant la transformation artisanale au Bénin a été étudiée. Les souches présentant les meilleures propriétés ont été sélectionnées et produites, à l'échelle industrielle, sous forme de starter lyophilisé [4, 5].

4.3. Les laits fermentés: le mbânick et le lben

Les produits laitiers fermentés ont depuis toujours constitué un élément majeur dans le régime alimentaire de nombreuses populations. Déjà depuis l'antiquité, la fermentation spontanée et naturelle du lait servait de moyen de bio-conservation du lait cru, denrée très périssable. Sous l'action des bactéries lactiques fermentaires, l'acidification du lait permet une protection contre le développement de la flore pathogène d'une part et l'amélioration de la qualité organoleptique d'autre part [6]. Or, la fermentation des produits laitiers tels que le Mbânick

(boisson sénégalaise très appréciée et obtenue par fermentation du lait entier de vache) au Sénégal ou le Lben (lait de vache fermenté traditionnel produit en Tunisie) se fait le plus souvent artisanalement, de façon non contrôlée. Le produit obtenu a une qualité instable avec un haut risque de contamination par des bactéries pathogènes [7]. Dans ce cadre, l'utilisation d'un starter lactique adapté au substrat et permettant de développer les propriétés organoleptiques désirées afin d'initier et de contrôler la fermentation constitue une bonne solution.

Des bactéries lactiques, appropriées pour être utilisées durant la fermentation du lait pour la production du mbanick et du lben, ont été isolées de ces produits. Leur impact sur la production d'acide lactique et la coagulation du produit fermenté, le développement des propriétés organoleptiques désirées et la production de composés aromatiques, la stabilité du produit dans le temps et l'absence de gaz ou de flaveur parasite ont été évalués. Les souches appropriées ont été intégrées dans un starter et un procédé de production du lait fermenté a été mis en place. Une stratégie de vulgarisation du procédé de fermentation contrôlée a ensuite été utilisée afin d'inciter les producteurs traditionnels à l'adopter et ainsi développer leur activité en proposant à leur clientèle des produits de meilleure qualité.

Le mbanick est caractérisé par son goût acide, sa texture et son arôme spécifique. Afin de sélectionner le starter adapté, des essais de fermentation du lait avec les différentes souches isolées ont été réalisés. Les analyses organoleptiques et des arômes par chromatographie gazeuse du produit fini ont permis de montrer que la meilleure combinaison pour le starter lyophilisé est un mélange de *Lactococcus lactis lactis*, *Lactococcus lactis lactis var diacetylactis* et *Lactobacillus* sp. Le Lben est réputé pour ses qualités organoleptiques (goût frais, acidulé et arôme caractéristique). Afin de sélectionner le starter donnant les caractéristiques organoleptiques les plus proches des Lben artisanaux, la contribution aux arômes de deux souches *Lactococcus lactis* et d'une souche d'*Enterococcus* par rapport à une fermentation spontanée et au Lben commercial a été étudiée. Le Lben produit avec la souche de *Lactococcus* peut être conservé environ 20 jours à 4°C sans modification des propriétés organoleptiques.

4.4. Les biopesticides microbiens

L'utilisation d'organismes vivants, ou des produits de leurs gènes, pour limiter ou supprimer les activités et les populations de pathogènes nous paraît être une bonne définition de la lutte biologique pour réduire les maladies des plantes d'intérêt agricole ou horticole. Deux des principaux avantages des agents de lutte biologique résident dans leur compatibilité environnementale et dans le fait qu'ils offrent des modes d'action multiples, et différents de ceux des pesticides chimiques pour combattre les organismes nuisibles. Utilisés comme compléments ou en alternance avec les pesticides classiques dans une perspective de lutte intégrée, ils permettent de réduire l'apparition de résistances chez les pathogènes cibles. Parmi les biopesticides, les agents microbiens sont employés dans le monde entier dans des cultures en champ et en serres pour réduire de multiples maladies sur diverses céréales, légumineuses, fruits, fleurs et plantes d'ornement [8, 9].

Les mécanismes par lesquels les agents de lutte biologique peuvent prodiguer leur effet protecteur sont multiples et peuvent varier pour un micro-organisme donné en fonction du pathosystème (couple hôte végétal/pathogène) sur lequel il est appliqué. Cependant, d'un point de vue global, leur effet bénéfique se fonde sur certains phénomènes qui ne seront pas détaillés ici mais nous référons à quelques excellentes revues comme points de départ pour

l'obtention d'une information plus complète [10-12]. Brièvement, le micro-organisme d'intérêt peut intervenir favorablement soit en privant les organismes infectieux des ressources nutritives et spatiales nécessaires à son développement, soit en inhibant directement la croissance des pathogènes par la production d'antibiotiques et/ou d'enzymes lytiques antifongiques [13], soit indirectement en renforçant la plante vis-à-vis d'une attaque ultérieure lors d'un phénomène appelé « résistance systémique induite » (RSI) [14].

Parmi les espèces bactériennes potentiellement utilisables en tant que biopesticides, *Bacillus subtilis* est l'une des plus prometteuses. Deux souches isolées de sols africains, GA1 et S499, ont été sélectionnées in vitro pour leur activité antagoniste vis-à-vis de différentes moisissures responsables de maladies de plantes pouvant entraîner des pertes agricoles et économiques considérables telles que la fonte des semis ou la pourriture des racines de différentes plantes (*Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani*), le dépérissement des jeunes plants (*Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*) ou des maladies post-récoltes (*Alternaria* sp, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Gaeumannomyces* sp, *Mucor* sp, *Penicillium expansum*, *Rhizopus* sp., *Trichoderma harzanium*, *Trichoderma reesei*). Sur base de cette puissante activité antagoniste, les deux souches ont été intégrées dans des essais de protection des végétaux en conditions contrôlées en serres [15, 16].

4.5. Le vinaigre

Le vinaigre est un produit qui est très utilisé dans la cuisine africaine comme condiment alimentaire ou comme agent de conservation. La consommation de vinaigre au Sénégal avoisine les 8 millions de litres par an. Néanmoins, ce vinaigre provient de la dilution d'acide acétique d'origine pétrochimique et ne répond pas aux critères des normes alimentaires qui préconisent un produit obtenu par double fermentation (alcoolique et acétique) à partir de matières premières d'origine agricole. Ces constats montrent donc l'importance pour des pays comme le Sénégal à développer leurs propres procédés de fermentation. Dans cette optique, la stratégie « de la cellule au starter » a été appliquée au cas du vinaigre. Trois étapes ont donc été considérées, à savoir l'isolement de souches bactériennes à partir de fruits (notamment de la mangue) et de céréales africaines (comme le sorgho) pour la production artisanale de vinaigre [17], l'étude d'un procédé de séchage pour le conditionnement des bactéries acétiques sous forme de starter [18, 19] et le dimensionnement d'un bioréacteur de production de starter acétique [20, 21]. Le bioréacteur, spécifiquement conçu par le CWBI, optimise la productivité en maximisant le rendement stœchiométrique. Cependant, le procédé de fermentation à température élevée peut provoquer des pertes d'éthanol par évaporation et, de surcroît, compromettre le rendement stœchiométrique. L'utilisation d'un système de récupération et de recirculation de gaz permettrait d'optimiser le procédé d'acétification de l'acétateur.

5. CONCLUSION

La biotechnologie microbienne et spécialement les bioindustries peuvent apporter à l'Afrique une rationalisation des procédés de fermentations traditionnelles par une connaissance des microorganismes qui gèrent la fermentation mais également par la standardisation du procédé par l'utilisation de starters (cultures de microorganismes). Les bioindustries permettront de mieux conserver les aliments tout en donnant une valeur ajoutée. La biotechnologie microbienne peut également apporter de nouvelles technologies de conservation en intégrant les bactériocines ou en utilisant les biopesticides en remplacement des pesticides d'origine

chimique. Il ne faut pas oublier les technologies de fermentation traditionnelle en Europe et peu valorisée en Afrique. Le vinaigre est un bon exemple. Des technologies appropriées (dans ce cas, des souches thermotolérantes) permettent une adaptation du procédé aux conditions du milieu. L'Afrique a besoin d'innovation et spécialement en ce qui concerne l'alimentation.

Remerciements

Franck DELVIGNE et Marc ONGENA sont respectivement Chargé de Recherches et Chercheur Qualifié du F.R.S.-FNRS (Fonds National de la Recherche Scientifique, Belgique). Les auteurs remercient la Direction des Relations Internationales et le Commissariat Général aux Relations Internationales pour l'aide financière apportée.

Références Bibliographiques

- [1]. NDir, B.; Gning, R.D.; Keita, N.G.; Souané, M.; Laurent, L.; Cornelius, C. et Thonart, P. Cahiers Agric. 6 (1997) 299-304.
- [2]. NDir, B.; Lognay, G.; Wathelet, B.; Cornelius, C.; Marlier, M. et Thonart, P. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 4 (2000) 101-105.
- [3]. Konings, W.N. Curr. Opin. Microbiol. 3 (2000) 276-282.
- [4]. Kostinek, M. Syst. Appl. Microbiol. 28 (2005) 527-540.
- [5]. Kostinek, M. Int. J. Food Microb. 114 (2007) 342-351.
- [6]. Holzapfel, W.H. Int. J. Food Microb. 75 (2002) 197-212.
- [7]. Caplice, E. et Fitzgerald, G.F. Int. J. Food Microb. 50 (1999) 131-149.
- [8]. Fravel D.R. Annu. Rev. Phytopathol. 43 (2005) 337-359.
- [9]. Paulitz, T.C. et Bélanger, R.R. Annu. Rev. Phytopathol. 39 (2001) 103-133.
- [10]. Compant, S. Appl. Environ. Microbiol. 71 (2005) 4951-4959.
- [11]. Lugtenberg, B.J.J. Annu. Rev. Phytopathol. 39 (2001) 461-490.
- [12]. Mercado-Blanco, J. et Bakker, P. Antonie Van Leeuwenhoek 92 (2007) 367-389.
- [13]. Raaijmakers, J.M.; Vlami, M. et de Souza J.T. Antonie Van Leeuwenhoek 81 (2002) 537-547.
- [14]. van Loon, L.C. et Bakker, P.A.H.M. In Siddiqui, Z.A. (Ed.) PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer, Dordrecht, 2006, pp. 39-66.
- [15]. Ongena, M.; Jourdan, E.; Adam, A.; Paquot M.; Brans, A.; Joris, B.; Arpigny, J.L. et Thonart P. Environ. Microbiol. 9 (2007) 1084-1090.
- [16]. Touré, Y. ; Ongena, M.; Jacques, P.; Guiro, A. et Thonart P. J. Appl. Microbiol. 96 (2004) 1151-1160.
- [17]. Ndoye, B.L.; Dubois-Dauphin, R.; Tounkara, L.; Guiro, A.T.; Kere, C.; Diawara, B. et Thonart, P. Enzyme Microb. Technol. 39 (2006) 916-924.
- [18]. Ndoye, B.; Weekers, F.; Diawara, B.; Guiro A.T. et Thonart P. J. Food Eng. 79 (2007) 1374-1382.
- [19]. Ndoye, B.C.; Engelbeen, K.; Dubois-Dauphin, R.; Guiro, A.T.; Van Trappen, S.; Willems, A. et Thonart, P. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 57 (2007) 1576-1581.
- [20]. De Vuyst, L. Food Technol. Biotechnol. (2000) 105-112.
- [21]. Ndoye, B.L. S.; Destain, J.; Guiro, T. A et Thonart, P. Process Biochem. 42 (2007) 1561-1565.

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

EFFETS ANTIBACTERIENS DU SURNAGEANT DE CULTURE NEUTRALISE D'UNE SOUCHE LACTIQUE PRODUCTRICE DE BACTERIOCINE, ADDITIONNE DE SEL SUR DIFFERENTS POISSONS CONSERVES A 10°C AU SENEGAL

Michel Bakar Diop^{1, 2*}, Robin Dubois-Dauphin¹, Kheifate Ndiaye², Jacqueline Destain¹, Emmanuel Tine², El Hadji A. Ngom² et Philippe Thonart¹

¹ Centre Wallon de Biologie Industrielle (CWBI)/ Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx), 2, Passage des Déportés, B 5030 Gembloux, Belgique ² Université Cheikh Anta DIOP (UCAD), Ecole Supérieure Polytechnique, Laboratoire L-MAGI, BP 5085 Dakar, Sénégal

* diopmb@yahoo.fr ou bioindust@fsagx.ac.be

Mot clés : Sel ; bactériocine ; conservation ; poissons filetés, Sénégal.

1. RÉSUMÉ

L'évolution de la flore contaminante de filets (100 g) de différents poissons (maigres, moyennement gras, et gras) conservés à 10°C dans 100 mL de surnageant de culture (SCN) de la souche *Lactococcus lactis* CWBI-B1410 productrice de bactériocine salé (NaCl, 0,14 g/mL) a été comparée à celle de 100 g de filets traités en utilisant 100 mL de SCN de la souche *Lactococcus lactis* LMG 6890 non productrice de bactériocine salé ou 100 mL d'une solution de NaCl (0,14 g/ml) additionnée de sels de benzoate et de sorbate (B+S), chacun en concentration de 0,5 mg/mL. Un niveau de flore contaminant de 10^6 ufc/g a été considéré comme la fin de la durée de conservation. Le niveau de la contamination microbienne dans les filets crus atteignait 5,7 log ufc/g. L'addition d'une solution saline ou du SCN de LMG 6890 salé entraîne une réduction de la flore contaminante des filets de 1,5 log ufc/g et sa stabilisation pendant 4 à 7,5 jours correspondant respectivement aux durées de conservation du poisson gras et du poisson maigre à 10°C. L'utilisation du SCN de CWBI-B1410 salé et de la solution salée additionnée de (B+S), comme agents antimicrobiens retarde l'augmentation du nombre de microorganismes dans les filets, entraînant une augmentation de la durée de conservation respectivement de 12 et 13 jours pour *P. jubelini*, de 7 et 3 jours pour *P. quadrifilis* et de 8 et 2,5 jours pour *A. heudeloti*. Ces résultats suggèrent que cette technologie simple peut constituer une stratégie convenable d'amélioration de la conservation des produits de la pêche artisanale au Sénégal.

2. INTRODUCTION

En terme de qualité, le poisson constitue une source de protéine similaire à celle de la viande d'animaux à sang chaud, mais il est aussi un produit de base particulièrement périssable et doit être conservé aussitôt après sa mort à des températures comprises entre -2 et 0°C [1], pour ralentir une dégradation le rendant impropre à la consommation humaine. Au Sénégal, la pêche est un secteur vital de l'économie nationale. Le poisson constitue la principale source de protéine d'origine animale pour les populations. La moyenne nationale de la

consommation de poisson par habitant est estimée à 28,1 kg/an, loin devant la viande (17,1 Kg/an) (FAO, 2004). La production annuelle moyenne de poissons maritimes est estimée à 403 991 tonnes au cours de cette dernière décennie. La pêche artisanale représente près de 85% des débarquements [2]. Le marché du poisson frais est très important. Le conditionnement des produits de pêche utilise de faible quantité de glace et les températures ambiantes qui avoisinent 30°C, de plus la préparation du poisson est mal réalisée dans des environnements généralement mal adaptés du point de vue sanitaire [3]. Les produits se dégradent vite et les pertes post-récoltes sont aussi élevées ; elles représentent environ 25% des captures totales [4].

La bio-conservation peut constituer une stratégie permettant d'améliorer la conservation et la salubrité de ces produits. Les bactéries lactiques sont généralement considérées sûres et utilisées comme starters (culture de départ) pour améliorer la conservation des denrées alimentaires fermentées. Ces bactéries réalisent dans les aliments crus une acidification, une production d'arômes, en plus de l'inhibition des bactéries indésirables et pathogènes par la production d'une variété de substances antimicrobiennes tels que des acides organiques (acétique et lactique), du peroxyde d'hydrogène, du diacétyle, d'acides gras antifongiques, de l'acide phényl-lactique, et/ou de bactériocines [5]. Les bactériocines de bactéries lactiques font partie de la gamme de conservateurs naturels utilisés pour améliorer la conservation et la sécurité des denrées alimentaires [6]. Ce sont des composés synthétisés au niveau des ribosomes et produits par certaines bactéries pour inhiber la croissance d'autres bactéries, généralement phylogénétiquement proches [7].

Au cours d'une sélection de souches lactiques productrices de bactériocines à partir d'aliments traditionnels d'origine sénégalaise, une souche de *Lactococcus lactis subsp. lactis* CWBI-B1410, a montré une activité antimicrobienne in vitro de type bactéricide élevée dans le surnageant de culture neutralisé (pH 6) contre plusieurs souches contaminant potentiels dans les aliments [8]. Cette souche porte le gène codant pour la nisine A [9], une bactériocine autorisée comme additifs alimentaires dans plusieurs pays [10]. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'activité antimicrobienne du SCN de la souche *Lactococcus lactis* CWBI-B1410 en combinaison avec du chlorure de sodium sur des filets de poissons marins conditionnés de façon artisanale au Sénégal, au cours de leur conservation à 10°C.

Les critères microbiologiques dans les poissons et produits dérivés destinés à l'alimentation humaine sont exprimés en bactéries/grammes à l'exception de certaines bactéries telle que *Salmonella* ou *Listeria monocytogenes* qui sont exprimées en bactéries par 25 grammes. En ce qui concerne les poissons marins frais ou congelés, ronds ou en filets la limite généralement acceptable est inférieure à 10^5 ou 5×10^5 /g pour la flore aérobie mésophile totale contre zéro bactérie pour *Salmonella* ou *Listeria monocytogenes* [11]. Par conséquent, un niveau de flore totale de 10^6 ufc/g a été considéré comme la fin de la durée de conservation des filets de poissons au cours des essais de conservation.

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1. Souches lactiques, milieux et conditions de culture

Lactococcus lactis subsp. lactis CWBI-B1410 a été isolée de farine de mil fermentée d'origine sénégalaise [8, 9]. *Lactococcus lactis subsp. lactis* (LMG 6890), utilisée comme contrôle négatif pour les essais de conservation, a été obtenue de la collection LMG (Université de Gand/ Belgique). *Pediococcus pentosaseus* issu de la collection du Centre

Wallon de Biologie Industrielle (CWBI) de la FUSAGx, sensible à l'activité du SCN de CWBI-B1410 [8], est utilisée comme souche indicatrice pour l'évaluation de l'activité antibactérienne. Les deux souches CWBI-B1410 et LMG 6890 ont été cultivées pendant 12 h à 30°C sur 1000 mL de bouillon MRS. Les cultures ont été centrifugées à 4000 trs/min., le surnageant de culture a été neutralisé à pH 6 avec une solution de NaOH.

3.2. Activité des surnageants de cultures neutralisés (SCNs) des deux souches lactiques

L'activité antibactérienne du SCN de CWBI-B1410 et LMG 6890 a été estimée en utilisant la techniques de la dilution critique et de diffusion [12]. La souche *P. pentosaseus* qui s'était révélée très sensible à l'activité inhibitrice du SCN de CWBI-B1410 lors des études de sélection de cette souche a été utilisée comme souche indicatrice. L'activité, exprimée en Unité Arbitraire par millilitre (AU/mL), est égale à l'inverse de la dernière dilution montrant une zone d'inhibition de croissance. Cette technique a été également utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne résiduelle dans le jus de poisson au cours des essais de conservation des filets. Dans ce cas, l'activité a été exprimée en %, en considérant celle du SCN comme étant 100%.

3.3. Préparation des solutions de préservation

Du chlorure de sodium (0,14 g/mL) a été ajouté dans le SCN de CWBI-B1410, dans le SCN de LMG 6890 et dans de l'eau distillée. Une quatrième solution de NaCl (0,14 g/mL) a été supplémentée en benzoate de sodium (RPL, Leuven, Belgique), et en sorbate de potassium (Fluka, Buchs, Allemagne) chacun à concentration finale de 0,5 mg/mL. Ces conservateurs sont utilisés dans les produits de pêche de courte durée de conservation à concentration maximale de 0,2 mg/kg. Le pH des différentes solutions a été mesuré et éventuellement ajusté à 6 en utilisant une solution de NaOH ou HCl 0,1N. Les solutions ont été aussi pasteurisées (10 min à 80°C) puis refroidies à 10°C pendant 2 heures avant d'être utilisées pour l'imprégnation les filets.

3.4. Origine des poissons, conditions de filetage, teneur en lipides totaux des filets

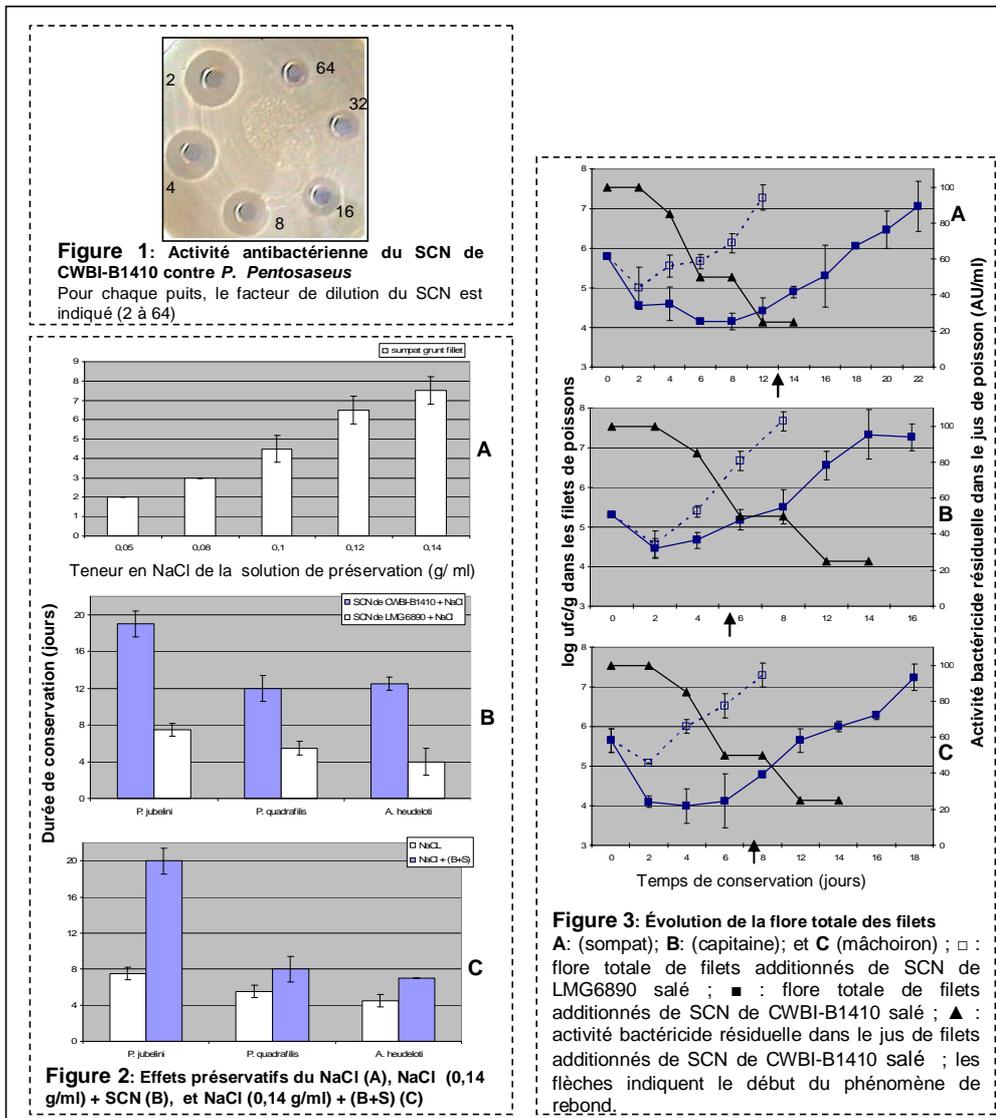
Des échantillons de sompat (*Pomadasys jubelini*), de capitaine (*Polydactylus quadrifilis*), et de mâchoiron (*Arius heudeloti*) ont été achetés au marché artisanal de Soumbédioune (Dakar Fann/Sénégal) durant toute la durée de l'étude, du 10 juillet 2006 au 4 octobre 2006. Les poissons ont été éviscérés et écaillés sur place par les « femmes nettoyeuses » [4], et transportés dans des sacs plastiques achetés sur place au Laboratoire L-MaGI ESP/Dakar (au bout de 15 min) où ils ont été lavés avec de l'eau de distribution, et filetés stérilement. Des filets de 100 g (munis de peau) ont été utilisés pour les essais de conservation.

100 mL de solution de préservation ont été ajoutés dans 100 g de filets de poisson cru placés dans un bocal en verre stérile. Les filets ainsi traités ont été conservés à 10°C pendant 22 jours au maximum. La flore totale a été dénombrée sur PCA additionné de 0,5% de NaCl. Toutes les 48 h le filet est retiré de la solution de conservation dans des conditions stériles pour les prélèvements puis remis dans la solution. Deux grammes de chair de poissons prélevés en différents points, ont été suspendus dans 18 mL de solution peptonée (0,1%) salée (0,5 %) dans un tube Falcon de 50 mL stérile. La suspension a été mélangée vigoureusement pendant 2 min au vortex puis diluée successivement de 1/10 dans une solution d'eau peptonée salée. Cent microlitres de chaque dilution ont été étalés sur PCA en triplet. Les boîtes ont été incubées à 30°C pendant 48 h avant que les colonies ne soient énumérées. La flore totale dans

les filets a été déterminée toutes les 48 h jusqu'à ce qu'elle atteigne 10^6 ufc/g, considéré comme la fin de la durée de conservation. Les résultats présentés dans cette étude sont la moyenne de deux essais séparés sur des échantillons différents pour chaque poisson. De plus, 10 g de filet de chacun des trois poissons ont été séchés (24 h à 100°C) puis broyés. La teneur en lipides totaux dans les matières sèches obtenues a été déterminée selon [13].

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le niveau de la flore initiale dans les filets de sompat, de capitaine et de mâchoiron atteignait respectivement 5,7, 5,3 et 5,65 log ufc/g. La teneur en lipides totaux des filets a été estimée à 2,8% (sompat), 3,28% (capitaine) et 17,75 % (mâchoiron) selon [13]. L'activité antibactérienne du SCN de CWBI-B1410 et du SCN de LMG 6890 a été évaluée respectivement à 1280 AU/mL (Figure 1) et 0 AU/mL (photo non montrée).



Les durées de conservation des filets de sumpat, de capitaine, et de mâchoiron additionnés d'une solution saline ou du SCN de LMG 6890 salé (0,14 g/mL) sont estimées à 7,5, 5,5 et 4 jours (Figures 2A et 2B), contre 19 et 20 jours pour les filets de sumpat, 12,5 et 8 jours pour le filets de capitaine, 12 et 7 jours pour les filets de mâchoiron en utilisant respectivement le SCN bactéricide de la souche CWBI-B1410 (Figure 2B) et la solution saline supplémentée de (B+S) (Figure 2C), comme agents antimicrobiens. La solution bactéricide de CWBI-B1410 salée réduit de 1,5 log ufc/g le nombre de microorganismes viables et retarde le phénomène du rebond (reprise de la croissance des bactéries dans le produit) dans les filets, entraînant une augmentation de la durée de conservation de 12, 7 et 8,5 jours pour respectivement les filets maigres, moyennement gras, et gras (Figures 3A, 3B, et 3C).

Elle a un effet antibactérien similaire à celui de la solution salée additionnée de (B+S) sur des filets de poissons maigres comme le sompat, et est plus efficace que cette dernière sur les filets de poissons plus gras comme le capitaine, et le mâchoiron.

Des augmentations de durée de conservation de 21 jours ont été publiées au cours de la conservation de crevettes salées, additionnées de SCN bactéricides d'une souche de *Lactococcus lactis* SIK-83 [14]. Leurs conditions de conservation diffèrent des nôtres par une flore initiale plus faible (10^{2-3} ufc/g) et une température de conservation plus basse (4°C). Nos résultats montrent que cette stratégie est applicable pour des filets de poissons de conditionnement artisanal conservés à 10°C au Sénégal. Le phénomène de la baisse de l'activité de solutions bactéricides sur matrice alimentaire est du aux interactions entre les molécules de bactériocines avec les constituants des aliments d'une part, et à l'activité des enzymes protéolytiques naturellement présentes dans les aliments, qui dégradent les bactériocines d'autre part [15,16]. Toutefois malgré une perte de 50% de l'activité bactéricide initiale au bout de 5 jours, le contrôle des microorganismes est encore efficace durant 7 à 12 jours dans les filets, retardant ainsi le phénomène de rebond. Cela indique qu'une proportion importante de la flore contaminante des poissons est sensible à l'activité bactéricide du SCN de CWBI-B1410. La différence d'efficacité du SCN de CWBI-B1410 salé sur les trois types de filets peut s'expliquer par une différence d'adsorption des bactériocines par certains constituants du poisson notamment les constituants lipidiques et/ou protéiques [15].

5. CONCLUSION

Le niveau de la microflore initiale dans les filets crus de poissons conditionnés artisanalement au Sénégal est à la limite de l'acceptabilité (salubrité) (6 log ufc/g). L'utilisation de surnageant de culture bactéricide de CWBI-B1410 en combinaison avec du sel, réduit le nombre de microorganismes viables de 1,5 log ufc/g et retarde l'augmentation du nombre de microorganismes dans les filets. Il en résulte des augmentations de durée de conservation de 12, 7,5 et 8 jours pour les filets de sompat, de capitaine, et de mâchoiron. Les effets préservatifs du SCN de CWBI-B1410 salé sont similaires à ceux de la solution salée additionnée de (B+S) (0,5 mg/mL chacun), sur les filets maigres de sompat alors qu'elle est plus efficace que cette dernière sur les filets plus gras de capitaine, et de mâchoiron. Ces résultats suggèrent que cette technologie simple peut constituer une stratégie convenable d'amélioration de la conservation et de la salubrité des produits de la pêche artisanale au Sénégal. Les composés bactéricides contenus dans le produit de fermentation peuvent être précipités par addition de sels à saturation, ou être adsorbés à la membrane des cellules

productrices. Les poudres lyophilisées de bactériocines adsorbées aux membranes des cellules productrices se conservent bien dans les conditions en milieu tropical.

Remerciements

Nous remercions la Coopération Universitaire au Développement (CUD) de la Belgique qui a financé les études doctorales de Mr Michel DIOP réalisées en alternance à la FUSAGx (CWBI) et au L-Magi de l'ESP/UCAD/Sénégal.

Références bibliographiques

- [1]. Boyd, L.C.; Green, D.P. et Lepors, L.A. J. Food Sci. 57 (1992) 59-62.
- [2]. Direction des pêches maritimes Dakar/Sénégal, Rapport 2004.
- [3]. Diei-Ouadi, Y. In FAO fisheries Circular No 999: FIIU/C999 (EN). Minced sardinella fillets in fish-landing and marketing sites in Senegal. 2005.
- [4]. Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques (GRET) et Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA). Le point sur. Paris, 1993, 286 p.
- [5]. Corsetti, L.; Settani, L. et Van Sinderen, D. J. Appl. Microbiol. 96 (2004) 521-534.
- [6] O'Sullivan, L.; Ross R.P. et Hill, C. Biochimie 84 (2002) 593-604.
- [7]. De Vuyst, L et Vandamme, E.J. in De Vuyst L. et Vandamme E. J. (Eds.). Bacteriocins of lactic acid bacteria: Microbiology, genetics and applications; Antimicrobial potential of Lactic acid bacteria. London Blackie: Academic and Professional, 1994, pp. 91-142.
- [8]. Diop, M.B.; Tine, E.; NGom, E.H.A.; Duboisdauphin, R.; Destain, J. et Thonart, P. Biotechnol. Agr. Soc. Environ. 11 (2006) 275-281.
- [9]. Diop, M.B.; Tine, E.; Duboisdauphin, R.; NGom, E.H.A. et Thonart P. Description of plasmidic gene encoding nisin A, a bacteriocin from *Lactococcus lactis subsp. lactis* CWBI-B1410 isolated from Senegalese traditional fermented millet flour. EMBL/Genbank/DDBJ (www.ncbi.com). (2007): EF371000 et ABN45880.
- [10]. Thomas, L.V.; Clarkson, M.R. et Delves-Broughton. In: Naidu, A.S. Eds. Nisin, Natural food antimicrobial systems. CRC Press, Boca Raton, FL, 2000, pp. 463-524.
- [11]. Guiraud J.P. Microbiologie alimentaire. Dunod: Paris, 1998.
- [12]. Barefoot, S.F et Klaenhammer, T.R. Appl. Environ. Microbiol. 45 (1983) 1808-1815
- [13]. Folch, J.; Lees, M. et Sloane-Stanley, G. J. Biol. Chem. 226 (1957) 497-504.
- [14]. Einarsson, H. et Lauzon, H.L. Appl. Environ. Microbiol. 61 (1995) 669-676.
- [15]. Aasen, I.M.; Markussen, S.; Moretro, T.; Katla, T.; Axellsson, L. et Naterstad, K. Int. J. Food Microbiol. 87 (2003) 35-43.
- [16]. Zapico, P.; De Paz, M., Medina, M. et Nunéz, M. Int. J. Food Microbiol. 46 (1999) 151-157.

CARACTERISATION DU SECHAGE CONVECTIF DE LA VARIETE DE MANGUE AMELIE

A. O. Dissa^{a,*}, H. Desmorieux^b, D.J.Bathiebo^a, J.Koulidiati^a

^a Laboratoire de Physique et de chimie de L'Environnement (LPCE), UFR/SEA, Université de Ouagadougou ; Ouagadougou, BP7021, Burkina Faso. ^b Laboratoire d'Automatisme et de Génie des Procédés (LAGEP), Université Claude Bernard Lyon, Bât.308G, 43 bd du 11 Nov.1918, Villeurbanne, France

* alfa_dissa@univ-ouaga.bf; dissa@lagep.univ-lyon1.fr

Mots clés : Séchage ; mangue Amélie ; cinétique ; isotherme de sorption ; contraction.

1. RESUME

Dans cette étude, une caractérisation du séchage de la variété de mangue «Amélie » est réalisée à travers l'établissement des cinétiques de séchage de 50 °C à 70 °C et des isothermes de désorption à 40 °C. Les influences de la température et de l'épaisseur des tranches de mangue sur le séchage de l' « Amélie » sont analysées. La diffusivité effective est identifiée et varie de $7,49 \cdot 10^{-10}$ à 50 °C, à $1,07 \cdot 10^{-9}$ à 60 °C et $1,29 \cdot 10^{-9}$ à 70 °C. Le modèle de Page se révèle comme celui qui décrit le mieux le mécanisme de séchage de l' « Amélie » tandis que les modèles d'Henderson modifié, de GAB et de Peleg ajustent convenablement l'isotherme de sorption de cette variété.

2. INTRODUCTION

Les systèmes de production de la mangue en Afrique de l'Ouest sont très variés avec un gisement fruitier composé essentiellement des variétés Amélie, Brooks, Lippens, Keitt, Mangot, Kent, Smith. Cependant, une grande partie de la cueillette est perdue chaque campagne, faute de moyen de conservation adéquat. Face à ce problème, le séchage peut constituer une solution efficace. Cet article présente une caractérisation du séchage de la variété « Amélie » la plus utilisée pour le séchage dans une grande partie de l'Afrique de l'Ouest. L'étude des caractéristiques de séchage de la mangue a fait l'objet de quelques travaux de recherche dans ces dernières années : Jaya et Das [1] ont développé une corrélation de type exponentiel permettant de déterminer la diffusivité de l'eau de la mangue à partir de l'épaisseur initiale et de la température de séchage; Falade & Aworh [2] en étudiant l'isotherme de la variété sauvage Africaine *Irvingia gabonensis* ont montré que la teneur en eau en monocouche d'eau est de 16% base sèche. L'objectif de cette étude est de caractériser le séchage convectif de la variété de mangue « Amélie » provenant des régions tropicales du Burkina Faso par l'établissement de l'isotherme de désorption à 40 °C et des cinétiques pour différentes tailles initiales de mangue et pour différentes températures (50, 60, 70 °C). Cette étude présente donc un intérêt pour le dimensionnement de séchoirs à mangues. On présente d'abord le protocole expérimental utilisé, puis une analyse théorique des modèles de cinétiques de séchage, d'isothermes de sorption et de contraction. Différents modèles sont alors testés et comparés aux valeurs expérimentales obtenues.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Les mangues

La variété « Amélie » utilisée dans cette étude a été acquise à deux reprises dans un marché local de fruits de Bobo Dioulasso, ville située à l'Ouest du Burkina Faso. Ces fruits de bonne qualité sont choisis, lavés à l'aide d'eau additionnée de quelques gouttes d'eau de javel, rincés à l'eau potable et pelés. Les deux joues sont séparées au couteau puis découpées en fonction de l'épaisseur voulue.

3.2. Isothermes de désorption et cinétique de séchage

Les isothermes ont été établies à 40 °C en utilisant un activimètre FA-st (Food Analysis Science and Technology de marque GBX) de précision +/-0,003 sur l'activité et dont la température est régulée par une circulation d'eau sous le contenant de l'échantillon. Les courbes de désorption obtenues sont alors simulées à l'aide de trois modèles de la littérature. Les cinétiques de séchage ont été réalisées en utilisant une enceinte climatique Votsch Industrietechnik régulée à une température constante par des résistances électriques et en humidité par un système d'humidification auquel est lié un bac d'eau distillée. Les mesures de masses en fonction du temps ont été établies pour trois températures 50, 60 et 70°C et pour trois épaisseurs de tranches 2,5; 5 et 10 mm à 70°C. Les courbes de séchage X-t déduites sont simulées par le modèle de Page.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Isotherme de désorption à 40°C

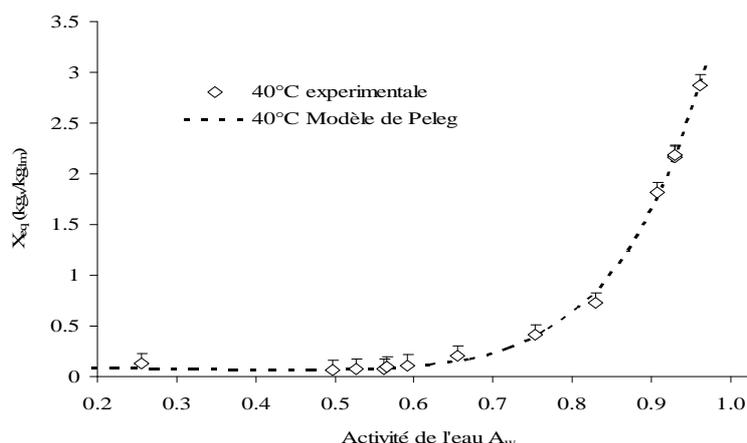


Figure1. Ajustement des valeurs expérimentales de l'isotherme à 40°C de la variété Amélie à l'aide du modèle de Peleg.

Les statistiques de l'ajustement des données expérimentales à l'aide des modèles de Peleg, de GAB et d'Henderson modifié à 40°C sont présentées tableau 1 et l'allure de l'isotherme à 40°C simulée par le modèle de Peleg est donnée par la figure 1.

Comme le montre ces résultats, le modèle de Peleg, avec un coefficient de détermination égale à 0,999, représente le mieux l'isotherme de sorption à 40°C de la mangue « Amélie ». La teneur en eau optimale de conservation ou teneur en monocouche d'eau identifiée à partir du modèle de GAB est $X_m=10,5\%$.

Tableau 1 : Statistique des ajustements de l'isotherme de désorption à 40°C [3]

Modèle	expression R ²	paramètres
GAB:	$\frac{X_{eq}}{X_m} = \frac{CKA_w}{(1-KA_w)(1-KA_w+CKA_w)}$	$X_m=0,105$ C=5057 K=1,084 R ² =0,989
Henderson	$A_w = 1 - \exp(-a(T+b)X_{eq}^c)$	a=0.193 b=0.331 c =44.36 R ² =0.998
Peleg R ² =0,999	$X_{eq} = a_p A_w^{b_p} + c_p A_w^{d_p}$: a =0,052 b =-0,276 c =5,986 d =8,1524

4.2. Cinétiques de séchage

4.2.1. Influence de la Température de l'air et de l'épaisseur du produit

La température de l'air de séchage et l'épaisseur de la tranche sont deux paramètres très importants pour caractériser le séchage de la mangue. Les figures 2 et 3 présentent l'évolution de la teneur en eau réduite d'une tranche de mangue « Amélie » en fonction du temps pour trois températures (50, 60 et 70 °C) et pour trois épaisseurs différentes (2,5, 5 et 10 cm). Ces résultats expérimentaux ont été ajustés à l'aide du modèle de Page et les statistiques d'ajustement sont données par le tableau 2. Comme le montrent les figures 2 et 3, le modèle de Page représente bien le comportement du séchage de la tranche de mangue.

L'influence de la température sur la courbe de séchage d'une tranche de mangue « Amélie » d'épaisseur 5 mm à 50, 60 et 70 °C est illustrée par la figure 2. Ces résultats permettent de déduire que la plus grande partie du séchage a lieu pendant la phase de séchage à vitesse décroissante. Ceci s'explique par le fait que le transfert d'eau dans la tranche est fortement régi par le mécanisme de la diffusion. La température a une forte influence sur la cinétique de séchage de la mangue. L'élévation de température diminue considérablement la durée de séchage. Ainsi, pour une tranche d'épaisseur 5 mm, la durée nécessaire pour franchir l'équilibre est de 250 min à 50 °C, 166 min à 60 °C et 83 min à 70 °C. Cette diminution du temps de séchage avec la température a été notée par de nombreux auteurs notamment Doymaz [6] et Gogus & Maskan [7] pour le gombo, Ertekin & Yaldiz [8] pour les aubergines. Cependant, cette élévation doit se faire en tenant compte des conditions de rétention de

certaines nutriments thermosensible tel que la vitamine C et des composants volatiles pouvant être perdus lors du séchage.

L'influence de l'épaisseur du produit sur la courbe de séchage de la mangue « Amélie » à 70 °C pour trois épaisseurs de tranches 2,5, 5 et 10 mm est présentée par la figure 3. On peut facilement remarquer que le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre croît avec l'épaisseur de la tranche. A 70 °C, ce temps est de 666 min, 250 min et 83 min pour respectivement des tranches de 10, 5 et 2,5 mm. Cela signifie que lorsqu'on double l'épaisseur, il faut plus qu'une durée double pour atteindre l'équilibre.

4.2.2. Diffusivité et Energie d'activation

La diffusivité effective de l'eau à partir de la tranche de mangue est identifiée à partir des résultats expérimentaux de séchage à 50, 60 et 70 °C. L'influence de la température sur sa valeur est présentée tableau 3. La durée du séchage plus courte à haute température correspond aux valeurs croissantes identifiées de $7,49 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à 50 °C à $1,07 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 60 °C et $1,29 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à 70 °C (Tableau 3). Ces valeurs de la diffusivité effective sont du même ordre de grandeur que celles données par Ruiz-López & García-Alvarado [11] pour une variété de mangue mexicaine, entre 10^{-10} et $2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. La valeur de l'Energie d'activation déduite de la pente de la droite $\ln(D_{\text{eff}})=f(1/T)$ est de l'ordre de 25,35 kJ/mole. Cette valeur de l'énergie d'activation se rapproche de celles trouvées par Ruiz-López & García-Alvarado [11] de 27 kJ/mole.

Tableau 2 : Statistiques des ajustements des cinétiques de séchage (HR(%) :15, Vair(m/s) :0,8)

Dimensions Caractéristique de l'air				Page $\frac{X - X_{\text{eq}}}{X_0 - X_{\text{eq}}} = \exp(-kt^y)$			
L(cm)	l (cm)	e(mm)	Tair(°C)	k	y	R ²	χ^2
4,2	1	5	50	$1,75 \cdot 10^{-4}$		1,06	0,997 $1,644 \cdot 10^{-4}$
3,8	0,5	5	60	$2,93 \cdot 10^{-4}$	1,06	0,994	$4,743 \cdot 10^{-4}$
4	1	5	70	$6,24 \cdot 10^{-5}$	1,23	0,998	$1,728 \cdot 10^{-4}$
3,5	0,6	2,5	70	$7,09 \cdot 10^{-4}$	1,07	0,998	$1,322 \cdot 10^{-4}$
6	2,7	10	70	$6,01 \cdot 10^{-5}$	1,08	0,999	$1,343 \cdot 10^{-5}$

Tableau 3 : Influence de la température et de l'épaisseur sur la diffusivité effective (HR(%) :15, Vair(m/s) : 0,8)

T _{air} (°C)	Epaisseur (mm)	D _{eff} (m ² /s)
50	5	$7,49 \cdot 10^{-10}$
60	5	$1,06 \cdot 10^{-9}$
70	5	$1,29 \cdot 10^{-9}$
70	2.5	$7,65 \cdot 10^{-10}$
70	5.0	$1,29 \cdot 10^{-9}$
70	10	$1,39 \cdot 10^{-9}$

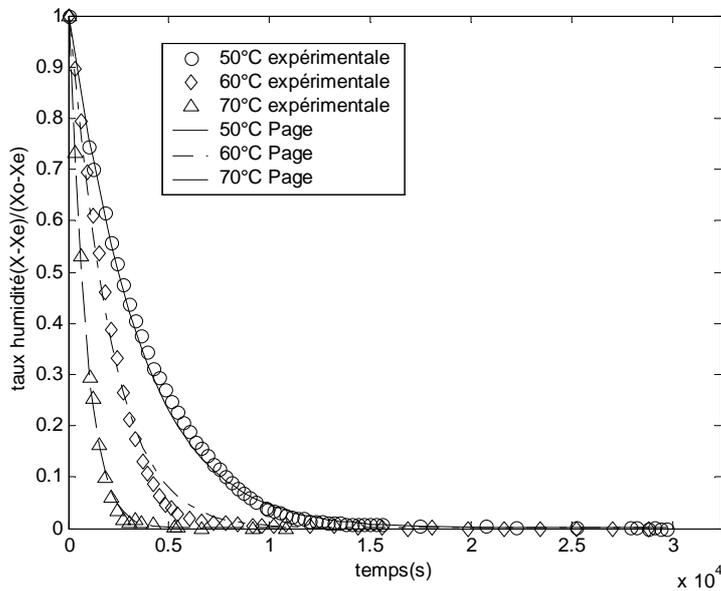


Figure 2. Influence de la température sur la cinétique de séchage d'une tranche de mangue d'épaisseur de 5 mm, simulation par le modèle de Page

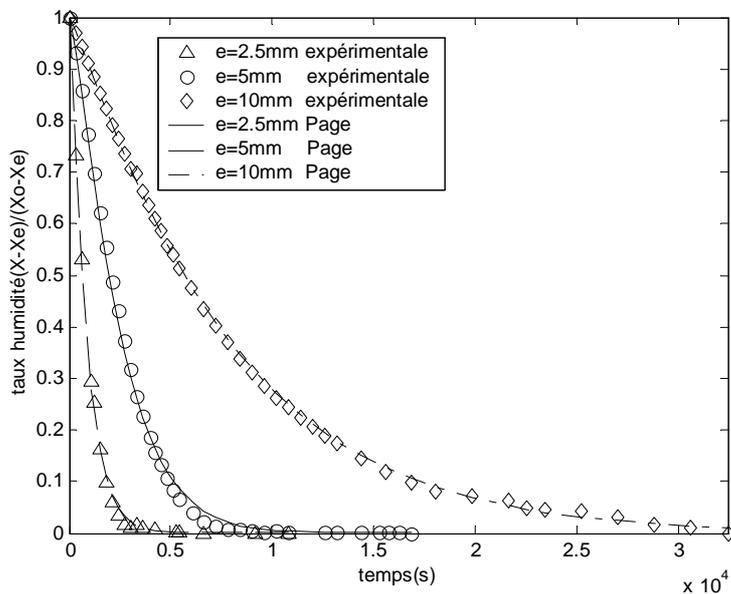


Figure3. Séchage convectif de la tranche de mangue à 70°C pour différentes épaisseurs de 2,5 à 10 mm, simulation par le modèle de Page

5. CONCLUSION

Dans ce travail, le séchage convectif de la variété de mangue «Amélie » est caractérisé. Les cinétiques de séchage à 50 °C, 60 °C et à 70 °C, l'isotherme de désorption à 40° C sont établies expérimentalement et simulées. Il ressort de cette étude que le modèle de Page décrit bien la cinétique de séchage de la mangue Amélie avec des résultats d'ajustement très satisfaisants. L'influence de la température et de l'épaisseur sur le séchage de la mangue Amélie est marquée. De ces courbes est identifiée la diffusivité effective qui varie de $7,49 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à 50 °C à $1,06 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 60 °C et $1,29 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à 70 °C. L'énergie d'activation (Ea) est évaluée à 25,35 kJ/mole. La teneur en eau optimale de conservation du produit séché est évaluée à 10,5% base sèche. La caractérisation du séchage de l' « Amélie », variété très commune en Afrique subsaharienne a ainsi permis de fournir des ordres de grandeur des caractéristiques des mangues face au séchage convectif.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) et la coopération française au Burkina Faso pour leur support financier.

Références Bibliographiques

- [1]. Jaya, S. et Das, H. Drying Technol. 21 (2003) 1215-1234.
- [2]. Falade, K. O. et Aworh, O. C. Europ. Food Res. Technol. 2004, 218(3), 278-283.
- [3]. Dissa, A., O. Séchage convectif de la mangue, analyse de l'influence des paramètres aérauliques et intrinsèques. Thèse de Doctorat unique de l'Université de Ouagadougou, 2007, Burkina Faso.
- [4]. Doymaz, I. J. Food Eng. 69 (2005) 275-279.
- [5]. Gogus, F. et Maskan, M. Drying Technol. 20 (1999) 83-894.
- [6]. Ertekin, C. et Yaldiz, O. J. Food Eng. 63 (2004) 349-359.
- [7]. Ruiz-López, I.I. et García-Alvarado, M. A. J. Food Eng. 79 (2007) 208-216.

CLARIFICATION ET CONCENTRATION DE JUS DE FRUITS TROPICAUX D'ORANGE ET DE MELON PAR DES TECHNIQUES MEMBRANAIRES

M. Cisse^{1*}, M. Sakho¹, M. Dornier², C.M. Diop¹, M. Reynes², O. Sock¹

1 ESP, B.P 5085 Dakar-Fann, Sénégal ² UMR QUALISUD - CIRAD, TA 50/PS4, 34398 Montpellier Cedex 5, France

* Auteur correspondant : madcisse@ucad.sn

Mots-clés : Microfiltration tangentielle ; évaporation osmotique ; qualité ; orange ; melon.

1. RESUME

La microfiltration tangentielle (MFT), technique de séparation membranaire et l'évaporation osmotique (EO), procédé athermique de concentration ont été utilisées à l'échelle semi-industrielle pour produire des concentrés de jus d'orange et de melon clarifiés à 450, 550 et 620 g d'extrait sec soluble /kg. Les caractéristiques du concentré d'orange ont été comparées à celles du concentré commercial obtenu par la technique classique d'évaporation sous vide. Les résultats montrent que le concentré d'évaporation osmotique présente une qualité physico-chimique et nutritionnelle meilleure que celle du concentré d'évaporation sous vide. Le jus de melon a été d'abord clarifié par microfiltration tangentielle puis concentré par évaporation osmotique (EO). Le flux du perméat moyen est relativement élevé (approximativement $80 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$). Après concentration du jus de melon clarifié à une teneur en extrait sec soluble de 550 g kg^{-1} , les caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et nutritionnelles sont très proches de celles du jus de melon frais.

2. INTRODUCTION

La microfiltration tangentielle permet d'obtenir des jus clarifiés à partir de jus pulpeux. Ces jus clarifiés peuvent être utilisés dans différents secteurs tels les boissons rafraîchissantes sans alcools, les cocktails, les liqueurs de fruits, la confiserie, la pâtisserie et les cosmétiques. Dans l'industrie des jus de fruits, l'opération de concentration revêt une importance particulière. En effet, l'élimination d'une partie de l'eau contenue dans les jus de fruits permet de diminuer leur volume et ainsi de limiter les coûts liés au stockage et au transport. La concentration des jus de fruits contribue également à améliorer leur stabilité en diminuant notamment l'activité de l'eau et le pH. Par ailleurs, les exigences des consommateurs en termes de qualité sont de plus en plus marquées. C'est pourquoi, les producteurs industriels de jus de fruits sont à la recherche de procédés de transformation qui respectent au mieux les qualités originelles des fruits. Ainsi plusieurs études ont permis de montrer que l'évaporation osmotique permet de concentrer les jus de fruits jusqu'à des teneurs en extrait sec soluble de l'ordre de 600 à 700 g.kg^{-1} [1] tout en limitant les pertes en vitamines. Ainsi les objectifs poursuivis au cours de cette étude sont d'une part, d'appliquer la microfiltration tangentielle sur des jus pulpeux et d'autre part, étudier la qualité des concentrés de jus de fruits tropicaux obtenus par évaporation osmotique sur un pilote semi-industriel.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Fruits et jus de fruits

Le jus d'orange utilisé est produit par l'entreprise TICOFRUIT S.A (San Carlos, Costa Rica). Le melon (*Cantaloupe*) a été fourni par EXPORPACK S.A. (Guanacaste, Costa Rica). Afin de diminuer la viscosité, le jus de melon a été traité par une pectinase (rapidase) à une dose de $0,15 \text{ mL.L}^{-1}$ pendant 1h avant microfiltration. L'humidité, l'extrait sec soluble, le pH, l'acidité titrable, la vitamine C, la densité, les solides insolubles en suspension ont été déterminés suivant des méthodes classiques [2]. Les polyphénols totaux et l'acide ascorbique sont dosés avec la méthode décrite par Georgé et al., (2005) [3]. Les caroténoïdes ont été extraits par un mélange éthanol/hexane (4:3, v/v) [4]. Ils sont ensuite analysés par HPLC [5] en utilisant les β -apo-8' comme étalon interne. Le saccharose, fructose, et glucose ont été également déterminé par HPLC [6]. La viscosité a été mesurée avec un viscosimètre capillaire de type Oswald. L'activité de l'eau a été déterminée avec un Aw-mètre de laboratoire (Aqua modèle CS-2). La flore totale, les levures, et moisissures ont été dénombrées suivant des méthodes standards [7].

3.2. Microfiltration tangentielle

L'installation semi-industrielle de microfiltration tangentielle utilisée a été réalisée par la société Soluciones Mecanicas Integrales (Bogota, Colombie). Elle est équipée d'un module membranaire de microfiltration en céramique à profilé multicanal, commercialisé sous la dénomination MEMBRALOX IP19-40 (EXEKIA-PALL, Bazet, France) de diamètre moyen des pores de $0,2 \mu\text{m}$ et de surface filtrante de $0,24 \text{ m}^2$. La conduite en mode avec alimentation en continue de jus de fruits et extraction continue de perméat et de rétentat a été adoptée

3.3. Concentration des jus de fruits

L'installation d'évaporation osmotique utilisée a déjà été décrite par Cisse et al. (2005) [8]. Le pilote se compose du module membranaire, de deux circuits indépendants correspondant respectivement au concentré de jus de fruit et à la saumure constitué de CaCl_2 à 5,5 M. L'unité dispose d'un module membranaire en fibres creuses en polypropylène d'une surface totale de 10 m^2 . Le jus à concentrer circule avec une vitesse moyenne tangentielle de $0,20 \text{ m s}^{-1}$ à l'intérieur des fibres. La boucle de concentration est alimentée de façon continue avec du jus clarifié à $6 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Etude des cinétiques de microfiltration tangentielle

L'évolution des flux de perméat de melon et d'orange durant les essais de microfiltration tangentielle sont représentées sur la figure 1. Le jus de melon du fait de sa teneur élevée en solides insolubles en suspension est préalablement traité par l'enzyme rapidase à une concentration de $0,15 \text{ mL.L}^{-1}$. Dans ces conditions, les résultats (Figure 1.a) montrent que le jus de melon peut être microfiltré en continue avec des flux moyens de densité de perméat acceptable ($75 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$), pendant que le rétentat est prélevé à un flux deux fois plus faible que celui du perméat ($35 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$). Ceci pour un rendement global en jus clarifié de 67 %. La turbidité du rétentat évolue d'une valeur initiale de 2800 NTU (Unité turbidité) approximativement à 8500 NTU lorsque le facteur de réduction volumique (FRV) 3 est

atteint. Les essais de clarification (Figure 1.b) du jus d'orange montrent, que malgré une régulation manuelle du débit de rétentat, le flux de perméat après 2,5 h est pratiquement constant sur toute la période de l'essai. En effet, une fois que le FRV 3,5 est atteint et que le rétentat est extrait en continu, on n'observe que de faibles fluctuations du flux de perméat. Le flux moyen de perméat est de $62 \text{ l.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ et le rendement de microfiltration est de 71 %. Ces résultats démontrent l'aptitude du jus de melon et du jus d'orange pour une application industrielle de la microfiltration tangentielle. Ces conclusions sont comparables avec d'autres résultats obtenus dans les industries du vin et de la pomme [9].

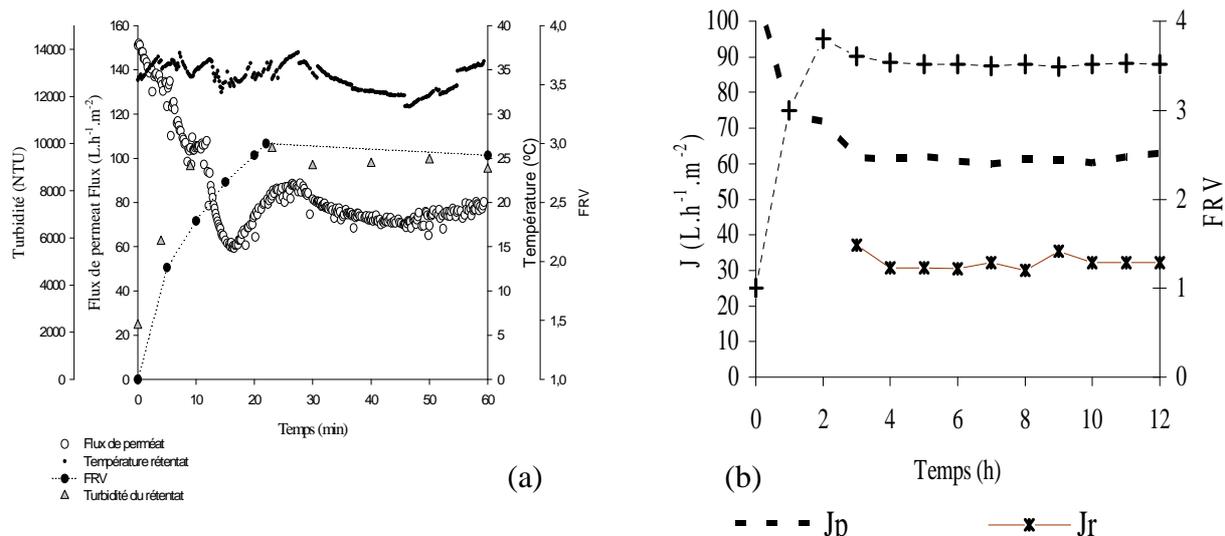


Figure 1 . Evolution des flux de perméat durant les essais de MFT en mode alimentation et extraction continue du perméat et du rétentat (a) : jus de melon (b) : jus d'orange.

4.2. Qualité des produits issus de la microfiltration

Les paramètres physico-chimiques, nutritionnels et microbiologiques, du jus initial (F), perméat (P), et rétentat à $\text{FRV}=3$ (R) du jus de melon et du jus d'orange ont été rapportés respectivement dans les tableaux 1 et 2. L'extrait sec soluble mesuré par un réfractomètre d'Abbe montre une teneur plus élevée dans le rétentat que dans le perméat aussi bien pour le jus de melon que pour le jus d'orange. La présence de la pulpe pourrait expliquer cette observation et des résultats similaires ont été rapportés lors de la microfiltration de jus de fruits [10]. Cette présence de solides insolubles en suspension interférerait avec les mesures de l'indice réfractométrique. Les concentrations des trois principaux sucres (glucose, fructose, et saccharose) ne sont pas considérablement différentes pour les jus clarifiés et les rétentats des deux jus. L'acidité titrable et le pH du jus frais, du perméat et du rétentat sont très proches. Ce résultat prouve l'absence de fermentation durant la conservation des jus clarifiés. Nous avons constaté que, dans le perméat de melon, la flore totale a très fortement chuté du fait probablement de la taille des pores de la membrane ($0,2 \mu\text{m}$). Plus de 85 % de la flore initiale se retrouve dans le rétentat ($3,0.10^4$). La MFT constitue bien une technique de stérilisation à froid. Pour les composés nutritionnels, particulièrement les polyphénols et la vitamine C, on note une répartition entre les perméats et les rétentats. Par contre les caroténoïdes se retrouvent quasiment au niveau du rétentat. Les perméats et rétentats de

melon, d'orange obtenus présentent des caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles très proches des jus initiaux pulpeux.

Tableau 1. Principales caractéristiques des produits du melon

	J F	R	P	C _{EO}
pH (20°C)	7,1	7,0	6,8	3,6
Activité d'eau (25°C)	0,89	0,99	0,99	0,88
Viscosité (25°C, mPa.s)	2,8	3,5	1,3	19,0
Densité (kg.m ⁻³)	1030	1028	1026	1204
Extrait sec soluble (g.kg ⁻¹)	88	91	70	550
Acidité titrable (acide citrique) (g.kg ⁻¹ ESS)	23	25	43	42
Glucose (g.kg ⁻¹ ESS)	125	148	162	157
Fructose (g.kg ⁻¹ ESS)	148	160	227	220
Saccharose (g.kg ⁻¹ ESS)	329	358	410	400
Caroténoïdes (g.kg ⁻¹ ESS)	0,45	1,45	Nd	Nd
Vitamine C (g.kg ⁻¹ ESS)	0,89	0,62	0,83	0,85
Polyphénol (g/100 g)	2,1	0,9	1,7	1,2
Flore totale (UFC,ml ⁻¹)	3 10 ⁴	3 10 ⁴	< 30	3 10 ³
Levures et moisissures (UFC,ml ⁻¹)	< 30	< 30	< 30	< 30

J F : Jus frais R : Rétenant P : Perméat C_{EO} : concentré
 évaporation osmotique

Tableau 2. Principales caractéristiques des produits de l'orange

	J F	R	P	C _{EO}	C _{ESV}
pH (20°C)	3,62	3,45	3,58	3,52	4,12
Activité d'eau (25°C)	0,98	0,97	0,99	0,77	0,75
Viscosité (25°C, mPa.s)	1,1	1,7	1,2	28,2	37,3
Densité (kg.m ⁻³)	1032	1045	1028	1290	1383
Extrait sec soluble (g.kg ⁻¹)	118	130	115	620	655
Acidité titrable (acide citrique) (g.kg ⁻¹ ESS)	68	62	61	60	44
Glucose (g.kg ⁻¹ ESS)	186	188	185	187	114
Fructose (g.kg ⁻¹ ESS)	220	221	220	219	134
Saccharose (g.kg ⁻¹ ESS)	491	494	489	487	291
Caroténoïdes (g.kg ⁻¹ ESS)	0,38	0,34	0,02	0,03	0,24
Vitamine C (g.kg ⁻¹ ESS)	3,7	3,3	3,5	3,2	1,6

C_{ESV} : concentré obtenu par évaporation sous vide

4.3. Evaporation osmotique des jus de fruits

La figure 2.a montre qu'en alimentant de façon continue la boucle de concentré avec du jus clarifié de melon, le degré de concentration passe de 70 à 550 g d'extrait sec soluble (ESS).kg⁻¹ en 9 heures. Au début de l'opération, la température du jus était de 27 °C, celle de la saumure de 30 °C et la concentration de celle-ci était de 5,5 moles de CaCl₂ l⁻¹. Dans ces conditions initiales, le flux évaporatoire est de 0,72 kg h⁻¹.m⁻². Le flux diminue ensuite accompagnant la baisse de concentration de la saumure. Lorsque le taux de concentration atteint 450 g ESS.kg⁻¹, malgré le maintien de la concentration de la saumure, le flux évaporatoire continue à baisser correspondant au même instant à une augmentation

exponentielle de la viscosité du jus qui passe de 55 à 160 mPa.s au sein de la boucle de concentration. Le flux évaporatoire atteint alors de $0,55 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ lorsque le jus atteint $550 \text{ g ESS.kg}^{-1}$. Quand la concentration de consigne a été atteinte ($550 \text{ g ESS.kg}^{-1}$), nous avons commencé l'extraction du concentré de façon continue avec un débit de $0,12 \text{ kg.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ pendant 3 heures.

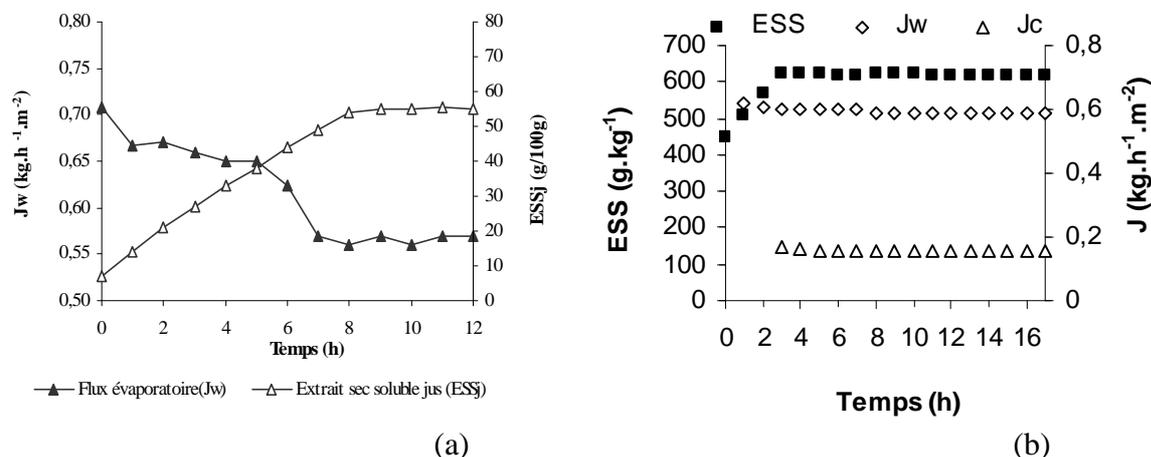


Figure 2. Evolution du flux évaporatoire, de la teneur en extrait sec soluble au cours de l'évaporation osmotique (a) : du jus de melon de 70 à $550 \text{ g ESS.kg}^{-1}$; (b) : du jus d'orange clarifié de 450 à $620 \text{ g ESS.kg}^{-1}$.

On peut déduire de cet essai que pour un faible degré de concentration, tout comme pour le cas de l'eau, le flux évaporatoire dépend principalement de la molarité de la saumure. Pour des concentrations plus élevées (supérieures à $400 \text{ g ESS.kg}^{-1}$), le flux évaporatoire dépend de façon prédominante du degré de concentration atteint dans la boucle, de la viscosité et aussi de la température du concentré. Ces résultats corroborent les conclusions obtenues sur un pilote de laboratoire avec des solutions de saccharose [11]. C'est pourquoi les essais d'évaporation osmotique sur le jus d'orange ont été réalisés suivant un mode à deux étages de concentration afin d'obtenir des flux évaporatoires constants pour chaque phase de concentration. : un premier étage de 115 à $450 \text{ g ESS.kg}^{-1}$, suivi d'un deuxième étage de 450 à $600 \text{ g ESS.kg}^{-1}$. Lors de ce dernier palier, nous avons rempli le circuit concentré avec du jus à $450 \text{ g ESS.kg}^{-1}$ et alimenté le circuit avec du jus clarifié à $115 \text{ g ESS.kg}^{-1}$. Ainsi les cinétiques présentées sur la Figure 4.b révèlent que, le flux évaporatoire devient constant après 3 à 4 h d'évaporation, et ceci pendant toute la durée de l'essai. Le flux évaporatoire varie de $0,7 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ à $0,67 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ lorsque la teneur en extrait sec soluble atteint 450 g.kg^{-1} . Il diminue jusqu'à $0,59 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ à une teneur en extrait sec soluble de 620 g.kg^{-1} .

4.4. Qualité des concentrés

L'expression des résultats par rapport à la matière sèche, montre que les jus clarifiés initiaux et les concentrés présentent des teneurs similaires en glucose, fructose, saccharose, acidité, vitamine C, β -carotène (Tableaux 1 et 2). Cette remarque est valable pour tous les jus de fruits. Les pertes en vitamine C et β -carotène sont insignifiantes ($\leq 5 \%$) tandis que celles en polyphénols sont relativement élevées (30 %). Ces pertes importantes en polyphénols pourraient être dues à la présence de polyphénols oxydases dans le jus clarifié. L'ensemble de

ces résultats sont très intéressants. Ainsi en comparant le concentré d'orange par évaporation osmotique avec le concentré obtenu par la technique classique d'évaporation sous vide (Tableau 2) on constate que les pertes en vitamine C, en saccharose, glucose, fructose, acidité titrable sont plus importantes dans ce dernier. En effet, elles sont de 39 % à 57 % dans le concentré d'orange obtenu par évaporation sous vide contre moins de 5 % dans le concentré d'évaporation osmotique.

5. CONCLUSION

Le procédé de clarification a été mené en continu sans générer de produits de valeur inférieure à celle du jus initial. Ainsi, avec le jus de melon, le flux de perméat est de $88 \text{ L.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ avec un rendement global de près de 70 %, contre en moyenne $62 \text{ L.h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ et 71 % pour le jus d'orange. Les perméats et rétentats de melon, d'orange obtenus présentent des caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles très proches de celles des jus initiaux pulpeux. L'évaporation osmotique permet d'obtenir des concentrés de melon à $550 \text{ g ESS.kg}^{-1}$. En développant un mode de conduite étagé et en continu, le pilote d'évaporation osmotique utilisé permet d'obtenir des concentrés de jus d'orange à $620 \text{ g ESS.kg}^{-1}$, avec un flux moyen compris entre $0,60$ et $0,70 \text{ kg h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ à une température située entre 28 et 30 °C. A l'issue de cette concentration, une bonne qualité organoleptique et nutritionnelle est conservée. Ainsi nous pouvons déduire que l'évaporation osmotique est adaptée à la concentration des jus de fruits tropicaux qui se caractérisent à la fois par leur côté fragile (couleur, arôme, nutriments) et par leur côté agressif (acidité, huiles essentielles).

Références bibliographiques

- [1]. Courel, M.; Dornier, M.; Rios, G.M. et Reynes, M. In *Eighth International Congress on Engineering and Food*, Vol. II, Technomic, Lancaster (2001) 1623-1627.
- [2]. AOAC. Arlington, USA7 AOAC (1990), 910– 928,
- [3]. George, S.; Brat, P. ; Alter, P. et Amiot, M.J. *J. Agric. Food Chem.* 53, (2005), 1370-1373.
- [4]. Taungbodhitham, A. K., Jones, G. P., Wahlqvist, M. L., & Briggs, D. R. *Food Chem.* 63, (1998), 577– 584.
- [5]. Caris-Veyrat, C.; Schmid, A. ; Carail, M. et Böhm, V. *Journal of Agric. and Food Chem.*, 51, (2003), 7318– 7325.
- [6]. Englyst, H. N. et Cummings, J. H.. *Analyst*,109, (1984), 937– 942.
- [7]. Vanderzant, C., et Splittstoesser, D. F. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*. Washington, DC7 Public Health Association, 1992.
- [8]. Cisse, M.; Vaillant, F. ; Dornier, M. ; Perez, A.M et Reynes, M.. *International J. of Food Science & Technology* 40, (2005), 105-116
- [9]. Daufin, G.; Escudier, J.; Carrere, H.; Fillaudeau, L.; et Decloux, M. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, 79, (2001), 89-102.
- [10]. Padilla-Zakour, O. et M. R. McLellan. *J. Food Sci.* 58 (1993), 369-374.
- [11]. Courel, M.; Dornier, M.; Herry, J.M.; Rios, G.M. et Reynes, M. *J.Membr.Sci*, 170, (2000), 281-289.

MODELE DE SIMULATION DYNAMIQUE DU PROCEDE D'EXTRACTION PAR SOLVANT D'HUILE OLEAGINEUSE.

C. T. Mbaye *, E. Tine, M. Mbengue

Laboratoire de Microbiologie Appliquée et de Génie Industriel. Ecole Supérieure Polytechnique, B.P 5085 Dakar (Sénégal).

* ctmbaye@ucad.sn

Mots clés : Huile oléagineuse; simulation dynamique; trituration ; extraction par solvant; évaporation multiple effet; SpeedUp.

1. RESUME

Les opérations unitaires du procédé d'extraction des huiles oléagineuses sont proches de celles rencontrées en génie chimique. C'est ainsi qu'il est possible d'espérer qu'une simulation dynamique du procédé complet puisse avoir des effets bénéfiques sur l'analyse de tels procédés. La littérature scientifique ne fournissant pas de méthodes générales de détermination des propriétés thermodynamiques des corps purs et des mélanges rencontrés dans les matières premières oléagineuses, il a donc semblé intéressant d'utiliser une approche basée sur une thermodynamique à façon sous forme de corrélation simplifiées et en employant des modèles de connaissance à partir des lois physiques qui gouvernent le système. L'outil de simulation est le logiciel SpeedUp. Le modèle dynamique proposé est très flexible

2. INTRODUCTION

Un atelier de trituration d'huile oléagineuse comporte généralement une unité d'extraction par solvant où l'huile est extraite par un miscella et une installation de distillation par évaporation

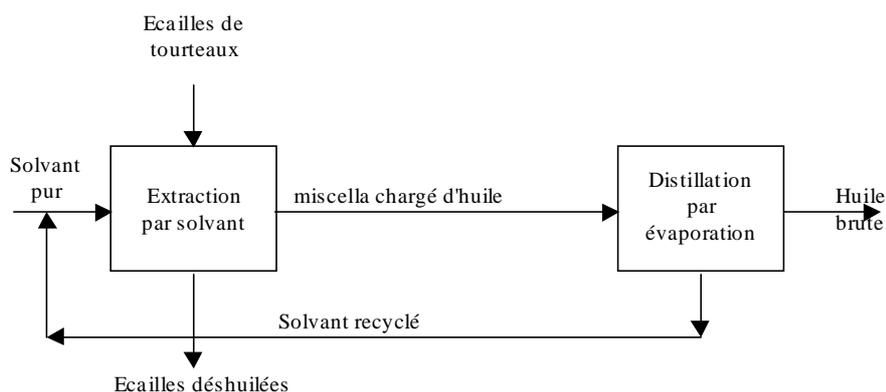


Figure 1. Schéma du couplage de l'opération d'extraction par solvant et de distillation par évaporation.

à multiple effet pour récupérer tout le solvant contenu dans le miscella et produire une huile brute prête pour le raffinage (Figure 1). Pour représenter le procédé global, la méthodologie a consisté à développer des modèles d'opérations unitaires de façon indépendante et ensuite à les connecter entre elles par des flux fluides de procédé et par des flux d'information [1-3]

3. ELABORATION DU MODELE

3.1. Modélisation du système d'extraction

Le principe de l'extracteur (Figure 2) est d'assurer le déplacement de la matière solide et du solvant de telle sorte que la matière s'appauvrisse régulièrement en huile, tandis que le solvant se transforme en miscella de plus en plus concentré. Les équations décrivant le comportement de l'extracteur [4,5] expriment notamment :

- les bilans dynamiques de matières de tous les constituants (matière solide, huile, solvant) et du système global d'extraction.

- l'hydrodynamique du système, c'est à dire le déplacement des fluides entre les étages. Il est basé sur des équations de type "déversoir" [6].

- les phénomènes de diffusion et de rétrodiffusion. Chaque étage est considéré comme une unité de séparation. Cependant, on distingue un modèle d'étage à dilution générale où on retrouve à la fois des phénomènes de diffusion et de rétrodiffusion et des modèles d'étages modifiés représentant l'entrée de solvant pur et de tourteaux qui ne sont pas concernés par la rétrodiffusion.

Le modèle proposé est compatible avec tous les types d'extracteurs industriels .

3.2. Modélisation du système d'évaporation

Le schéma du procédé comporte un évaporateur bi-étagé (Figure 2). On considère que l'évaporateur est une cuve contenant du miscella (huile et solvant). Il est déterminé par deux systèmes: un système vapeur et un système miscella. Les équations fondamentales du modèle sont établies en tenant compte d'un certain nombre d'hypothèses [7,8] :

- a) Le système biphasique miscella-vapeur est en équilibre;
- b) La vapeur saturante a une température qui dépend de la pression. Théoriquement la vapeur est surchauffée à la température d'ébullition du miscella, mais on suppose que cette surchauffe est négligeable par rapport à la chaleur de vaporisation;
- c) Les pertes d'énergie à l'environnement sont négligeables;
- d) La chaleur de concentration est négligeable.

3.3. Modélisation du système de régulation

Le système de régulation est composé de régulation de niveau, de pression et de qualité, des pompes et des vannes (Figure 3). Les variables principales de ce système sont : la stabilité de la qualité du produit final, l'intégration de l'évaporation dans le réseau vapeur de l'ensemble de l'atelier, le contrôle de fonctionnement de l'extracteur et des caisses d'évaporateur. La qualité du produit final est déterminée à partir des mesures de concentration en continu sur le miscella concentré sortant de la caisse d'évaporation.

Les régulateurs agissent sur la perte de charge, le débit par tour et l'efficacité volumétrique de la pompe. La modélisation de la vanne nécessite la prise en compte de

données qui lui sont relatives et permettant de relier le débit qui la traverse à l'action du régulateur qui la commande [9,10].

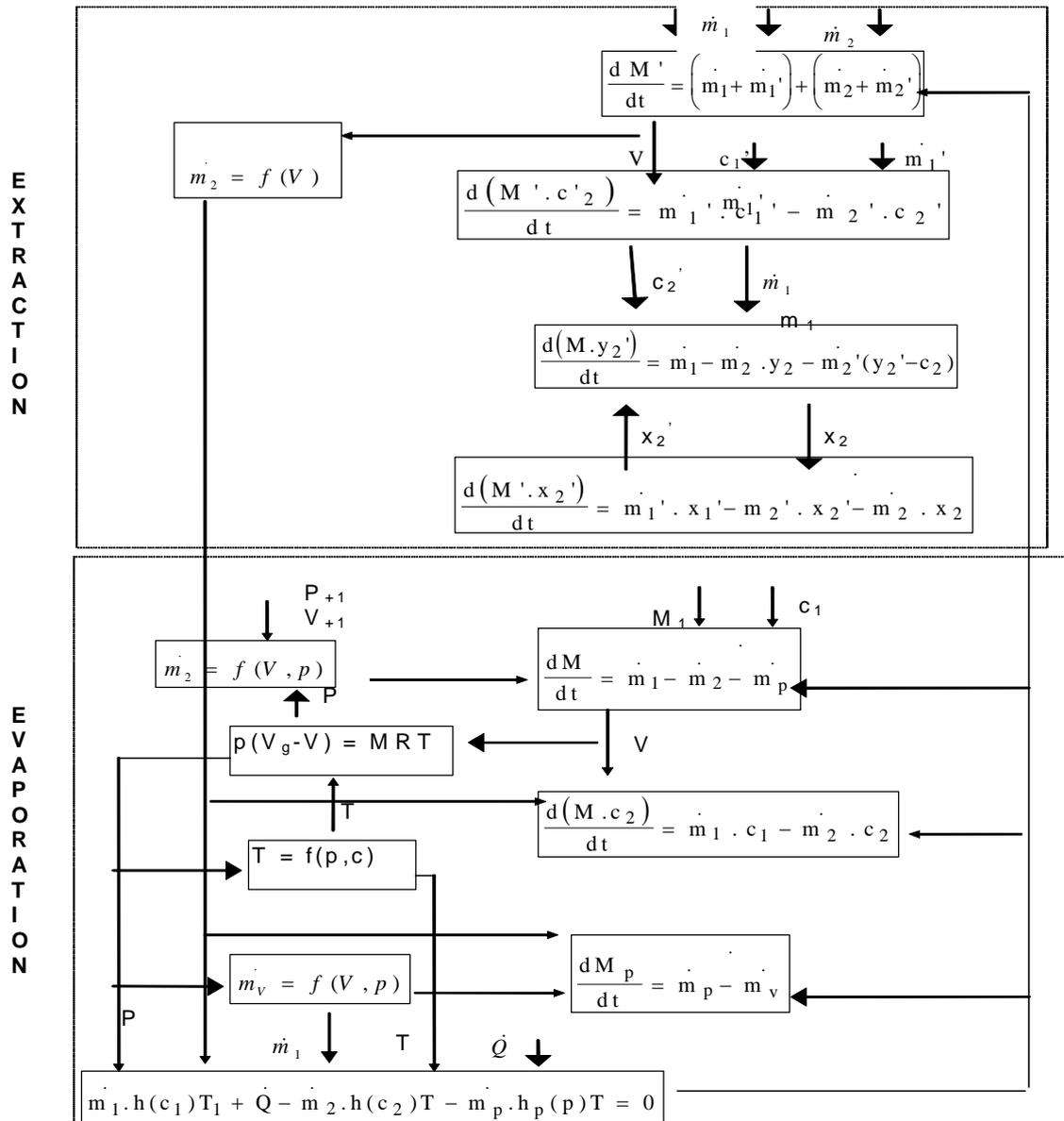


Figure 2. Schéma structural du modèle représentant l'atelier de trituration.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

La simulation doit permettre de vérifier si le procédé de trituration et son système de régulation respectent l'objectif principal qui est la stabilité de la masse et de la concentration du produit final : la concentration en huile. La validité numérique du modèle a été testée en analysant le comportement du système face à une forte perturbation de paramètre sensible tel que le débit d'alimentation en solution. Nous avons imposé une augmentation du débit

d'alimentation en solution (réservoir R₁) de 14,5 % pendant une période de 20 minutes, entre les temps t = 10 minutes et t = 30 minutes.

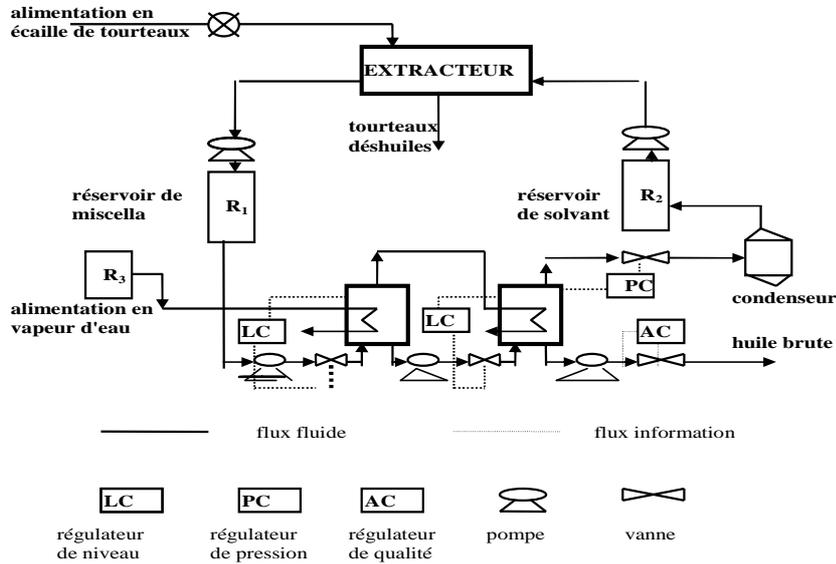


Figure 3. Schéma de principe du modèle simulé.

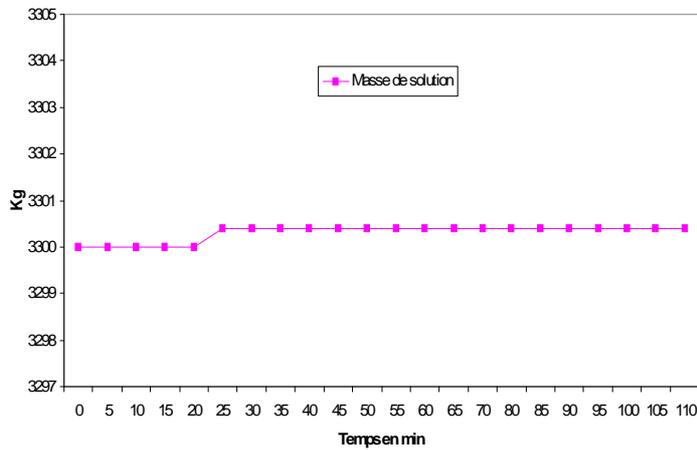


Figure 4. Incidence de la perturbation sur la masse de solution à la sortie du système.

La validité du modèle numérique est attestée par les courbes de simulation :

- On remarque qu'au bout de 20 minutes, la masse de la solution subit une variation dans le sens de la perturbation, mais qui reste insignifiante en valeur relative. (Figure 4)
- La perturbation du débit d'alimentation entraîne une variation de la concentration en huile dans l'évaporateur car la quantité de chaleur entrant dans l'évaporateur ne varie pas aussi rapidement que le débit d'alimentation. Mais les perturbations n'affectent pas la concentration en huile du produit final qui sort pratiquement pur (Figure 5)
- La quantité de chaleur cédée par le flux caloporteur (température fixée) est constante. La variation du débit d'alimentation (température ambiante) entraîne une variation de l'enthalpie de la solution. Ce qui est thermodynamiquement compatible (Figure 6).

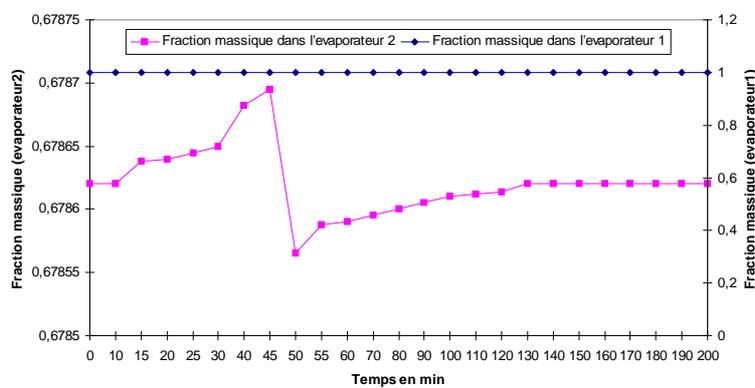


Figure 5. Influence de la perturbation sur la concentration du produit final

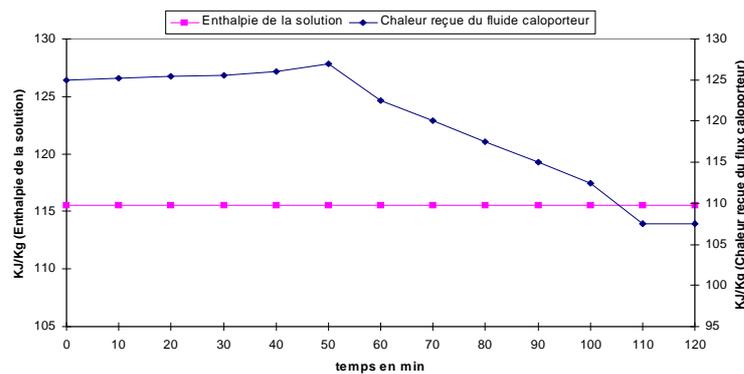


Figure 6. Influence de la perturbation sur l'enthalpie

5. CONCLUSION

La simulation dynamique d'un tel procédé industriel exige la représentation de deux types de phénomènes qui agissent l'un sur l'autre, à savoir la physique du système et la régulation nécessaire pour le contrôler. L'utilisation d'un logiciel avec intégration globale a permis d'opérer sur l'ensemble des équations indépendamment des modules qu'elles décrivent.

Le principal intérêt d'une telle approche réside dans le fait qu'elle n'a pas besoin de banques de données thermodynamiques. Elle peut ainsi être une alternative intéressante pour étudier la simulation des opérations de traitement de produits dont la composition est difficilement maîtrisable telle la matière première oléagineuse. Un autre avantage est que le simulateur peut intégrer toute modification ou amélioration technologique et s'adapter facilement aux stratégies globales de contrôle-commande.

Dans l'avenir ce type d'approche peut servir à analyser toute la chaîne de traitement des huiles en particulier les opérations unitaires de raffinage : démulagination, raffinage caustique, raffinage physique, décoloration, désodorisation et hydrogénation. Ceci pourrait aider à l'entraînement des opérateurs, à la discussion des stratégies de contrôle ou encore à l'investigation des effets des modifications de consignes et de conditions opératoires dans les industries de l'huilerie.

Notations utilisées

$C_{1,2}, C'_{1,2}$	concentration à l'entrée ou à la sortie de la phase liquide et de la phase solide.
$\dot{m}_{1,2}, \dot{m}'_{1,2}$	débit de la phase liquide et de la phase solide à l'entrée ou à la sortie.
\dot{m}_p	débit de la vapeur d'eau dans l'évaporateur
$x_{1,2}, x'_{1,2}$	fraction massique de l'huile de la phase liquide et de la phase solide.
$y_{1,2}, y'_{1,2}$	fraction massique du solvant de la phase liquide et de la phase solide
$Q_{1,2}$	chaleur de réchauffage à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur

Références Bibliographiques

- [1]. Karleskind, A. Manuel des corps gras, tome 2, 1992, pp. 1290-1296
- [2]. Chachroun, I. 1995. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [3]. Sargent, R.W. 11th Australian Conference of Chemical Engineering, Brisbane, 1983, pp. 141-149.
- [4]. Mbaye, C.T. 1996. Thèse doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [5]. Bobrow, S. et Ponton, . Can. J. Chem. Eng., 49 (1971) 391-397.
- [6]. Perry, R.H. et Chilton, C. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 5th ed, M.G. Hill: New York, 1984, pp. 5-17.
- [7]. Gomolka, W. 1985. Thèse de doctorat, Ecole centrale Paris.
- [8]. Bartuel, J-J. et Bardin M-C. Colloque simulation dynamique des procédés, Paris, 1986.
- [9]. Lucas, P.; Depeyre, D. et Isambert, A. The Use of Comp. In Chem. Eng. Conference, Gothenburg, 1988.
- [10]. Garcia, C. et Morari, M. I. Proc. Design Dev. 21 (1982) 308-323.

INFLUENCE DU TRAITEMENT ENZYMATIQUE DES AMANDES DE *RICINODENDRON HEUDELOTII* (BAIL.) PIERRE EX PAX SUR L'EXTRACTION ET LA QUALITÉ DE L'HUILE

Clergé Tchiégang^{1*}, Marthe Carine Ngo Oum Nlend¹, César Kapseu², Almeck Kétaona Aboubakar Dandjouma³, Michel Dzondo-Gadet⁴

¹ Laboratoire de Biochimie et Technologie Alimentaire, ENSAI BP 455 Ngaoundéré, Cameroun. ² Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI) ³ Laboratoire de Technologie Agro-Alimentaire, Institut de Recherche Agricole pour le Développement, BP 415 Garoua, Cameroun. ⁴ Laboratoire de Physicochimie et Génie Alimentaires (LPGA) ENSAIA-INPL Nancy, 2 Avenue de la forêt de Haye, Vandoeuvre Les Nancy 545005, France.

* clerge.tchiegang@caramail.com

Mots clés: *Ricinodendron heudelotii* ; amandes; traitements enzymatiques; extraction d'huile; qualité.

1. RESUME

L'influence du traitement enzymatique des amandes de *Ricinodendron heudelotii* sur l'extraction et la qualité de son huile a été étudiée. Deux enzymes Neutrase 0,5L (Protéase) et Viscozyme L (complexe multi-enzymatique)) ont été utilisées pour incuber les amandes telles quelles. Les huiles des amandes ainsi traitées ont été extraites à l'hexane ou à l'aide d'une presse hydraulique manuelle. Les résultats ont montré que le rendement d'extraction augmente avec la concentration en enzyme et le temps d'incubation quelle que soit l'enzyme, Viscozyme L ayant donné le rendement d'extraction le plus élevé. L'analyse des huiles a montré que le traitement enzymatique a une influence significative ($p < 0,05$) sur les indices de peroxyde, d'iode et de saponification alors que l'acidité de l'huile n'est pas modifiée avec le traitement des amandes quel que soit le mode d'extraction. En général, les huiles obtenues sont de bonne qualité car les indices d'acide et de peroxyde restent inférieurs aux valeurs limites préconisées pour les huiles alimentaires. Il est par conséquent confirmé que le traitement enzymatique des amandes de *Ricinodendron heudelotii* améliore le rendement d'extraction de son huile.

2. INTRODUCTION

Ricinodendron heudelotii, plante de la famille des Euphorbiacées est une espèce végétale non domestiquée dont les fruits occupent une place importante dans l'alimentation des populations des zones de production en Afrique. Ces amandes entrent aussi dans les préparations condimentaires.

Les amandes et l'huile de *njansan* attirent de plus en plus les chercheurs d'Afrique Centrale. Les amandes ont une teneur en huile qui varie selon les zones agroclimatiques de 45 à plus de 63%. Les protéines et glucides totaux des amandes telles quelles sont respectivement de

l'ordre de 22 à 28 % matière sèche (MS) et de 2,5 à 5,5 % de MS [1-3]. L'huile de *R. heudelotii* est riche en acides gras polyinsaturés dont l'acide α -élaéostéarique est majeur à plus de 50 % des acides gras totaux [1, 4-6].

Divers travaux ont été initiés dans le but de produire par pressage l'huile des amandes de *R. heudelotii* [3,7]. Plus récemment, Aboubakar Dandjouma *et al.* [8] ont traité les amandes broyées de *R. heudelotii* avec ProtamexTM (protéase) et Celluclast® 1.5 LFG (cellulase). Dans la présente étude, les amandes entières (non broyées) ont été traitées avec Neutrased (Protéase) et Viscozyme L (complexe multi-enzymatique contenant de l'arabanase, de la cellulase, de la β -glucanase, de l'hémicellulase et de la xylanase). Le choix des enzymes a été motivé par la volonté de tester une large gamme possible d'enzymes afin de choisir à terme la plus efficace. Il s'agit après traitement d'apprécier les effets de ces traitements sur les rendements d'extraction et la qualité des huiles extraites quand on sait que l'action des enzymes sur la paroi dépend de sa composition chimique.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

Le matériel végétal constitué des amandes de *R. heudelotii*, provient de Bafia, dans la province du Centre du Cameroun.

Les enzymes utilisées pour le traitement des amandes de *njansan* sont Neutrased® 0,5 L et Viscozyme® L (Novozyme A/S, Bagsvaerd, Denmark). Les deux enzymes dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 se présentent sous forme liquide de couleur brune avec des densités respectives de 1,2 g/ml pour Viscozyme et 1,25 g/ml pour la Neutrased. Neutrased est une endoprotéase et Viscozyme L, un complexe multi-enzymatique contenant des carbohydrases (arabanase, cellulase, β -glucanase, hémicellulase et xylanase).

Tableau 1 : Caractéristiques des enzymes utilisées.

Enzymes	Classe	Source	pH optimal d'activité	Température optimale (°C)	Activité enzymatique
Neutrased	Protéase	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	5,5 - 7,52	45 - 55	0,5 AU*/g
Viscozyme L	Complexe multi-enzymatique	<i>Aspergillus aculeatus</i> .	3,5 – 5,5	25 – 55	100 FBG**/g

* Anson Units, ** Fungal Beta-Glucanase Units

3.2. Méthodes

3.2.1. Traitement enzymatique des amandes

100 g d'amandes sont introduits dans un bocal en verre contenant 200 ml d'eau distillée préchauffée à 50 °C. Une quantité de 0,1g, 0,2g ou 0,4g d'enzyme (Neutrased ou Viscozyme L), est ensuite ajoutée dans le bocal en verre et l'ensemble est remué à l'aide d'une spatule en acier inoxydable. Le pH de la solution est ajusté à 7, pour la solution contenant la Neutrased, et à 5 pour celle contenant la Viscozyme L, avec des solutions de NaOH 0,1 M et HCl 0,1 M. Le

bocal fermé avec un couvercle métallique inoxydable, est incubé pendant 1, 2 ou 3 heures dans un bain marie réglé à 50 °C. A la fin de l'incubation, l'enzyme est inactivée en portant le bocal à 80 °C pendant 5 min. Pour cela, la solution enzymatique est écartée et remplacée par de l'eau distillée chauffée à 80 °C. Un témoin est également incubé dans l'eau distillée sans enzyme à 50 °C pendant 1, 2, ou 3h puis à 80 °C pendant 5 min. On a ainsi 9 traitements à réaliser pour chaque enzyme afin de déterminer les conditions optimales (concentration en enzyme et temps d'incubation) de traitement des amandes, soient 18 traitements pour les deux. Le témoin est réalisé dans les mêmes conditions mais sans traitement enzymatique. Le dispositif expérimental est de 2*3*3 : soit 2 types d'enzymes, 3 concentrations, 3 temps d'incubation et une température.

3.2.2. Extraction de l'huile des amandes traitées

Après traitement enzymatique par Viscozyme L et Neutrased, les amandes sont broyées et utilisées pour l'extraction de l'huile à l'hexane [9] ou à la presse [3].

3.2.3. Etude de la qualité de l'huile de *Ricinodendron heudelotii*.

Les méthodes décrites dans les normes UICPA [9] ont permis de déterminer les indices d'acide, d'iode, de peroxyde et de saponification. Ces analyses aident à évaluer l'influence du traitement enzymatique sur la qualité de l'huile extraite après traitement des amandes en comparaison à celle extraite des amandes non traitées.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Influence du traitement enzymatique des amandes de *Ricinodendron heudelotii* sur le rendement d'extraction de l'huile

4.1.1. Extraction de l'huile au solvant

Dans le tableau 2 sont regroupés les différents résultats des rendements d'extraction obtenus après traitement des amandes par Neutrased et Viscozyme L.

Tableau 2 : Rendements d'extraction de l'huile (g/100g MS) des amandes de *R. heudelotii* traitées par Neutrased et Viscozyme L.

Durée d'incubation (heures)	Concentration en enzyme (g/100 g d'amandes)	Viscozyme L	Neutrased
1	0,1	70,82 ± 0,46 ^a	66,09 ± 0,73 ^a
	0,2	71,46 ± 1,10 ^{ab}	69,71 ± 1,09 ^{bc}
	0,4	72,49 ± 0,83 ^b	70,74 ± 0,37 ^{cd}
2	0,1	72,04 ± 0,28 ^{ab}	66,63 ± 0,28 ^a
	0,2	74,99 ± 0,69 ^{cd}	69,97 ± 0,90 ^{bcd}
	0,4	74,23 ± 0,82 ^c	71,04 ± 0,33 ^{cd}
3	0,1	72,31 ± 0,16 ^b	68,60 ± 0,86 ^b
	0,2	75,96 ± 0,51 ^d	71,46 ± 1,15 ^{de}
	0,4	76,03 ± 1,24 ^d	72,67 ± 1,61 ^e
Amandes témoin		62,75 ± 0,16	

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant dans la même colonne ne sont pas significativement différents (p > 0,05).

Le traitement enzymatique des amandes a une influence significative ($p < 0,05$) sur le rendement d'extraction de l'huile. Le rendement d'extraction augmente avec la concentration en enzyme. Toutefois, quels que soient l'enzyme et le temps d'incubation, il n'existe pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les rendements d'extraction obtenus après traitement des amandes avec 0,2 g d'enzyme /100 g d'amandes entières et 0,4 g d'enzyme /100 g d'amandes entières. Des résultats similaires ont été obtenus par Aboubakar Dandjouma *et al.* [8]. Par rapport au type d'enzyme, Viscozyme L (complexe enzymatique) donne des rendements d'extraction supérieurs à ceux observés après traitement des amandes avec Neutrase (protéase). L'augmentation de la teneur en huile après traitement enzymatique des amandes de *njansan* serait le résultat de l'hydrolyse des inclusions cytoplasmiques, ou de constituants de la paroi cellulaire.

En définitive, les conditions optimales de traitement des amandes de *njansan* sont les couples (0,2 % de chaque enzyme, 3 h) ou (0,4 % de chaque enzyme, 3h).

4.1.2. Extraction de l'huile à la presse

Après avoir déterminé les conditions optimales de traitement des amandes, 200g d'amandes ont été traitées pendant 3 h en respectant le rapport 0,2 g d'enzyme /100 g d'amandes. Les amandes ainsi traitées ont été broyées et l'huile extraite à la presse. Le taux d'extraction qui représente le rapport de la quantité d'huile extraite par presse sur la quantité d'huile extraite au solvant a été déterminé. Quelle que soit l'enzyme utilisée, le taux d'extraction de l'huile augmente significativement ($p < 0,05$) avec le traitement enzymatique des amandes (Tableau 3).

Tableau 3. Rendements et taux d'extraction de l'huile après pressage des amandes

Traitements	Rendements (g d'huile/100g MS)	Taux
Viscozyme L	47,14 ± 0,66 ^a	75,39 ± 1,06 ^a
Neutrase	45,10 ± 0,06 ^b	72,27 ± 0,10 ^b
Sans enzyme	40,72 ± 0,57 ^c	65,12, ± 0,91 ^c

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant dans la même colonne ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$).

4.2. Etude de la qualité de l'huile

Les huiles ont été extraites au solvant ou à la presse après traitement des amandes de *njansan* avec 0,2 g d'enzyme /100 g d'amandes pendant 3 h. Ces huiles ont été analysées afin d'apprécier l'influence du traitement enzymatique des amandes sur leur qualité. Les paramètres contrôlés sont l'indice d'acide, l'indice d'iode et l'indice de peroxyde (Tableau 4). Le témoin est l'huile extraite à l'hexane ou à la presse à partir des amandes non traitées par les enzymes.

Le traitement enzymatique n'a pas d'influence significative ($p > 0,05$) sur l'acidité des huiles. Toutefois, les huiles issues du pressage quelle que soit l'enzyme restent moins acides que celles obtenues avec l'hexane. Contrairement à l'indice d'acide, l'indice de peroxyde connaît une variation significative ($p < 0,05$) avec le traitement enzymatique, les huiles les plus oxydées étant celles obtenues après traitement à Viscozyme L. Quelle que soit l'enzyme,

l'extraction à la presse donne des huiles moins oxydées que celles extraites à l'hexane. La tendance à l'augmentation de l'indice de peroxyde des huiles issues de matière première traitée aux enzymes a également été relevée pour diverses matières oléagineuses [8, 10, 11].

Tableau 4. Caractéristiques chimiques comparées des huiles extraites à l'hexane et par pressage après traitement enzymatique des amandes

Mode d'extraction	Traitements	Caractéristiques chimiques			
		Indice d'acide	Indice de peroxyde	Indice d'iode	Indice de saponification
Hexane	Viscozyme L	3,26 ± 0,01 ^b	7,48 ± 0,33 ^d	150,51 ± 0,42 ^a	215,95 ± 0,76 ^b
	Neutrased	3,24 ± 0,00 ^b	6,32 ± 0,20 ^b	151,75 ± 0,75 ^b	211,57 ± 1,11 ^{ab}
	Témoin	3,18 ± 0,17 ^b	6,00 ± 0,29 ^b	152,00 ± 0,43 ^b	210,10 ± 0,69 ^a
Presse	Viscozyme L	2,20 ± 0,00 ^a	7,06 ± 0,18 ^c	153,26 ± 0,76 ^c	203,69 ± 0,36 ^e
	Neutrased	2,18 ± 0,01 ^a	6,07 ± 0,15 ^{ab}	153,75 ± 0,87 ^{cd}	202,81 ± 0,82 ^d
	Témoin	2,19 ± 0,00 ^a	5,91 ± 0,03 ^a	154,76 ± 0,76 ^d	201,65 ± 0,84 ^c

Les résultats ayant les mêmes lettres en exposant dans la même colonne ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$).

Indépendamment de la nature de l'enzyme, les huiles issues du pressage ont des indices d'iode plus élevés que celles issues d'une extraction à l'hexane. L'extraction de l'huile par pressage n'a pas une influence significative sur l'indice d'iode ($p > 0,05$). Après traitement des amandes par Neutrased et Viscozyme L, seule l'huile extraite des amandes traitées par Viscozyme L montre une diminution de l'indice d'iode par rapport au témoin, ceci pour les deux modes d'extraction. Tout comme les indices d'iode et de peroxyde, l'indice de saponification est significativement influencé ($p < 0,05$) par le traitement enzymatique. Viscozyme L donnant toujours une valeur plus élevée que la Neutrased qui à son tour dépasse le témoin.

5. CONCLUSION

Le traitement enzymatique des amandes de *R. heudelotii* a une influence sur le rendement d'extraction de l'huile. Dans les conditions optimales, les amandes peuvent être traitées avec 0,2 % ou 0,4% d'enzyme pendant 3 heures. Les huiles obtenues sont de qualité appréciable car les indices d'acide et de peroxyde sont inférieurs aux valeurs limites préconisées pour les huiles vierges alimentaires. L'ensemble des données permet également d'envisager en milieu paysan, l'application d'un traitement enzymatique des amandes non broyées de *R. heudelotii* avant l'extraction de l'huile par pressage. Par ailleurs l'usage de mélanges d'enzymes (cellulase, carbohydrase et protéase) pourra être testé et aussi des analyses fines viendraient clarifier les effets de l'utilisation des enzymes sur la qualité de l'huile.

Remerciements

Ce travail a bénéficié du concours de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF).

Références bibliographiques

- [1]. Tchiégang, C. ; Kapseu, C. ; Ndjouenkeu, R. et Ngassoum, M.B. J. Food Eng. 32 (1997) 1-10.
- [2]. Tiki Manga, T. ; Fondoun, J.M. ; Kengue, J. et Tchiégang, C. African Crop Sci. J. 8 (2000) 195-201.
- [3]. Tchiégang, C. ; Aboubakar Dandjouma, A.K. ; Kapseu, C. et Parmentier, M. J. Food Eng. 58 (2003) 363-371.
- [4]. Hilditch, T.P. et Riley, J.P. J. Chem. Soc. Ind. 65 (1946) 74-81.
- [5]. Kapseu, C. et Tchiégang, C. J. Food Lipids 2 (1995) 87-88.
- [6]. Kapseu, C. Riv. Ital. Sostanze Grasse LXXV (1998) 295-298.
- [7]. Tchiégang, C.; Aboubakar Dandjouma, A.K.; Kapseu, C. et Parmentier, M. J. Food Eng. 68 (2005) 79 – 87.
- [8]. Aboubakar Dandjouma, A.K.; Tchiégang, C.; Kapseu, C.; Linder, M. et Parmentier M. Int. J. Food Sci. Technol. (2007) (sous presse).
- [9]. UICPA . Méthodes d'analyse des matières grasses et dérivés. (6^{ème} éd.) Lavoisier , Tec et Doc : Paris (France) 1979.
- [10]. Aboubakar Dandjouma, A.K. ; Tchiégang, C. ; Kapseu, C. ; Linder M. et Parmentier M. Riv. Ital. Sostanze Grasse LXXXIII (2006) 278 – 284.
- [11]. Ranalli, A.; Gomes, T.; Delcuratolo, D.; Contento, S. et Lucera L. J. Agric. Food Chem. 51 (2003) 2597-2602.

DETERMINATION DES ENERGIES D'ATTRACTION INTERMOLECULAIRE DE L'HYSTERESE DES

ISOTHERMES DE SORPTION D'EAU DE L'AMANDE DE KARITE (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.)

Gilles Bernard Nkouam^{1*}, Bup Divine Nde¹, Danielle Barth², Michel Dirand², César Kapseu¹

¹ Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI-Université de Ngaoundéré, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun, ² Laboratoire de Thermodynamique des Milieux Polyphasés, ENSIC-INPL, B.P. 20451 1, rue Grandville, 54001 Nancy Cedex.

*gillesnkouam@yahoo.fr

Mots clés : *Vitellaria paradoxa* Gaertn. ; sorption ; hystérésis ; modèle ; conservation.

1. RESUME

L'hystérésis est un phénomène qui dépend de la température, de l'activité de l'eau, de la teneur en eau et de l'énergie de surface. Le phénomène d'hystérésis a été mis en évidence dans la gamme de température de 25 à 55°C. Afin de prédire les données de sorption à d'autres températures, un modèle semi empirique a été utilisé. Les résultats indiquent que l'énergie d'attraction intermoléculaire est toujours supérieure en désorption qu'en adsorption à température constante, autant en condition isobare que de teneur en eau constante. L'application des données expérimentales a permis de déterminer une équation qui permet d'obtenir mathématiquement les données de sorption de l'amande de karité jusqu'à une activité de l'eau de 0,9.

2. INTRODUCTION

Le phénomène par lequel à une température et une activité de l'eau données un adsorbant contient plus d'eau pendant la désorption que pendant l'adsorption est appelé hystérésis. Un agrandissement de la boucle d'hystérésis est indicatif d'une augmentation de la stabilité des produits stockés, tandis qu'une boucle moins prononcée indique une réduction de cette stabilité. L'hystérésis donne également une idée de l'énergie à fournir pour sécher un produit [1]. Si la boucle est importante, il faudra plus d'énergie pour le séchage. Les théories sur ce phénomène laissent apparaître la condensation capillaire et l'adsorption physique. Aucune théorie ne donnant à elle seule une complète explication du phénomène. A notre connaissance, aucune équation ne donne une relation directe entre l'activité de l'eau, la teneur en eau et la température. Les descriptions mathématiques aideraient à prédire les conditions de conservation des produits agricoles, surtout dans les pays du Sud où les activités agricoles aident à lutter contre la pauvreté des populations rurales. Parmi ces produits, le karité occupe une place de choix dans les pays tropicaux [2, 3]. Il se retrouve de l'Ouest à l'Est de l'Afrique [4] où il pousse exclusivement en zones des climats soudano-guinéens [5].

Caurie [5] a développé récemment une équation dans les conditions isobare et de teneur en eau constante. Nous nous proposons d'adapter cette équation afin de l'appliquer aux données expérimentales obtenues sur les amandes de karité par notre équipe de recherche [6]. L'objectif de ce travail est de déterminer les énergies d'attraction intermoléculaire de la monocouche et de prédire les isothermes de sorption en fonction de la température.

3. METHODES

3.1. Boucle d'hystérésis

La figure 1 représente la boucle d'hystérésis dans laquelle OBET est la courbe d'adsorption et TAO celle de désorption de la boucle [5]. Toute théorie d'hystérésis devrait expliquer pourquoi la courbe de désorption dévie de celle d'adsorption utilisée comme isotherme de référence. La boucle d'hystérésis pourrait être décrite à partir de la courbe d'adsorption verticalement à activité de l'eau constante selon la droite BA ou horizontalement à teneur en eau constante selon la droite CA.

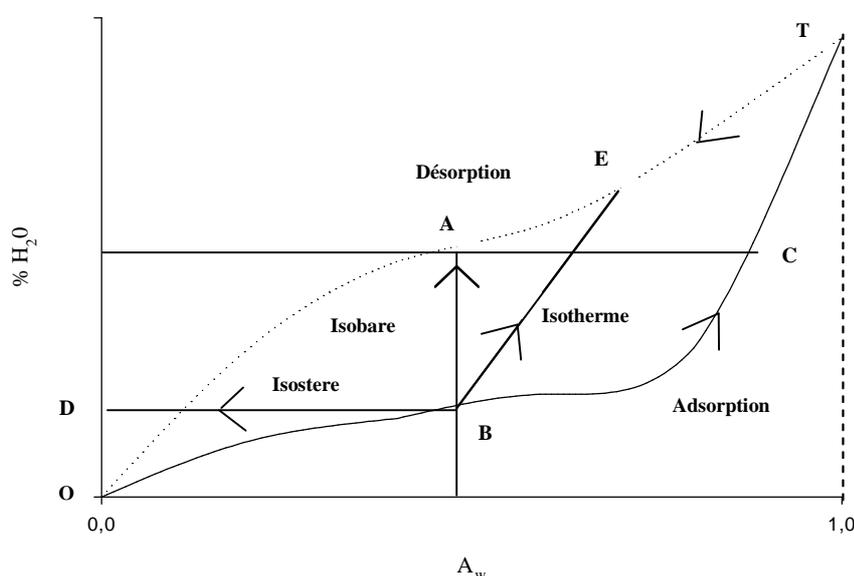


Figure 1. Schéma d'une boucle d'hystérésis, de l'isobare BA, de l'isostère AC et des isothermes par Caurie [5]

3.2. Equation d'hystérésis

Caurie [5] établit l'équation ci-dessous pour expliquer le phénomène d'hystérésis :

$$m\left(\frac{1}{a} - a\right) = K \exp\left(B \cdot \frac{Q}{T}\right) \quad (1)$$

où $K = B =$ constante, $m =$ teneur en eau à activité de l'eau a , $Q =$ énergie d'attraction intermoléculaire ($\text{cal gmol}^{-1} \text{K}^{-1}$) de la monocouche, $T =$ température ($^{\circ}\text{K}$).

Des données expérimentales de m et a , on trouve K et B pour chaque température.

3.3. Calcul de l'énergie d'attraction intermoléculaire de la monocouche (Q) et prédiction des isothermes

La courbe d'adsorption reste notre courbe référence. Les valeurs des paramètres K et B sont alors celles obtenues en adsorption. Les données utilisées en désorption pour cette validation

(calcul de Q en désorption) sont uniquement les teneurs en eau. L'équation (1) a également servi à prédire les données de sorption. Le cas de 18°C a été traité parce que cette température est souvent atteinte dans la région de provenance des graines de karité. A l'aide du logiciel Sigma plot [7], les valeurs de K, Q et B sont tracées en fonction de la température.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Boucle d'hystérésis de l'amande de karité

On observe qu'à une température et une activité de l'eau données (Figure 2), la teneur en eau en désorption est plus élevée qu'en adsorption. Cette observation est valable de 35 à 55°C. Ceci proviendrait du fait que l'énergie de désorption est supérieure à celle d'adsorption.

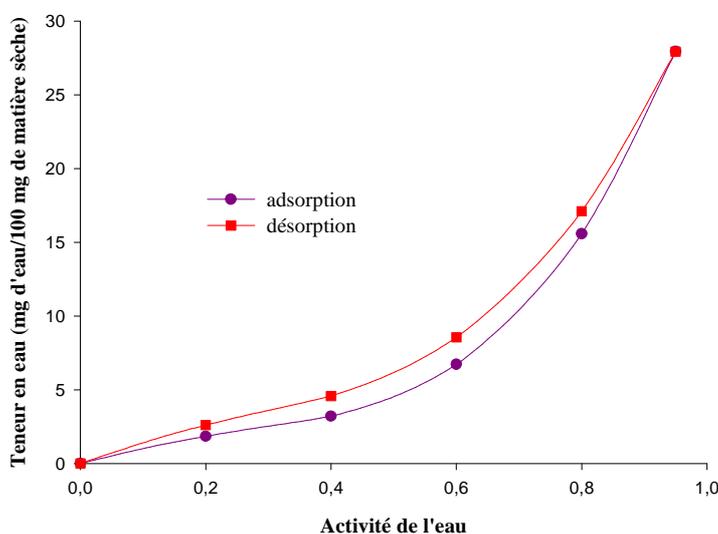


Figure 2 . Les isothermes d'adsorption et de désorption de l'amande de karité à 25°C

4.2. Calcul de l'énergie d'attraction intermoléculaire de la monocouche (Q)

On observe que quelque soit le sens de sorption Q augmente avec l'augmentation de la teneur en eau lorsque l'on se rapproche des faibles activités de l'eau (Tableaux 1 et 2). Ceci s'expliquerait par le fait que la teneur en eau et l'inverse de l'activité de l'eau sont proportionnelles à Q. En plus, aux faibles pressions de vapeur, Q serait plus élevée en raison de la proximité de la distance intermoléculaire entre les molécules d'eau [8]. La comparaison des valeurs expérimentales et théoriques des teneurs en eau à 25, 35, 45 et 55°C donne, jusqu'à 0,8 a, un coefficient de détermination de 0,99, quelque que soit le sens de sorption. L'équation (1) peut alors servir à la prédiction des isothermes de sorption d'eau.

Tableau 1. Valeurs de l'énergie d'attraction intermoléculaire de la monocouche (Q) en adsorption et en désorption en condition isobare à 25°C.

T (°C)	a	m _{ads}	m _{dés}	K	Q _{ads} (kcal/mol)	Q _{dés} (kcal/mol)	ΔQ(kcal/mol)
25	0,20	1,83	2,60	5,20	0,25	0,50	0,25

	0,20	3,21	4,58	5,20	0,65	0,90	0,25
	0,20	6,72	8,55	5,20	1,17	1,34	0,17
	0,20	15,57	17,10	5,20	1,77	1,84	0,07
	0,20	27,94	27,94	5,20	2,19	2,19	0,00
25	0,20	1,83	2,60	3,42	0,54	0,79	0,25
	0,20	3,21	4,58	3,42	0,95	1,20	0,25
	0,20	6,72	8,55	3,42	1,47	1,64	0,17
	0,20	15,57	17,10	3,42	2,07	2,14	0,07
	0,20	27,94	27,94	3,42	2,49	2,49	0,00

a : activité de l'eau ; m_{ads} : teneur en eau en adsorption ; $m_{dés}$: teneur en eau en désorption ; K : constante ; Q_{ads} : Q en adsorption ; $Q_{dés}$: Q en désorption ; $\Delta Q = Q_{dés} - Q_{ads}$

Tableau 2 . Valeurs de l'énergie d'attraction intermoléculaire de la monocouche (Q) en adsorption et en désorption en condition isostère à 25°C.

T (°C)	a	m_{ads}	$m_{dés}$	K	Q_{ads} (kcal/mol)	$Q_{dés}$ (kcal/mol)	ΔQ (kcal/mol)
	0,20	1,83	2,60	5,20	0,25	0,50	0,25
	0,40	1,83	2,60	5,20	-0,46	-0,21	0,25
	0,60	1,83	2,60	5,20	-1,03	-0,78	0,25
	0,80	1,83	2,60	5,20	-1,73	-1,48	0,25
	0,95	1,83	2,60	5,20	-2,85	-2,60	0,25
25	0,20	1,83	2,60	3,42	0,54	0,79	0,25
	0,40	1,83	2,60	3,42	-0,16	0,09	0,25
	0,60	1,83	2,60	3,42	-0,74	-0,49	0,25
	0,80	1,83	2,60	3,42	-1,44	-1,19	0,25
	0,95	1,83	2,60	3,42	-2,55	-2,30	0,25

a : activité de l'eau ; m_{ads} : teneur en eau en adsorption ; $m_{dés}$: teneur en eau en désorption ; K : constante ; Q_{ads} : Q en adsorption ; $Q_{dés}$: Q en désorption ; $\Delta Q = Q_{dés} - Q_{ads}$

4.3. Prédiction des isothermes

Les tracés des valeurs moyennes de K et B ont permis d'obtenir les équations de régression polynomiales de la forme : $y = y_0 + ux + vx^2 + wx^3$ où y_0 , u, v et w sont des constantes. Le tracé des valeurs de l'énergie d'attraction intermoléculaire de la monocouche en désorption, et en fonction de la température, donne également des équations polynomiales de troisième ordre tandis qu'en adsorption on obtient plutôt une équation linéaire. Les constantes et les coefficients de détermination (R^2) de ces équations à 18°C sont rassemblés dans le tableau 3. A partir de ces équations, les paramètres à 18°C ont été déterminés (Tableau 4). Par rapport à l'évolution des valeurs expérimentales, à 0,95 a, la teneur en eau théorique est environ 7,4 fois supérieure. La déviation des teneurs en eau à 0,95 a s'expliquerait par la signification de la constante C. En effet, la valeur de C est proportionnelle à la densité d'eau adsorbée, mais inversement proportionnelle au nombre de couches d'eau adsorbées. Ainsi, au delà de 0,90 a, c'est la loi de Raoult pour les solutions diluées qui s'applique [8]. L'équation développée pour la prédiction des isothermes de sorption de l'amande de karité est alors valable jusqu'à 0,90 a.

Tableau 3. Paramètres des équations et valeurs de l'énergie d'attraction intermoléculaire de la monocouche (Q) et des constantes (K et B).

	y_0	u	v	w	R^2	Valeurs
Adsorption						
K	33,6604	-2,3040	0,0536	-0,0004	1	7,22
Q (cal/mol)	176,8	22,94			0,72	236,12
B	0,3924	$2,045 \cdot 10^{-3}$	$-5,215 \cdot 10^{-5}$	$4,319 \cdot 10^{-7}$	1	0,41
Désorption						
Q (cal/mol)	-4214	429,2	-11,90	0,1043	1	260,68

Tableau 4. Teneurs en eau calculées (base sèche) de l'amande de karité à 18°C.

Température (°C)	a	Adsorption	Désorption
18	0,20	2,53	2,63
	0,40	6,74	7,02
	0,60	15,17	15,79
	0,80	40,44	42,10
	0,95	192,10	199,96

5. CONCLUSION

A température constante, en condition d'activité de l'eau constante ou de teneur en eau constante, l'énergie d'attraction intermoléculaire est toujours plus élevée en désorption qu'en adsorption. L'équation résultant de l'application aux isothermes de sorption de l'amande de karité peut effectivement être utilisée pour la prédiction des isothermes de sorption de l'amande de karité. Ce travail représente, à travers la prédiction des courbes de sorption, une étape importante pour la conservation des fruits du karité en zone de production.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) pour le soutien dans le cadre d'une bourse de formation à la recherche. Ils remercient également le Professeur Matthew Caurie (Department of Home Economics Education, University of Education, Winneba, PO Box 25, Winneba, Ghana) pour ses conseils et sa collaboration.

Références Bibliographiques

- [1]. Wang, N. et Brennan, J. G., J. Food Eng. 14 (1991) 269-282.
- [2]. UNIFEM (Fonds de Développement des Nations Unies pour la Femme). UNIFEM Bureau régional ; Dakar, 1997.
- [3]. PAF (Projet d'Appui aux Filières Bio-Alimentaires). Sicarex: Ouagadougou, 1999.

- [4]. Booth, S. F. M. et Wickens, G. E. FAO conservation guide 19. FAO: Rome, 1988, pp. 34-45.
- [5]. Caurie, M. Int. J. Food Sci. Technol. 42 (2007) 45-49.
- [6]. Kapseu, C.; Nkouam, G. B.; Dirand M.; Barth D.; Perrin, L. et Tchiégang, C. J. Food Technol. 4 (2006) 235-241.
- [7]. SIGMA PLOT pour Windows, 2004, version 9.01.
- [8]. Caurie, M. in Rockland, L. B. et Stewart, G. F. (Eds) Water Activity. Influences on Food Quality. Academic Press: New York, 1981, pp. 63-87.

OPTIMISATION DU SECHAGE DES COSSETTES D'IGNAME PAR MODELISATION COUPLEE TRANSFERTS – REACTIONS

Jean-Michel Méot*, Olivier Gibert, Komlan Métowanou

CIRAD, UMR QualiSud, F-34398 Montpellier.

* jean-michel.meot@cirad.fr

Mots clés : igname ; séchage ; modélisation ; transferts ; qualité.

1. RESUME

L'impact du blanchiment, de la découpe et du séchage des tubercules d'ignames (*Dioscorea rotundata*, cultivar *kokoro* du Bénin) sur la couleur de la pâte reconstituée à partir de la farine de cossettes broyées a été étudié par modélisation couplée des transferts de chaleur et d'eau et de réaction de brunissement. Le modèle de transferts utilisant les équations de Fourier et de Fick permet une bonne description du séchage. Un modèle cinétique de modification de la couleur en fonction de la température et de l'activité d'eau a été développé. Ses paramètres ont été identifiés à partir d'expériences originales. Les modèles ont été implémentés sous COMSOL[®] en 2D. Les modifications de qualité prédites par le modèle couplé correspondent aux observations de terrain des partenaires du projet. Il vaut mieux sécher doucement à basse température que vite à haute température.

2. INTRODUCTION

Les ignames (*Dioscorea spp.*) sont traditionnellement cultivées et consommées en Afrique de l'Ouest. Leur saisonnalité et leur forte susceptibilité au transport limitent leur place dans la diète. Depuis une vingtaine d'années, leur transformation en cossettes et en farine s'est développée au Nigeria, au Bénin et dans une moindre mesure au Togo [i]. Lors de tentatives de transfert direct du procédé vers d'autres pays de la région, il est ressorti que l'acceptabilité serait meilleure pour une couleur plus claire. Des essais d'ajouts d'additifs dans l'eau de blanchiment, de découpe et de conditions de séchage ont donné des résultats intéressants mais limités aux conditions testées [ii,iii].

L'objectif de cette étude est de modéliser des transferts de chaleur et d'eau, de déterminer les paramètres cinétiques de modification de couleur en fonction de la température et de l'activité d'eau et de réaliser le couplage des modèles. L'outil obtenu permet de réaliser une optimisation par simulation et, ultérieurement, de ne devoir qu'adapter certains paramètres pour élargir le domaine à d'autres variétés, à des conditions de traitement différentes et à des critères de qualité complémentaires. Dans le cadre de cette communication, les résultats concernant la modélisation des transferts sont abordés rapidement, l'attention étant focalisée sur la cinétique de brunissement.

3. MATERIELS ET METHODES

Les essais ont été réalisés avec des tubercules de *Dioscorea rotundata*, variété *kokoro* approvisionnés auprès de l'IITA Cotonou, Bénin. Pour l'étude des cinétiques de brunissement, deux farines d'ignames de référence ont été préparées, une à partir d'ignames pelées et précuites à 65°C pendant 1h30, l'autre sans précuisson. Les cossettes ont été congelées à l'azote liquide, lyophilisées, broyées grossièrement au Thermomix® puis leur granulométrie a été réduite à moins de 100 µm par passage au broyeur à broches de laboratoire Alpine®.

Le traitement hydrothermique des farines a été fait selon la méthode de Nellist et Bruce [iv]. 10 g environ de farine d'igname sont réhydratés dans un lit fluidisé à air saturé en eau conçu et réalisé au Cirad. La farine réhydratée est introduite dans un sachet plastique qui est thermoscellé sous vide. Le sachet est immergé dans un bain d'eau agité et régulé en température pendant le temps de traitement choisi. Il est ensuite refroidi dans un bac d'eau.

L'activité de l'eau des échantillons a été mesurée sur les échantillons après réhydratation et après traitement hydrothermique à l'aide d'un awmètre Aqualab CX-2. En l'absence de mesure biochimique représentative de la couleur des farines d'ignames, la couleur a été mesurée avec un colorimètre Minolta CR-300. Une bouillie de farine est préparée selon un protocole à agitation manuelle et cuisson en bain-marie dérivé de celui utilisant un Rapid Visco Analyser [v] afin d'en réduire la durée. Les résultats sont exprimés en système CIELAB 1976. Seuls les résultats concernant le brun (100-L*) sont présentés.

Les modifications de couleur ont été modélisées sous forme de cinétiques d'ordre 1. Le traitement des données a été réalisé sous Matlab®. Les modèles de transferts et de cinétiques de modifications de couleur ont été implémentées sous COMSOL multiphysic®, logiciel commercial de modélisation par éléments finis.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Modélisation des transferts

Les valeurs de caractéristiques thermophysiques des ignames obtenues dans le cadre de ce travail sont très proches de celles rapportées par Njie, Rumsey et Singh [vi]. Les isothermes de désorption de la farine d'ignames ont l'allure classique des isothermes de sorption des produits amylacés. Des explorations préliminaires ont montré qu'il existe un gradient de teneur en eau dans les tubercules. La teneur en eau diminue d'environ 30% MS de l'extrémité du tubercule vers sa tige et de l'axe vers la surface externe des tubercules. Par ailleurs, le produit est isotrope. Enfin, lors de séchage à des vitesses d'air supérieures à 2 m/s, le séchage est interne limitant. Ces trois résultats sont similaires à ceux obtenus par Kolawole *et al* [vii]. La précuisson de 90 min à 65°C n'a pas d'effet significatif sur le comportement en séchage. La diffusivité apparente varie de $5 \cdot 10^{-10}$ à $17 \cdot 10^{-10}$ m s⁻² pour des températures de 45°C à 80°C.

Le modèle de transferts couplés (énergie, eau) a été implémenté sous COMSOL®. Les équations constitutives du modèle le 2D sont les suivantes, exprimées avec les notations conventionnelles :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\lambda}{\rho C_p} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\lambda}{\rho C_p} \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

avec T : température, t : temps, x et y : coordonnées, λ : conductivité thermique, ρ : masse volumique, C_p : capacité calorifique massique

$$\frac{\partial N_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{eff} \frac{\partial N_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{eff} \frac{\partial N_s}{\partial y} \right)$$

avec N_s : teneur en eau

D_{eff} : diffusivité apparente de l'eau

Les conditions aux limites ont été choisies comme suit :

$N_s = N_{s_{eq}}$ avec $N_{s_{eq}}$: teneur en eau à l'équilibre avec l'air

$$\vec{J}_{th} = - \left[h(T_\infty - T)\vec{n} - L_v \times D_{eff} \operatorname{div}(\vec{N}_s \times \rho_{s0}) \right]$$

avec \vec{J}_{th} : flux thermique \vec{n} : vecteur unitaire normal à la surface

T_∞ : température de l'air ρ_{s0} : masse volumique à $N_s=0$

h : coefficient d'échange convectif à la surface

L_v : chaleur latente de vaporisation de l'eau

Le modèle obtenu a été validé par des essais de séchage conduits sur la boucle de séchage pilote du Cirad. La représentation des transferts est correcte comme sur l'exemple représenté figure 1. Le travail de modélisation des transferts présenté brièvement dans ce document doit être publié prochainement de manière plus complète.

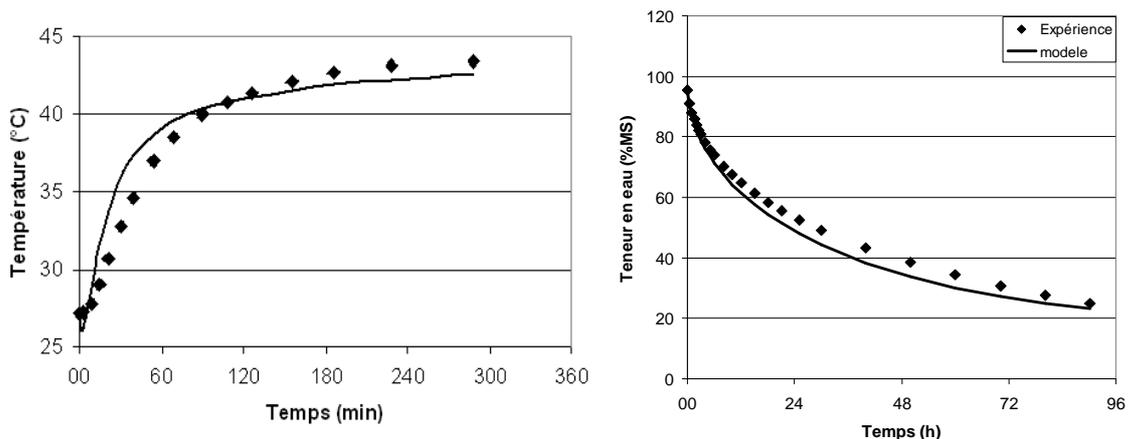


Figure 1. Comparaison expérience - modèle pour le séchage à 45°C, 23%HR et 4,1 m/s d'un tubercule d'igname de 2 cm de rayon moyen et de longueur 14 cm

4.2. Cinétiques de développement du brun

Les essais se sont avérés difficiles avec des écart-types élevés, de l'ordre de 1 unité d'indice de luminance (L^*). Néanmoins, on constate que le brunissement de la farine précuite est un peu plus lent que celui de la farine native et que l'asymptote est un peu plus basse. Le protocole et les outils utilisés n'ont pas permis de travailler dans l'intervalle d'activité d'eau [0,95-0,99] car les particules de farines s'agglomèrent et forment des boules.

Le traitement de l'ensemble des données (81 expériences pour la farine native, 86 pour la farine précuite) a conduit à modéliser les cinétiques de brunissement sous la forme de l'équation (1). La représentation en 3D se trouve en figure 2. La comparaison entre les résultats fournis par le modèle et ceux obtenus expérimentalement faite à la figure 3 montre

que le modèle donne une bonne idée des phénomènes avec une reconstitution de plus de 80% des variations.

$$100 - L^* = k_1 - k_2 \exp(-Kt) \text{ avec } K = k_3 \exp\left(\frac{k_4}{T}\right) \exp(k_5 10^{-9} (100a_w)^{k_6}) \quad (1)$$

Avec K : constante de réaction, 100-L* : indice de brun, k₁ à k₆ : constantes, t : temps
T : température, a_w : activité de l'eau

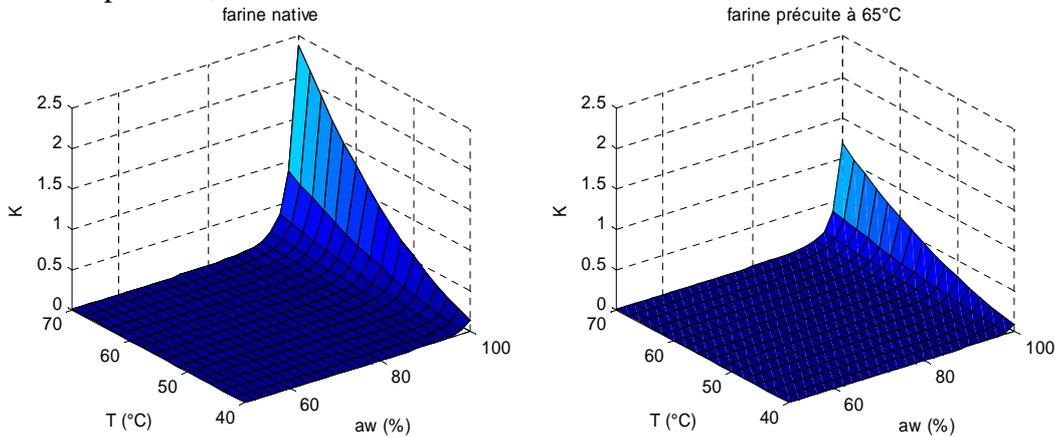


Figure 2. Evolution de la constante de réaction K en fonction de la température et de l'a_w pour les farines native et précuite

L'allure des surfaces montre que le brunissement se produit uniquement à des activités d'eau supérieures à 0,85. Cela est logique puisque les réactions enzymatiques auxquelles il est attribué nécessitent la présence d'eau. Par ailleurs, l'augmentation de la température induit une augmentation de la vitesse de réaction. Cependant, on peut supposer que la forme continûment croissante vient de la limitation de nos expériences à 65°C, une dénaturation des enzymes pouvant se produire à des températures plus élevées. Enfin, l'effet de la précuisson est tout à fait visible avec une division par 2 de la constante de réaction.

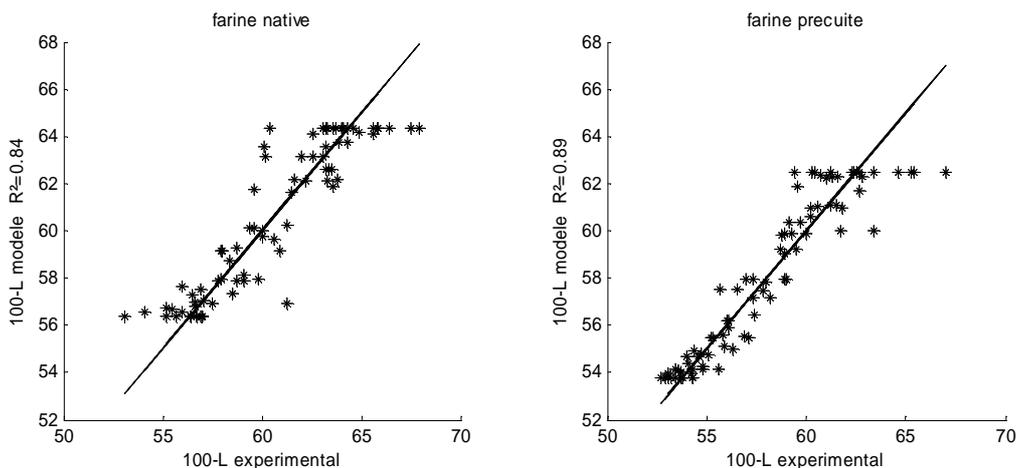


Figure 3. Comparaison des indices de brun fournis par le modèle avec ceux obtenus expérimentalement

4.3. Couplage transferts-réactions

A partir des données de dépendance du brunissement en fonction de l'activité de l'eau, il est possible de conclure sur l'intérêt de la découpe : Pour des conditions externes similaires, plus le séchage est rapide, plus clairs sont les produits. En revanche, le couplage est nécessaire pour conclure sur l'intérêt d'augmenter la température de l'air de séchage : la plus faible durée du séchage compense-t-elle l'accélération du brunissement ? La figure 3 représente la teneur en eau (axe vertical) et l'indice de brun (couleur) de quatre formats de pièces, précuite ou non, séchées à 45°C et 65°C, l'humidité et la vitesse d'air restant constantes, pour une durée de séchage de 10 heures. Le séchage est logiquement plus rapide pour les pièces les plus petites et pour la température d'air la plus élevée. Par ailleurs, les pièces précuites sont moins brunes que les pièces natives. Enfin, il s'avère que la l'effet de l'accélération du brunissement par l'élévation de température ne soit pas compensé par l'abaissement plus rapide de la teneur en eau. Ces résultats correspondent aux observations faites sur le terrain par les partenaires du projet et sont cohérentes avec les résultats rapportés par Akissoe *et al* [ii,iii].

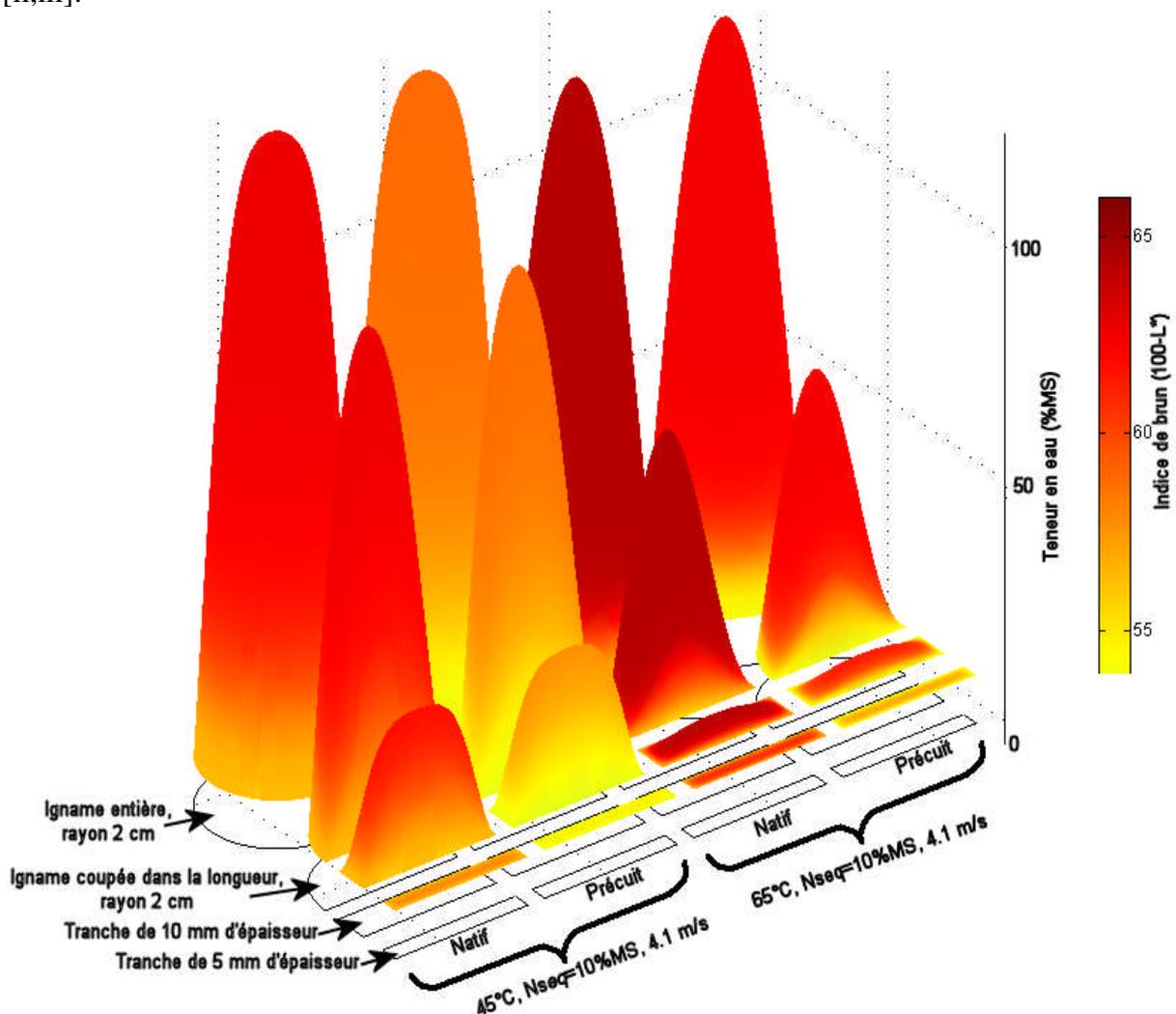


Figure 4. exemple de simulation couplée transferts réactions

5. CONCLUSION

La modélisation des transferts d'énergie et d'eau lors du séchage à l'air chaud de pièces de tubercules de *Dioscorea rotundata*, variété *kokoro* par des modèles respectivement, conductif et diffusif permet une représentation correcte des phénomènes. Les méthodes et outils de détermination des propriétés sont connus et il existe quelques données dans la littérature. La détermination de cinétiques de réaction en fonction de la température et de l'activité d'eau a pu être réalisée pour le brunissement. Les outils et méthodes développés permettent un travail correct dans le domaine d'activité d'eau [0,2-0,95], mais il reste à trouver une voie pour étudier le domaine [0,95-0,99]. Le modèle couplé (transferts, réactions) donne des résultats cohérents avec les connaissances existantes. Il peut être utilisé pour l'optimisation de l'utilisation d'équipements existants et pour la création de nouveaux séchoirs. L'ajout d'un autre paramètre de qualité ne demande que l'introduction d'une cinétique complémentaire. Il reste à trouver L'adaptation à de nouvelles variétés d'ignames se limite à l'identification de propriétés de transferts ou de brunissement différentes de celles de kokoro.

Ce type de démarche permet une bonne capitalisation de connaissances, mais la mesure de la qualité peut être une limite. Par exemple, les indices colorimétriques utilisés dans ce travail présentent le défaut d'être difficilement moyennés pour calculer l'indice de brun de la farine obtenue par broyage des cossettes. Un indicateur du type concentration aurait été préférable s'il avait été disponible.

Remerciements

Les auteurs remercient la Communauté Européenne pour le soutien financier de cette étude dans le cadre du projet INCOYAM.B. Projet européen INCO DC IC18-CT-98-0302. Post-récolte et consommation des ignames : Réduction des pertes et amélioration de la qualité des tubercules conservés frais et des produits transformés secs pour les marchés africains.

Références Bibliographiques

- [1]. Anonyme. La transformation des ignames. Bulletin du réseau TPA, décembre 2000 ; 31p ; Consulté sur le site <http://www.infotpa.org/fileadmin/bulletin/bulletin18.pdf> le 12 septembre 2007.
- [2]. Akissoé, N.; Hounhouigan, J.; Mestres, C. et Nago, M. Food Chem. 82 (2003) 257-264.
- [3]. Akissoé N.; Hounhouigan J.; Mestres C. et Nago, M. Food Chem. 85 (2004) 141-149.
- [4]. Nellist M.E. et Bruce, M.D. Cereal Quality.15 (1987) 439-455.
- [5]. Mestres, C.; Nago, M., Akissoe, N. et Matencio F. J. Agric Food Chem. 45 (1997) 565-571
- [6]. Njie, D.N.; Rumsey, T.R. et Singh, R.P. J. Food Eng. 37 (1998) 63-76.
- [7]. Falade, K.O.; Olurin, T.O.; Ike, E.A. et Aworh, O.C. J. Food Eng. 80 (2007).1002-1010

PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT DANS LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE. CAS DES SECHOIRS.

Hélène Desmorieux^{1*}, Yacoub Idriss²

¹ LAGEP CPE, Université Claude Bernard, Lyon1, LAGEP UPRES A, Q 5007 CNRS, 69622 Villeurbanne cedex, France. ² FSEA, N'Djamena, Tchad.

* desmorieux@lagep.univ-lyon1.fr

Mots clés : Transfert de technologie; conception distribuée; réseau; acteurs; séchoirs; mangue ; spiruline.

1. RESUME

Le séchage est un procédé de conservation utilisé depuis longtemps en Afrique car adapté aux techniques et énergies disponibles localement. Cependant l'importance des séchoirs proposés comparée à l'importance de ceux utilisés montre que les critères de construction et d'énergie ne suffisent pas à en garantir l'utilisation durable. A l'aide du modèle STOU, il est montré que le système dans lequel évolue le produit sec doit être pris en compte pour éviter les échecs de transfert des technologies. La méthode de conception distribuée permet de prendre en compte l'environnement. Son application a permis la conception d'un séchoir de mangues; la simulation de son fonctionnement montre qu'il permet d'obtenir une qualité plus homogène de mangues sèches. Aussi les liens entre les acteurs du système environnant doivent être identifiés : caractériser ces différents systèmes et liens permet de proposer des séchoirs plus adaptés à la fois à l'environnement mais aussi répondant mieux à l'utilisation prévue du produit sec. Ainsi, l'identification des réseaux d'acteurs du séchoir à spiruline au Tchad met en évidence 4 types de réseau et donc de séchoir en fonction de l'utilisation de la spiruline.

2. INTRODUCTION

Les transferts de technologie vers les pays du sud sont importants à plus d'un titre : ils sont un moyen pour lutter contre le sous-développement. Bien conçus les transferts de technologie aideraient les pays du sud à combler en partie le fossé qui les sépare des pays du nord. Ils forment en principe la substance de l'aide humanitaire apportée aux populations des pays du sud et servent à dynamiser l'économie des pays en développement.

L'histoire récente nous montre, pourtant, qu'il y a beaucoup d'échecs dans les transferts de technologie, notamment dans les transferts de technologie vers les pays du sud. Un certain nombre de raisons ont été avancées pour expliquer ces échecs, cependant ces explications, parfois paternalistes, ne sont pas convaincantes. En effet, certains systèmes techniques complexes, comme l'automobile et le téléphone portable sont parfaitement intégrés dans les sociétés africaines. Mais l'automobile n'a pas été importée telle quelle. L'usage est radicalement différent : il est collectif. D'autre part l'introduction de l'automobile, en tant qu'outil, a permis la mise en œuvre d'une organisation socio-technique particulière à ces pays. Même le recyclage est pris en compte.

La question qui se pose alors est de savoir comment réussir un transfert. Dans ce papier, nous abordons la problématique du transfert de technologie sous plusieurs aspects, avec l'exemple

des séchoirs en prenant deux produits connus, la mangue et la spiruline. Une première partie met en évidence comment la non prise en compte de l'environnement peut conduire à un échec. Dans une deuxième partie, nous présentons la simulation du fonctionnement d'un séchoir conçu par la méthode de conception distribuée. Enfin, l'importance des acteurs autour de l'outil conçu peut être prise en compte par l'intermédiaire d'un réseau.

3. ANALYSE DE L'ECHEC DU TRANSFERT DE TECHNOLOGIE PAR STOU

Les méthodes de conception et les modèles représentatifs fournissent plusieurs outils qui peuvent être adaptés aux transferts de technologies nord-sud [1,2]. Des modèles comme celui de STOU permettent d'analyser les transferts de technologies.

Dans STOU, S est le système environnant dans lequel évolue le séchoir ou l'outil (T) est conçu et utilisé. T (« Tool ») est l'outil conçu. O (« Object ») est l'Objet qui est à l'origine du besoin entre cet Objet et l'Utilisateur (U). Exemple, l'Utilisateur (U) a besoin de sécher le poisson (O). T est l'outil (« Tool ») conçu pour répondre au besoin. Le tout évolue dans un système environnant S.

Lorsque le quadruplet S T O U est en équilibre, l'outil (le séchoir) est en équilibre dans le système qui assure ses fonctions, sa maintenance, sa vie dans ce système S. Or, comme le montre la figure 1, si l'on transfère ce séchoir dans un système S' caractérisé par d'autres critères, il se peut que le séchoir ne soit pas adapté à ce système S'. Dans ce cas, la maintenance et le fonctionnement ne sera pas assuré. Sa durée de vie sera raccourcie.

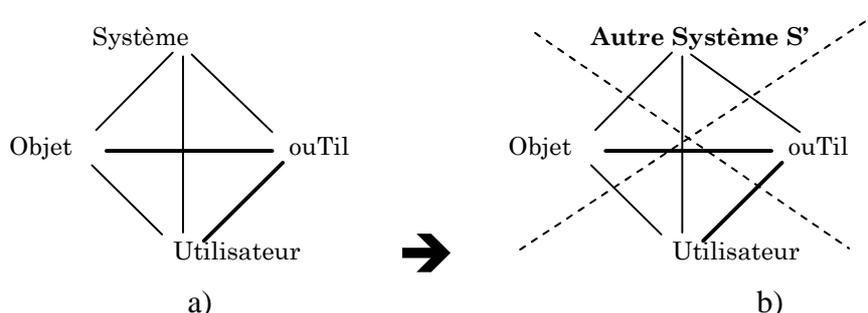


Figure 1. Quadruplet STOU, a) système en équilibre, b) système en déséquilibre après déplacement de l'outil T du système S au système S' différent.

C'est ce qui s'est passé pour de nombreux séchoirs solaires cheminée. Dans les années 1980-1990, ces séchoirs ont été mis au point car ils offraient un bon rendement énergétique pour un coût de fonctionnement énergétique nul. Cependant, il n'avait pas été pris en compte dans leur phase de conception, que ces séchoirs devaient être maintenus en bon état dans le système où ils allaient être utilisés et non pas dans le système où ils avaient été conçus. Le système où ils étaient conçus était soit une université en Afrique, soit une université ou une entreprise en France. Or dans ces lieux, les valeurs et les moyens de maintenance ne sont pas les mêmes que sur le terrain, par exemple pour un producteur de fruits. Par exemple, comme ce fut le cas, un exploitant peut se trouver confronté au bris du capteur solaire. Sur place, il ne trouvera pas le matériel pour le remplacer ou la valeur du capteur en verre (valeur économique, subjective, etc...) est beaucoup trop élevée pour lui pour envisager son remplacement. Cela veut dire que les critères du nouveau système ne sont pas respectés. Il s'agit de prendre plus

en compte tout le système environnant : l'aspect maintenance (qui, comment ? ...), l'aspect ergonomique, esthétique, culturel Ceci peut être réalisé en utilisant les moyens offerts par les méthodes de conception.

4. LA METHODE DE CONCEPTION DISTRIBUEE APPLIQUEE A UN SECHOIR

La méthode de conception distribuée proposée, part du postulat que la conception d'un produit émerge d'interactions entre spécialistes de domaines qui concernent le produit à concevoir [3,4]. Pour un séchoir, figure 2, ces aspects ou modules sont : -le module fonctionnel (il va identifier les besoins, les limites de cout, les débouchés du produit...), - le module structurel (dimensionner le produit, l'optimiser), le module de maintenance (aspect de maintenance à prendre en compte dès la conception) et aspect fabrication (matériaux adaptés, outils, ...). L'application de la méthode consiste à mettre en interaction ces acteurs des modules, par exemple par un travail de groupe pour concevoir. Ceci a été réalisé pour la conception d'un séchoir de mangues.

Plusieurs études ont déjà été menées sur le séchage des mangues et plusieurs sortes de séchoirs sont utilisées [5], surtout au Burkina Faso [6]. Il reste un problème de qualité vers l'exportation, les produits ont une qualité inégale en fonction de la position de la claie pour un même cycle de séchage. Les utilisateurs ou producteurs restent insatisfaits. L'objectif de cette démarche de conception a été de répondre à leurs besoins.

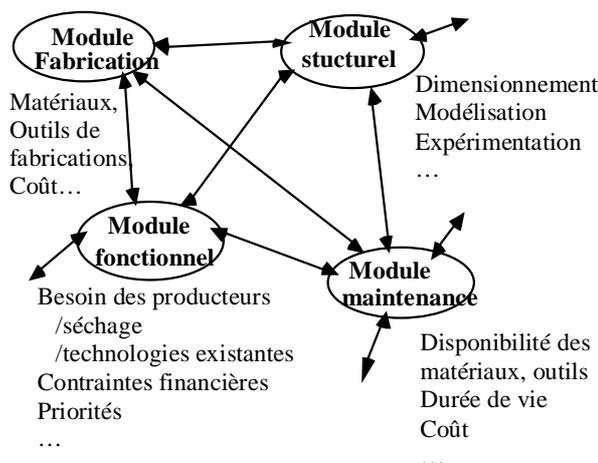


Figure 2. Application de la conception distribuée au séchoir de mangues.

L'analyse des besoins a été menée par les partenaires locaux. Il en ressort que:

- la période de conservation de 6 mois est trop courte;
- les sécheurs souhaitent exporter les mangues séchées;
- les séchoirs actuels sont de trop petite capacité;
- ce sont principalement les sécheurs actuels qui sont intéressés par le projet.

En appliquant les méthodes de conception à la conception du séchoir. Il a été conçu un séchoir avec introduction des claies à intervalles réguliers et décalés dans le temps pour éviter la rotation empirique actuelle. Le dimensionnement du séchoir a été optimisé par des calculs simples. La modélisation de son fonctionnement a permis de voir l'influence des paramètres de fonctionnement et de les ajuster. Cette modélisation repose sur les bilans de matière et de

chaleur entre l'air et les mangues. Le système d'équations est traité par Fortran et permet d'obtenir sur la figure 3 la variation de la teneur en eau de la première et de la dernière claie, ici la douzième. On voit que les vitesses de séchage des deux claies sont très proches, ce qui permet d'obtenir un temps de séchage identique pour les claies et donc une même qualité de produit.

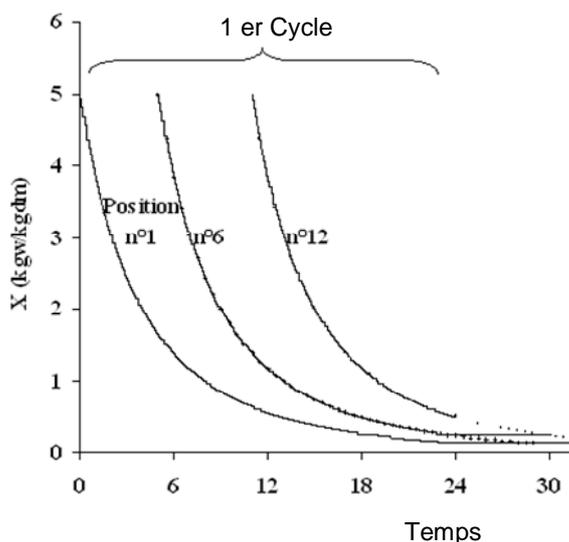


Figure 3. Simulation du séchage convectif à gaz de mangues. Evolution de la teneur en eau des mangues au cours du temps de séchage, pour 3 claies dans un séchoir de 12 claies.

Le séchoir n'est pas encore réalisé. Cependant nous pouvons faire les remarques suivantes quant au processus de conception :

La démarche de conception est peu séquentielle. Les allers-retours entre les étapes de la conception (définition des besoins, des fonctions de l'objet, recherche de solutions ...) sont très nombreux. Le travail de groupe permet de prendre des décisions qui collent au besoin et à la réalité. Par exemple, l'énergie du gaz a été choisie et le séchoir mixte gaz-solaire a été rejeté. Il permet seulement une économie de 10% sur la consommation totale de gaz, mais nécessite l'utilisation d'une régulation et un investissement supplémentaire.

Application à la problématique du développement et du séchage de la spiruline au Tchad.

Entre le produit conçu et les nombreux acteurs autour, existent des liens qui font vivre le produit et l'intègrent dans son environnement. Faire vivre un réseau consiste déjà à identifier ses acteurs et à connaître le type de lien qui existe avec l'acteur et le produit. Ainsi, face aux nombreux échecs de développement de la *Spiruline* au Tchad, les différents réseaux potentiels existants ont été identifiés.

La spiruline est une micro algue (largeur moyenne de 7 μm) qui se récolte naturellement dans certains lacs tchadiens. Elle est très riche en protéines (teneur 60%), en phycocyanine, en carotène, en exopolysaccharides et autres substances nutritionnelles et thérapeutiques [7]. Au Tchad, la spiruline est récoltée dans les lacs par des femmes qui la sèchent sur le sable pour obtenir des galettes contenant 50% de son poids en sable. L'algue est consommée traditionnellement, principalement par une caste, considérée comme à part par le reste de la

population. Dans ce pays, il existe des projets de petits bassins de 1 à 10m² pour l'alimentation locale ou pour des problèmes de malnutrition et des projets de grandes fermes à spiruline pour la consommation nationale, l'exportation et l'industrie des colorants (une ferme canadienne a fonctionné jusqu'en 1998 et est disparue par inondation).

L'objectif est de mieux comprendre les freins face au développement de la spiruline, bien que de nombreuses personnes soient intéressées. Pour cela, les réseaux ont été identifiés.

L'identification des réseaux concernant les différents projets autour de la spiruline a montré que les critères de qualité et la valeur subjective du produit sont différents en fonction de l'utilisation faite. Ainsi, il semble qu'au niveau du développement de la culture et du séchage, il est nécessaire de distinguer 4 types de spiruline: celle récoltée et consommée par les Haddads; celle vue comme un produit de consommation locale. La figure 4 montre le réseau des acteurs autour de la spiruline produite pour une consommation tchadienne élargie à tout le pays; celle vue comme un produit d'exportation; et celle vue comme un produit pharmaceutique.

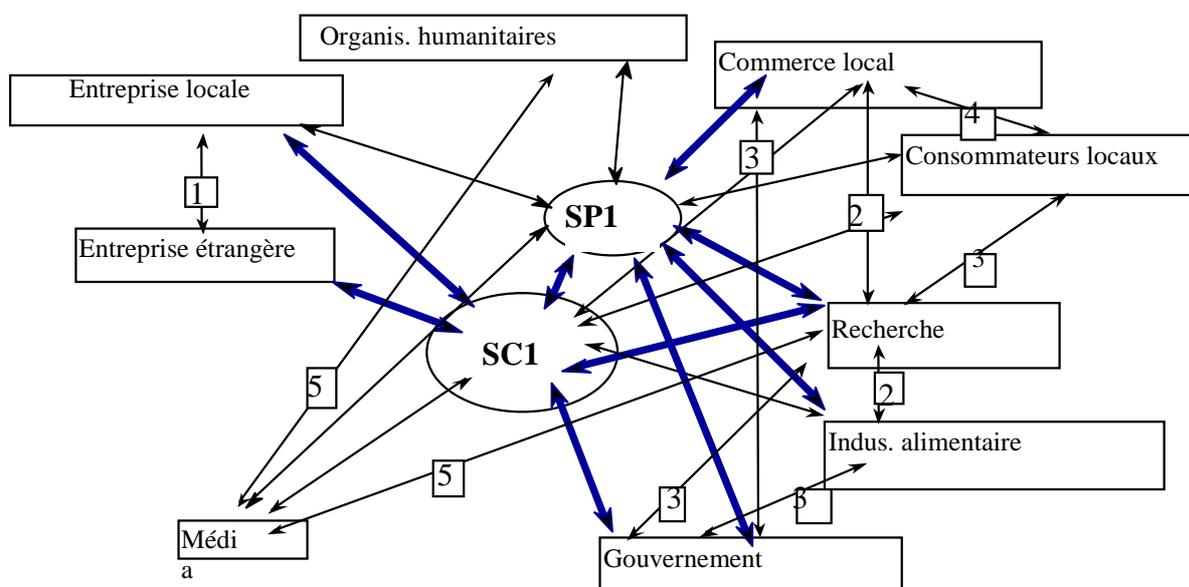


Figure 4. Les liens entre les acteurs du réseau SP1. **SP1** : SPIRULINE destinée à la consommation locale. **SC1** : Séchoir correspondant.

1 : désigne la concurrence/coopération et/ou négociation entre les acteurs, 2 : désigne les échanges d'informations et les conflits possibles, 3 : désigne les conseils techniques, l'appui méthodologique et/ou la supervision, 4 : offre et demande, 5 : coopération en vue de la manipulation sociale.

L'analyse de ces systèmes a montré que dans ce cas de consommation locale, aucun acteur local n'a été contacté et enrôlé pour la fabrication du système. Ceci serait pénalisant pour la

maintenance car la réussite d'un projet dépend à priori de l'enrôlement des acteurs du projet [8,9] qui doivent défendre les différents aspects.

5. CONCLUSION

Ce travail montre que la démarche à mettre en œuvre consiste à suivre plusieurs étapes :

- l'analyse des besoins qui permet de trouver les acteurs locaux.
- une pré-étude dont l'objectif est de concevoir à nouveau le produit en prenant en compte les particularités locales. Ensuite, il s'agira de réunir un financement pour monter un projet pilote.
- Le lancement du produit pourra être envisagé en fonction des résultats techniques et sociologiques en s'adaptant à la demande des acteurs.

La réussite d'un transfert de technologie tient surtout au processus de conception suivi et à la qualité du réseau monté sur place en tenant compte des motivations des acteurs locaux.

Des appuis scientifiques ou techniques en provenance du Nord sont alors possibles, comme des aides à la modélisation.

La démarche que nous proposons est loin d'être facile à mettre en œuvre. Les principales sources de difficultés proviennent des différences de temporalité surtout et aussi d'échelle de valeur. Cette démarche évoluera également avec les observations en provenance de projets de transfert de technologie, basés sur une approche plus intégrative et élargie aux systèmes environnant le besoin.

Remerciements : Ce travail s'est appuyé sur plusieurs études dont certaines ont été financées par l'Agence Universitaire de la Francophonie, AUF.

Références Bibliographiques

- [1]. Azouma, O. Y. ; Giroux, F. et Varchon, D. Intégration de la fabrication dans la conception des équipements agricoles et agroalimentaires pour l'Afrique, Séminaire GP3A, Ouagadougou, 2004. pp.65-70.
- [2]. Marouzé, C. 1999 Proposition d'une méthode pour piloter la trajectoire technologique des équipements des pays du sud. Thèse génie industriel, ENSAM, Paris.
- [3]. Garro, O. ; Salau, I. et Martin P. Distributed design theory and methodology, Concurrent engineering: research and applications, Vol 3/1/1995.
- [4]. Desmorieux, H. et Garro, O. Un modèle pour le transfert de technologie Nord Sud, Troisième Congrès Européen de Systémique. Rome, 1996, pp. 1049-1053.
- [5]. Rajkumar, P. ; Kailappan, R. ; Viswanathan, R. et Raghavan, G.S.V. J. Food Eng. 79 (2007)1452-1459.
- [6]. Rivier, M. ; Coulibaly, Y. ; Briard, M. et Meot, J. M. Amélioration des outils et techniques de production de la mangue séchée au Burkina Faso. Séminaire GP3A, Ouagadougou, 2004, pp. 121-126.
- [7]. Morist, A. ; Montesinos J. L. ; Cusido, J. A. et Gòdia F. Process Biochemistry, 37 (2001) 535-547.
- [8]. Latour, B. Aramis ou l'amour des techniques, Ed. La découverte, 1992.
- [9]. Yacoub, I. H. ; Garro, O. ; Desmorieux, H. et Menguy, G. Transfert de technologie, un problème d'innovation. Quelle méthodologie pour les transferts de technologie ? Int. Jour. of Design and Innovation Research, 2003.

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

L'APPORT DES FEMMES DANS LA TRANSFORMATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES

TRANSFORMATION DES PRODUITS OLEAGINEUX PAR LES FEMMES EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE : LE CAS

DES FRUITS DE KARITE (*VITELLARIA PARADOXA* GAERTN.)

César Kapseu

Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI-Université de Ngaoundéré, B.P. 455 Ngaoundéré, Cameroun,
kapseu@yahoo.fr

Mots clés : Procédé ; qualité ; karité ; bonnes pratiques ; Afrique.

1. RESUME

Les produits oléagineux comme les amandes de karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) et les amandes de palmiste sont essentiellement transformés par les femmes en Afrique subsaharienne. Ces femmes productrices sont les chefs de très petites entreprises (TPE). Le fonctionnement de ces entreprises démontrent le savoir faire de ces femmes. Ainsi, les méthodes d'extraction du beurre de karité ont été inventoriées au sud du Sahara. Ces méthodes varient d'un pays à un autre, d'une région à l'autre et d'un village à un autre. On distingue principalement deux procédés dont le premier est basé sur le barattage et le second sur le chauffage de la pâte. Les principales étapes des deux procédés sont les suivants : récolte, ramassage, dépulpage, ébouillantage, décorticage, pilage, broyage, barattage, chauffage. Les procédés menés au Burkina-Faso, au Cameroun et au Mali ont été comparés entre eux. Il apparaît des différences notables. La normalisation en cours permettrait de codifier les étapes de traitement des amandes de karité afin que le beurre obtenu réponde aux exigences internationales en matière de qualité.

2. INTRODUCTION

Le karité, plante de la famille des sapotaceae, pousse dans les régions à climats soudano-guinéens en Afrique. Cette plante produit des fruits dont les amandes contiennent 50% de lipides, appelés beurre de karité. Les méthodes de transformation des fruits varient en fonction de la région, du pays et d'un village à l'autre. Cette variabilité des méthodes influence la qualité du beurre qui varie également. Pour éviter cette situation, il convient de faire un état des lieux et de codifier les étapes d'obtention des amandes et du beurre de karité. Les termes désignant une opération donnée varient en fonction de la langue, de l'environnement, et de la maîtrise des paramètres. Les étapes dominantes pour la préparation des amandes vont être identifiées : le chauffage (ébouillantage) et le séchage, alors que les étapes principales pour la production du beurre sont : le cassage (broyage), le chauffage, l'extraction et la clarification. Chaque opération influence la qualité du beurre. Les codes de

pratique régionaux permettent d'avoir les mêmes termes, les mêmes paramètres à suivre et enfin une qualité standard.

3. PROCÉDES D'OBTENTION DU BEURRE DE KARITE

Les méthodes d'extraction du beurre de karité sont nombreuses et diverses. Elles varient d'un pays à un autre, d'une région à l'autre, d'une tribu à l'autre. Toutefois, nous pouvons les résumer en deux principaux procédés : le procédé dit de barattage et celui par chauffage de la pâte [1,2]. Le premier procédé, qui semble plus répandu, utilise l'eau (chaude ou froide) comme vecteur d'extraction. En dépit de quelques nuances, il peut en général être résumé aux opérations suivantes : récolte, dépulpage, ébouillantage, décorticage, pilage, broyage fin, barattage et chauffage. Les figures 1 et 2 présentent quelques schémas appliqués au Cameroun, tandis que la figure 3 illustre celui utilisé au Mali. Le deuxième procédé consiste à chauffer la pâte d'amande de façon à récupérer la matière grasse surnageante. Au Burkina Faso, une première variante de ce procédé présente les principales opérations suivantes : la récolte, le dépulpage, le décorticage, le fumage ou le séchage, le pilage, le laminage et le chauffage de la pâte.

3.1. Dépulpage

Les fruits collectés sont dépulpés manuellement ou par pourrissement naturel dans les fosses (fermentation). Cette étape peut se faire soit dans les champs ou à la maison [3].

3.2. Ebouillantage

Les graines obtenues après dépulpage sont bouillies pendant un temps qui varie en fonction de la charge du fût et de l'intensité du feu. Ce temps peut ainsi aller de 20 à 60 minutes et atteindre 12 heures. Cette étape permet de stériliser les graines, d'inactiver les enzymes lipolytiques et d'augmenter considérablement la durée de conservation pour les stocks non traités [3-5].

3.3. Décorticage

Les graines (noix) refroidies sont débarrassées de leur coque pour donner les amandes. Cette opération s'effectue de façon manuelle à l'aide de deux pierres : la plus grande est au sol, et sert de support, la graine est placée au dessus et la coque concassée par une petite pierre.

3.4. Séchage

Les amandes obtenues sont par la suite séchées au soleil ou dans des fours pendant plusieurs jours. Elles sont ensuite disposées dans des greniers ou des contenants. Elles ne sont cependant pas à l'abri des rongeurs. Certaines méthodes locales au Tchad permettent de sécher les amandes au soleil, ensuite les soumettent au fumage sur les étagères avant de procéder à leur décorticage. L'étape de fumage permet ainsi de prolonger la durée de conservation et protège contre les charançons et les rongeurs. Le taux d'humidité doit être le plus bas possible pour éviter une germination des amandes, mais également d'accroître le rendement d'extraction. Le séchage reste un facteur primordial pour la qualité du beurre [6,7].

3.5. Pilage

C'est l'étape de fragmentation des amandes dans le but de faciliter les opérations ultérieures. Les amandes sont pilées dans des mortiers et parfois à l'aide d'un petit pilon ou d'une pierre plate [2].

3.6. Broyage fin

Il consiste à écraser les amandes pilées sur une grande pierre afin d'obtenir une pâte plus fine. Elle facilite l'éclatement des cellules oléifères et prépare à l'extraction.

3.7. Extraction proprement dite

Elle peut donc s'effectuer par barattage ou par chauffage de l'amande. Le barattage consiste à battre la pâte manuellement à un rythme régulier et de façon continue, jusqu'à ce qu'elle blanchisse. Ainsi, les amandes finement broyées sont introduites dans un canari dans lequel on ajoute de l'eau. Il peut se faire à chaud ou à froid. A froid, on ajoute de l'eau au fur et à mesure et en remuant pour obtenir une émulsion huile-eau. On récupère à la surface la matière grasse. Le beurre recueilli est lavé afin de le séparer des matières en suspension. Cette opération est répétée jusqu'à ce qu'il soit blanchâtre. Il est ensuite chauffé. [1, 2].

3.8. Chauffage du beurre

Cette opération, encore appelée purification, consiste à chauffer le corps gras dans un canari ou une marmite pour évaporer l'eau. Par décantation, les impuretés sont séparées du beurre qui est récupéré dans les récipients et prêt au conditionnement. Le conditionnement a pour but de protéger le beurre contre l'oxydation. Les modes de conditionnement sont multiples et variés. Ils dépendent également de la taille du groupement de femmes. On distingue généralement les conditionnements en feuilles, en Calebasses, en bouteilles (65 centilitres), en pots et en bidons ou fûts (associations de femmes) de 20 à 200 litres.

4. BONNES PRATIQUES

Au terme de la revue des procédés par région, il ressort qu'après le séchage des amandes, les opérations suivantes doivent être menées : nettoyage, concassage, meulage, chauffage, extraction, ébullition, déshydratation, filtration, conditionnement et emballage.

5. CONCLUSION

La qualité des amandes est déterminante pour la qualité du beurre qui sera obtenu. La préparation des amandes doit être minutieuse et leur stockage réalisé dans les conditions qui les préservent des dégradations. Les paramètres à surveiller de très près sont principalement l'indice de peroxyde, l'indice d'acide, le taux d'acides gras libres et l'impureté. Il est conseillé de mettre en place les codes de bonnes pratiques régionaux.

Remerciements

Les auteurs remercient le réseau GP3A de l'AUF pour l'aide apportée à la présentation de ce travail.

Références bibliographiques

- [1]. SNV (Association Néerlandaise d'Assistance au Développement), Koudougou, 1991, pp. 1-62.
- [2]. Kassamba, B. CECI-IRSAT. Ouagadougou, 1997, 59 p.

- [3]. UNIFEM. Bureau régional. Dakar, 1997.
- [4]. N'Gouro Sanogo. Le grenier 4 (1997) 4-5.
- [5]. Amti, J. P. S. Mémoire de fin d'études de DUT ; IUT de Ngaoundéré , 1998, 27 p.
- [6]. Adoum. in Siaka Koné (Eds) Atelier International d'échanges sur « Oléagineux et petites technologies », 23-27 septembre 1996. Ngaoundéré . pp. 92-96.
- [7]. Sopade, P. A. et Koku, I. T. Annals of Borno, 6 (1993) 231-236.

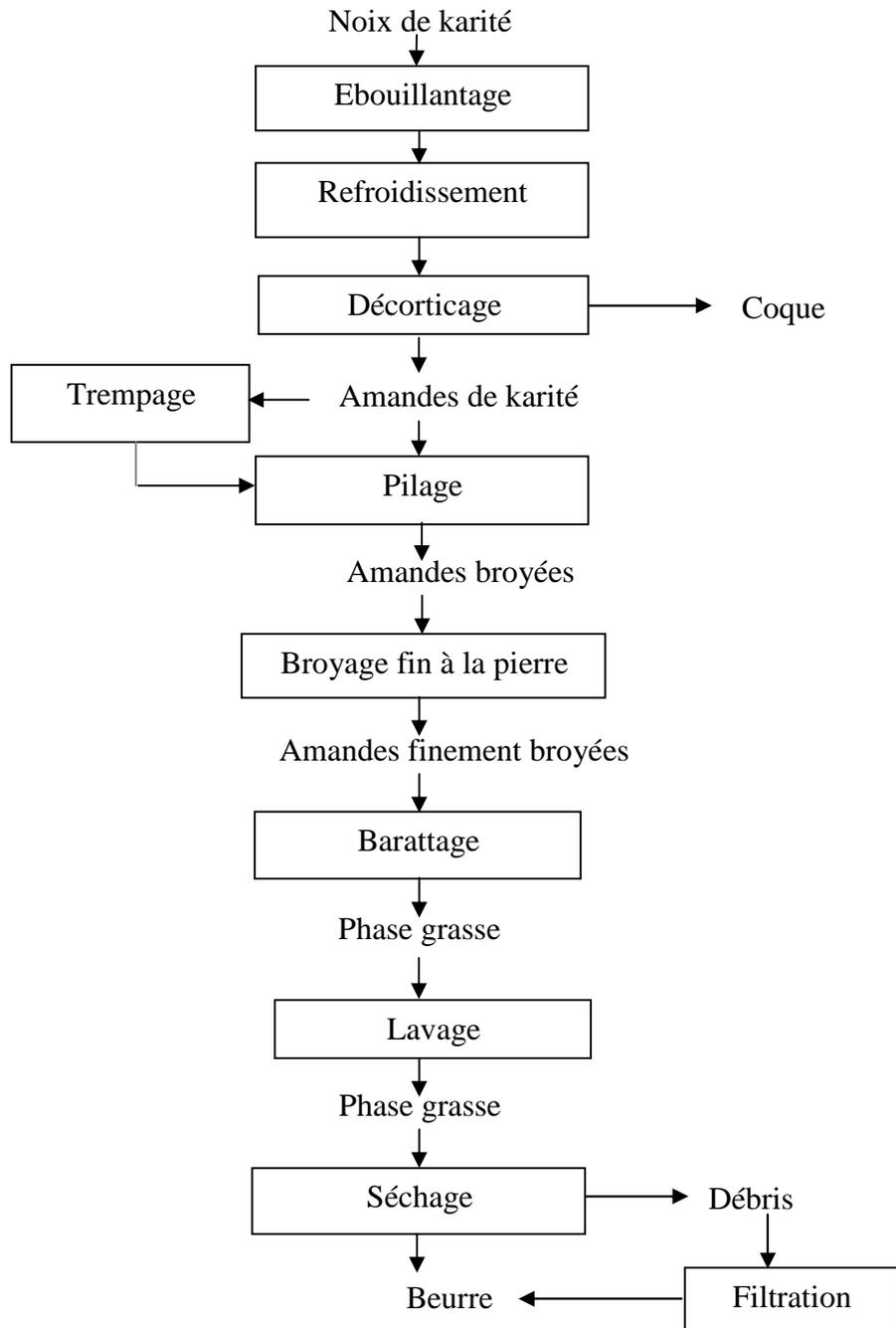


Figure 1. Le schéma du procédé d'extraction du beurre de karité de Tchabal et Bambi, Camerou

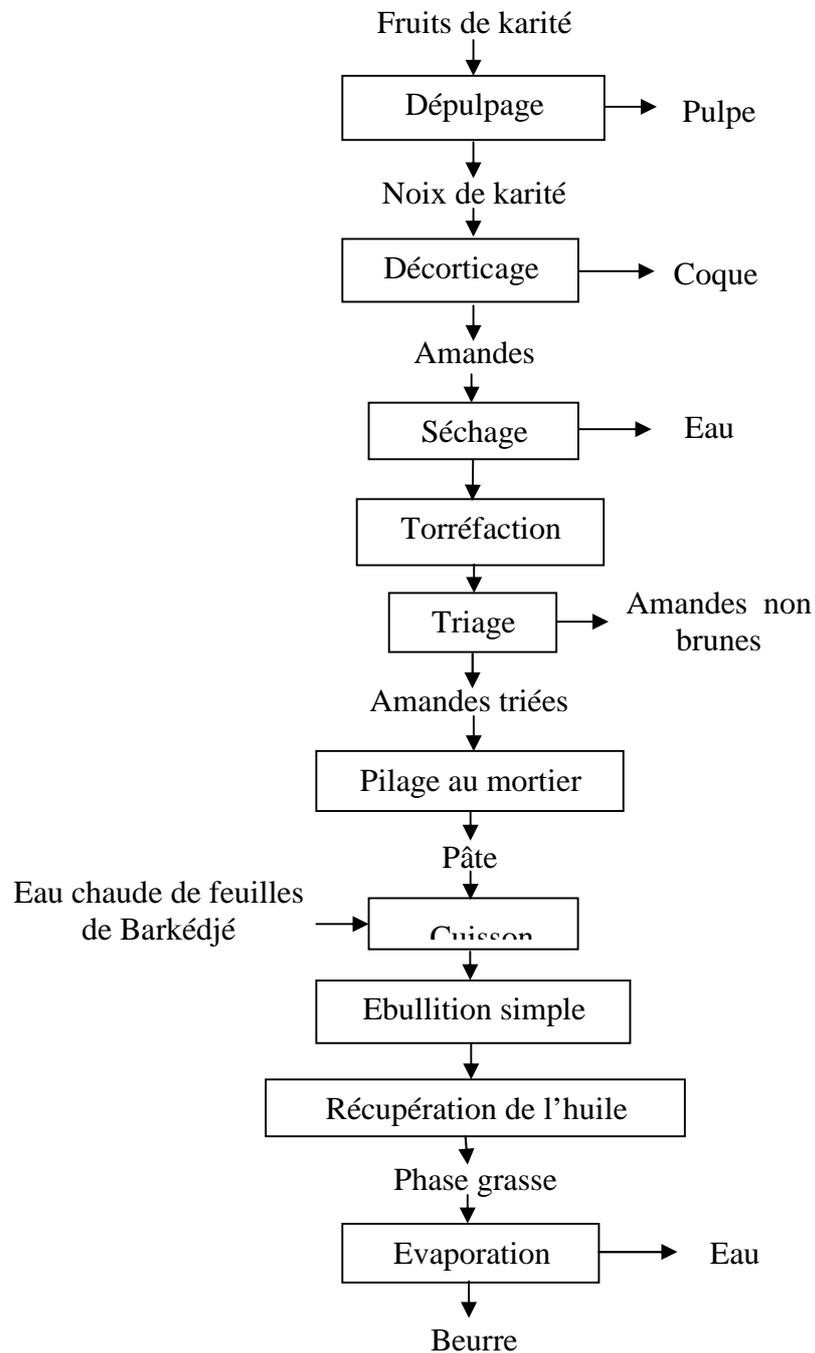


Figure 2. Le schéma du procédé d'extraction du beurre de karité de Garoua (Djamboutou), Cameroun

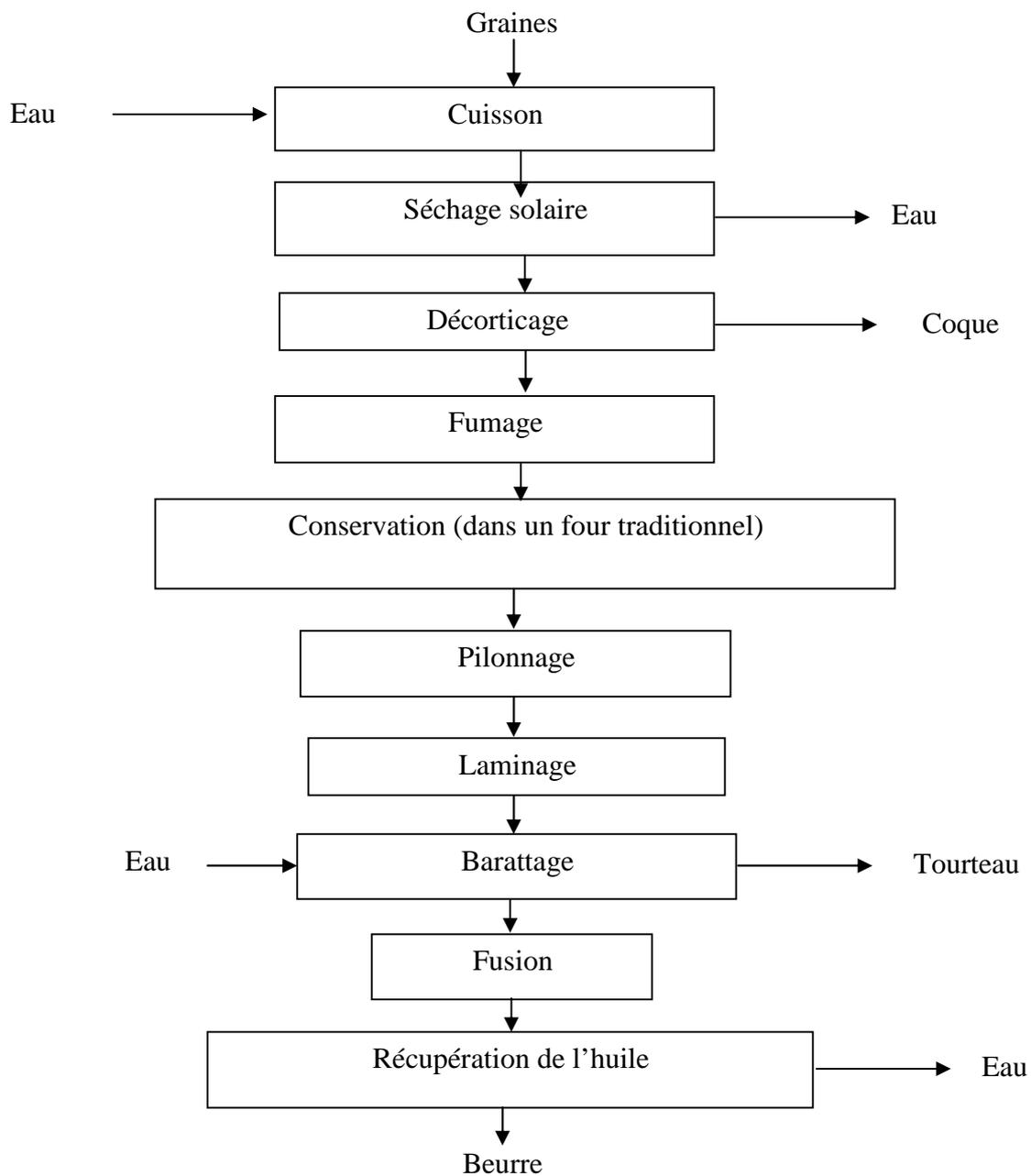


Figure 3. Schéma du procédé d'extraction du beurre de karité appliqué au Mali (N'Gouro Sanogo, 1997)

L'APPORT DES FEMMES DANS LA TRANSFORMATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES.

Madeleine TCHANDJOU-DJOUMBI

UTRALSA, BP : 192 Bafoussam.Cameroun

* mtchandjou@yahoo.fr

Mots clés : Technique agricole ; femmes transformatrices ; manioc ; emploi ; lutte contre la pauvreté.

RESUME

Avec la nouvelle technique agricole la production des récoltes augmente pour toutes les cultures, dans presque toutes les régions et à n'importe quelle saison, ce qui entraîne les femmes dans la transformation des produits alimentaires. Ces produits tels que le manioc, le maïs, la patate, le soja, les arachides, les légumes, les oléagineux, les condiments, les fruits et beaucoup d'autres encore permettent aux femmes de s'occuper, de manipuler, de créer, de participer à la vie familiale, au développement économique de son pays, de lutter contre la pauvreté puis de participer à la vie active. Le manioc par exemple à lui seul peut subir plus de dix transformations : tapioca, foufou, amidon, farine de manioc, bâton de manioc, "waters foufou", tintins, mitoumba. Ses feuilles servent à faire différentes sauces, elles sont aussi utilisées en pharmacopée traditionnelle pour traiter la fièvre typhoïde. La transformation de manioc est génératrice d'emplois pour plusieurs femmes. Ceci montre l'apport important des femmes dans les procédés de transformation des céréales.

INTRODUCTION

L'amélioration des méthodes culturelles traditionnelles s'observe progressivement à travers la fertilisation des champs avec des fumures organiques et les recours à quelques intrants nouveaux (engrais), puis avec la nouvelle technique agricole, la production des récoltes augmente pour toutes les cultures, dans presque toutes les régions et à n'importe quelle saison ; ceci amène les femmes à s'intéresser à la conservation de ces produits abondants.

Ces produits tels que : manioc, patate, maïs, soja, arachides, légumes, fruits, oléagineux et condiments (Tableau 1) permettent aux femmes de s'occuper, de manipuler, de créer, de lutter contre la paresse, l'oisiveté et c'est ainsi que les groupes de transformatrices se forment pour travailler ensemble.

La femme formatrice joue plusieurs rôles à la fois : mère, épouse, ménagère et entrepreneuse. C'est de cette manière qu'elle participe à la vie familiale, au développement de son pays et à la lutte contre la pauvreté. C'est elle qui est au four et au moulin car elle fait tout et elle y met son savoir faire et son savoir être puisque dans le groupe chaque femme a une tâche particulière qui lui incombe.

MATERIEL ET METHODES

Le matériel utilisé dans nos travaux varie avec le produit à transformer et selon qu'on est en zone rurale ou urbaine. Par exemple en ce qui concerne le manioc, le matériel est le suivant : machette, couteau, grattoir, cuvette, casserole ou fût, sacs vides, deux paires de bâton solides ou presseur, friteuse, feuilles, huile, passoire, cordes et ficelles, écumoire, tamis, moulin, moulinex et autres.

Les produits à transformer proviennent des zones rurales de la province.

La méthode traditionnelle est utilisée dans nos transformations diverses, par exemple : les tubercules de manioc lavés, trempés et retirés après quelques jours, pressés, écrasés, repartis proportionnellement dans les feuilles, ficelés et préparés (cas de bâton de manioc) sont transportés dans divers marchés).

En ce qui concerne les groupes organisés et les associations, ils utilisent les méthodes artisanales et modernes puis produisent à grande échelle.

RESULTATS ET DISCUSSION

Si la transformation des produits alimentaires est exclusivement réservée aux femmes, elle reste artisanale et informelle. En générale, la femme rurale est plus concernée car elle a plus d'espace culturel; c'est elle produit ; son matériel ne coûte pas très cher ; elle est entièrement impliquée dans cette tâche pénible pour laquelle elle a déjà pris goût. De plus elle n'assure que le marché local qui se tient pratiquement une ou deux fois par semaine.

Néanmoins les revenus tirés de cette transformation sont destinés à l'amélioration des conditions de la vie de son ménage : achat de vivres pour la famille, soins de santé, habillement ; scolarité des enfants etc. Désormais elle compte beaucoup plus sur elle-même. Son avis compte de plus en plus dans les milieux et son mari la considère comme capable de beaucoup de chose surtout quand celui-ci est mise en retraite ou devient invalide. Certaines petites querelles disparaissent au fur et à mesure et l'harmonie règne dans le foyer.

En plus, la femme formatrice rurale vend une partie de son produit avant la transformation et c'est à ce niveau qu'interviennent les "bayam sailams" qui achètent en gros à des prix dérisoires pour revendre avec profit aux formatrices urbaines.

Ces femmes " bayam sailams" développent par ailleurs des stratégies pour tirer le maximum de bénéfice au détriment des cultivatrices et les formatrices. Mais cependant, les « bayam sailams » jouent un rôle indéniable dans la transformation de ces produits alimentaires car c'est par elles que les matières premières sont distribuées à travers les provinces et les villes. C'est encore elles qui encouragent les femmes rurales en achetant les produits sur place. Les femmes rurales rencontrent souvent beaucoup de difficultés : problème financier, mauvaise état de route, rareté de point d'eau et de bois de chauffage. Elles parcourent souvent des longues distances avec les charges sur la tête et parfois elles font plusieurs tours. Le niveau d'étude ne permettant pas de maximiser le rendement, de développer leur savoir faire et de bien négocier le marché ; d'où le bien fondé de travail en groupe et en association. Ces associations aimeraient avoir leur capacité renforcer par l'acquisition de matériel moderne : outils de travail. Elles aimeraient également la professionnalisation de la filière transformation par l'acquisition des moyens techniques permettant de bien répondre aux critères qualité, quantité et conditionnement. Elles

aimeraient aussi la création d'un partenariat avec les pouvoirs publics et le secteur privé international en vue de pérenniser le développement de la filière transformation.

Tableau 1. Transformation des Produits Alimentaires

Produits à transformer	Produits transformés
Manioc	<ul style="list-style-type: none"> - Foufou - Bâton de manioc - Farine de manioc - Tapioca - Amidon - Mintoumba - Tintin - Water foufou
Feuilles de manioc	<ul style="list-style-type: none"> - Sauces - Sangha - Médicaments
Maïs	<ul style="list-style-type: none"> - Farine de Maïs - Bière de Maïs - Bouillie de Maïs - Beignet de Maïs
Soja	<ul style="list-style-type: none"> - Jus de soja - Lait de soja - Farine de soja - Beignets de soja - Bouillie de soja - Diverses sauces de soja
Condiments composés, écrasés et conditionnés	<ul style="list-style-type: none"> - de Taros écrasés - de Nkui écrasés - de bongo - de purée - de poisson
Fruits séchés et conditionnés	<ul style="list-style-type: none"> - Mangues séchée - Banane séchée - Papaye séchée
Les oléagineux safou	<ul style="list-style-type: none"> - Safou séchés - Croquettes de safou - Huile de safou
Le Karité	<ul style="list-style-type: none"> - Beurre de karité
Aiélé	<ul style="list-style-type: none"> - Huile de l'Aiélé - Croquettes de l'Aiélé
Palmistes	<ul style="list-style-type: none"> - Huile de palme - Huile de palmiste

Cette transformation contribue surtout à une certaine ouverture d'esprit dans les groupes et associations ; à une meilleure prise de conscience de l'importance de l'activité et de ses exigences ; à la meilleure maîtrise des problèmes ; aux renforcements de capacité et développement de l'esprit d'équipe.

CONCLUSION

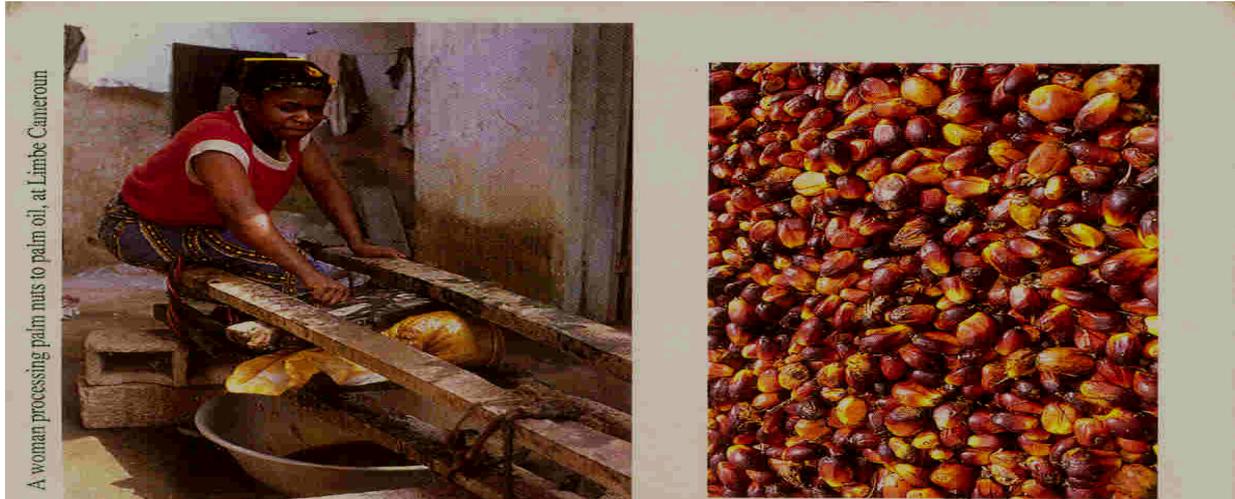
En dépit de la prédominance des femmes dans le secteur de la transformation des produits alimentaires et malgré leur savoir faire et leur disponibilité, les revenus qu'elles en tirent restent insuffisants compte tenu des multiples charges et tâches qui leur incombent. Cependant, elles occupent de plus en plus une place importante au sein de la société parce qu'elles sont avisées et qu'elles disposent des moyens qui leur permettent de participer aux activités de la famille, de la société et puis les produits transformés trouvent leur usage à tous les niveaux de la vie de la population nationale et internationale.

Remerciements

Je remercie sincèrement les organisateurs de ce Séminaire à savoir : l'Agence Universitaire de la Francophonie ; le Réseau de chercheurs « Génie des Procédés Appliqués à l'Agro-Alimentaire » ; le Recteur de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, le Comité d'organisation et le Comité scientifique qui ont eu l'idée et la volonté d'organiser ce Séminaire. Merci surtout d'avoir sollicité ma participation.

Journal des Activités du Groupe

-1999 :	Séminaire international sur le séchage et sur la valorisation du beurre de Karité et de l'aïelé du 1 ^{er} au 03 Mars à Ngoundéré Pages 403 à 406.
-2000 :	Séminaire international sur la valorisation du safou et autres oléagineux non conventionnels du 03 au 05 Octobre 2000 à Yaoundé Palais de congrès.
-2001 :	Invitation à l'IRAD de Yaoundé pour participer en recette à la base de safou en vu de l'élaboration d'un document (Safou Dacryodes Edulis Cg ON, Page 142).
-2002 :	Atelier international sur le traitement, valorisation et commerce du Karité en Afrique organisé par la FAO du 04 au 06 Mars 2002 au Sénégal.
-2002 :	Séminaire régional du génie des procédés appliqués à l'Agro-alimentaire de l'Agence Universitaire de la francophonie du 10 au 11 Décembre 2002 à l'ENSP Yaoundé Cameroun.
-2003 :	Séminaire internationale safou 2003 Thème : Biodiversité, conservation, production du 03 au 07 Décembre 2003 au Congo Brazzaville.
-2004 :	Premier colloque sur la mise en œuvre des systèmes Thermiques et Energétiques du 16 au 17 décembre 2004 à l'IUT FOTSO Victor de l'Université de Dschang.
-2005 :	Mini festival à Bangangté du 07 au 13 Août 2005 (transformation, conservation et utilisation des fruits de plantes oléagineuses).
-2006 :	Bangangté Festival MEDUMBA Stang N° 39 . Exposition des huiles et croquettes à base de SAFOU.
-2007 :	Comice Agro-pastorale à Baham Ouest-Cameroun : 2 ^{ème} prix en exposition.
-2007 :	Du 21 au 23 Novembre 2007 séminaire Génie des Procédés Appliqués à l'Agro-Alimentaires (GP3A) : 1 ^{er} Prix d'Honneur en « POSTER / EXPOSITION ».



*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

Sécurité et qualité des aliments

*6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

DETERMINATION SPECTROFLUORIMETRIQUE DU TAUX D'HISTAMINE DANS LES PRODUITS HALIEUTIQUES

M. Dione, S.E. Douabalé, O. H. Isselmou, M. L. O.C.O. Saleck, A. Coly, M.D. Gaye-Seye, A. Tine*

Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, Laboratoire de Photochimie et d'Analyse (LPA), Dakar-Sénégal
alptine@ucad.sn / alptine@yahoo.fr

Mots clés : Absorption ; analyse ; émission ; excitation ; fluorescence ; histamine ; orthophthalaldéhyde (OPA) ; spectrofluorimétrie.

1. RESUME

Les amines biogènes sont souvent à la base des intoxications alimentaires. L'histamine, en particulier, peut provoquer des symptômes sévères au-delà de sa limite de tolérance (approximativement 0,005% m/m). Pour contrôler la qualité des aliments, plusieurs méthodes ont été établies pour le dosage de l'histamine. Cependant, beaucoup d'insuffisances restent à signaler. Dans le but d'améliorer les techniques officielles (LERKE et BELL et O.A.A.C.), nous avons déterminé les conditions optimales pour la détermination du taux d'histamine. Nos études montrent également que le chauffage entre 50 et 60°C accélère la formation du complexe en milieu basique. Ainsi, nous avons établi des corrélations linéaires entre les intensités de fluorescence correspondant aux maxima de la cinétique du complexe et la concentration de l'histamine. Cette calibration nous permet de déterminer le taux d'histamine avec une grande précision compte tenu du grand domaine de calibration, du bon taux de recouvrement et de la reproductibilité de nos mesures. Ces résultats obtenus montrent que notre méthode est de loin plus fiable que celle de LERKE et BELL ou de celle de l'OAAC dont la mesure se fait en milieu acide. En effet, nos travaux ont montré que l'acide inhibe la fluorescence du complexe OPA-histamine. Nos études ont montré aussi l'existence de deux types de complexes en milieu acide. Ceci explique le mauvais taux de recouvrement obtenus quand le dosage est effectué en milieu acide. Ainsi, l'application de notre méthode dans une solution tampon phosphate pH 11,48 sur la détermination du taux d'histamine provenant des produits halieutiques a montré des résultats très satisfaisants sur la reproductibilité, la fiabilité et la précision.

2. INTRODUCTION

Le Sénégal, à l'image de beaucoup d'autres pays côtiers, est un important producteur de produits d'origine halieutique. L'activité de la pêche et l'industrie de transformation de ses produits mobilisent en permanence plus d'un demi million de personnes, pour une production annuelle de 400 mille tonnes de poisson. Si la pêche artisanale représente 85% des activités, les exportations des produits de pêche génèrent plus de 200 milliards de francs CFA, représentant 30% des exportations totales du Sénégal. La pêche constitue donc la première source de devises pour le Sénégal et contribue à 2,5% du PIB [1].

Cependant, par le caractère de ressource mondialement recherchée du poisson, sa qualité fait l'objet de normes et réglementations de la part des différents états, des communautés régionales et aussi de l'OMS [2]. L'objectif est de protéger les consommateurs. En effet, Une mauvaise conservation de produits d'origine halieutique entraîne leur altération, par conséquent, il peut en résulter des conséquences sanitaires graves chez les consommateurs. Ce genre d'intoxication est dû en général au fort taux d'amines biogènes, en particulier l'histamine [3]. L'histamine est pourtant nécessaire dans l'organisme grâce à son rôle de médiateur chimique dans le système nerveux [4]. Cependant elle devient toxique à des concentrations relativement élevées. La limite de tolérance de l'histamine dans les produits alimentaires varie, selon les pays, entre 50 et 100 ppm [5]. L'histamine résulte de la décarboxylation de l'histidine, acide aminé naturel. Cette transformation est catalysée par l'histidine décarboxylase, enzyme présente dans certains microorganismes tels que *Klebsiella oxycota*, *Klebsiella pneumonia*, *Morganella morgani*. Notons que plusieurs familles de poisson sont hôtes de ces microorganismes. Parmi ceux-ci nous citerons les espèces comme les Scombridés et des Scombérosocidés (le thon, la bonite, le maquereau), les Clupéidés (sardines, hareng) et les Coryphénidés (mahi-mahi) qui sont de grands vecteurs d'intoxication par l'histamine [6].

Dans certains pays, la limite de tolérance en histamine est inférieure à 50 ppm par rapport au produit consommé. Le contrôle du taux d'histamine dans les produits alimentaires demeure donc un important test de qualité, d'autant plus que d'autres produits comme le fromage, la viande et certaines boissons contiennent un fort taux d'histamine [3].

Dès lors, il faut des laboratoires accrédités appliquant des méthodes de dosage approuvées pour contrôler la teneur en histamine, particulièrement dans les produits de pêche. A ce jour, plusieurs procédés de détermination qualitative et quantitative de l'histamine ont été élaborés. On distingue des méthodes enzymatiques, radioenzymatiques, électrochimiques, chromatographiques, photométriques et fluorimétriques, en particulier [7-9]. Malheureusement, parmi les méthodes actuelles, beaucoup d'insuffisances sont à signaler. Ainsi, par rapport aux autres méthodes existantes, le dosage par voie fluorimétrique est de loin la méthode la plus utilisée car plus sensible. Cependant, des inconvénients majeurs liés à cette méthode sont à signaler : les mesures ont été effectuées par un fluorimètre mais non par un spectrofluorimètre. La cinétique de la formation du complexe histamine-OPA en milieu basique ne peut être réalisée à l'aide d'un fluorimètre. Le milieu acide dans lequel la fluorescence est mesurée s'est révélé comme un inhibiteur de l'intensité de fluorescence du complexe à certaines valeurs de pH. Cela a pour conséquence la réduction du domaine de calibration. Les résultats obtenus deviennent ainsi moins fiables

Nous-nous proposons donc de mettre au point une nouvelle méthode fluorimétrique sur la base de la cinétique de formation du complexe OPA-histamine en milieu basique où nous obtenons des intensités de fluorescence beaucoup plus importantes et le domaine de calibration beaucoup plus large. Pour cela, nous étudierons les effets du pH (NaOH et HCl), de NaCl, de l'OPA sur la fluorescence du complexe, de même que l'effet de la température sur la stabilisation du complexe OPA-histamine en milieu basique.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

Les mesures de fluorescence ont été exécutées à la température ambiante à l'aide d'un spectrofluorimètre de marque Kontron, modèle SFM-25, connecté à un micro-ordinateur IBM, modèle Aptiva. Les spectres de fluorescence non corrigés ont été acquis grâce au logiciel K-Wind 25 et traités par le logiciel Microcal Origin version 6.0. Nous avons utilisé un agitateur magnétique thermostaté VELP ARE Scientifica. Nous avons préparé nos solutions tampons grâce à un pH-mètre HANNA Instruments modèle HI 190N. Un broyeur (Moulinex) était utile pour homogénéiser les échantillons de poisson. Une balance de précision 0, Sartorius a été utilisée pour la pesée de nos produits. De même, les cellules de 1 cm de trajet optique en quartz à cinq faces polies étaient utilisées pour la mesure en fluorescence. Une micropipette de 20 μ L de marque Pipetman et des cônes étaient nécessaires pour des prélèvements.

3.2. Méthodes

L'allumage du spectrofluorimètre a lieu une trentaine de minutes avant le début des mesures afin d'atteindre la stabilité du rayonnement émis par la source.

Deux types de mesure ont été faites. Le premier consistait à mettre une solution d'OPA de titre connu dans la cellule du spectrofluorimètre, ensuite on ajoutait progressivement des volumes d'histamine. Après chaque ajout, on enregistrait le spectre de fluorescence ou la cinétique du complexe OPA-histamine. La variation de l'intensité de fluorescence du complexe en fonction du nombre de moles d'histamine ajoutée nous permettait d'établir la courbe de calibration. Le second type de mesure consistait à préparer le complexe OPA-histamine dans un réacteur contenant de l'eau distillée, l'OPA, NaOH et de l'histamine. Pour étudier l'effet du pH, on ajoutait des quantités connues de HCl dans le réacteur. Une portion de ce mélange était prélevée dans la cuve et portée au spectrofluorimètre pour l'enregistrement de la cinétique de complexation. La longueur d'onde d'excitation était fixée à 350 nm, l'intervalle de balayage du spectre de fluorescence était fixé entre 370 et 550 nm. Pour la cinétique de fluorescence, la longueur d'onde d'excitation était à 350 nm et celle d'émission à 430 nm. La cinétique nous permettait de mesurer la stabilité du complexe fluorescent, et des mesures successives des cinétiques en fonction de la concentration d'histamine nous permettaient d'établir la droite de calibration.

Toutes les mesures de fluorescence ont été corrigées par rapport au signal du solvant. Les résultats ont été exprimés comme valeurs moyennes des mesures répétées. Le logiciel MICROCAL ORIGIN, version 6.0, a été utilisé pour le traitement statistique des données.

4. RESULTATS ET DISCUSSION :

4.1. Optimisation en fonction de la concentration en soude

Nous avons suivi l'intensité de fluorescence de la cinétique de formation du complexe OPA-histamine en fonction de la concentration de NaOH. Nous avons remarqué que pour des concentrations faibles en NaOH de l'ordre de 10^{-4} M l'intensité de fluorescence du complexe ne s'élève presque pas et le palier marquant la fin de la réaction est très bas ce qui montre que la réaction est très lente. Pour des concentrations en NaOH de l'ordre de 10^{-3} M, nous observons une augmentation rapide de l'intensité de fluorescence et le palier montrant la fin de la réaction est atteint rapidement ce qui montre que la réaction de formation du complexe est accéléré. Et enfin pour des concentrations fortes en NaOH de l'ordre de 10^{-2} M et au-delà,

nous constatons une inhibition de l'intensité de fluorescence et la réaction de formation du complexe devient lente (Figure 1).

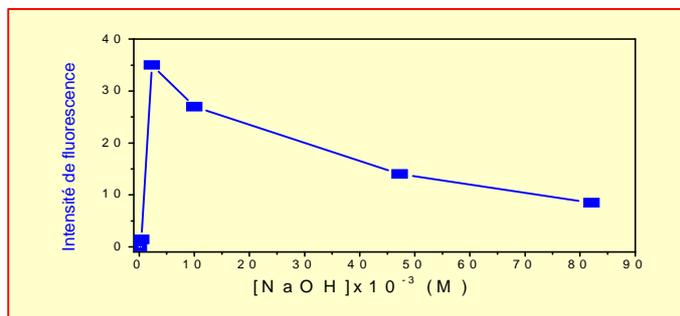


Figure 1 : Effet de la concentration de NaOH (en mol.L⁻¹) sur la cinétique de formation du complexe OPA-histamine

4.2. Effet inhibiteur de l'acide chlorhydrique sur la fluorescence

Nous avons suivi le pic de l'intensité de fluorescence du complexe OPA-histamine en fonction de la longueur d'onde en milieu alcalin acidifié. Nous avons remarqué qu'à partir de la neutralisation, l'intensité de fluorescence du complexe diminue au fur et à mesure qu'on ajoute du HCl dans la solution. La figure 2 montre que le milieu acide (HCl) inhibe l'intensité de fluorescence du complexe OPA-histamine.

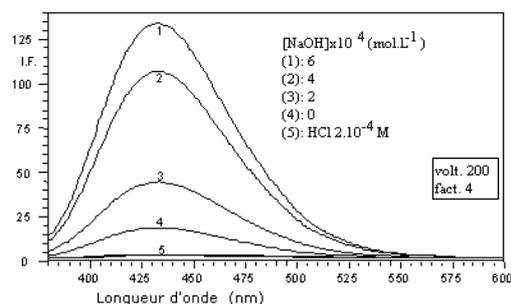


Figure 2. Abaissement de la bande d'émission de fluorescence du complexe OPA-histamine en fonction de la neutralisation de la soude par l'acide chlorhydrique ([OPA]=[Histamine]=10⁻⁴M)

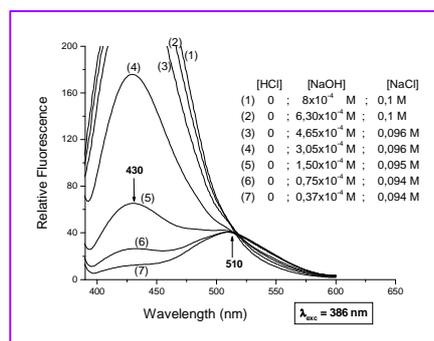


Figure3. Spectres d'émission du complexe OPA-histamine à haut voltage (350 V) ([OPA]=[Histamine]=10⁻⁴M)

En faisant d'un second complexe aux environs de 510 nm. Ces résultats rendent la quantification du taux d'histamine par la méthode de LEKE et BELL peut fiable car reposant sur l'utilisation d'un fluorimètre où passer le voltage du spectrofluorimètre de 200V à 350V, nous observons sur la figure 3 l'apparition de ce second complexe n'est pas décelé.

4.3. Effet du pH sur la fluorescence

Nous avons suivi l'intensité de fluorescence du complexe OPA-histamine en fonction du pH. La figure 4 montre que l'intensité de fluorescence devient maximale dans un intervalle de pH

compris entre 11 et 12 unités pH. Ce petit domaine de pH, nous impose à utiliser une solution tamponnée à pH 11,48 pour espérer avoir des résultats probants en milieu alcalin.

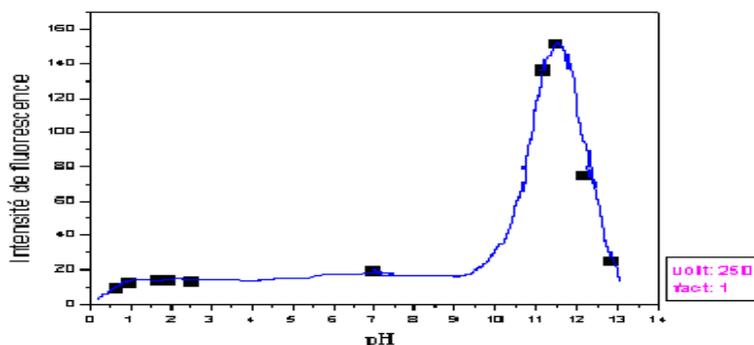


Figure 4. Effet du pH sur la fluorescence du complexe OPA-histamine en milieu basique ([OPA]= [Histamine]= $1,1 \cdot 10^{-4}M$)

En milieu alcalin pH égal à 11,48, nous obtenons un coefficient de corrélation de 0,99965 très proche de l'unité et une forte pente de $2,38 \cdot 10^8$. Alors qu'en milieu acide pH égal à 0,82, nous observons un coefficient de corrélation de 0,99399 et une pente de $0,20978 \cdot 10^8$. En comparant ces résultats, nous constatons que les mesures sont beaucoup plus précises et plus probant en milieu alcalin avec un domaine de calibration 10 fois plus élevé.

L'étude de la variation de l'intensité de fluorescence en fonction du pH, nous a permis de tracer la courbe de calibration du complexe OPA-histamine en milieu alcalin. La figure 5 représente les courbes de calibration du complexe OPA-histamine en milieux acide et alcalin.

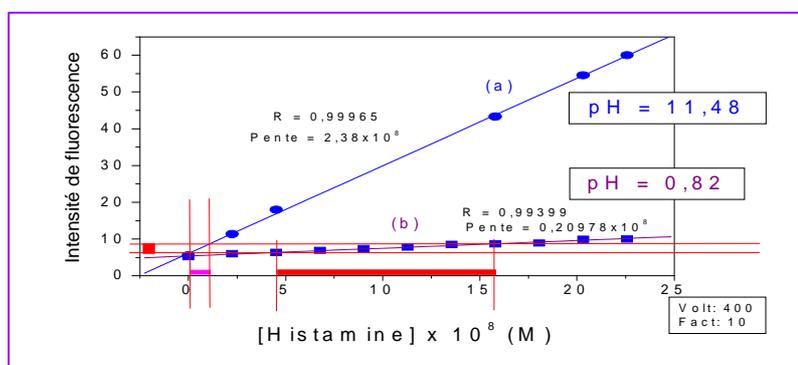


Figure 5: Calibration du complexe OPA-histamine en milieu basique (a) et en milieu acide (b)

En milieu alcalin pH égal à 11,48, nous obtenons un coefficient de corrélation de 0,99965 très proche de l'unité et une forte pente de $2,38 \cdot 10^8$. Alors qu'en milieu acide pH égal à 0,82, nous observons un coefficient de corrélation de 0,99399 et une pente de $0,20978 \cdot 10^8$.

En comparant les résultats statistiques, nous observons dans le tableau 1, un domaine de calibration 10 fois plus élevé en milieu alcalin que par la méthode officielle et une corrélation plus proche de l'unité ce qui montre la précision nos mesures. De plus nous avons une limite de détection de 0,25ng/mL contre 2,5ng/mL par la méthode officielle et un taux de recouvrement de 89% à 114% contre 17% à 217% par la méthode officielle.

Tableau 1: Comparaison des résultats statistiques obtenus par les deux méthodes

Méthode	Domaine relatif de calibration(If)	Limite de détection (ng/mL)	Taux de recouvrement	Coefficients de corrélation
Milieu Basique	0-100	0,25	89%	
Méthode Officielle	0-10	2,5	17-217%	0,9940

Ces résultats indiquent une bonne sensibilité et une bonne précision de notre méthode par rapport à celle de LERKE et BELL donc des résultats plus probants en milieu alcalin.

5. CONCLUSION

Bien que les résultats statistiques soient meilleurs en milieu alcalin avec un meilleur domaine de calibration et un meilleur taux de recouvrement, il faut cependant travailler en milieu tampon pH égal à 11,48 pour espérer avoir des résultats probants à cause du faible domaine de pH en milieu alcalin. Nos résultats statistiques montrent une nette amélioration de la méthode de LERKE et BELL par la méthode spectrofluorimétrique pour les conditions optimales pH égal à 11,48 à 50°C avec une limite de détection de 0,25 ng/mL, une corrélation de l'ordre de l'unité et un grand domaine de calibration. Les difficultés rencontrées par la méthode officielle sont donc partiellement résolues et aussi bien dans les milieux industriels que médicaux.

Remerciements: Nous remercions l'AUF et la TWAS pour leurs grands soutiens financier qui nous ont permis de finaliser et de protéger ce travail qui a fait l'objet d'un Brevet publié auprès de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) sous le n° WO 2006/018673 AI

Références bibliographiques

- [1]. <http://www.gouv.sn/senegal/index.html> (site officiel du gouvernement du Sénégal)
- [2]. Huss, H.H. La qualité et son évolution dans le poisson frais 348 FAO : Rome, 1999 http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/V7180F/V7180F00.HTM
- [3]. Antolini, F.; Franciosini, S.; Floridi, A.L. et Floridi, A. It. J. Food Sci. 11(1999) 335-346.
- [4]. Ito, C. Biomed. Pharmacother. 54 (2000) 263-267.
- [5]. Lehane, L. and Olley, J. Inter. J. Food Microbiol. 58 (2000) 1-37.
- [6]. Kim, S.H.; Field, K.G.; Morrissey, M.T.; Price, R.J.; Wie, C.I. et Haejung, A.N. J. Food Protec. 64 (2001) 1035-1044.
- [7]. Hibit, T. et Senda, M. Biosci. Biotech. Biochem. 64 (2000) 1963-1966.
- [8]. Adamou, R.; Coly, A.; Douabalé, S.E.; Saleck, M.L.O.C.O.; Gaye-Seye, M.D. et Tine, A. J. Fluores. 15 (2005) 679-688.
- [9]. Douabalé, S.E.; M. Dione, M.; Coly, A. et Tine, A. Talanta 60 (2003) 571-579.

AMELIORATION DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE FUMAGE EN PAYS DU SUD

T. Goli^{1*}, M. Rivier¹, D. Bruneau², P. Sébastian², A. Collignan³

1- CIRAD, UMR QUALISUD, Montpellier, F-34398 France. 2- TREFLE, UMR CNRS 8508, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence. 3- Montpellier Supagro Institut des Régions Chaudes, 1101, Av. Agropolis – CS24501 – 34093 Montpellier Cedex 5.

* thierry.goli@cirad.fr

Mots-Clés : Boucané ; fumage ; hydrocarbures polycycliques aromatiques ; qualité.

1. RESUME

Le fumage est une opération de transformation pratiquée depuis des générations dans de nombreuses régions du monde, pour la conservation de produits alimentaires et particulièrement de viandes et de poissons. En Pays du Sud, le fumage permet de stabiliser des produits alimentaires périssables et ainsi de les acheminer des sites de capture (zones côtières, lacs) ou d'élevage vers des zones de consommation. Les préoccupations grandissantes en matière de qualité sanitaire des aliments font que les procédés de fumage sont sous surveillance accrue des pouvoirs publics, notamment européens. En effet, même si les fonctions d'aromatisation, de coloration et préservatrices de l'opération de fumage sont bien corrélées à la présence de fractions « bénéfiques », on sait que la fumée véhicule des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA), connus depuis plusieurs décennies pour leur pouvoir cancérigène sur l'homme. On constate que les principes qui ont été proposés pour améliorer les fumoirs sont nombreux mais poursuivent en général l'objectif de réduction des coûts ou de la pénibilité. Aucune étude n'a vraiment pris en compte les aspects sanitaires. De plus, on remarque que les nouvelles technologies ont peu ou pas été adoptées par les transformateurs, du fait des contraintes locales (qualité du produit fini, aspects économiques) insuffisamment prises en compte dans la conception des innovations.

Une équipe de recherche du CIRAD a été sollicitée pour améliorer le procédé artisanal traditionnel de fabrication du porc boucané à l'île de la Réunion. Cette opération de Recherche-Développement visait à proposer aux artisans-charcutiers de l'île une alternative technologique permettant de diminuer les risques de contamination par les HPA tout en respectant au mieux le savoir-faire ancestral. L'identification du procédé traditionnel, des études de formulation et la conception d'un équipement ont constitué les activités principales menées dans un projet d'appui. L'équipement breveté, installé pour validation en site de production, a permis d'apporter une réponse aux opérateurs vis-à-vis des nouvelles législations européennes sur les HPA.

2. INTRODUCTION

Dans les pays du Sud, le fumage est pratiqué de façon très active dans la plupart des zones côtières, ainsi que près des fleuves, lacs et barrages où la pêche est développée, dès lors que le bois de feu est disponible. Les produits sont consommés sur place, et également de plus en plus exportés vers les pays voisins, voire vers l'Europe et l'Amérique où la demande est croissante du fait des flux migratoires.

Le fumage à chaud, associé éventuellement à un salage, permet d'obtenir des produits très typés, appréciés pour agrémenter notamment des plats en sauce. Les produits obtenus se conservent bien et peuvent être transportés loin des zones de production. Ainsi, ils peuvent contribuer à la couverture des besoins protéiques dans des zones où le produit frais fait défaut. La technique traditionnelle consiste à exposer directement des morceaux de viande, des poissons entiers ou des filets à la chaleur et à la fumée dégagées par la combustion de bois de feu voire de biomasses plus variées selon coût et disponibilité. Les fumoirs sont alors des fûts métalliques ou des constructions rudimentaires en bois, en terre ou en brique, qui, s'ils sont d'un très faible coût de revient, présentent deux inconvénients majeurs. D'une part, le foyer ouvert se traduit par une consommation excessive de bois, matériau de plus en plus rare et cher, d'autre part, les composés lourds résultant de la pyrolyse se déposent abondamment sur les denrées. Parmi ceux-ci, certains HPA sont connus depuis plusieurs décennies pour leur pouvoir cancérigène sur l'homme [1]. Dans l'Union Européenne, depuis février 2005, des normes strictes s'appliquent aux produits fumés [2] et il est probable qu'à terme, elles se durcissent encore pour suivre les recommandations des experts toxicologues du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France [3].

Sur l'île de la Réunion, le CIRAD a réalisé un travail de recherche et développement pour améliorer les techniques traditionnelles de fumage de la poitrine de porc, le « boucané ». Ce produit est consommé couramment par les familles réunionnaises. Préalablement dessalé avant consommation, il entre dans la composition du cari, plat traditionnel réunionnais. Cette opération visait à proposer aux artisans-charcutiers de la Réunion une alternative technologique permettant de diminuer les risques de contamination par les HPA des produits de salaison fumés réunionnais (poitrine, saucisses et andouilles boucanées). Une première étape a consisté à diagnostiquer la filière de production du boucané réunionnais. Le procédé a ensuite été analysé sous l'angle des variables technologiques et les produits ont été caractérisés finement notamment pour ce qui est des HPA et des principaux composés responsables de l'arôme et de la couleur.

3. ANALYSE DU PROCEDE TRADITIONNEL

3.1. Description du procédé et des produits.

Le boucané est un produit original typiquement réunionnais, salé, séché et fumé à chaud qui se différencie de la poitrine de porc fumée européenne, notamment par ses degrés de salage et de fumage élevés. Il est fabriqué aux échelles artisanales et industrielles. Environ 5000 tonnes de porc boucané sont produites et consommées par an à la Réunion. A l'échelle artisanale, l'emploi d'un fumoir à foyer direct, le boucan (Figure.1) confère au produit les qualités organoleptiques (goût, couleur) recherchées par le consommateur et qui font l'authenticité du produit, mais entraîne aussi une détérioration de sa qualité sanitaire (teneur en benzo(a)pyrène

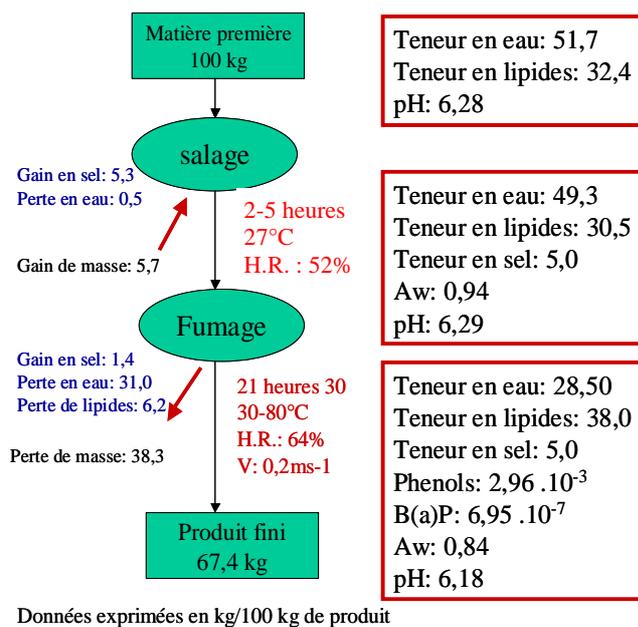


au-dessus de la recommandation française de $1\mu\text{g}/\text{kg}$) [4]. L'opération de fumage est généralement réalisée dans deux types d'enceintes.

Elle s'opère dans un fût métallique ou dans un boucan. Dans le boucan, pièce fermée de 20 à 40 m³, les lanières de viande (une centaine de kilogrammes) sont suspendues et réparties de manière homogène au-dessus de deux foyers, dans lesquels de grosses bûches sont placées quelques minutes avant l'introduction des pièces de viande. Les températures et l'humidité relative relevées au cours du fumage sont respectivement de 30°C à 80°C et de 40 % à 80 %, et varient en fonction de l'intensité de combustion des bûches et des conditions climatiques.

Figure 1. Poitrines de porc en cours de fumage dans un boucan réunionnais.

Les essences de bois utilisées sont, selon les cas, des essences locales ou du bois d'importation.



Les produits issus de ces deux modes de fumage ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques. Sur la figure 2, les caractéristiques des produits et les variables du procédé sont décrites pour ce qui est du travail en boucan.

Les différences de caractéristiques physico-chimiques observées d'un procédé à l'autre indiquent une forte influence de la conduite des procédés (salage, fumage, température de traitement) sur la qualité du produit fini. Les teneurs en eau finales des produits indiquent une déshydratation poussée de la poitrine de porc, due aux températures de fumage élevées d'une part et au séchage complémentaire lié au stockage des produits avant la vente d'autre part.

Figure 2. Description du procédé traditionnel en boucan et principales caractéristiques des produits obtenus.

Les teneurs en sel peuvent varier de 3,9% à 18,6% et dépendent du degré de salage et de séchage du produit. La teneur en phénols, bon indicateur du degré de fumage, montre que les produits traités en fût et en boucan possèdent des teneurs élevées (7,1 et 3,0 mg/100g de produit respectivement) en comparaison avec d'autres produits obtenus selon des procédés proches comme le « kundi » du Nigéria [5]. Autre conséquence du fumage direct, les teneurs en B(a)P peuvent être élevées par rapport aux recommandations (6,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en boucan). La

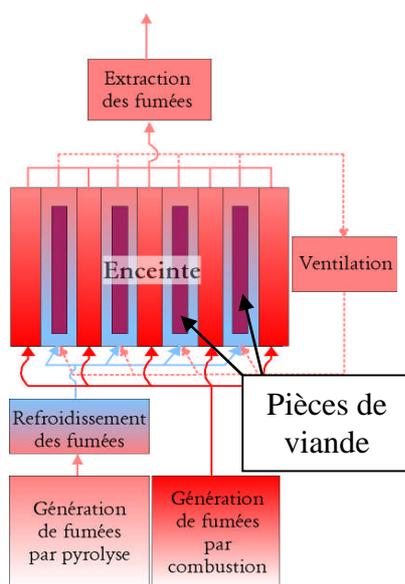
présence d'un foyer direct, les températures élevées à la surface du produit, la longue durée du fumage et la forte teneur en graisse du produit seraient les principaux facteurs expliquant cette contamination importante [6,7].

3.2. Etude des fonctions essentielles du procédé.

Une enquête menée auprès des consommateurs a montré que les trois principaux critères de qualité du boucané sont la couleur, les qualités aromatiques et la stabilité du produit. La caractérisation menée au laboratoire ainsi que les variables du procédé relevées sur le terrain (températures, durées des phases de transformation) nous ont permis d'établir les caractéristiques du produit fini à obtenir, en particulier la couleur, les teneurs en eau, en sel et en matières grasses, ainsi que l'activité de l'eau, le pH, la teneur en phénols totaux. On a également réalisé un relevé des températures en surface et à cœur de la viande durant le fumage, pour leurs répercussions déterminantes sur la qualité organoleptique (oxydation des lipides, dénaturation thermique des protéines, réactions de Maillard, dégradation des pigments). Enfin, le flux-masse isenthalpe d'évaporation a été mesuré en vue de dimensionner l'équipement. En adjoignant à cela des impératifs d'amélioration de la qualité sanitaire ($B(a)P < 1\mu\text{g}/\text{kg}$) et de performances énergétiques (économies d'énergie par rapport au procédé traditionnel), les fonctions essentielles du procédé ont pu être fixées pour déterminer la configuration du pilote innovant.

4. DESCRIPTION DE L'INNOVATION PROPOSEE

Le principe de fonctionnement du séchoir-fumoir proposé repose sur deux circuits distincts de circulation des fumées (cf. Figure 3). Une circulation de fumées « chaudes » générées par



combustion de bois (mais, tous types de biomasses pourraient être envisagées sans problèmes de toxicité) est forcée dans des conduites dont la fonction est de chauffer principalement par rayonnement mais aussi par convection la viande de porc suspendue, sans contact de ces fumées avec l'aliment. Des fumées « froides » générées par pyrolyse de copeaux ou sciure de bois sont refroidies par de l'eau ou de l'eau glacée dans un échangeur de chaleur tubulaire pour condenser les HPA. En phase de séchage, les fumées en contact avec le produit sont brassées dans l'enceinte. Le procédé dans son ensemble autorise un bon découplage des fonctions de séchage, de cuisson et de fumage [8]. L'ensemble du système de séchage-cuisson-fumage est présenté figure 4. Le dimensionnement de ce système a été basé sur la connaissance du flux-masse isenthalpe d'évaporation, par unité de surface d'évaporation, mesuré dans un boucan ($F_m = 3,75\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) [4].

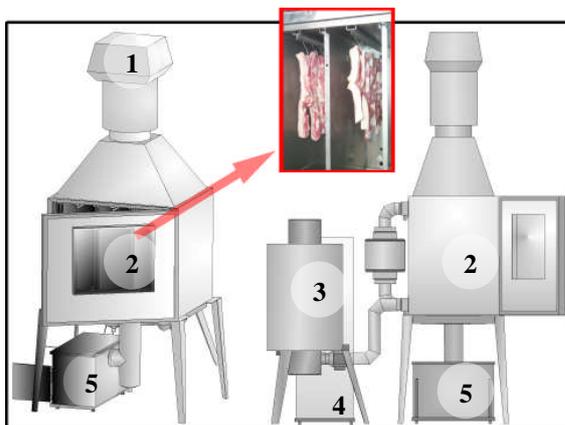
Figure 3. Schéma de principe du fumoir amélioré : circuits des fumées froides et chaudes.

A partir de celui-ci, on a pu déterminer la valeur de l'ensemble des grandeurs caractéristiques permettant la conception du fumoir [9], comme (i) le coefficient d'échange de masse

($hm = 4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), (ii) le coefficient d'échange thermique entre l'air chargé en fumées et le produit ($hT = 5\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°K}^{-1}$), (iii) la vitesse de circulation des fumées de pyrolyse dans l'enceinte de fumage ($V_{fp} \approx 0,4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) et (iv) la puissance à apporter en continu au produit ($P = 920\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). Cette puissance est principalement apportée par échanges radiatifs entre les plaques rayonnantes et la pièce de viande. L'écriture formelle des échanges (i) convecto-radiatifs entre les fumées de combustion et les parois des conduites rayonnantes, (ii) conductifs dans l'épaisseur de ces parois et (iii) radiatifs entre ces parois et le produit suspendu en vis-à-vis a permis de montrer que la température de ces parois métalliques doit être de l'ordre de 140°C afin d'assurer un apport de puissance suffisant au produit.

Pour obtenir une telle température, le coefficient d'échange convectif entre les fumées de combustion et les parois des conduites en fonction de la température des fumées de combustion entrant dans ces conduites a été estimé.

En utilisant une corrélation de convection forcée classique, la vitesse de circulation des fumées de combustion dans les conduites a été estimée selon l'écartement des plaques parallèles qui les constituent et en fonction de la température des fumées de combustion entrant dans ces conduites. Le rendement énergétique de l'enceinte de séchage-cuisson-



fumage (puissance fournie par les fumées de combustion / puissance contenue dans ces fumées), ainsi que la vitesse de fumées de combustion ont pu être modélisés en fonction de valeurs de température d'entrée de fumées de combustion dans les conduites rayonnantes (mesurées en amont, en sortie de foyer de combustion), ceci pour diverses valeurs d'écartements entre les plaques constituant les conduites. Un fumoir pilote de rendement énergétique optimum a été construit puis testé sur la base d'un écartement de plaques de 2 cm.

Figure 4. Vues en perspective et de profil du pilote de fumage innovant. 1 : extracteur de fumées, 2 : chambre de fumage, 3 : refroidisseur de fumées, 4 : générateur de fumée à sciure, 5 : générateur de fumées « chaudes ».

Pour ce choix d'écartement, les pertes de charges sont de l'ordre de 5 Pa, ce qui permet l'utilisation d'un extracteur de fumées de faible puissance. Ce nouveau fumoir permet d'obtenir un gain de temps de moitié, puisqu'en 10 heures, on obtient un produit présentant toutes les caractéristiques souhaitées. Cette réduction de temps, alliée à un rendement énergétique élevé, permet une économie de combustible substantielle. Les caractéristiques du produit fini sont très proches de celles du produit traditionnel en terme de propriétés organoleptiques, en outre, les teneurs finales en BaP sont de l'ordre de $0,3\ \mu\text{g}/\text{kg}$, ce qui satisfait parfaitement les normes en vigueur.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La méthodologie employée dans cette étude a consisté à analyser le procédé traditionnel de production du boucané réunionnais sous l'angle des transferts de chaleurs et de matières, et à caractériser les produits obtenus pour ce qui est des différentes composantes déterminant la qualité et la typicité. Sur la base du flux-masse isenthalpe d'évaporation, et connaissant les températures atteintes dans le produit et en surface, un prototype a pu être dimensionné. Le principe de séparation des circuits de séchage/cuisson et de fumage pour les fumées produites par des générateurs spécifiques permet d'atteindre le compromis souhaité en termes d'innocuité des produits dans le respect de leur typicité organoleptique. La génération et la circulation distinctes des fumées permet d'envisager la valorisation de tous types de biomasses selon le contexte local (déchets agricoles, gaz, bois, autres). Cette démarche peut être proposée pour faire face au défi du maintien et du développement des marchés locaux et d'exportation des produits traditionnels fumés. Sous la pression grandissante des consommateurs appuyés par les pouvoirs publics, ce processus passe par une amélioration des pratiques et équipements de fumage dont le cahier des charges doit être bâti en tenant compte de toutes les contraintes spécifiques locales. Les nombreuses sollicitations dont le CIRAD a été l'objet ces dernières années nous amènent à envisager la proposition d'un vaste projet de R&D dans lequel la typologie des contextes (matières premières, marchés, coût et disponibilité des intrants et matériaux, équilibres socio-professionnels en place, ressources techniques locales) servira de base aux recherches d'amélioration des pratiques et des équipements existants.

Références Bibliographiques :

- [1]. Sainclivier, M. Bulletin Scientifique et Technique de l'ENSA de Rennes, Rennes, France, 1985, pp. 219-285.
- [2]. Règlement (CE) No 208/2005 De La Commission Européenne du 4 février 2005 modifiant le règlement (CE) no 466/2001 en ce qui concerne les hydrocarbures aromatiques polycycliques, Journal Officiel de l'Union Européenne du 8 février 2005.
- [3]. Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) du 23 octobre 1979 cité dans : AFSSA, Saisine n° 2002-SA-0315.
- [4]. Poligné, I. ; Trystram, G. et Collignan A., Meat Science. 19 (2001) 377-389.
- [5]. Alonge, D.O. Acta Alimentaria. 16 (1987) 263-270.
- [6]. Gomaa, E.A.; Gray, J.I.; Rabie, S., Lopez-bote, C. et Booren, A.M. Food Addit. Contam. 10 (1993) 503-521.
- [7]. Chen, B.H. et Lin, Y.S. J. Agric. Food Chem. 45 (1997) 1394-1403.
- [8]. Bruneau, D. ; Sebastian, P. et Lecompte J.Y., AGORAL 2004 . Nantes, France. 2004, 6 pages.
- [9]. Sebastian, P.; Bruneau, D.; Collignan, A. et Rivier , M. J. Food Eng. 70 (2005) 227-243.

QUALITE DU CACAO CAMEROUNAIS : FACTEURS INFLUENÇANT LA PRESENCE ET L'ACTIVITE DES MOISSURES PRODUCTRICES DE L'OCHRATOXINE A

Pauline Mounjounpou^{1*}, Dominique Gueule², Angélique Fontana-Tachon², Bernard Guyot², Joseph Pierre Guiraud².

¹ Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), BP 2067, Yaoundé, Cameroun. ² UMR Qualisud (CIRAD, Université Montpellier II, UM1, Sup Agro), place E. Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5, France

* mounjounpou@yahoo.fr <mailto:bernard.guyot@cirad.fr>

Mots clés : Qualité du cacao ; microflore fongique ; *A. carbonarius* ; *A. niger*; ochratoxine A ; traitements post-récolte.

1. RESUME

La qualité du cacao peut être influencée par la microflore fongique, en particulier toxigène. Des cabosses de cacao, récoltées dans la région de Kumba au Cameroun, ont subi deux types de traitements post-récolte (fermentation en caisse et en tas de cabosses saines ou blessées). La numération des moisissures contaminantes donne une teneur maximale de $5,5 \pm 1,4 \times 10^7$ CFU.g⁻¹. Quel que soit l'état des cabosses traitées et le type de traitement, la microflore fongique totale reste qualitativement identique. Elle est essentiellement constituée d'*Aspergillus niger aggregate*, *A. carbonarius*, *A. flavus*, *A. tamari*, *A. fumigatus*, *Penicillium sclerotiorum*, *P. crustosum*, *P. paneum*, *Fusarium spp.* L'étude de la toxinogénèse montre que, parmi les souches isolées, seuls *Aspergillus carbonarius* et *A. niger* sont capables de produire l' ochratoxine A (OTA) avec des teneurs maximales égales à 2.772 ng/g et 3,6 ng/g respectivement. Le cacao issu des cabosses abîmées est le plus contaminé par les moisissures toxigènes et donc par l'OTA. L'étude des conditions de toxinogénèse de *A. carbonarius* montre une forte sensibilité à l'activité de l'eau du milieu.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Cacao

Les cabosses de cacao (*Theobroma cacao L.*) ont été récoltées manuellement pendant la campagne cacaoyère 2005 dans la région de Kumba au Cameroun.

2.2. Fermentation du cacao

Les fermentations ont été conduites chacune à partir de 50 kg de fèves. Deux types de fermentations ont été étudiées : fermentation en caisse et en tas. Après récolte en champ, l'écabossage a été immédiat ou différé. Selon le type de fermentation, l'état de la cabosse ou le délai d'écabossage, quatre variantes de traitement sont étudiées: fermentation en tas des fèves issues de cabosses entières et ayant subi un écabossage sans délai (T1), fermentation en caisse de fèves du même type (T2), fermentation en tas de fèves issues de cabosses entières avec un écabossage retardé de 10 jours (T3) et fermentation en tas de fèves issues de cabosses

blessées avec un écabossage également retardé de 10 j (T4). Dans ce dernier cas, les cabosses ont été partiellement ouvertes après récolte.

2.3. Echantillonnage

Le prélèvement des échantillons a été fait sur des fèves non fermentées (A), fermentées et non séchées (B), fermentées et séchées au soleil (C). Le dosage de l'OTA a été réalisé sur les fèves sèches (matière sèche > 90%). Les prélèvements effectués aux étapes A et B ont été séchés pendant 48 h à l'étuve à 30°C afin de reproduire le séchage naturel en s'affranchissant des contaminations intervenant à ce stade.

2.4. Analyses microbiologiques

Une numération de la population fongique a été réalisée par inoculation en surface de milieu PDA. L'inoculum est obtenu par trempage de 15 fèves de cacao dans 90 mL d'une solution d'eau peptonée (0,1% w/v) pendant 10 min [1]. Le résultat est exprimé en CFU.g⁻¹ pour la flore fongique totale et pour les « *Aspergillus* noirs ». Afin de déterminer le pourcentage d'infection et d'accroître la sensibilité du dénombrement, un ensemencement direct a été fait parallèlement en déposant aseptiquement des fèves de cacao (3 fèves par boîte) à la surface de boîtes de milieu PDA [2]. Les boîtes sont incubées à 25°C pendant 5 à 7 jours. Les moisissures isolées ont été identifiées selon des critères morphologiques [3]. La confirmation de l'identification des *Aspergillus* et *Penicillium* a été réalisée par des techniques moléculaires par la mycothèque de l'Université catholique de Louvain en Belgique (BCCMTM/MULC Culture collection).

2.5. Etude de la production d'OTA

Pour chaque souche isolée, une suspension (3 x 10⁶ de conidies.mL⁻¹) a été réalisée par grattage d'une boîte de culture sur PDA avec une solution d'eau physiologique avec 0,01% de Tween 80. Cinq microlitres de cette suspension sont déposés au centre d'une boîte de milieu PDA qui est incubée à 25°C. Au bout de 20 j d'incubation, une extraction directe est réalisée dans 2,5 mL de solvant méthanol-acide formique (25:1, v/v) pendant 15 min dans un bain à ultrasons.

Pour tester la production sur cacao, 50 g de fèves de cacao (contrôlées sans OTA) sont inoculés par 8 mL d'une suspension de 50 x 10⁶ conidies.mL⁻¹ de la souche à étudier et incubés à 25°C pendant 20 j. L'extraction est faite dans un mélange acétonitrile-eau, (60 :40, v/v) pendant 40 min.

La production d'OTA a été également recherchée sur riz selon la méthode FDA [4].

Dans tous les cas, la quantification de l'OTA est faite à partir des extraits, par HPLC avec une détection fluorimétrique (Shimadzu LC-10 ADVP, Japan) [5]. Les conditions opératoires sont les suivantes : boucle d'injection de 100 µL, colonne HPLC phase inverse C18, ODS granulométrie 5 µm avec pré-colonne identique, thermostatée à 35°C, débit isocratique de 1mL/min, longueur d'onde d'excitation de 333 nm et d'émission de 460 nm. Les teneurs sont calculées à partir d'une courbe d'étalonnage établie à partir d'un standard (1µg.mL⁻¹; ref PD 226 R. Biopharm Rhône Ltd, Glasgow, UK).

2.6. Dosage de l'OTA dans les fèves de cacao

Les échantillons de fèves de cacao séchées sont congelés à - 80°C puis broyés. Cinquante grammes de fèves broyées sont extraits dans 200 mL de solvant acétonitrile-eau, (60 :40, v/v).

Quatre millilitres d'extrait filtré sont dilués dans 44 mL de tampon phosphate. Le mélange est purifié sur colonne d'immunoaffinité (Ochraprep, Rhône Diagnostics, Scotland). L'OTA est éluée par 3 mL de méthanol et évaporée à sec sous courant d'azote à 70°C. Le résidu est repris par 1 mL de phase mobile eau-acétonitrile-acide acétique, (51 :48 :1, v/v). La quantification est faite par HPLC suivant la méthode décrite précédemment.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Evolution de la flore fongique pendant le traitement du cacao

La microflore fongique totale dans les échantillons de cacao issus des différentes fermentations appartient essentiellement aux genres *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Geotrichum*, *Trichoderma*, *Rhizopus*, *Fusarium*, avec des espèces **traditionnellement** reconnues comme productrices d'OTA (*Aspergillus niger agg*, *Aspergillus carbonarius*). Il n'existe pas de différence significative pour les moisissures isolées en fonction du type de fermentation (tas ou caisse). L'intégrité de la cabosse et à un degré moindre, le délai d'écabossage influencent la diversité qualitative des moisissures. Les cabosses blessées présentent une forte prolifération d'*Aspergillus carbonarius*, *A. niger agg* et *Fusarium spp* au niveau des ouvertures de la cabosse. La quantification des moisissures totales et moisissures noires isolées pendant les traitements technologiques ne montre pas une différence sensible quelque soit le type de traitement post-récolte (Tableau 1).

Tableau 1. Quantification des moisissures totales et moisissures noires isolées pendant les traitements technologiques.

Type de traitement	Stade de prélèvement	Moisissures totales (CFU.g ⁻¹)	Moisissures noires (CFU.g ⁻¹)
T1	A	nd	nd
	B	4,0 ± 1,4 x 10 ⁷	5,2 ± 1,8 x 10 ⁶
	C	3,7 ± 0,5 x 10 ⁶	nd
T2	A	nd	nd
	B	4,5 ± 0,8 x 10 ⁷	1,3 ± 0,2 x 10 ⁶
	C	4,0 ± 1,9 x 10 ⁴	nd
T3	A	2,6 ± 0,7 x 10 ⁵	nd
	B	5,0 ± 0,8 x 10 ⁷	8,7 ± 4,2 x 10 ⁵
	C	3,5 ± 2,6 x 10 ⁴	nd
T4	A	1,6 ± 0,6 x 10 ⁵	1,4 ± 0,5 x 10 ⁵
	B	5,5 ± 1,4 x 10 ⁷	1,4 ± 0,2 x 10 ⁷
	C	1,0 ± 0,4 x 10 ⁶	1,3 ± 0,57 x 10 ⁵
	C	4,2 ± 2,0 x 10 ⁴	2,8 ± 1,3 x 10 ⁴
	B	2,0 ± 0,3 x 10 ⁷	1,4 ± 0,2 x 10 ⁷
	C	7,8 ± 0,8 x 10 ⁶	4,1 ± 0,5 x 10 ⁶

T1= fermentation en tas des fèves issues de cabosses entières et ayant subi un écabossage sans délai, T2= fermentation en caisse de fèves du même type, T3= fermentation en tas de fèves issues de cabosses entières avec un écabossage retardé de 10 jours et T4= fermentation en tas de fèves issues de cabosses blessées avec un écabossage également retardé de 10 j. A : fèves non fermentées, B : fèves fermentées et non séchées, C : fèves fermentées et séchées au soleil

Mais leur nombre varie selon le stade de prélèvement. L'étape B montre le niveau de contamination le plus élevé à la fois pour les moisissures totales et pour les *Aspergillus* noirs. Des concentrations maximales de $5,5 \pm 1,4 \times 10^7$ CFU.g⁻¹ et $1,4 \pm 0,2 \times 10^7$ CFU.g⁻¹ sont obtenues respectivement pour ces deux catégories. L'ensemencement direct confirme la forte contamination des fèves de cacao par les moisissures. Le taux de contamination par les moisissures totales est de 100% quel que soit le type de traitement.

3.2. Production d'OTA par les moisissures

L'aptitude à produire l'OTA par les souches des principales espèces de moisissures isolées (*Aspergillus fumigatus*, *A. tamarii*, *A. versicolor*, *A. carbonarius*, *A. niger agg*, *Penicillium sclerotiorum*, *P. paneum*, *P. crustosum*) a d'abord été testée pour un grand nombre de souches (310) sur milieu PDA. La production a été ensuite quantifiée sur milieu riz [4] et sur milieu cacao pour les souches les plus toxigènes (Tableau 2).

Tableau 2. Production d'OTA par les moisissures identifiées en fonction du milieu de culture

Isolats	Production d'OTA (ng/g)		
	Milieu riz (FDA)	Milieu cacao	
		Dosage après 8j	Dosage après 20j
<i>A. carbonarius 1</i>	573,4	39,2	50,6
<i>A. carbonarius 2</i>	2772	84,5	110,7
<i>A. niger agg 1</i>	nd	0,5	nd
<i>A. niger agg 2</i>	3,5	0,1	0,2
<i>A. niger agg 3</i>	3,6	nd	0,05

nd : non détectable, N° 1 à 3 : isolats des souches isolées

Aucune production d'OTA n'a été observée avec *A. fumigatus*, *A. tamarii*, *A. versicolor*, *P. sclerotiorum*, *P. paneum*, *P. crustosum*. Parmi les cinquante trois isolats d'*Aspergillus carbonarius*, seuls deux isolats ont été étudiés en détail. Quel que soit le milieu de culture (riz ou cacao), ces isolats présentent une forte toxinogénèse qui varie en fonction du milieu de culture. La production d'OTA est plus importante sur milieu riz avec une teneur de 573,4 à 2.772 ng.g⁻¹ après vingt jours de culture. Sur milieu cacao, des valeurs de 39,2 à 84,5 ng.g⁻¹ après 8 j de culture et 50,6 à 110,7 ng.g⁻¹ après 20 j sont obtenues. Parmi les 145 isolats d'*Aspergillus niger agg*, seul 3 isolats ont été étudiés en détail. Par rapport à *Aspergillus carbonarius*, la toxinogénèse de ces 3 souches d'*Aspergillus niger* est beaucoup moins importante. Sur milieu riz, la production d'OTA est de 0,03 à 3,6 ng.g⁻¹ contre 0,03 à 0,2 ng.g⁻¹ sur milieu cacao après 20 j de culture.

3.3. Dosage de l'OTA dans le cacao marchand

Le cacao marchand issu des diverses fermentations a été analysé pour détecter la présence d'OTA. Le tableau 3 donne les teneurs en OTA trouvées ainsi que la flore toxigène associée à ces fèves de cacao.

Quelle que soit l'étape de prélèvement, la contamination des fèves par l'OTA est faible pour la fermentation en caisse et en tas lorsque les fèves sont issues de cabosses intactes. Les teneurs en OTA sont dans ce cas comprises entre nd (non détectable) et 0,27 ng.g⁻¹, ce qui reste inférieur à 2 ng.g⁻¹ (norme en cours d'élaboration pour les fèves de cacao marchand). La microflore toxigène associée aux fèves contaminées par l'OTA est constituée

Tableau 3. Corrélation entre teneur en OTA dans le cacao marchand, type de traitement et moisissures associées

Type de fermentation		OTA des fèves (ng/g)	Principales moisissures associées
T1	A	nd	/
	B	0,06 ± 0,01	<i>A. niger agg</i> *, <i>P. paneum</i>
	C	0,12 ± 0,01	<i>A. niger agg</i> *
T2	A	nd	/
	B	0,27 ± 0,01	<i>A. niger agg</i> *, <i>A. tamarii</i> , <i>P. paneum</i>
	C	0,06 ± 0,00	<i>P. paneum</i> , <i>A. niger agg</i> *
T3	A	0,08 ± 0,01	<i>A. niger agg</i> *, <i>P. paneum</i>
	B	nd	<i>P. paneum</i>
	C	0,06 ± 0,03	<i>A. tamarii</i> , <i>A. niger agg</i> *
T4	A	48,01 ± 0,75	<i>A. carbonarius</i> **, <i>A. niger agg</i> *, <i>P. crustosum</i>
	B	4,18 ± 0,24	<i>A. niger agg</i> *, <i>P. crustosum</i>
	C	5,40 ± 0,41	<i>A. niger agg</i> *

** : Très toxigène, * : Toxinogène A : fèves non fermentées, B : fèves fermentées et non séchées, C : fèves fermentées et séchées au soleil

majoritairement d'*Aspergillus niger agg*. Lorsque les cabosses sont blessées, une teneur maximale de 48,02 ng/g⁻¹ est observée, ce qui est largement supérieur aux doses tolérables. Les espèces toxigènes associées à ces fèves sont *Aspergillus carbonarius* et *Aspergillus niger agg*.

3.4. Discussion

Les moisissures occupent une place importante dans l'écologie des fèves de cacao pendant la fermentation [6,7]. Les principales moisissures isolées au cours de ce travail sont *Aspergillus fumigatus*, *A. tamarii*, *A. versicolor*, *A. carbonarius*, *A. niger agg*, *Penicillium sclerotiorum*, *P. paneum*, et *P. crustosum*, *Mucor spp*, *Rhizopus spp*, *Fusarium spp* et *Trichoderma spp*. Nos résultats diffèrent de la littérature sur la microflore fongique associée aux fèves fermentées [8] ou aux fèves séchées [9]. Dans ces travaux, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus glaucus*, *Mucor spp* et *Penicillium spp* ont été isolés. Maravalhas (1966) [10] a isolé *Penicillium citrinum* dans les fèves fermentées. Selon la littérature, les moisissures associées à la fermentation et au séchage sont différentes. A l'exception d'*Aspergillus fumigatus*, *Mucor spp*, les autres espèces trouvées ne sont pas décrites comme associées au cacao.

L'étude de la production d'OTA par les moisissures isolées montre que *Aspergillus fumigatus*, *A. tamarii*, *A. versicolor*, *Penicillium sclerotiorum*, *P. paneum*, et *P. crustosum* ne produisent pas l'OTA. Contrairement à nos résultats, la littérature indique qu'*Aspergillus fumigatus*, et *A. versicolor* peuvent produire de l'OTA dans les céréales [11]. *Penicillium sclerotiorum* a également été cité comme producteur d'OTA [12]. Il est probable qu'il existe des différences entre souches d'origine différente avec incidence du substrat. Nos résultats montrent que seuls *Aspergillus carbonarius* et *A. niger agg* sont aptes à produire l'OTA dans le cacao. Quel que soit le milieu de culture, tous les isolats d'*Aspergillus carbonarius* produisent l'OTA, tandis que 70% d'isolats d'*Aspergillus niger agg* sont toxigènes. Des résultats similaires ont été trouvés par Taniwaki et al. (2003) [13] sur le café où 75%

d'*Aspergillus ochraceus* et 3% d'*Aspergillus niger* produisent l'OTA. Comme dans le raisin [14], *Aspergillus carbonarius* est la principale souche productrice d'OTA dans le cacao. La production d'OTA par cette espèce varie selon le substrat. Elle est plus importante sur milieu riz que sur milieu cacao. Nos résultats concordent avec ceux des autres auteurs qui relèvent l'influence du substrat sur la production des mycotoxines [15].

4. CONCLUSION

La qualité du cacao est influencée par la microflore fongique toxigène. L'état de la cabosse et le séchage constituent des points critiques dont le contrôle permettra de fournir des produits respectant la norme en préparation (≈ 2 ng/g). L'étude des différents profils génomiques des souches isolées par la technique PCR-RAPD devrait permettre de faire des différenciations intra et inter-spécifiques et les relier éventuellement à la toxigénèse.

Références Bibliographiques

- [1]. Hocking, A.D. *Fungi and mycotoxines in stored products*. ACIAR Proceeding No. **36**, Bangkok, 1991, pp.65-72.
- [2]. Hocking, A.D. et Pitt, J.I. *Appl. Environ. Microb.* 39 (1980) 488-492.
- [3]. Samson, R.A.; Hoekstra, E.S.; Frisval, J.C. et Filtenborg, O. *Centraalbureau voor Schimmelcultures*, Baarn, Delft, Netherlands, 1995.
- [4]. Tournas, V., Stack, M.E., Mislivec, P.V., Koch, H.A. et Bandler, R., 2001. *US Food & Drug Administration* (<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-18.html>).
- [5]. Nakajima, M., Tsubouchi, H., Miyabe, M. and Ueno, Y. *Food Agric. Immun.* 9 (1997) 77-83.
- [6]. Roelofsen, P.A. *Adv. Food Res.* 8 (1958) 225-296.
- [7]. Schwan, R.F. et Wheals A. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 44 (2004) 205-221.
- [8]. Marvalhas, M. *Rev. Int. Choc*, 21 (1996) 375-378.
- [9]. Ciferri, R. *J. Dep. Agric. Porto Rico.* 15 (1931) 223-286.
- [10]. Marvalhas, M. *Rev. Int. Choc*, 21 (1966) 375-378.
- [11]. Rizzo, A., Eskola, M., et Atroshi, F. *Europ. J. Plant Pathol.* 108 (2002) 631-637.
- [12]. Frisvad, J.C.; Frank, J.M.; Houbrahen, J.A.M.P.; Kuijpers, A.F.A. et Samson, R.A. *Studies in Mycology*, 50 (2004) 23-43.
- [13]. Taniwaki, M.H.; Pitt, J.I.; Teixeira, A.A. et Iamanaka, B.T. *Int. J. Food Microbiol.*, 82, (2003) 173-179.
- [14]. Belli, N.; Bau, M.; Marìn, S.; Abarca, M.L.; Ramos, A.J. et Bragulat, M.R. *Int. J. Food Microbiol.* 111, (2006) S40-S45.
- [15]. Kokkonen, M.; Jestoi, M. et Rizzo, A. *Int. J. Food Microbiol.* 99 (2005) 207-214.

INTEGRATION DE LA QUALITE HYGIENIQUE DANS LA CONCEPTION LOCALE DES ÉQUIPEMENTS AGROALIMENTAIRES

Yaovi Ouézou Azouma

Université de Lomé .École Supérieure d'Agronomie. Département de génie rural et machinisme agricole. B.P.
1515 Lomé. TOGO
azouma@yahoo.com

Mots clés : Conception locale; équipement agroalimentaire; aliment; qualité hygiénique.

1. RESUME

Garantir la qualité hygiénique des aliments dès la conception des équipements agroalimentaires contribue à la protection de la santé publique. Au regard du couple «équipement-aliment», ce principe n'est pas souvent respecté par les équipementiers et les réparateurs dans les pays du Sud. L'objectif de la présente étude est de répondre à ce besoin. Une analyse critique des pratiques de fabrication en Afrique de l'Ouest et une étude des prescriptions hygiéniques relatives à la conception des machines agroalimentaires dans les pays industrialisés ont été réalisées. S'en suivent plusieurs propositions en termes de choix des matériaux et de solutions techniques qui permettent d'intégrer la qualité hygiénique dans la conception locale d'un équipement agroalimentaire.

2. INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest et du Centre, l'alimentation est à base de céréales : riz, maïs, sorgho, mil, fonio; de légumineuses : niébé, voandzou ; de tubercules : manioc, igname, patate ; et de produits pour la sauce : épices , tomate, arachide, sésame. Ces différents produits agricoles, autrefois transformés manuellement : écrasés à l'aide de pierres, décortiqués ou épluchés à la main, pilées au moyen de pilons dans un mortier, sont aujourd'hui transformés par des machines. Les produits alimentaires obtenus sont poudreux ou pâteux. Des observations réalisées en Afrique de l'Ouest montrent que les équipementiers et les réparateurs ne garantissent pas toujours la qualité hygiénique des aliments traités par des machines conçues ou fabriquées localement. Trois raisons principales expliquent ce problème : l'ignorance par les acteurs des principes du génie des procédés, les difficultés économiques et le manque de prescriptions ou de directives d'hygiène relatives à la conception d'une machine agroalimentaire tropicale. Ainsi, à partir d'une synthèse bibliographique sur les matériaux au contact des aliments et d'une analyse critique des pratiques de fabrication et de réparation des équipements agroalimentaires, cette étude propose des approches de solutions en vue de prendre en compte la qualité hygiénique des aliments dans une démarche de conception d'un équipement.

3. METHODOLOGIE

Une synthèse bibliographique sur les matériaux au contact des aliments est croisée avec des informations collectées au Bénin, au Burkina et au Togo [1] auprès de 12 équipementiers et 28 producteurs possédant 14 machines. Cette démarche méthodologique permet : d'une part, l'analyse critique des pratiques de fabrication locale par rapport à la qualité hygiénique des produits agricoles transformés; d'autre part, la proposition de solutions techniques et de dispositions préventives pour assurer l'hygiène des aliments traités à l'aide d'équipements ou machines fabriquées localement. En 2007 des missions auprès de plusieurs utilisateurs d'équipements au Togo confirment les pratiques qui font l'objet de l'analyse critique présentée dans la section 5 de cette étude.

4. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'objectif est de mettre en évidence les risques des matériaux au contact des aliments en vue de permettre à une équipe de recherche de concevoir une zone alimentaire d'équipement qui soit sans risque sanitaire. Quelques définitions tirées de la norme NF EN 1672 [2] sont indispensables pour montrer l'intérêt de la question.

Hygiène alimentaire : ensemble de toutes les mesures prises durant la préparation et la transformation des denrées alimentaires en vue de garantir que celles-ci sont propres à la consommation humaine ou animale.

Zone alimentaire : zone composée des surfaces en contact avec les aliments. Elle inclut également les surfaces avec lesquelles le produit peut venir en contact dans les conditions normales d'utilisation et retourner ensuite dans le produit.

Zone d'éclaboussures : zone composée des surfaces pouvant recevoir dans les conditions normales d'utilisation, des projections ou des coulures d'aliments ne retournant pas dans le produit traité.

Les matériaux généralement utilisés pour la fabrication des compartiments ou zones alimentaires des équipements tropicaux sont les métaux, les alliages de métaux et le bois qui présentent des risques liés au contact avec les aliments au cours de la transformation, de la conservation ou de la cuisson [3-5]. L'aluminium se dissout plus facilement pendant la cuisson lorsque le contenant est usagé. La quantité absorbée est plus importante si l'aliment est cuit ou conservé longtemps dans ce même contenant, et si les aliments sont acides (tomates et agrumes). Selon l'O.M.S. un adulte peut absorber sans danger plus de 50 mg d'aluminium chaque jour. Bien que la dose quotidienne tolérée par l'organisme humain n'ait pas encore été déterminée, le cuivre pris à fortes doses sur une courte période peut devenir toxique. De ce fait, les casseroles en cuivre et en laiton sont recouvertes d'un autre métal pour empêcher tout contact du cuivre avec l'aliment. L'acier inoxydable résiste à l'usure et à la corrosion mais ses composants, le fer, le nickel et le chrome peuvent avoir un effet sur la santé. Le fer peut être toxique à fortes doses, il constitue avec le carbone les deux principaux composants de la fonte souvent utilisée pour la fabrication des bâtis d'équipement. Le nickel peut provoquer une réaction allergique. L'adulte moyen peut consommer 150 à 250 µg de nickel par jour. Le chrome peut être nocif à fortes doses, on peut en consommer sans risque de 50 à 200 µg par jour. L'un des principaux inconvénients des métaux et alliages de métaux est la corrosion au contact des aliments. La corrosion ne peut avoir lieu qu'à deux conditions : présence d'un milieu humide ou hétérogénéité de contact, soit métal avec métal différent, ou avec son propre oxyde [6]. Deux groupes de facteurs influencent la corrosion due au contact des métaux avec les produits alimentaires et les boissons, l'intensité et le type de corrosion

inhérent à l'aliment d'une part, le process et les conditions de conservation, d'autre part. Les différents facteurs peuvent être en corrélation puis se combiner de façon synergique pour accélérer la corrosion. Dans les aliments, les produits les plus accélérateurs de corrosion sont : l'oxygène, les anthocyanines, les nitrates, les composés soufrés et les triméthylamines. La présence de nitrates dans les aliments en boîtes a entraîné de sérieux problèmes toxicologiques et par conséquent engendré d'énormes pertes économiques. A $\text{pH} > 4$, l'aliment peut accélérer la corrosion d'une pièce en étain. Les acides organiques purs sont moins corrosifs que les jus de fruits. Le cuivre dissout dans les aliments peut se déposer dans les contenants métalliques ou dans les produits acides et de ce fait accélérer la corrosion. L'aluminium se corrode dans une solution acide, $\text{pH} < 4$ ou une solution basique, $\text{pH} > 9$; il est très résistant à la corrosion lorsque $4 < \text{pH} < 9$. L'aluminium subit une importante corrosion au contact avec le cuivre, le fer ou d'autres métaux plus électropositifs en présence d'un électrolyte, par exemple un jus de fruit. Dans le cas de certains produits (bière) une faible quantité d'aluminium rend le produit inacceptable. Le plomb et le cadmium génèrent des substances très toxiques et de ce fait, ne doivent pas être au contact avec les aliments. Certaines précautions (Tableau1) concernant l'incompatibilité des matériaux pourraient permettre d'éviter la corrosion galvanique des matériaux de la zone alimentaire d'un équipement [7].

Tableau 1. Possibilité de contact entre différents matériaux [7]

Matériaux	Zinc	Cuivre	Aluminium	Plomb	Acier inoxydable	Acier galvanisé	Acier
Zinc	oui	non	oui	oui	oui	oui	non
Cuivre	non	oui	non	oui	oui	non	non
Aluminium	oui	non	oui	non	non	oui	non
Plomb	oui	oui	non	oui	oui	oui	non
Acier inoxydable	oui	oui	non	oui	oui	oui	oui
Acier galvanisé	oui	non	oui	oui	oui	oui	non
Acier	non	non	non	non	oui	non	oui
Plâtre	non	oui	non	oui	oui	non	non
Chaux	non	oui	non	non	oui	non	non
Ciment	non	oui	non	non	oui	non	oui
Acide (peu concentré)	non	oui	réserves	oui	oui	non	non
Bases	non	oui	réserves	oui	oui	non	non
Air marin	réserves	oui	réserves	oui	oui	réserves	non

Le bois, matériaux poreux, peut retenir des bactéries et autres microorganismes. Aussi, il pourrait permettre la migration de molécules nocives dérivées du traitement chimique de bois. L'eau provoque le pourrissement du bois. Ces risques sanitaires posent le problème de l'utilisation du bois en agroalimentaire.

5. PRATIQUES DE FABRICATION, MAINTENANCE ET RESPECT DE LA QUALITE HYGIENIQUE DES ALIMENTS

Il existe deux types de risques (tableau 2) : l'un dû au contact «matériaux-aliment» dans la zone alimentaire lié aux caractéristiques physico-chimiques du produit alimentaire, l'autre est inhérent au procédé de transformation des produits agricoles en aliments.

Tableau 2. Caractérisation des risques des matériaux au contact des aliments tropicaux

Équipement	Origine	Produit traité	État physico-chimique	Risque potentiel	Type de risque
Moulin à sauce	FL*	tomate, épices, arachide, haricot, soja	Liquide, Pâteux Acide	Oui	Dépôt de métaux Corrosion
Moulin à céréales	FL et IM*	céréales secs, humides, germées, arachide, haricot, soja	Poudreux Pâteux Farine humide	Oui	Dépôt de métaux Corrosion
Torréfacteur	FL	soja	Grains secs	Non	RAS
Râpe motorisé	FL	manioc frais	Pâteux Humide, Acide	Oui	Corrosion Contamination bois/aliment
Complexe à karité	FL	karité	Pâteux Gras	Oui	Dépôt de métaux Corrosion
Dégermeur	FL	maïs	Grains humides	Oui	Corrosion
Presse à 2 vis	FL	manioc râpé	Pâteux Acide	Oui	Contamination bois/aliment
Décortiqueur Engelberg	FL	céréales	Grains secs	Non	RAS
Décortiqueur de riz	FL	riz	Grains secs	Non	RAS
Refroidisseur vanneuse	FL	soja	Grains secs	Oui	Corrosion
Pétrin boulanger	IM ou FL	farines	Pâteux Humide	Oui	Corrosion
Broyeur	IM	céréales	Poudreux	Oui	Dépôt de métaux Corrosion
Broyeur mélangeur	IM	céréales	Poudreux	Oui	Dépôt de métaux Corrosion
Four à sole	IM	Pâtes de farines	Pâteux	Oui	Corrosion

*FL = Fabriqué localement ; IM = Importé ; RAS = Rien à signaler

Le moulin à sauce est potentiellement sujet aux deux types de risques évoqués. Cet équipement «bon marché», exploité au coin des rues ou dans des marchés, a un compartiment alimentaire en acier ordinaire attaqué par les épices humides et par la tomate (Figure 1). Le tambour des râpes subit la corrosion au contact de la pulpe fraîche de manioc car cette pièce, pour un grand nombre d'équipements, n'est pas encore fabriquée en acier inoxydable (Figure 2). Par ignorance ou pour des raisons financières, des réparateurs remplacent des pièces en acier inoxydable par des pièces en acier doux ou galvanisé. Les moulins à céréales conçus pour moudre des grains secs sont utilisés comme de «grosses moulinettes» pour transformer des produits frais ou humides : céréales germées, tomate et piment frais, arachides, haricot ou soja trempés. Les meuniers ne sont pas toujours conscients du danger pour la santé que

constitue le fonctionnement à vide des meules en acier qui produisent de la poudre de métal due à l'usure par abrasion. Au contact du manioc râpé humide contenant de l'acide cyanhydrique, le tambour de la râpe fabriqué avec une tôle d'aluminium ou en acier galvanisé garantit-il la qualité hygiénique du *gari*, du *tapioca* ou de l'*attiéké* ? Si seulement une petite quantité d'aluminium peut rendre la bière des brasseries inacceptable, quel serait son effet sur les boissons locales telles que le vin de palme (*Bangui ou Déha*) et la bière de sorgho (*Tchakpalo ou Tchoukoutou*) qui sont souvent conservés dans des gargoulettes en alliage d'aluminium, par les consommateurs dans les villes africaines?



Figure 1. Moulin à sauce en acier doux



Figure 2 . Tambour de râpe corrodé

6. SOLUTIONS D'INTEGRATION DE LA QUALITE HYGIENIQUE DES ALIMENTS TROPICAUX DANS LA CONCEPTION

6.1. Choix des matériaux de fabrication

Les surfaces des matériaux et les revêtements doivent être durables, nettoyables et pouvoir être, si nécessaire, désinfectées, sans cassure, ni fissures et résistantes aux craquelures, à l'écaillage et à l'abrasion et empêcher la pénétration de substances indésirables dans les conditions normales d'utilisation. Les matériaux de la zone-alimentaire doivent résister à la corrosion, être non toxiques et non absorbants. Ils ne doivent pas communiquer d'odeurs, de couleurs, ou de goûts indésirables aux aliments et contribuer ni à la contamination, ni entraîner une quelconque altération de l'aliment [2]. Les peintures et vernis utilisés ne doivent pas contenir le plomb, des solvants et autres substance prohibées. La conception et la rugosité des surfaces doivent empêcher, dans la mesure du possible, le produit de s'échapper accidentellement de la zone alimentaire et d'y retourner, si ce retour doit entraîner un risque pour le produit traité. Les surfaces de la zone non alimentaire ou la zone d'éclaboussures seront considérées comme des zones alimentaires si une contamination croisée est possible. Les joints fixes et démontables ne doivent pas présenter de retraits, de trous, d'anfractuosités, de rebords saillants, d'espaces morts. En zone alimentaire, les boulons, les rivets sont à éviter. Il est conseillé d'utiliser des lubrifiants de qualité alimentaire pour les roulements et les axes

[1]. Les bois durs (teck ou iroko) utilisés en agroalimentaire doivent être neufs, non traités chimiquement et bien séchés après usage.

6.3. Recommandations pour le respect de la qualité hygiénique des aliments

Pour réduire le transfert de métaux dans les produits alimentaires moulus, il faut éviter le travail à vide des moulins et promouvoir des moulins à meules en pierre naturelle. Les réparateurs (mécaniciens, forgerons) doivent respecter les prescriptions hygiéniques lors des réparations des équipements agroalimentaires. Le concepteur d'un équipement doit tenir compte de l'incompatibilité de contact entre différents matériaux pour éviter la corrosion galvanique en zone alimentaire. Par mesure de précaution, l'État doit interdire la transformation d'autres produits alimentaires autres que ceux prévus par le concepteur de l'équipement utilisé. Les États d'Afrique de l'Ouest et du Centre doivent assumer leur rôle en élaborant des prescriptions d'hygiène en conception d'équipements agroalimentaires et veiller à leur stricte application: sensibilisation des populations, des réparateurs et des équipementiers locaux, inspection et saisie des équipements et des produits alimentaires ne répondant pas aux normes.

7. CONCLUSION

Cette étude propose des solutions en vue de la prise en compte de la qualité hygiénique des aliments tropicaux, dès la conception et en maintenance d'un équipement. La caractérisation des propriétés organoleptiques, physico-chimiques, toxicologiques et microbiologiques non disponibles pour plusieurs aliments tropicaux, devrait permettre la réglementation des procédés de transformation et du choix des matériaux au contact des denrées alimentaires africaines.

Références bibliographiques

- [1]. Azouma, O.Y. 2005. Intégration de la fabrication et de la maintenance dans une démarche de conception pluridisciplinaire d'équipements agricoles et agroalimentaires pour l'Afrique, Thèse de Génie industriel, Université de Franche-Comté, Besançon.
- [2]. AFNOR, Machines pour les produits alimentaires : prescriptions relatives à l'hygiène, NF EN 1672-2, Paris, 1997.
- [3]. Gordon, L.R. Food Packaging : Principles and Practice. Second Ed. CRC-Taylor and Francis, 2006.
- [4] Nature et Progrès, Cahier des charges «Transformation des produits alimentaires et restauration», 2005.
- [5] Santé Canada. Batteries de cuisine à utiliser sans risque. Disponible sur: http://www.hc-sc.gc.ca/iyh-vsv/prod/cook-cuisinier_f.html. Consulté, le 25 mai 2007.
- [6] Ogier, M Marouzé.C.et Huet, P.L'artisan mécanicien. Manuel pour petits ateliers urbains et ruraux. Techniques Rurales en Afrique; Paris: Ministère de la Coopération et du Développement, 1988.

AFLATOXINES DANS LES ALIMENTS : RECHERCHE ET DOSAGE DANS LES HUILES ET LES PÂTES D'ARACHIDE DE PREPARATION ARTISANALE

¹Bara Ndiaye, ¹Serigne Omar Sarr, Amadou Diop, ²Mamadou Fall, ¹Yérim Mbagnick Diop

¹Laboratoire de Chimie Analytique et de Bromatologie. Faculté de Médecine et de Pharmacie. Université Cheikh Anta Diop de DAKAR. ²Laboratoire de Toxicologie et d'hydrologie. Faculté de Médecine et de Pharmacie. Université Cheikh Anta Diop de DAKAR.

*ibamath@hotmail.com

Mots clés : Aflatoxines; CLHP ; huile et pâte d'arachide ; Sénégal.

1. RESUME

Les aflatoxines sont des mycotoxines produites par certaines souches de champignons (*Aspergillus*) qui se développent dans les graines d'arachide. L'arachide et ses produits de transformation tels que l'huile et la pâte étant très consommés au Sénégal, les risques d'intoxication par les aflatoxines sont potentiels. Ce travail a porté sur la détermination des niveaux de contamination par les aflatoxines des huiles artisanales et des pâtes d'arachide consommées au Sénégal. L'analyse par chromatographie liquide haute performance (CLHP) des différents échantillons a permis de constater une forte contamination en aflatoxine B₁ (la plus redoutée) des huiles et pâtes artisanales vendues dans les marchés. Les pâtes industrielles et ménagères sont quant à elles, pour la plupart saines et propres à la consommation.

2. INTRODUCTION

Les aflatoxines sont des mycotoxines sécrétées par différentes moisissures toxigènes. *Aspergillus flavus*, moisissure cosmopolite du sol, des matières organiques et des graines (surtout oléagineuses), est l'espèce qui produit les quantités les plus importantes d'aflatoxines. Les aflatoxines sont connues comme étant de puissants poisons, mais surtout comme étant des cancérigènes très actifs [1, 2]. Ces composés chimiques sont d'autant plus redoutables qu'ils sont extrêmement stables tant sur le plan chimique que thermique.

La principale culture d'intérêt commercial du Sénégal, représentée par l'arachide, constitue également le substrat naturel préférentiel pour le développement des moisissures productrices d'aflatoxines. Par ailleurs, les conditions climatiques et culturales qui règnent dans ce pays sont particulièrement favorables à la croissance des moisissures et à la production de toxines dans les graines d'arachide. L'arachide et ses produits dérivés de préparation artisanale (pâte ou beurre, farine, huile) étant très consommés au Sénégal, il existe donc des risques potentiels d'intoxication par les aflatoxines [3]. Une étude du niveau de contamination de ces produits, à savoir, des huiles artisanales et de la pâte d'arachide a paru utile, dans un souci de protection de la santé des populations.

Le travail réalisé a consisté à étudier les teneurs en aflatoxines des huiles d'arachide de pression non raffinées, préparées de façon artisanale dans les régions de Kaolack et de Diourbel qui sont des zones de forte consommation de ces produits.

Il a aussi consisté à rechercher et à doser les aflatoxines dans les pâtes d'arachide de préparation industrielle et artisanale.

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Echantillonnage

Trois types de pâtes ont été étudiés :

- de la pâte d'arachide de préparation artisanale, vendue dans quatre marchés de Dakar tirés au sort: « Sahm », « Tilène », « Sandaga », « Zinc » à raison de cinq échantillons d'environ 1 kg de pâtes par marché,
- de la pâte d'arachide préparée de façon artisanale dans 20 foyers se trouvant à Dakar et choisis au hasard (cinq à Grand Dakar, cinq à Yoff, cinq à Pikine, cinq à Ouakam); les quantités prélevées variaient entre 500 g et 1 kg de pâtes par foyer,
- et de la pâte d'arachide préparée par une industrie locale : cinq échantillons différents d'un poids de 500 g chacun.

En ce concerne les huiles alimentaires, leur prélèvement a été effectué au niveau de 15 unités de production tirées au sort dans deux régions du "bassin arachidier" (centre du Sénégal), à savoir Kaolack et Diourbel. Deux lots de chacun un litre d'huile ont été prélevés dans chaque unité.

L'extraction et la purification ont été faites à partir des échantillons de pâtes d'arachide par la méthode de Tarter [4].

L'extraction et la purification des aflatoxines à partir des échantillons d'huiles ont été effectuées selon la méthode proposée par Miller et coll. [5].

3.2. Analyse chromatographique des aflatoxines

L'identification et le dosage des aflatoxines ont été précédés par leur dérivatisation par l'acide trifluoroacétique.

L'analyse des aflatoxines a nécessité un chromatographe liquide haute performance de marque Waters a été utilisé. Il est équipé d'une pompe Waters 510. La colonne utilisée était de type C₁₈ (Lichrospher 100 RP 18, 5 mm × 250 mm, granulométrie 5 µm). L'élution des aflatoxines a été réalisée à l'aide d'un mélange ternaire composé d'eau, d'acétonitrile et de méthanol (70 :17 :17, v/v). La détection des aflatoxines a été effectuée grâce à un détecteur fluorimétrique WatersTM 474, excitation à 365 nm, émission à 455 nm.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Pâtes d'arachide industrielles

Les valeurs trouvées pour les teneurs en aflatoxines totales varient de 0 à 0,8 ppb avec une prédominance des concentrations en aflatoxine B₁. Toutefois ces dernières sont bien inférieures à la norme de 5 ppb retenue par la Communauté Economique Européenne pour les produits destinés à la consommation humaine [6]. Ces faibles teneurs en aflatoxines observées dans ces pâtes industrielles peuvent s'expliquer par un stockage approprié et un tri très efficace des graines d'arachide utilisées.

Tableau 1. Teneurs moyennes en aflatoxines B₁, B₂, G₁ et G₂ (en ppb) dans les échantillons de pâtes d'arachide prélevés dans les marchés

Echantillons	Aflat. B ₁	Aflat. B ₂	Aflat. G ₁	Aflat. G ₂	Total Aflat.
Sahm 1	2,1 ± 0,4	1,1 ± 0,2	1,4 ± 0,3	0,5 ± 0,1	5,1 ± 0,5
Sahm 2	6,4 ± 1,3	2,5 ± 0,5	5,0 ± 1,0	0,9 ± 0,2	14,8 ± 1,7
Sahm 3	2,0 ± 0,4	1,9 ± 0,4	1,5 ± 0,3	0,8 ± 0,2	6,2 ± 0,7
Sahm 4	5,0 ± 1,0	ND	2,1 ± 0,4	1,4 ± 0,3	8,5 ± 1,1
Sahm 5	1,3 ± 0,3	ND	0,6 ± 0,1	ND	1,9 ± 0,3
Tilène 1	7,7 ± 1,5	0,9 ± 0,2	2,1 ± 0,4	1,9 ± 0,4	12,6 ± 1,6
Tilène 2	0,8 ± 0,2	ND	ND	ND	0,8 ± 0,2
Tilène 3	0,4 ± 0,1	ND	ND	ND	0,4 ± 0,1
Tilène 4	2,2 ± 0,4	ND	ND	0,5 ± 0,1	2,7 ± 0,4
Tilène 5	ND	ND	ND	ND	ND
Sandaga 1	0,7 ± 0,1	ND	ND	ND	0,7 ± 0,1
Sandaga 2	3,5 ± 0,7	ND	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	5,2 ± 0,7
Sandaga 3	10,9 ± 2,2	ND	ND	2,4 ± 0,5	13,3 ± 2,2
Sandaga 4	3,1 ± 0,6	ND	1,5 ± 0,3	1,1 ± 0,2	5,7 ± 0,7
Sandaga 5	4,7 ± 0,9	0,8 ± 0,2	1,5 ± 0,3	1,9 ± 0,4	8,9 ± 1,0
Zinc 1	17,7 ± 3,5	3,8 ± 0,8	9,2 ± 1,8	3,2 ± 0,6	33,9 ± 4,1
Zinc 2	12,8 ± 2,6	3,4 ± 0,7	7,1 ± 1,4	2,1 ± 0,4	25,4 ± 3,1
Zinc 3	2,0 ± 0,4	1,6 ± 0,3	3,0 ± 0,6	ND	6,6 ± 0,8
Zinc 4	13,9 ± 2,8	6,7 ± 1,3	11,1 ± 2,2	2,9 ± 0,6	34,6 ± 3,8
Zinc 5	7,8 ± 1,6	2,7 ± 0,5	5,0 ± 1,0	1,4 ± 0,3	16,9 ± 2,0

Tableau 2. Teneurs moyennes (en ppb) en aflatoxines B₁, B₂, G₁ et G₂ dans les huiles de pression

Aflatoxines	Diourbel	Kaolack
B ₁	59,10 ± 20,66	26,77 ± 10,43
B ₂	14,05 ± 6,12	5,30 ± 0,35
G ₁	8,92 ± 2,8	18,38 ± 2,98
G ₂	ND*	6,75 ± 1,95
Aflatoxines totales	82,07 ± 21,73	57,20 ± 11,03

* Non détecté

4.2. Pâtes d'arachide ménagères

Les analyses effectuées sur les échantillons de pâtes d'arachide ménagères ont montré que ces dernières contenaient de faibles quantités d'aflatoxines. En effet, un seul de ces échantillons présentait une teneur en aflatoxines totale de l'ordre de 9 ppb dont 6,3 ppb d'aflatoxine B₁.

L'hypothèse, la plus probable, pouvant expliquer les faibles teneurs en aflatoxines observées avec les pâtes ménagères, est vraisemblablement le triage. Celui-ci s'effectue généralement sur de petites quantités d'arachide (1 à 5 kg). Ce triage permet aux préparatrices d'éliminer l'essentiel des graines d'arachide moisies dans un simple souci d'hygiène culinaire.

4.3. Pâtes d'arachide prélevées dans les marchés

Le tableau 1 donne les teneurs en aflatoxines des pâtes d'arachide provenant de divers marchés de Dakar et sa banlieue. Les résultats obtenus montrent qu'elles sont les plus contaminées de toutes les pâtes étudiées. Les teneurs en aflatoxines totales sont en effet comprises entre 0 et 35 ppb avec toujours une prépondérance des concentrations en aflatoxine B₁ comme dans le cas des pâtes ménagères et industrielles. La forte contamination par les aflatoxines, notamment par l'aflatoxine B₁ des pâtes d'arachide artisanales commercialisées sur les marchés de Dakar a déjà été signalée par d'autres auteurs [7].

L'origine de la contamination des pâtes s'explique bien évidemment par l'infestation des graines d'arachide par des champignons toxigènes dont la prolifération est favorisée par les conditions de stockage et climatiques (taux d'humidité et température ambiante élevés), [8, 9]. Toutefois, c'est surtout la difficulté d'obtenir un triage efficace sur de grandes quantités d'arachide (une vingtaine de kilogrammes), ou vraisemblablement un mauvais triage des graines d'arachide pour des raisons commerciales évidentes, seraient à l'origine de la forte contamination de ces pâtes par les aflatoxines.

4.4. Les huiles artisanales

Les résultats de l'analyse des huiles ont montré d'importantes teneurs en aflatoxines totales dans les échantillons étudiés (Tableau 2). Par ailleurs, les teneurs moyennes en aflatoxine B₁

(aflatoxine la plus redoutée) sont nettement supérieures à celles généralement autorisées dans les produits destinés à l'alimentation humaine (de l'ordre 5 ppb) . L'origine de la forte contamination des huiles étudiées s'explique bien évidemment par l'infestation des graines d'arachide par des souches d'*Apergillus flavus* toxinogènes. Par ailleurs, les conditions de fabrication (utilisation de graines de qualité douteuse pour des raisons commerciales évidentes ; absence de raffinage).

Dans tous les cas, compte-tenu des teneurs en aflatoxines trouvées pour tous les échantillons, plus élevées que les concentrations maximales autorisées pour ce type d'aliment, il apparaît clairement que les consommateurs de ces huiles sont exposés.

CONCLUSION

Le travail réalisé, qui s'inscrit dans le souci permanent d'améliorer la qualité des aliments a permis de constater que les huiles et pâtes d'arachide les plus contaminées par les aflatoxines sont celles qui sont préparées de façon artisanale et vendues dans les marchés.

Du fait de l'omniprésence de produits à base d'arachide et notamment de l'huile dans l'alimentation des sénégalais, les risques d'intoxication à long terme sont donc réels. Compte-tenu de la gravité et de la diversité des affections imputables à l'ingestion répétée d'aliments contaminés par les aflatoxines, le contrôle et le traitement éventuel des aliments à base d'arachide s'avèrent incontournables pour une meilleure protection de la santé des consommateurs. Des mesures de prévention accessibles aux paysans sénégalais, pourraient être entreprises afin de préserver l'arachide et ses produits de transformation d'une contamination par les aflatoxines. Ces mesures consisteraient à améliorer d'une part, les conditions de stockage des graines d'arachide. D'autre part, des mesures simples telles que le tri manuel des graines d'arachide moisies pourraient réduire de façon notable la contamination en aflatoxines.

Références Bibliographiques.

- [1].Bétina, V. Mycotoxins: Production, isolation, separation and purification. Elsevier, Amsterdam, 1984.
- [2]. Afari, G. M. et Aniya, Y. Human Exp. Tox. 17 (1998) 418-423.
- [3]. Ndiaye, B.; Diop, Y. M.; Diouf, A.; Fall, M.; Thiaw, C.; Thiam, A.; Barry, O.; Ciss, M. et Ba, D. Dak. Med. 44 (1999) 57-60.
- [4].Tarter, L. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 67 (1984) 196-197.
- [5].Miller, N.; Prétorius, H. E. et Trinder, D. W. . J. Assoc. Off. Anal. Chem. 68 (1985) 136-137.
- [6]. FAO. Prevention of mycotoxins.FAO Food Nutr. Pap., FAO-ROME 1979, 79 p.
- [7]. Kane, N. Profil de la contamination par l'aflatoxine B₁ de la pâte vendue dans les marchés de Dakar. Essais de détoxification. Mémoire DEA, UCAD Dakar, 1996, 76p
- [8]. Anonyme. Contribution à la connaissance de l'aflatoxine de l'arachide du Sénégal. Agronomie Tropicale. 25 (1970) 277-293.
- [9]. Bampton, S. S. Trop. Sci. 5 (1963) 74-81.

ETUDE DE L'EFFET DES CONDITIONS DU SECHAGE SUR LA TEXTURE ET LA COULEUR DES FILETS DE SARDINE

Nadia Djendoubi¹, Nourhène Boudhrioua-Mihoubi¹, Catherine Bonazzi², Nabil Kechaou^{1*}

¹ Groupe Génie des Procédés Agroalimentaires de l'Unité de Recherche en Mécanique des Fluides Appliquée et Modélisation, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, BP 'W' 3038, Tunisie. ² UMR ENSIA/INAPG/CEMA GREF/INRA Génie Industriel Alimentaire. 1, avenue des Olympiades, 91744 Massy Cedex, France

* nabil.kechaou@enis.rnu.tn

Mots clés : Séchage ; sardine ; texture ; couleur.

1. RESUME

La stabilité et les propriétés organoleptiques des denrées alimentaires transformés sont affectées par les transferts de la matière et de chaleur dans le produit durant son processus de transformation. La connaissance de l'influence des paramètres du procédé sur la migration d'eau et la qualité du produit final s'avère indispensable pour contrôler et optimiser le processus de transformation. Le but de cette étude est d'étudier l'effet des conditions opératoires de séchage convectif par air chaud sur la couleur et la texture des filets de la sardine (*Sardina pilchardus*). Les filets de sardine ont été déshydratés par séchage convectif à vitesse d'air constante ($V_a = 1,5$ m/s), différentes températures (40, 50 et 70°C) et à humidité relative d'air ambiante. Le critère final des expériences de séchage a été fixé de manière à avoir une teneur en eau finale des filets de l'ordre de 25% en base humide. La texture des filets a été analysée à différents temps de séchage à l'aide d'un texturomètre TAXT2i. Les trois paramètres de couleur ont été déterminés en utilisant le colorimètre (Minolta CR-200). L'évaluation des paramètres de qualité au cours du séchage (texture et couleur) montre que ces derniers dépendent de la teneur en eau du produit et des conditions de séchage. L'évaluation de la texture par le test de flexion trois points montre que l'augmentation de la température engendre une augmentation de la dureté des filets. Les paramètres colorimétriques L^* et a^* ont tendance à diminuer au fur et à mesure que la température de l'air augmente et la teneur en eau du produit chute.

2. INTRODUCTION

Le poisson est rapidement le siège de dégradation sous l'action des bactéries, des enzymes et des réactions chimiques. On peut cependant minimiser ou arrêter l'action des bactéries et des enzymes en contrôlant la température d'entreposage. La réfrigération, la congélation et la mise en conserve sont parmi les meilleurs procédés. Toutefois, ces techniques nécessitent un équipement énorme pour préparer, emmagasiner et distribuer le produit transformé. Le développement des bactéries et l'action des enzymes s'effectuent en présence d'humidité. Donc, l'extraction de l'eau du poisson réduira leurs effets nocifs. Le séchage, seul ou en combinaison avec la salaison ou la fumaison, est un moyen largement utilisé pour conserver le poisson. En effet c'est l'un des procédés de conservation visant la prolongation du délai de consommation des produits alimentaires et aussi de création des nouveaux produits. Mais il arrive que la qualité du produit fini soit médiocre. C'est pour cela que beaucoup de chercheurs ont étudié l'effet des conditions

de séchage sur la qualité du produit fini [1]. Cependant à notre connaissance rares sont ceux qui ont suivi l'évolution des cinétiques de certains paramètres de qualité du produit durant le procédé [2-4].

La présente étude a pour but l'évaluation des effets de conditions de séchage sur les cinétiques de déshydratation, la texture et les dimensions des filets de la sardine.

3. MATERIEL ET METHODES

3. 1. Matière première

La sardine (*Sardina pilchardus*) est achetée sur le marché local de Massy (France) et ramenée en quelques minutes au laboratoire. Le produit est rapidement éviscéré, écaillé et nettoyé et tranché en filets de forme parallélépipédique de 6 cm de longueur et 2 cm de largeur.

3. 2. Description du dispositif expérimental

Le séchage est effectué dans des conditions constantes de température, d'humidité initiale et de vitesse d'écoulement de l'air. Un dispositif expérimental de soufflerie en boucle ouverte représenté par la figure 1, permet d'assurer un séchage de longue durée dont les conditions sont bien déterminées et parfaitement maîtrisées en température ($20 < T_a < 160^\circ\text{C}$), en humidité absolue (de l'humidité ambiante jusqu'à $0,3 \text{ kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg air} \cdot \text{sec}^{-1}$) et en vitesse de l'air ($0 < V_a < 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) [5].

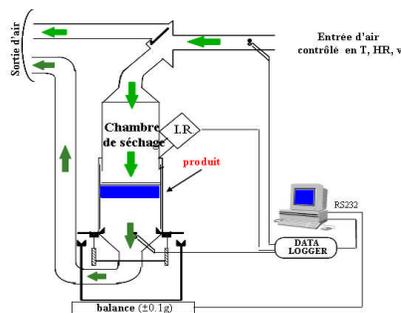


Figure 1. Le séchoir pilote INRA / Agro-Paris Tech site de Massy (France)

Une fois l'air du séchage atteint les conditions de consigne, les filets de sardine suspendus verticalement à une grille circulaire ($\phi = 20 \text{ cm}$) au moyen des accrocheurs sont disposés dans la veine d'essai. On obtient à partir des mesures, la variation de la masse des échantillons au cours du temps. Un ensemble de trois essais a été mené pour trois valeurs de températures 40, 50 et 70°C à humidité ambiante et à 40%.

Pour chaque essai de séchage, 40 filets de poisson ont été utilisés : quantité jugée suffisante pour le suivi des paramètres de qualité. Les prélèvements sont effectués toutes les heures pour chaque expérience de séchage. Le nombre des prélèvements varie de 4 (essai à 70°C) à 9 (essai à 40°C). Chaque prélèvement dure 35 secondes. Les échantillons prélevés (au moins 6 filets) sont mis dans des sacs opaques sertis sous vide et sont analysés après avoir atteint la température ambiante.

Un test flexion trois points a été utilisé pour évaluer la texture au moyen d'un analyseur de texture TAXT2i. Ce test permet de déterminer la force maximale (F_{max}) de résistance de la chair à la force appliquée.

Pour évaluer le changement en couleur, un colorimètre Minolta série CR-210 est utilisé. La couleur des deux faces supérieure (celle en contact avec la peau) et inférieure (celle en contact avec le squelette) des filets de sardine (fraîche et séchée) a été évaluée à raison de trois mesures pour chaque face. La couleur des trois filets de sardine pris au hasard est déterminée en calculant les valeurs moyennes des trois paramètres (L^* , a^* et b^*) et leurs écart types.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4. 1. Evolution de la dureté de la chair de sardine au cours du séchage

La figure 2 présente les variations de la force de résistance maximale des filets (F_{max}) à la contrainte appliquée en fonction des teneurs en eau (base sèche) pour différentes conditions de séchage.

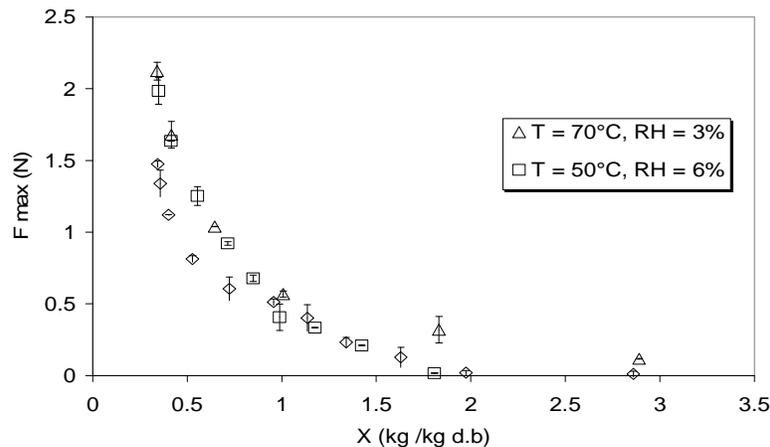


Figure 2 . Influence de la température de l'air sur la variation de F_{max} en fonction des teneurs en eau de la chair de sardine au cours du séchage ($V_a : 1,5m \times s^{-1}$; HR_a)

Ce graphique montre que l'évolution de la dureté des filets du poisson ne dépend pas seulement de la teneur en eau initiale (X_0) du produit mais également des conditions de séchage (température et humidité relative). En effet, on observe que pour une teneur en eau des filets fixe l'augmentation de la température de 40 à 50°C engendre, l'augmentation de la résistance de la chair à la force appliquée, c'est-à-dire une augmentation de la dureté de la chair. Entre 40 et 50°C : l'effet de l'augmentation de la température est très remarquable. Alors qu'entre 50°C et 70°C, cet effet est atténué. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'augmentation de la température de la chair du poisson engendre le durcissement des myofibrilles et l'amollissement du collagène qui perd sa structure originelle et se solubilise au environ de 60°C [6]. D'un autre côté, on peut noter que l'augmentation de la température de 10°C (de 40 à 50°C) engendre une diminution de l'humidité relative de 8%. En effet, en passant de 40 à 50°C, l'humidité de l'air chute de 14 à 6%. Tandis que pour une augmentation de la température de 20°C (de 50 à 70°C), l'humidité de l'air

ne diminue que de 3%. En effet, aux basses températures ($T < 50^{\circ}\text{C}$) et à humidité ambiante, une augmentation de la température de l'air engendre une forte diminution de l'humidité de l'air et donc aboutit à un écart d'humidité plus élevé entre l'air et la surface du produit. Par conséquent, la déshydratation du produit est plus intense à 50 qu'à 40°C et elle engendre un durcissement de la chair plus important à 50°C. En revanche, l'intensité de déshydratation de la chair à 50 et à 70°C est comparable. Ces deux conditions de séchage sont peu différentes et n'apportent pas un changement remarquable dans la dureté de la chair (F_{max}).

Ces résultats peuvent confirmer le fait que le transfert d'eau du produit vers l'air au cours du séchage est gouverné essentiellement par le gradient d'humidité entre la surface du produit humide et l'air asséchant.

Les figures 3 et 4 présentent l'effet de la variation de l'humidité de l'air sur la variation de la force de résistance maximale des filets à la contrainte appliquée en fonction des teneurs en eau en base sèche.

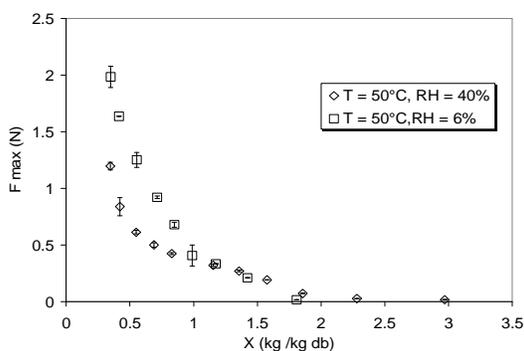


Figure 3. Influence de l'humidité de l'air sur les variations de F_{max} en fonction des teneurs en eau de la chair de sardine (*Sardina pilchardus*) ($V_a : 1,5\text{m.s}^{-1}$ $T_a : 50^{\circ}\text{C}$)

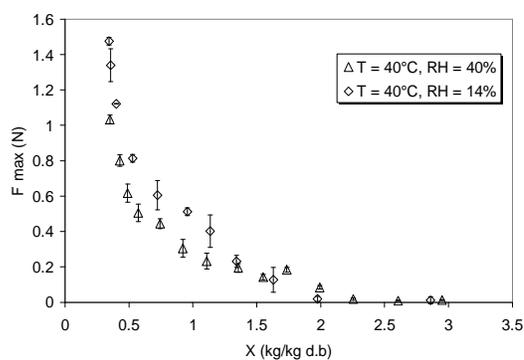


Figure 4. Influence de l'humidité de l'air sur les variations de F_{max} en fonction des teneurs en eau de la chair de sardine (*Sardina pilchardus*) ($V_a : 1,5\text{m.s}^{-1}$ $T_a : 40^{\circ}\text{C}$)

Un séchage de la chair à une température fixe et à humidité relative ambiante donnant un produit relativement dur peut être remplacé par un séchage à la même température permettant d'avoir un produit ayant la même teneur finale en eau et moins dur en injectant de la vapeur d'eau. Ceci est attendu car à 40% d'humidité, l'air environnant les filets de sardine est plus humide, engendrant un dessèchement moins poussé de la surface du produit.

Ce type de séchage peut être utile pour sécher à températures basses les produits alimentaires thermosensibles.

D'un autre côté, le séchage à hautes températures (au-delà de 40°C) peut être intéressant pour certains types de produits afin d'assurer un séchage rapide de ces derniers au début de séchage.

Ensuite une injection de la vapeur d'eau en fin de séchage permettrait d'avoir un produit de meilleur qualité (moins dur) et lumineux.

4.2. Evolution de trois paramètres de couleur

La normalisation des deux paramètres a^* et b^* représenté par les figures 5 et 6 montre qu'au cours du séchage et quelle que soit la température de l'air, la luminosité diminue. Par exemple, elle passe de 56 à 34 à 70°C et de 47 à 37 à 40°C. Pour une même condition de séchage, la luminosité des filets de sardine diminue avec l'abaissement de la teneur en eau. Les mêmes tendances sont observées pour la variation du paramètre (a^*/a^*_0) (Figure 6).

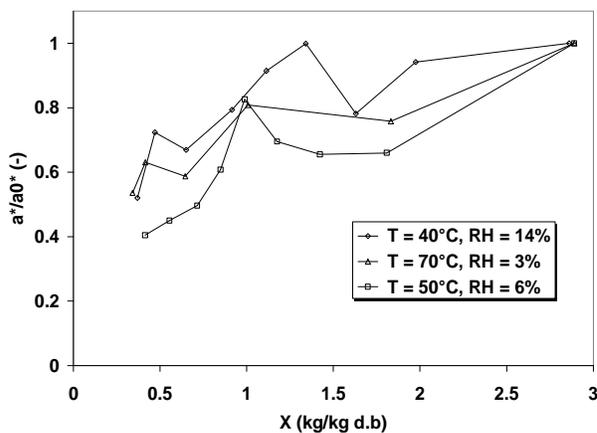


Figure 5 . Influence de la température de l'air sur L^*/L^*_0 des filets en fonction de la teneur en eau (vitesse de l'air : $1,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, humidité relative ambiante).

A une teneur en eau finale fixe, les échantillons séchés à 70°C sont plus foncés que ceux séchés à 50°C et 40°C. Lorsque la température augmente, la luminosité diminue. Cette diminution est d'autant plus importante que la température est élevée (Figure 5).

Bien que les filets séchés à 40°C soient exposés au séchage plus longtemps (9 heures) que ceux séchés à 70°C (4 heures), ils sont plus lumineux en fin de séchage. La luminosité de la chair varie largement en fonction de la température (Figure 5). Ceci peut être attribué aux réactions non enzymatiques qui se produisent à haute température.

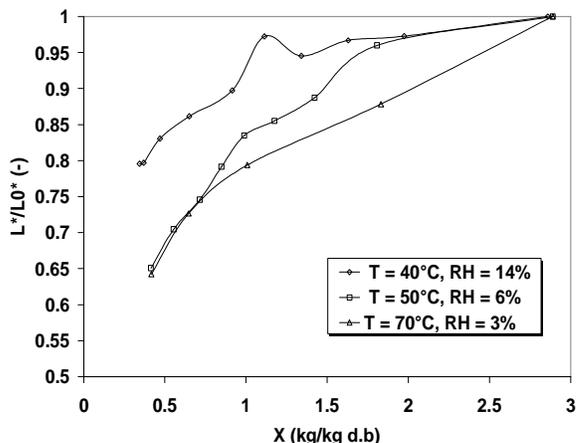


Figure 6. Influence de la température de l'air sur le paramètre de couleur a^*/a^*_0 des filets en fonction de la teneur en eau (vitesse de l'air : $1,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, humidité relative ambiante).

5. CONCLUSION

L'évaluation de la texture de la chair au cours du séchage prouve que cette dernière dépend de la température appliquée. En effet, plus la température de l'air asséchant est élevée plus la fermeté de la chair augmente. Aussi, il s'est avéré qu'au cours du séchage la luminosité de la chair de sardine diminue et qu'elle varie plus au cours du traitement, avec la baisse de la teneur en eau qu'avec la durée d'exposition à une température de séchage donnée.

Références bibliographiques

- [1]. Poernomo, A. ; Giyatmi, Y.N ; Fawzya, A. et Ariyani, F. ASEAN Food J. 7 (1992) 141-146.
- [2]. Boudhrioua, N. ; Michon, C. ; Cuvelier, G. et Bonazzi, C. J. Food Eng. 55 (2002) 115- 121.
- [3]. Talla, A. ; Puiggali, J.R. ; Jomaa, W. et Jannot, Y. J. Food Eng. 64 (2004) 103-109.
- [4]. Yong, C. K.; Islam, Md R. et Mujumdar, A.S. Drying Tech., 24 (2006) 397-404.
- [5]. Boudhrioua N. 2000. Analyse de la qualité (texture, arôme, couleur) de la banane au cours de la maturation et du séchage par air chaud. DEA de l'école nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires de Massy, France
- [6]. Groupe de Recherche et d'Echange Technologique. Conserver et transformer le poisson. DUMAS, Paris, 1993, pp. 1- 98.

EVOLUTION DES ARÔMES AU COURS DE LA MATURATION DES OLIVES ET ETUDE DE LEUR ORIGINALITE POLYPHENOLIQUE

Sonia Collin^{1*}, Sabrina Nizet¹, Sophie Muls¹, Rafika Iraqi², Amina Bouseta²

1-Université catholique de Louvain, Unité de Brasserie et des Industries Alimentaires, Croix du Sud 2/Bte 7, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique ; 2-Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Laboratoire de Biochimie, UFR de Biochimie Appliquée et Sciences Alimentaires, B.P. 1796 Atlas, Fès, Maroc

* sonia.collin@uclouvain.be

Mots clés : Olive ; arômes ; lactones ; polyphénols ; resvératrol ; stilbène.

1. RESUME

La composition aromatique des olives noires « façon grecque » se distingue nettement de celle des olives vertes élaborées selon la « méthode espagnole ». Plusieurs lactones, le 2-méthyl-3-furanethiol et le 3-méthylbutanoate d'éthyle, tous absents dans les olives vertes, ressortent, avec le méthional et le guaiacol, comme les composés les plus odorants de l'olive noire. En termes d'originalité polyphénolique, aussi bien les olives vertes que les olives noires contiennent du *trans* resvératrol et son glucoside, le *trans*-picéide. Ces deux stilbènes, associés dans le cas du vin au fameux « French paradox », n'avaient jamais été identifiés précédemment dans l'olive.

2. INTRODUCTION

Outre ses fonctions de lutte contre l'érosion et de fixation des populations dans les zones rurales, l'olivieraie marocaine génère une production annuelle d'environ 120 mille tonnes d'olives de table et 48 mille tonnes d'huile d'olive. Cette répartition est relativement unique, la plupart des pays méditerranéens étant majoritairement producteurs d'huile.

La composition aromatique des olives vertes de table élaborées selon « la méthode espagnole » a été récemment publiée [1]. Dans le présent travail, nous avons suivi l'évolution des composés organoleptiquement actifs au fil de la maturation du fruit. Les olives vertes élaborées selon « la méthode espagnole » sont désamérisées avec une solution d'hydroxyde de sodium, puis lavées à l'eau et fermentées naturellement alors que les olives noires "façon grecque" ne sont que très légèrement traitées à l'hydroxyde de sodium, salées, puis stockées dans une solution saline à 12-15%. La maturation plus longue des olives noires est donc partiellement compensée par une préparation beaucoup plus légère du produit fini.

Des stilbènes ont par ailleurs été recherchés pour la première fois dans cette matrice reconnue très riche en polyphénols.

3. MATERIEL ET METHODE

3.1 Extraction Likens-Nickerson et analyse des arômes

Environ 10 g d'olives saines dénoyautées sont hachées et transférées dans un ballon A avec 30 mL d'eau Milli-Q. 5 mL de dichlorométhane bidistillé sont versés dans un ballon B tandis que 2 mL de dichlorométhane bidistillé et 2 mL d'eau Milli-Q sont introduits au centre du dispositif Likens-Nickerson (C) [2]. Pour régulariser l'ébullition, quelques grains de carborundum sont ajoutés dans les ballons A et B. Afin d'éviter toute oxydation des arômes, le montage est préalablement purgé et sera maintenu sous flux d'azote (2 mL/min) tout au long de l'extraction. Le ballon A est plongé dans un bain de paraffine à $150 \pm 5^\circ\text{C}$; le ballon B dans un bain d'eau à $75 \pm 5^\circ\text{C}$. Les vapeurs de dichlorométhane chargées d'arômes et la vapeur d'eau se condensent au centre du dispositif surmonté d'un réfrigérant à -15°C .

Après 45 minutes, l'extraction est interrompue et la phase dichlorométhane du ballon B est transvasée quantitativement dans un ballon portant une colonne Snyder-Kuderna. Un standard externe (EST, 10 μL d'une solution de chloroheptane 2.078 mg/L préparée dans du dichlorométhane) y est ajouté ainsi que quelques grains de carborundum (régularisation de l'ébullition). Le ballon est plongé dans un bain thermostaté à 45°C jusqu'à l'obtention d'un volume de 0,5 mL. La concentration finale de l'EST est donc de 41,56 mg/L. La verrerie est alors refroidie sous eau froide. L'extrait est transféré dans une fiole d'injection chromatographique stockée à -80°C avant analyse.

Conditions chromatographiques :

Injecteur : splitless (ouverture du split après 1 minute), température : 250°C , quantité injectée : 1 μL

Pression du gaz vecteur (He) : 100 kPa (GC-MS), 50kPa (GC-O)

Colonne capillaire Wall Coated Open Tubular (WCOT) (50 m x 0,32 mm ID, CP-Sil5-CB (CP) low bleed MS, épaisseur du film = 1,2 μm)

Programmation de température du four :

Température initiale : 36°C

Pente 1 : $20^\circ\text{C}/\text{min}$ jusqu'à 85°C

Pente 2 : $1^\circ\text{C}/\text{min}$ jusqu'à 145°C

Pente 3 : $3^\circ\text{C}/\text{min}$ jusqu'à 250°C

Température finale : 250°C durant 30 minutes

Détecteurs (spectromètre de masse et olfactomètre) :

GC-MS : quadropôle, ionisation par impact électronique à 70 eV, analyse de 40-400 amu (mode full scan), température de la source : 200°C

GC-O : port de sniffing alimenté d'air humidifié à 20 mL/min

3.2. Extraction et analyse des stilbènes

Le protocole d'extraction (lavages successifs au toluène et au cyclohexane, extraction avec éthanol-eau, (80:20, v/v) à 60°C) et d'analyse (HPLC/MS/MS) des stilbènes des olives est identique à celui décrit par Callemien *et al.* (2005) pour l'analyse des stilbènes du houblon [3].

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Composition aromatique des olives noires

Lors de l'analyse olfactométrique des extraits d'olives noires, 20 odeurs potentiellement identifiées et six odeurs inconnues présentent un FD supérieur ou égal à 64 (facteur de dilution = nombre de fois que l'on dilue l'extrait avant que l'odeur ne disparaisse en sortie de colonne [4]).

Plusieurs lactones et le 2-méthyl-3-furanethiol (FD = 4096-8192) ressortent, avec le méthional (FD = 128-16384) et le guaiacol (FD = 128-2048), parmi les composés les plus odorants de l'olive noire (Tableau 1). Les gamma-lactones sont majoritaires, en particulier la γ -dodécalactone (FD = 512-32768) avec une odeur caractéristique d'olive, la γ -décalactone (FD = 8-128, fruité) et la γ -octalactone (FD = 0-32, fruit pourri). Celles-ci étaient absentes dans le fruit vert [1]. La δ -décalactone apporte quant à elle une note agréable de noisette. Le méthional et le guaiacol, bien que déjà présents dans l'olive verte, y jouaient un rôle moins important.

Tableau 1. Composés soufrés, phénol et lactones distinguant nettement les olives noires des olives vertes.

Indice de rétention (CP-Sil-5-CB)	Nom	Odeur	FD			
			Noir 1	Noir 2	Noir 3	Vert
858	2-méthyl-3-furanethiol	oxo, fumé, salé	8192	8192	4096	-
870	méthional	moût, pomme de terre	16384	2048	512	128
1064	guaiacol	phénolique, fumé	2048	512	1024	128
1250	γ -octalactone	fruit pourri	32	-	-	-
1428	γ -décalactone	fruité	16	128	8	-
1456	δ -décalactone	noisette	512	16	512	-
1286	γ -dodécalactone	olive, fruité, pêche	512	32768	512	-

Iraqi *et al.* [1] mentionnaient l'absence dans l'olive verte de 2-méthylpropanoate d'éthyle, de 2- ou 3-méthylbutanoate d'éthyle et de cyclohexylcarboxylate d'éthyle, principaux contributeurs de l'arôme fruité de l'huile d'olive [5, 6]. Excepté le cyclohexylcarboxylate d'éthyle, ces composés, ainsi que quelques autres esters, ont logiquement été retrouvés dans les extraits d'olives noires. La β -damascénone, absente dans l'olive verte, apporte aussi une note fruitée à l'olive noire et à l'huile qui en est extraite.

Tableau 2. Principaux composés responsables de l'arôme fruité de l'olive noire.

Indice de rétention (CP-Sil-5-CB)	Nom	Odeur	FD			
			Noir 1	Noir 2	Noir 3	Vert
727	2-méthylpropanoate d'éthyle	fruité, fraise	64	256	128	-
831	3-méthylbutanoate d'éthyle + 2-méthylbutanoate d'éthyle	fruité, sucré	8	2048	4096	-
1358	β -damascénone	pomme cuite	-	64	4	-

A l'instar des olives vertes, l'olive noire contient les (*E,Z*)- et (*E,E*)-2,4-décadiénals (odeurs intenses de coriandre) et le (*Z*)-3-hexéнал (odeur agréable d'olive verte) (Tableau 3). Ce dernier s'est toutefois révélé beaucoup moins intense. Plusieurs terpènes précédemment identifiés dans le fruit vert (acétate de néryle, β et γ -terpinéol, linalol, β -myrcène) n'ont été retrouvés ni dans les olives noires, ni dans l'huile d'olive issue de celles-ci.

Tableau 3. Aldéhydes des olives vertes retrouvés dans les olives noires.

Indice de rétention (CP-Sil-5-CB)	Nom	Odeur	FD			
			Noir 1	Noir 2	Noir 3	Vert
764	(<i>Z</i>)-3-hexéнал (hexanal)	verdure, olive verte	32	4	8	256
1272	(<i>E,Z</i>)-2,4-décadiéнал	huile de paraffine, verdure	2048	16	512	64
1286	(<i>E,E</i>)-2,4-décadiéнал	huile de paraffine, coriandre	256	512	128	128

L'utilisation de sorbate de potassium comme conservateur explique la présence de 2,4-hexadiénoate d'éthyle et d'acide 2,4-hexadiénoïque dans certains échantillons d'olives noires.

4.2. Originalité polyphénolique des olives

L'oleuropéine est le principal polyphénol de l'olive verte; celui-ci lui confère une amertume excessive s'il n'est pas hydrolysé en hydroxytyrosol. Dans le cadre de cette recherche, nous avons recherché la présence de stilbènes. Il s'agit d'une autre famille de polyphénols à laquelle on attribue des effets « santé » exceptionnels, notamment dans le cas du vin (« French paradox »).

Nous avons ainsi découvert du *trans*-resvératrol et son glucoside, le *trans*-picéide, aussi bien dans l'olive verte que dans l'olive noire (Figure 1).

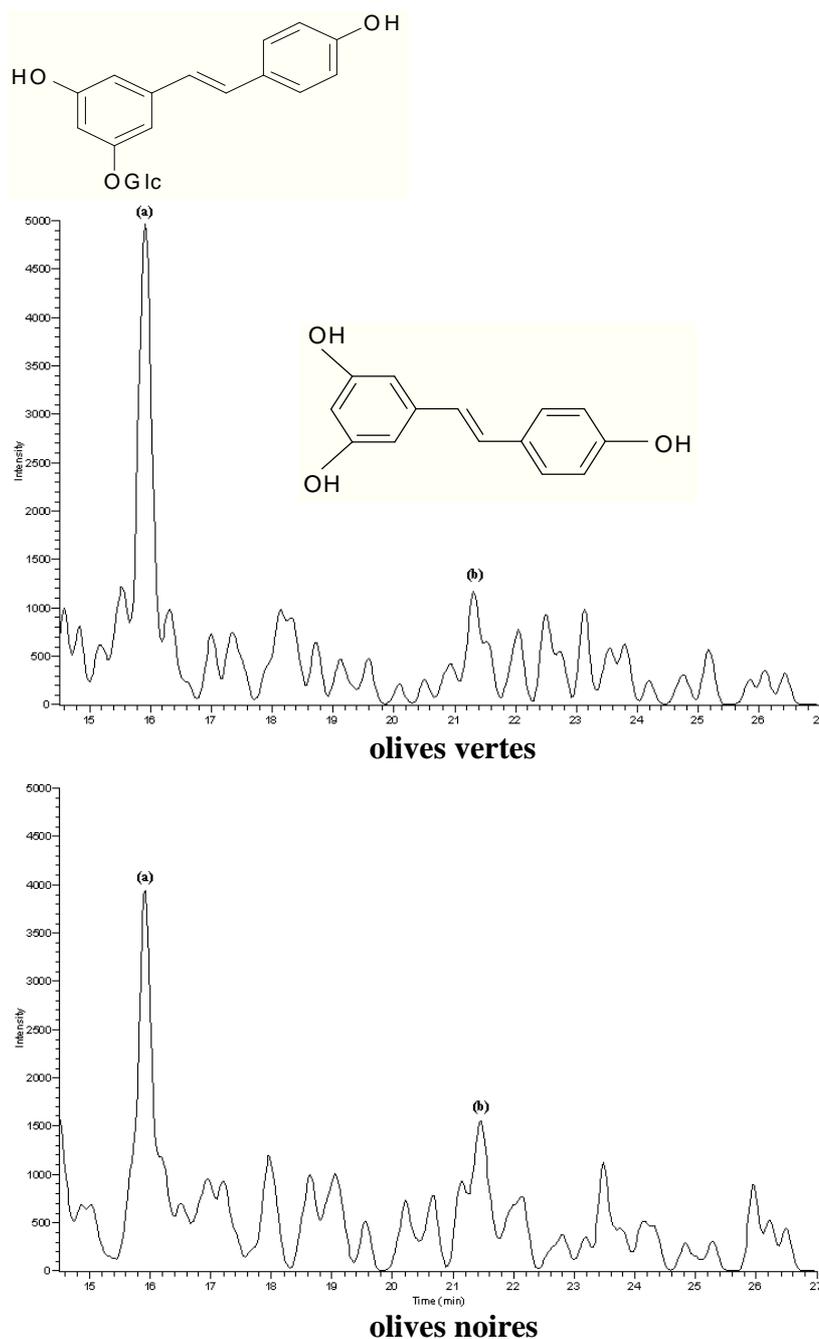


Figure 1. Chromatogrammes HPLC/MS/MS d'extraits stilbéniques d'olives vertes (en haut) et d'olives noires (en bas) : (a) trans-picéide, (b) trans-resvératrol.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les olives noires se sont révélées être des sources intéressantes de γ -lactones et de resvératrol. Les recherches sur les arômes et les composés polyphénoliques de l'olive n'en sont qu'à leurs débuts et les voies à explorer sont encore nombreuses. L'impact des procédés de fabrication et de conservation des olives de table doit encore être évalué.

Références Bibliographiques

- [1]. Iraqi, R.; Vermeulen, C.; Benzekri, A.; Bouseta, A. et Collin, S. J. Agric. Food Chem. 53 (2005) 1179-1184.
- [2]. Callemien D.; Jerkovic, V.; Rozenberg, R. et Collin S. J. Agric. Food Chem. 53 (2005) 424-429.
- [4]. Grosch, W. Trends Food Sci. Technol. 23 (1993) 68-73.
- [5]. Reiners, J. et Grosch, W. J. Agric. Food Chem. 46 (1998) 2754-2763.
- [6]. Kiritsakis, A. K. J. Am. Oil Chem. Soc. 75 (1998) 673-681.

EVALUATION DES POTENTIELS NUTRITIONNELS ET TECHNOLOGIQUES DE QUELQUES PRODUITS LOCAUX DU SENEGAL

M. Cisse^{1*}, M. Sakho¹, M. Dornier², C.M. Diop¹, M. Reynes², O. Sock¹

¹ ESP, B.P 5085 Dakar-Fann, Sénégal ² UMR QUALISUD - CIRAD, TA 50/PS4, 34398 Montpellier Cedex 5, France

* Auteur correspondant : madycisse@ucad.sn

Mots-clés : fruit ; *Adansonia digitata* L. ; *Detarium senegalensis* ; *Hibiscus sabdariffa* ; composition.

1. RESUME

La caractérisation physico-chimique, biochimique et nutritionnelle des fruits du baobab (*Adansonia digitata*), du ditax (*Detarium senegalensis*), et des calices de bissap (*Hibiscus sabdariffa*) nous a permis de ressortir leurs énormes potentiels. Le ditax avec 967 mg/100 g de vitamine C est l'un des fruits les plus riches en vitamine C. Avec une teneur en polyphénols totaux supérieure à 2500 mg/100 g, la pulpe du fruit du baobab (pain de singe) et les calices de bissap pourraient être utilisés comme antioxydant naturel dans les boissons, les préparations de fruits, les produits laitiers, la confiserie, et autres. Evalué par la méthode ORAC, le pouvoir antioxydant de la pulpe du fruit d'*Adansonia digitata* est important (88 µmol trolox/g). Par ailleurs, le bissap avec des teneurs en anthocyanes de 767 et 967 mg/100 g respectivement pour les variétés THAI et CLT 92, constitue une bonne source de colorant naturel.

2. INTRODUCTION

Au Sénégal, les fruits sont généralement consommés frais. Il en résulte des pertes énormes essentiellement causées par l'absence de technologies de conservation et de transformation appropriées. Les pertes post-récolte sont alors toujours très importantes et grèvent fortement la rentabilité de la production. La transformation de ces fruits en d'autres produits tels que les nectars, les jus de fruits, les boissons, etc. doit être envisagée afin de limiter les pertes. De plus depuis quelques années, du fait de la conjoncture économique, les consommateurs sénégalais se tournent de plus en plus vers les jus et nectars à base de fruits locaux. Par ailleurs, avec le déclin de la monoculture de l'arachide, les paysans sénégalais sont confrontés à d'énormes problèmes financiers. La recherche de revenus complémentaires a amené les paysans à s'orienter de plus en plus vers des solutions alternatives telles que l'exploitation d'*Hibiscus sabdariffa* des fruits d'*Adansonia digitata* et des fruits du *Detarium senegalensis*. Nos travaux de recherche ont donc pour objectif de caractériser de manière aussi complète que possible quelques fruits locaux du Sénégal dont certains se retrouvent également en Afrique et dans le monde (fruits d'*Adansonia digitata* et calices d'*Hibiscus sabdariffa*) [1-5].

3. MATERIEL ET METHODES

Trois fruits ont été étudiés : *Adansonia digitata* (Buy), *Hibiscus sabdariffa* (Bissap) et *Detarium senegalensis* (Ditax). Les fruits d'*Adansonia digitata* proviennent de Kédougou à l'Est du Sénégal. Deux variétés pures de bissap : CLT 92 et THAI, cultivées dans le village de Thiaré situé dans la région de Kaolack, ont été utilisées. Les fruits du *Detarium senegalensis* proviennent de la Basse Casamance. L'humidité, l'extrait sec soluble, le pH, l'acidité titrable, les cendres, l'amidon, les sucres totaux et réducteurs, les protéines et les lipides ont été déterminés suivant des méthodes classiques [6]. La vitamine C a été dosée par une réaction d'oxydo-réduction avec le 2,6-DCPIP après extraction à l'acide métaphosphorique et stabilisation à l'acide oxalique. L'éthanol est mesuré par oxydation avec un excès de dichromate après distillation. Le saccharose, glucose et fructose sont déterminés avec un kit enzymatique Boehringer et un spectrophotomètre UV. Les polyphénols totaux et l'acide ascorbique sont dosés suivant la méthode décrite par Georgé et al., (2005) [7]. Les éléments minéraux sont dosés par spectrophotométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif (ICP) suivant une méthode développée par le laboratoire du CIRAD-AMIS. Le pouvoir antioxydant est évalué par la méthode ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) [8-9].

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Caractérisation des fruits et calices

L'ensemble des caractéristiques des fruits d'*Adansonia digitata* du *Detarium senegalensis* et des calices d'*Hibiscus sabdariffa* sont consignées dans le Tableau 1. Pour les fruits d'*Adansonia digitata*, la teneur en eau de la pulpe est comprise entre 6 et 15 %. Compte tenu de la faible humidité de la pulpe, les teneurs en glucides y sont très élevées. On y trouve de 41 à 47 % d'amidon et de 20 à 32 % de sucres totaux. Les sucres réducteurs représentent entre le quart et la moitié des sucres totaux. L'acidité titrable de la pulpe est très élevée (68 à 201 meq/100g). Le pH de la pulpe est voisin de 3,3. La pulpe contient également une quantité importante d'acide ascorbique (125 à 312 mg/100g). La teneur en matière grasse oscille entre 0,3 et 0,8 % et la pulpe contient environ 2 % de protéines. Evalué par la méthode ORAC sur un échantillon, le pouvoir antioxydant de la pulpe du fruit est important (88 μmol trolox/g). Il est comparable à celui du brocoli (126 μmol trolox/g), de la betterave rouge (115 μmol trolox/g) ou de la tomate (67 μmol trolox/g), produits cités parmi les plus riches en composés antioxydants. Ce résultat est probablement lié à la teneur élevée de la pulpe en composés phénoliques (> 2 %). Il confère au fruit un intérêt nutritionnel supplémentaire. Le fruit du ditax (*Detarium senegalensis*) est composé d'un noyau autour duquel adhèrent des fibres entrelacées renfermant une pulpe verte. L'évaluation des différentes parties du fruit a permis de mettre en évidence la proportion relativement importante (53 %) qu'occupe le noyau par rapport au fruit entier. La pulpe qui est la partie qui nous intéresse représente 37 % et la coque 10 %. Le Tableau 1 montre que la pulpe du ditax renferme une teneur en eau relativement importante (73,75%). C'est dans cette eau de constitution que se trouvent, sous forme dissoute, les principaux éléments nutritifs dont la vitamine C présente à une teneur de 967,12mg/100g de matière sèche. Cette teneur élevée place le ditax parmi les fruits les plus riches en vitamine C. En effet, actuellement les fruits les plus riches en vitamine C sont le

camu-camu (*Myrciaria dubia*), et l'Acérola (*Malpighia puniceifolia* L) dont les teneurs sont respectivement de 3000 et 2000 mg/100g [10].

Tableau 1 : Principales caractéristiques des fruits d'*Adansonia digitata*, du *Detarium senegalensis* et des calices d'*Hibiscus sabdariffa*.

	<i>Adansonia digitata</i>	<i>Detarium senegalensis</i>	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	
			THAI	CLT 92
Humidité	6,3-15,3	73,8	9,1	9,2
pH	3,2-3,3	nd	2,1	2,2
Acidité titrable (meq/100g)	35,0-131,6	0,2	943,6	764,4
Sucres totaux (g/100g MS)	18,9-32,3	0,06	10,6	9,7
Sucres réducteurs (g/100g MS)	8,2-11,3	0,04	9,5	7,71
Saccharose (g/100g MS)	9,3-11,4	nd	nd	nd
Glucose (g/100g MS)	2,4-9,6	nd	nd	nd
Fructose (g/100g MS)	1,0-2,5	nd	nd	nd
Amidon (g/100g MS)	40,6-48,5	nd	nd	nd
Protéines (g/100g MS)	1,8-2,7	nd	7,5	6,9
Lipides (g/100g MS)	0,3-0,8	nd	0,9	0,7
Cendres (g/100g MS)	4,3-6,3	0,002	6,2	6,6
Vitamine C (mg/100g)	125,5 -312,4	967,1	57,6	63,5
Polyphénols totaux (g/100g MS)	2,5	nd	2,9	3,2
Anthocyanes (mg/100g)	nd	nd	766,8	966,8

L'acidité titrable de la pulpe du *Detarium senegalensis* de 0,16 meq/100g de pulpe est relativement faible, ce qui donne un goût agréable au jus. Les teneurs en sucres totaux de 55,42 mg/100g sont nettement supérieures à celles de l'orange (8,5 à 12 mg/100g) [11]. Les deux variétés d'*Hibiscus sabdariffa* ne présentent des différences significatives que sur certains points. Par exemple, la variété CLT 92 présente des teneurs de 966 et 3160 mg/100 respectivement en anthocyanes et polyphénols, plus importantes que celles de la variété THAI. Ces valeurs concordent parfaitement avec la réalité pratique. En effet, lors de la préparation de boisson, les extraits aqueux préparés à partir des calices de CLT 92 ont une coloration rouge plus attrayante et plus foncée. Les calices de CLT 92 sont d'ailleurs souvent confondus avec ceux de la variété Vimto dont le succès est dû à sa forte coloration rouge. L'acidité du CLT 92 (764 meq/100g) relativement plus faible que celle des calices de la variété THAI (943 meq/100g) permet de préparer des boissons moins acides et plus faciles à sucrer. L'analyse des éléments minéraux (Tableau 2), effectuée sur la pulpe d'*Adansonia digitata* et sur les calices d'*Hibiscus sabdariffa* indique une teneur en minéraux de 2,2, 3,0 et 3,1 %, respectivement pour la pulpe d'*Adansonia digitata*, la variété THAI et CLT 92. Ces concentrations sont remarquables pour des fruits. Comme dans la plupart des produits végétaux, le composé minéral qui prédomine est le potassium avec des valeurs de 1742, 1510 et 1570 mg/100g. On note des teneurs en calcium et magnésium assez intéressantes.

Tableau 2 : Composition en éléments minéraux des fruits d'*Adansonia digitata*, et des calices d'*Hibiscus sabdariffa*

Minéraux (mg/100g)	<i>Adansonia digitata</i>	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	
		THAI	CLT 92
Ca	269	910	960
P	35	100	110
K	1742	1510	1570
Mg	139	380	410
Na	5,1	20	21
Cu	0,5	0,7	0,8
Fe	8,2	38,3	29,8
Mn	1,2	25,3	29,2
Zn	0,8	8,3	2,4

4.2 Comparaison des fruits locaux avec d'autres fruits

Nous allons tenter dans ce paragraphe de comparer quelques caractéristiques (anthocyane, polyphénols et vitamine C) des fruits locaux étudiés avec celles d'autres fruits. Ceci pour un double objectif : connaître la position de nos fruits locaux d'une part, et d'autre part pour apprécier leur potentiel technologique.

4.2.1 Au niveau anthocyanes

D'après le Tableau 3 les calices d'*Hibiscus sabdariffa* sont parmi les sources d'anthocyanes les plus importantes. L'amélioration de leur stabilité lui ouvrirait un marché de 940 millions de dollars [12], d'autant plus que l'utilisation et la quantité des colorants naturels ne cessent d'augmenter. Le marché des colorants naturels augmente de 4 à 6 % par an comparé à celui des colorants artificiels (400 millions de dollars), qui lui n'augmente que de 2 à 3 % par an [13-15].

4.2.2. Au niveau polyphénols

Les calices d'*Hibiscus sabdariffa* et la pulpe de pain de singe sont également très riches en polyphénols totaux (Tableau 3). Ces derniers sont très utilisés et appréciés en agro-alimentaires comme colorants, antioxydants. De nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence l'importance des polyphénols dans l'effet favorable des fruits et légumes contre les maladies cardiovasculaires. En plus de ces propriétés cardioprotectrices, les polyphénols sont considérés comme de puissants antioxydants contre les phénomènes radicalaires entraînant la dégénérescence tissulaire ou cellulaire. Ils seraient capables d'activer les défenses naturelles anticancéreuses [12].

Tableau 3 : Teneur en anthocyanes (mg/100g) de quelques fruits et calices[10, 15,16]

Sources	Polyphénols	Anthocyanes	Vitamine C
Acérola	-	-	1800
Adansonia digitata	2500	-	312
Camu-camu	-	-	3000
Cerise	229	223	103
Detarium senegalensis	-	-	967
Framboise	128	49	32
Groseille	82	8	36
Hibiscus sabdariffa THAI	2960	767	58
Hibiscus sabdariffa CLT 92	3160	967	63
Kwi	-	100	80
Mûre	226	153	61
Raisin	-	6-600	11

4.2.3. Au niveau vitamine C

Tous les fruits locaux étudiés sont riches en vitamine C (Tableau 3). Les calices d'*Hibiscus sabdariffa* avec 58 et 63 mg/100g ont des teneurs supérieures à celle de l'orange (53 mg/100 g) qui est souvent cité en exemple comme source importante de vitamine C. Le *Detarium senegalensis* (967 mg/100 g) peut être considéré, à l'état actuel des connaissances comme étant le 3^{ème} fruit le plus riche en vitamine C après le camu-camu (3000 mg/100 g) et l'acérola (1800 mg/100 g). La pulpe du pain de singe peut atteindre des concentrations en vitamine C (312 mg/100g) 5 fois plus importantes que celle du jus d'orange. En se basant sur les apports de vitamine C conseillés en Europe et aux Etats-Unis qui sont comprise entre 42 et 120 mg/jour [11], un verre de nectar de ditax et de pain de singe couvrirait largement les besoins journaliers en vitamine C quel que soit l'âge de la personne, son état et son activité. Cela montre tout le potentiel de nos fruits locaux.

5. CONCLUSION

Les fruits locaux étudiés (Fruits d'*Adansonia digitata*, du *Detarium senegalensis* et les calices d'*Hibiscus sabdariffa*) présentent des caractéristiques physico-chimique, biochimiques et nutritionnelles intéressantes. Ils constituent selon l'espèce végétale des sources importantes de polyphénols totaux, d'anthocyane, de vitamine C, d'éléments minéraux. Le pouvoir antioxydant de la pulpe d'*Adansonia digitata* est important et justifierait son utilisation courante dans la médecine traditionnelle comme antioxydant, tonifiant, stimulant, etc. La pulpe du *Detarium senegalensis* est exceptionnellement riche en vitamine C. Les calices d'*Hibiscus sabdariffa* constituent une excellente source de colorant naturel. De par ces caractéristiques très intéressantes ces fruits et calices présentent des aptitudes technologiques certaines. Il serait donc intéressant d'étudier et d'optimiser la transformation de ces produits en nectar, boissons, colorants, etc.

Références bibliographiques

- [1]. Kerharo J. et Adam J.G. La pharmacopée sénégalaise traditionnelle, plantes médicinales et toxiques. Paris: Vigot frères, 1974.
- [2]. Sidibé, M., et Williams, J.T. Baobab *Adansonia digitata* L. (Ed. Hughes A., Haq N., Smith R.W.). International Center for Underutilized Crops (ICUC), University of Southampton (RU), 2002.
- [3]. Wong P.K. ; Yusof S. ; Ghazali H.M., et Che Man Y.B. J. of the Sci. of Food and Agric. 83 (2003) 1273–1278
- [4]. Faye D.C .et Neela B. Food Service Technology, 4 (2004)141–148.
- [5]. Prenesti, E.; Berto, S.; Daniele, P.G. et Toso, S. Food Chem. 100 (2005) 433-438.
- [6]. AOAC Arlington, USA AOAC. (1990) 910-928.
- [7]. George, S.; Brat, P. ; Alter, P. et Amiot, M.J.. J. Agric. Food Chem. 53 (2005) 1370-1373.
- [8]. Ou B ; Huang D ; Hampsch-Woodill M ; Flanagan JA et Deemer E. K. J Agric Food Chem 50 (2002) 3122–3128.
- [9]. Reyes-Carmona J. Yousef, G. G.; Martínez-Peniche, R. A et Mary Ann Lila J. of Food Sci., 70 7 (2005) 497-503.
- [10]. Rodriguez. R. B., Menezes. H.C., Cabral. L.M.C., Dornier. M., Rios. G.M. et Reynes. M.. J. of Food Eng. 63 (2004) 97-102.
- [11]. Bourgeois, C.F. Les vitamines dans les industries agroalimentaires. Ed. TEC et DOC. Lavoisier Paris, (2002)
- [12]. Sarni-Manchado, P. et Cheynier, V. Les polyphénols en agroalimentaire. Ed. TEC & DOC, Lavoisier, Paris, (2006).
- [13]. Cormier, F., Brion, F., Do, C.B., et Moresoli, C. In : Discosmo F., Misawa M. Plant Cell Culture Secondary Metabolism. Ed. CRC Press Inc. New York, Boca Raton,. U. Forsch, 150, 28, (1996), 167-185.
- [14]. Downham, A. et Collins, P. Int. J. Nat. Prod., 62, (2000), 954-958.
- [15]. Pantelidis, G.E ; Vasilakakis, M. ; Manganaris G.A. et Diamantidis Gr. J. of Food Chem. 102 (2007) 777–783

*-6^{ème} séminaire régional. Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle
approche de lutte contre la pauvreté. Dakar 21-23 novembre 2007*

Communications par voie d'affiche

INDEX DES AUTEURS

A			
Alambedji R.B.	161		
Amani E.	163		
Ayessou N.C.	161,173		
Azouma Y. O	121		
B			
Bathiébo D.J.	45		
Barth D.	69		
Bera F.	157		
Betibangui S.S.	159		
Boudhrioua- Mihoubi N.	133		
Boudrant J.	175		
Bouseta A.	139		
Bonazzi C.	133		
Bruneau D.	109		
C			
Cissé M.	51,145		
Collin S.	139		
Collignan A.	103		
Coly A.			
D	103		
Danjouma A.	63		
Delvigne F.	31		
Derouanne C.	157		
Desmorieux H.	45,81		
Destain J.	31,39		
Diallo L.	167		
Dione M.	103		
Diop A.	127,153, 155		
Diop C.M.	51		
Diop M.B.	39		
Diop Y.M.	127,153, 155		
Dirand M.	69		
Dissa A.O.	45		
Djendoubi N.	133		
Dornier M.	51,145		
Dortue C.	31		
Douabalé S.E.	103		
Duboisdauphin R.	39		
Dzondo-Gadet M.		63	
F			
Fall M.		127,153, 155	
Fontana-Tachon A.		115	
G			
Gaye-Seye M.D.		103	
Gbaya K.C.J.		173	
Ghalfi H.		31	
Gibert O.		75	
Goli T.		109	
Guiraud J.P.		115	
Guiron A.		31	
Guyot B.		115	
Gueule D.		115	
Grembombo A.I.		159	
H			
Hamdi M.		31	
I			
Ibrahim I.		161	
Idrissi Y.		81	
Iraqi R.		139	
Isselmou O.H.		103	
K			
Kapseu C.		63,69,89	
Kéchaou N.		133,163	
Kétaona A.		63	
Khézami L.		163	
Kouliadiati J.		45	
M			
Malumba P.		157	
Mar Diop C.		161,173	
Marouzé C.		169	
Masimango T.		157	
Mbaye M.		57	
Mbengue M.		57,165	
Méot J.M.		75,169, 171	
Métowanou K.		75	
Mounjouenpou P.		115	
Muls S.		139	
N			
Nancib A.		175	
Nancib N.		175	

Nde B.D.	69	Saleck M.L.	103
Ndiaye B.	127,153, 157	Sarr S.O.	127,153, 155
Ndiaye K.	39	Sebastian P.	109
Ndir A.	31	Seydi Mg.	161
Ndoye A.	31	Sock O.	51,145
Ndoye B.	31	T	
Ngo Oum Mlend M.C.	63	Tchiegang C .	63
Ngom A.	39	Tchandjou-Djounbi M.	95
Nizet S.	139	Thonart P.	31,39
Njintang Y.	69	Tine A.	103
Nkouam G.B.		Tine E.	31,39, 57,167
69			
O		V	
Ongena M.	31	Vorobiev E.	163
R		Y	
Reynes M.	51,145	Yakam Tchatchouang C.L.	165
Rivier M.	109,169, 171	Z	
S		Ziadi M.	31
Sakho M.	51,145		

INDEX DES MOTS CLES

A

Absorption	103
Acides gras	173
Acide lactique	175
Acteurs	81
Aflatoxines	127
Afrique	89,171
Aliment	121
Amandes	63
Amidon	157
Analyse	103
Arachide	165
Arômes	139
Aspergillus	115

B

Bactéries - lactiques	31
- acétiques	31
Bactériocine	39
Banane	163
Baobab (<i>Adansonia digitata L.</i>)	145
Biopesticides	31
Bissap (<i>Hibiscus sabdarriffa</i>).	145
Bonnes pratiques	89
Boucané	109

C

Caractéristiques chimiques	173
Caractérisation	
- sociale	159
- technologique	159
<i>Carapa procera</i>	173
Carotte	163
Centrafrique	159
Champ électrique pulsé	163
Cinétique	45
CLHP	127
Composition	145
Compost	165
Conception	
- locale	121
- distribuée	121
Conservation	39,69

Contraction	45
Coques d'arachides	165
Couleur	133
CSec-L	169
CsecT	171
Culture	
- batch	175
- continue	175

D

Dakar	153
Deshydratation osmotique	163
Dimensionnement	169
Ditax (<i>Detarium senegalensis</i>)	145

E

Emission	103
Equipement agroalimentaire	121
Evaporation	
- osmotique	51
- multiple effet	57
Excitation	103
Extraction	57,63
Extraction par solubilisation	157

F

Farines de poisson	161
Femmes transformatrices	95
Fermentation	31
Fluorescence	103
Fractionnement par voie humide	157
Fruit	145
Fumage	109

H

HACCP	167
Histamine	103
Huile	57,155
Huile d'arachide	127
Hydrocarbures polycycliques	
Aromatiques	109
Hystérésis	69

I

Igname (<i>Dioscorea rotundata</i>)	75
Isotherme de sorption	45

J			
Jus de datte	175		
K			
Karité (<i>Vittellaria paradoxa</i> Gaetern.)	69,85		
L			
<i>Lactobacillus casei</i>	175		
Lactones	139		
Lait en poudre	153		
Lutte contre la pauvreté	95		
M			
Maïs	157,159		
Mangue (Amélie)	45,171		
Manioc	95		
Maturité	173		
Melon	51		
Microbiologie	161		
Microfiltration tangentielle	51		
Microflore fongique	115		
Mil	167		
Modèle	69		
Modélisation	75		
N			
Néré (<i>Parkia biglobosa</i>)	31		
Nététu	31		
O			
Ochratoxine A	115		
Olives	139		
Orange	51		
Orthophtalaldéhyde	103		
P			
Pâte d'arachide	127		
Poisson fileté	39		
Polyphénols	139		
Pomme	163		
Procédé	89		
Production industrielle	165		
Produits			
- granulés	169		
- roulés fermentés	167		
Protéines	157		
		Q	
		Qualité	61,63,75, 89, 109,153, 155
		- cacao	115
		- hygiénique	121
		- sanitaire	161
		R	
		Réseau	81
		Resvératrol	139
		<i>Ricinodendron heudelotti</i>	63
		S	
		Salmonelles	161
		Sardine	133
		Séchage	45,75, 133
		Séchoir	81,171
		Sel	39
		Sénégal	39,127, 155
		Simulation dynamique	57
		Sorption	69
		Spectrofluorimétrie	103
		Speed Up	57
		Spiruline	81
		Starter	31
		Stilbéne	139
		T	
		Technique agricole	95
		Texture	133
		Traitement	
		- enzymatique	63
		- post récolte	115
		Transferts	75
		Transfert de Technologie	81
		Transformation	
		- maïs	159
		- biotechnologique	165
		Trempage	157
		Trituration	57
		V	
		Valorisation	165
		Vitamine D	153
		Vitesse d'agitation	163

INDEX DES AUTEURS

A

Alambedji R.B.	161
Amani E.	163
Ayessou N.C.	161,173
Azouma Y. O	121

B

Bathiébo D.J.	45	
Barth D.		69
Bera F.	157	
Betibangui S.S.		159
Boudhrioua- Mihoubi N.		133
Boudrant J.		175
Bouseta A.		139
Bonazzi C.		133
Bruneau D.		109

C

Cissé M.		51,145
Collin S.		139
Collignan A.	103	
Coly A.		103

D

Danjouma A.	63	
Delvigne F.		31
Derouanne C.	157	
Desmorieux H.		45,81
Destain J.		31,39
Diallo L.		167
Dione M.		103
Diop A.	127,153, 155	
Diop C.M.		51
Diop M.B.		39
Diop Y.M.	127,153, 155	
Dirand M.		69
Dissa A.O.		45
Djendoubi N.	133	
Dornier M.	51,145	
Dortue C.		31
Douabalé S.E.	103	
Duboisdauphin R.		39

Dzondo-Gadet M.	63	Mbaye M.	57
F		Mbengue M.	57,165
Fall M.		Méot J.M.	75,169,171
127,153, 155		Métowanou K.	75
Fontana-Tachon A.	115	Mounjouenpou P.	115
G		Muls S.	139
Gaye-Seye M.D.	103	N	
Gbaya K.C.J.		Nancib A.	175
173		Nancib N.	175
Ghalfi H.	31	Nbengue M.	
Gibert O.	75		
Goli T.		Nde B.D.	69
109		Ndiaye B.	127,153, 157
Guiraud J.P.		Ndiaye K.	39
115		Ndir A.	31
Guiro A.	31	Ndoye A.	31
Guyot B.	115	Ndoye B.	31
Gueule D.	115	Ngo Oum Mlend M.C.	63
Grembombo A.I.	159	Ngom A.	39
H		Nizet S.	139
Hamdi M.	31	Njintang Y.	69
I		Nkouam G.B.	69
Ibrahim I.	161	O	
Idrissi Y.	81	Ongena M.	31
Iraqi R.	139	R	
Isselmou O.H.		Reynes M.	51,145
103		Rivier M.	109,169,171
K		S	
Kapseu C.		Sakho M.	51,145
63,69,89		Saleck M.L.	103
Kéchaou N.		Sarr S.O.	127,153,155
133,163		Sebastian P.	109
Kétaona A.	63	Seydi Mg.	161
Khézami L.	163	Sock O.	51,145
Koulidiati J.		T	
45			
M			
Malumba P.			
157			
Mar Diop C.			
161,173			
Marouzé C.	169		
Masimango T.			
157			

Tchiegang C .		Vorobiev E.	
63		163	
Tchandjou-Djounbi M.	95	Y	
Thonart P.	31,39	Yakam Tchatchouang C.L.	165
Tine A.	103	Z	
Tine E.		Ziadi M.	31
31,39,57,167			
V			
