

**PROGRAMME DES BOURSES D'EXCELLENCE  
DE L'AUFELF-UREF  
DECEMBRE 2001-SEPTEMBRE 2002**



re  
coopération  
nationale  
recherche  
économique  
le  
développement

programme  
d'innovation  
techniques  
d'amis

programme  
alimentaire

Rapport final sur le thème :

**« Conservation des fruits et légumes tropicaux  
par friture »**

par :

**Dr Yvette JIOKAP NONO**

Enseignante-Chercheur à l'Université de Ngaoundéré  
B.P. 455, Ngaoundéré-Cameroun. Tél/Fax : (237) 225 27 51  
[jiokapnono@yahoo.fr](mailto:jiokapnono@yahoo.fr)

Laboratoire d'accueil :

**CIRAD-AMIS : Programme Agro-Alimentaire**  
73, Rue J.F. Breton, 34 398 Montpellier-France

Encadreurs :

**Mme Nadine ZAKHIA / Pr. François GIROUX**

Montpellier, le 16 Septembre 2002

**AMIS 59/02**

10 / 16  
rue J.-F. Breton  
34 398 MONTPELLIER  
CEDEX 5, France  
Téléphone :  
04 67 61 58 00  
Fax :  
04 67 61 44 49  
[www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)

SIRET  
196 270 00040  
Paris B  
196 270

**PROGRAMME DES BOURSES D'EXCELLENCE  
DE L'AUPELF-UREF  
DECEMBRE 2001-SEPTEMBRE 2002**

Rapport final sur le thème :

**« Conservation des fruits et légumes tropicaux  
par friture »**

par :

**Dr Yvette JIOKAP NONO**

Enseignante-Chercheur à l'Université de Ngaoundéré  
B.P. 455, Ngaoundéré-Cameroun. Tél/Fax : (237) 225 27 51  
[jiokapnono@yahoo.fr](mailto:jiokapnono@yahoo.fr)

Laboratoire d'accueil :

**CIRAD-AMIS : Programme Agro-Alimentaire**  
73, Rue J.F. Breton, 34 398 Montpellier-France

Encadreurs :

**Mme Nadine ZAKHIA / Pr. François GIROUX**

Montpellier, le 16 Septembre 2002



# SOMMAIRE

	Pages
Introduction	3
1. Principe du procédé de friture	4
2. Influence de divers facteurs sur les principaux paramètres du procédé de friture	5
2.1. Les facteurs liés au produit à traiter	5
2.1.1. <i>Influence de la nature du produit</i>	5
2.1.2. <i>Influence de la taille du produit</i>	5
2.1.3. <i>Influence du prétraitement subi</i>	5
2.2. Les facteurs liés au bain de friture	6
2.2.1. <i>Influence de la composition de l'huile de friture</i>	6
2.2.2. <i>Influence des traitements et de l'âge de l'huile de friture</i>	8
2.2.3. <i>Influence de la nature et de la concentration en additifs</i>	8
2.3. Les facteurs liés à l'environnement technique	9
2.3.1. <i>Influence de la température de friture</i>	9
2.3.2. <i>Influence de la durée de friture</i>	10
2.3.3. <i>Influence du rapport produit/huile</i>	10
2.3.4. <i>Influence de la mise en œuvre du procédé</i>	11
2.3.5. <i>Influence de la mise en contact des phases</i>	11
2.3.6. <i>Influence des conditions de stockage</i>	11
3. Les changements physico-chimiques et nutritionnels pendant la friture	12
4. Les mécanismes de gain en huile	13
5. Les techniques courantes d'analyse	13
5.1. De l'huile de friture	13
5.2. Du produit	14
6. Les applications du procédé de friture en Agro-alimentaire	15
7. Le contrôle-commande du procédé de friture	16
8. Recherches sur l'oignon	17
8.1. L'oignon – généralités	17
8.1.1. <i>Récolte</i>	17
8.1.2. <i>Composition - Composante aromatique</i>	19
8.2. Bilan des travaux sur l'oignon	22
8.3. Transformations de l'oignon	24
8.3.1. <i>Buts - Nature des transformations</i>	24
8.3.2. <i>Les prétraitements avant transformation</i>	25
8.3.3. <i>Effets de la température sur la qualité du produit</i>	26
9. Les axes de recherche développés autour du karité	27
Conclusion	28
Remerciements	28
Références bibliographiques	29

## INTRODUCTION

La friture est un procédé court de cuisson/séchage et/ou texturation/formulation des aliments, qui met en jeu des températures élevées (de l'ordre de 100 à 200 °C), lorsque l'opération n'est pas conduite sous vide, ainsi que d'énormes quantités d'huile. Une gestion mal conduite ainsi qu'une mauvaise utilisation de celle-ci peuvent nuire à l'environnement et engendrer des problèmes de santé chez les consommateurs des produits traités par le procédé. Quelques travaux ont été présentés dans la littérature concernant la gestion de la pollution liée aux huiles de friture (GABARDA, 1997 ; WEBER and PARMENTIER, 1997) et sur l'étude de l'évolution de la composition des huiles au cours du procédé (GRAILLE, 1997 ; KAUR *et al.*, 1997 ; DOBARGANES, 1998). Toutefois, beaucoup reste à faire dans le domaine, compte tenu de la diversité des aliments traités et de la diversité des conditions opératoires utilisées.

Les travaux consacrés à la friture en IAA sont de plus en plus nombreux (VARELA, 1988 ; DOBARGANES, 1997) et sont un indicateur de l'accroissement de l'intérêt des populations pour de nouvelles saveurs et du rayonnement de la filière dans les années à venir. Dans ce domaine, les saveurs exotiques occupent une place de choix, au regard du nombre important d'aliments originaires des pays chauds impliqués dans le procédé. Cette constatation pourrait être liée aux pratiques ancestrales de la friture dans ces pays, dans lesquels elle avait pour principal objectif de modifier agréablement la saveur des aliments. Ceux-ci étaient destinés essentiellement à la consommation des ménages surtout à l'occasion des fêtes et grandes cérémonies, étant donné le coût de production élevé comparé à celui du procédé simple de cuisson dans l'eau. Aujourd'hui, avec le développement du tourisme et des nouvelles technologies, avec l'augmentation du niveau de vie et compte tenu des exigences des consommateurs et du caractère délicat de l'opération de friture, des améliorations dans les techniques artisanales ont vu le jour. Le procédé est alors appliqué à différentes échelles (artisanales, semi-industrielle et industrielle) non seulement dans l'optique de modifier les propriétés organoleptiques des aliments, mais surtout de les préserver et de les rendre ainsi disponibles à toutes saisons et en tous lieux.

La présente étude bibliographique a pour objectifs de présenter l'état des connaissances de l'influence de divers facteurs sur les principaux paramètres du procédé de friture, d'étudier les différents contacteurs existants ainsi que les différentes mises en œuvre de la friture, dans l'optique de la conception d'une unité pilote de séchage/friture à l'échelle artisanale, appliquée aux légumes et fruits tropicaux tels que l'oignon et le karité.

## 1. Principe du procédé de friture

La friture est une opération à haute température en milieu liquide qui met en œuvre simultanément plusieurs transferts, réactions et transformations couplées (DOBARGANES, 1997 ; SAM SAGUY, 1997 ; VITRAC, 2000). Elle consiste à mettre en contact le produit à traiter généralement humide et découpé en tranches plus ou moins fines, avec une couche ou un bain d'huile portée à la température de friture donnée, généralement supérieure à la température d'ébullition de l'eau placée dans les mêmes conditions. Le transfert de chaleur entre l'huile et le matériau entraîne une évaporation partielle ou quasi-totale de l'eau du produit. Le chauffage du matériau peut être direct, par contact avec la surface chauffante imbibée d'huile, ou indirect par convection entre l'huile chauffée et le matériau.

La sortie d'eau, sous forme de bulles de vapeur, du matériau s'effectue dans des conditions d'autant plus turbulentes que sa teneur en eau est importante. Le procédé se déroule avec perte par diffusion ou par entraînement de constituants d'intérêt sensoriel ou nutritionnel, entraînant la perte de qualité de l'huile de friture et/ou de l'aliment traité (DOBARGANES, 1997). Les pertes enregistrées sont toutefois comparables à celles obtenus avec les autres procédés classiques de cuisson des aliments et certaines modifications physico-chimiques qui surgissent au sein de l'aliment sont nécessaires et contribuent à améliorer la digestibilité et la qualité sensorielle du produit frit (MOREIRAS-VARELA *et al.*, 1988 ; VARELA, 1988 ; NAWAR, 1998). Les échanges de matière, affectés par les propriétés mécaniques du produit et de la croûte, s'effectueraient à une interface qui se déplacerait au cours du temps (SAM SAGUY, 1997). Les produits sont retirés du bain lorsque les caractéristiques organoleptiques ont atteint le stade désiré. C'est à partir de cette étape et notamment pendant l'égouttage qui suit, qu'il y aurait gain en huile du produit.

Le comportement des aliments pendant le procédé de friture est évalué à travers diverses grandeurs, lesquelles sont pour la plupart non-quantifiables *in situ* ; d'où le caractère approximatif des évaluations. Parmi ces grandeurs, on distingue (RAOUX, 1997 ; VITRAC, 2000) :

- les grandeurs liées à la dynamique des transferts externes (coefficient d'échange de chaleur, perte d'eau)
- les grandeurs liées à la dynamique des transferts internes (teneur en eau résiduelle, gain/perte d'huile)
- les modifications à l'échelle du matériau (propriétés physiques), à l'échelle de la macro et de la microstructure, à l'échelle microbiologique (thermodestruction) et à l'échelle macromoléculaire (destruction des enzymes) et moléculaire (réactions de Maillard...)
- les descripteurs liés à l'analyse sensorielle (flaveur, aspect, texture en bouche, propriétés mécaniques et acoustiques)

Comparée aux autres techniques conventionnelles de réduction de teneur en eau, la friture est une opération rapide, qui dure quelques minutes, et qui permet de réduire la teneur en eau (base humide) des aliments à des valeurs de l'ordre de 5% (RAOULT-WACK *et al.*, 1997). Elle constitue, à elle seule, un champ pluridisciplinaire immense (GRAILLE, 1997 ; VITRAC, 2000).

## **2. Influence de divers facteurs sur les principaux paramètres du procédé de friture**

De nombreux travaux ont été présentés sur l'influence de divers facteurs sur le procédé. Les facteurs étudiés sont de divers ordres. On distingue les facteurs liés au produit à traiter (sa composition, sa taille, la nature du pré-traitement subi), les facteurs liés au bain de friture (composition chimique, constantes physiques et physico-chimiques, nature et concentration en additifs et contaminants, traitements et âge de l'huile) et les facteurs liés à l'environnement technique (température, durée de friture, rapport produit/huile, mise en œuvre du procédé). (VARELA, 1988 ; DOBARGANES, 1997 ; LENG *et al.*, 1997 ; RAOUX, 1997 ; WEBER and PARMENTIER, 1997 ; RAOUX, 1998).

### **2.1. Les facteurs liés au produit à traiter**

#### ***2.1.1. Influence de la nature du produit***

La composition initiale du produit (teneur en lipide, en carbohydrates et en eau) et sa structure (distribution des pores) jouent un rôle important sur les grandeurs du procédé, notamment sur les caractéristiques organoleptiques du produit fini et sur l'absorption d'huile (RAOULT-WACK *et al.*, 1997 ; SAM SAGUY, 1997). Dans la littérature, l'influence de la teneur en eau du produit sur le gain d'huile reste controversée. Par contre, les produits riches en matière grasse ont tendance à se « dégraisser » au cours du procédé (RAOULT-WACK *et al.*, 1997). Il a été montré que pour un même type de produit végétal, la variété culturale influence l'absorption de matière grasse (DIAZ *et al.*, 1999).

#### ***2.1.2. Influence de la taille du produit***

(LENG *et al.*, 1997), lors du traitement de patates douces par friture, ont montré que l'épaisseur des chips influence significativement l'absorption d'huile. Les tranches de plus forte épaisseur absorbent moins d'huile. Les épaisseurs des tranches étudiées étaient de 0.5, 1 et 2 mm et leur diamètre de 30 mm. (NUMATA and CHUNAGO, 1980) ont trouvé des résultats similaires lors du traitement des tranches de bananes par friture. Ces résultats s'accordent avec ceux de (GUILLAUMIN, 1988) selon lequel le gain en huile serait un phénomène de surface. (SAM SAGUY *et al.*, 1998) précise que l'état de rugosité de l'aliment joue également un rôle important. Il augmente la surface du produit, entraînant une prise d'huile plus importante. Donc, en diminuant la surface spécifique du produit ou en diminuant son état de rugosité on diminue l'absorption d'huile par le produit.

#### ***2.1.3. Influence du prétraitement subi***

Les prétraitements les plus souvent effectués sur les produits avant friture sont : le blanchiment (LENG *et al.*, 1997 ; SAM SAGUY, 1997), le préséchage (LENG *et al.*, 1997), la précuisson suivi ou non de la surgélation (RAOUX, 1997) ou des revêtements de surface.

Le blanchiment dans l'eau a pour objectifs d'éliminer les sucres réducteurs et d'inactiver les polyphénols oxydases. Le traitement préconisé par (LENG *et al.*, 1997) consiste à immerger

(rapport fruits/eau : 6/1000) les tranches de produit dans de l'eau distillée portée à 65°C pendant 10 minutes, ou à 75°C /20-100 sec.

Concernant le préséchage, il a pour but de réduire la teneur en eau des produits à des valeurs de l'ordre de 10% base humide. (LENG *et al.*, 1997) préconisent un préséchage des tranches de patate douce à 50°C et montrent que les vitesses de PE lors de la friture sont plus importantes avec les tranches préséchées. Le préséchage peut être conduit sur le produit blanchi ou non.

Pour ces deux traitements, plusieurs auteurs (NONAKA *et al.*, 1977 ; GAMBLE and RICE, 1987 ; LAMBERG *et al.*, 1990 ; LENG *et al.*, 1997 ; VITRAC *et al.*, 1997) ont montré que le blanchiment entraîne de forts gains en huile du produit, tandis que le préséchage les réduit. En revanche, il a également été rapporté que le blanchiment entraîne une réduction de l'absorption d'huile en diminuant la teneur en eau de l'aliment, en lissant les surfaces et en changeant les structures (SAM SAGUY, 1997).

Certains prétraitements sont soit des revêtements de surface soit des imprégnations en solutés, permettant de limiter l'absorption d'huile et/ou d'éviter les adhésions entre les différents morceaux de produit ou entre le produit et le support et/ou d'améliorer les propriétés organoleptiques du produit. C'est le cas du saupoudrage traditionnel des produits à frire avec des farines. C'est aussi le cas de l'imprégnation en sucre des fruits avant friture (REYNES *et al.*, 1997) ou de l'addition de calcium dans le cas des frites (SAM SAGUY, 1997).

## **2.2. Les facteurs liés au bain de friture**

Les huiles et les matières grasses en général ont la particularité d'offrir des caractéristiques organoleptiques multifonctionnelles spéciales. Les critères de leur choix chez les utilisateurs sont basés sur le prix, la qualité (composition, susceptibilité à l'oxydation, fonctionnalité, saveur) et la disponibilité sur le marché (SAM SAGUY, 1997). Selon les échelles de production et les objectifs à atteindre, l'importance de ces critères est variable.

### **2.2.1. *Influence de la composition de l'huile de friture***

Les matières grasses diffèrent essentiellement entre elles par leurs températures de fusion, leur degré de saturation (composition en triglycérides) et leur origine (tableau 1). Contrairement aux graisses saturées comme le beurre, le lard ou la margarine,... les huiles sont liquides à la température du réfrigérateur et contiennent plus d'acides gras insaturés avec un point de fusion très bas.

En friture, on se sert surtout d'huiles végétales obtenues des légumineuses (soja, arachide), des graines (tournesol, colza, citrouille, sésame, coton), des céréales (maïs), des fruits (olive, palme, noix, noisette, amande douce) ou encore de ces huiles à l'état hydroné (RAOUX, 1997 ; REYNES *et al.*, 1997). Il n'est pas signalé d'exemples d'utilisation d'huiles animales (ex : de baleine, de flétan, de morue, de phoque ou d'autres poissons). Les autres huiles telles que celles extraites de graines de carthame, de pépins de courges, de germes de blé et de pépin de raisins, sont plutôt utilisées à froid, en assaisonnement en raison de leur fort taux d'insaturation des acides gras. De toutes ces huiles, l'huile de palme résiste le mieux aux traitements, en raison de sa teneur en antioxydants naturels (environ 500 ppm de tocophérols),

sa faible teneur en acide linoléique et l'absence d'acide linoléique (BERGER and ONG, 1985 ; KUN, 1988).

**Tableau 1 :** Classification des matières grasses en fonction de leur saturation / Composition en acides gras.

Saturés		Mono insaturés	Poly insaturés	
Court	Long	« Oméga 9 »	« Oméga 6 »	« Oméga 3 »
Huile de noix de coco	Beurre de cacao	Huile d'olive	Huile de maïs	Huile de poissons
Huile de palme	Lard		Huile de soja	Huile de lin

Composition moyenne et T°C de solidification de quelques graisses et huiles							
	Proportion (%) d'acide gras						T°C solidification
	<i>palmitique</i>	<i>stéarique</i>	<i>oléique</i>	<i>linoléique</i>	<i>linoléinique</i>	<i>arachidique</i>	
	C16 :0	C18 :0	C18 :1n9	C18 :2n6	C18 :3n3	C20 :0	
<i>Huile de coprah</i>	10	4	6	2			14 à 22
<i>Huile d'olive</i>	10 à 17		50 à 80	10			-6 à +2
<i>Huile de colza (huile de canola)</i>	3	1	15	15	9		-10
<i>Huile d'arachide</i>	10	3	60	22			3
<i>Huile de soja</i>	11	3	25	55	1		-10 à -16
<i>Huile de tournesol</i>	8	5	20	65	1		-17
<i>Beurre</i>	25	10	20	3	2		20 à 23
<i>Beurre de Karité</i>	2	42	48	7		1	29 à 34
<i>Beurre de cacao</i>	24	35	35	1			
<i>saindoux</i>	25	19	40	5			27 à 29
<i>Huile de maïs</i>	8	1	25	55			
<i>Huile de palme</i>				10	0		25-28
<i>Huile de lin</i>	7		25	17	52		
<i>AGS, AGI, AGE</i>	AGS	AGS	AGI	AGPI / AGE	AGPI / AGE	AGS	

D'une manière générale en friture, les réactions augmentent avec l'augmentation du degré d'insaturation de l'huile (BOSKOU, 1988 ; GUILLAUMIN, 1988 ; ANONYME, 1989 ; DOBARGANES, 1997). De ce fait, le rôle anti-oxydant, protecteur de l'athérosclérose et du vieillissement attribué aux huiles poly-insaturées, de même que leur qualité « d'essentiels », seraient plus ou moins effacés. Ce serait l'une des raisons pour lesquelles les huiles le plus souvent utilisées en friture sont pour la plupart saturées malgré leur implication dans l'augmentation du niveau de cholestérol dans le sang. Par ailleurs, la réglementation française stipule que les huiles de friture ne doivent pas contenir plus de 2% d'acide linoléique C18:3 (ANONYME, 1989 ; OLLE, 1998).

Utilisant l'intensité des attributs « rance » et « fruité » pour expliquer l'évolution des caractéristiques sensorielles des frites et des chips pendant le stockage, (RAOUX, 1997) montre que la nature de l'huile de friture influence les propriétés sensorielles des frites. Celles-ci ont été trouvées stables dans le temps. Par contre, pour les chips, en plus de l'influence de la nature de l'huile sur les propriétés sensorielles, celles-ci évoluent dans le temps. En outre, certaines huiles engendreraient une oxydation plus poussée des chips obtenus (cas de l'huile de tournesol, comparée à l'huile de palme ou au mélange huile de palme et huile de colza hydrogénée). Une étude menée par (ANONYME, 1989) rapporte que les modifications chimiques ne semblent pas très liées à la nature de la matière grasse utilisée, mais sont fortement dépendantes de ses conditions d'utilisation.

### ***2.2.2. Influence des traitements physico-chimiques et de l'âge de l'huile de friture***

#### ***Influence des traitements physico-chimiques :***

Le procédé d'hydrogénation est parfois appliqué aux huiles pour convertir les acides gras insaturés en acides gras saturés. Ce procédé détruit en partie leur action bénéfique. C'est le cas des « Shortenings » (Huiles végétales parfois additionnées d'huiles animales hydrogénées), solides à température ambiante.

#### ***Influence du vieillissement de l'huile :***

Certains auteurs ont mentionné l'accroissement du gain en huile avec le vieillissement de l'huile de friture (GUILLAUMIN, 1988) ; toutefois, l'influence du vieillissement de l'huile sur les transferts n'est pas encore clairement élucidée (SAM SAGUY, 1997).

Les huiles vieilles contiennent plus d'acides gras libres. Ceux-ci, lors d'un procédé de friture, fument et donnent une odeur désagréable.

### ***2.2.3. Influence de la nature et de la concentration en additifs***

Plusieurs antioxydants ont été testés pour leur effet sur la stabilité des huiles de friture. Il s'agit des tocophérols, butyl hydroxyanisole (BHA), propyl galate (PG), tertio butyl hydroquinone (TBHQ), des antioxydants polymériques et des antioxydants d'épices. Efficaces à température ambiante, ces antioxydants perdent une grande partie de leur pouvoir aux températures de friture (BOSKOU, 1988). Certains travaux ont montré leur efficacité en les combinant aux silicones. Ceux-ci ont la particularité de diminuer la formation des volatiles et sont particulièrement efficace dans la stabilisation des huiles hydrogénées (SNYDER *et al.*, 1986). Les silicones préviendraient le moussage, l'oxydation et amélioreraient la durée de vie

du produit frit. Le plus commun des silicones, le diméthylpolysiloxane, est utilisé comme agent émulsifiant, anti-moussant et « anti-caking » (RAOUX, 1997 ; OLLE, 1998). Toutefois, la présence de silicones peut gêner le test de mousse et conduire à une mauvaise interprétation de l'état de l'huile.

Certains stérols à structure bien spécifiques ont également été étudiés pour leur rôle antioxydant (BOSKOU, 1988).

### **2.3. Les facteurs liés à l'environnement technique**

#### **2.3.1. *Influence de la température de friture***

*Sur l'huile de friture :*

L'action de la température de friture est néfaste à des valeurs supérieures à 200°C (DOBARGANES, 1997). Cet auteur mentionne que plus la température est élevée, plus la solubilité de l'oxygène diminue et plus les réactions thermiques ont lieu, produisant des associations des dimères non polaires. Il a aussi été signalé l'inversion de la configuration spatiale de la molécule autour de la double liaison des acides gras saturés, générant ainsi des acides gras TRANS (COMBE, 1997). Par ailleurs, au-delà de 300°C il y a libération d'acroléine (toxique et irritant pour les muqueuses) provenant de la dégradation du glycérol.

Sous l'effet de la chaleur, les acides gras insaturés se saturent rapidement en corps stables mais biologiquement inactifs, voire nocifs : par fixation d'hydrogène (hydrogénation), c'est le cas le plus fréquent (NARASIMHAMURTHY and RAINA, 1998) ou par fixation d'oxygène avec formation de peroxydes (radicaux libres) à potentialité cancérigène et impliqués dans le vieillissement cellulaire. Certains auteurs ont rapporté que les acides gras insaturés situés en position 2 du glycérol seraient protégés de la dégradation oxydative sous l'effet de la chaleur.

*Sur le produit :*

En cours de friture, tant que l'eau s'évapore du produit, celui-ci reste au plus à la température d'évaporation de l'eau à la pression de travail. Soit 100°C pour un travail à pression atmosphérique (VARELA, 1988). Ainsi du point de vue nutritionnel, compte tenu des durées de friture très courtes, il est possible que les effets de la température sur le contenu vitaminique du produit soient moindres comparés à ceux des procédés conventionnels (BRUBACHER, 1988).

Concernant les paramètres du procédé, (TRELEA *et al.*, 1997) ont montré que la teneur en huile des tranches de bananes plantain traitées par fritures est d'autant plus élevée que la température de friture est réduite. En revanche, (VITRAC *et al.*, 1997) trouvent que les cinétiques de gain d'huile de tranches de manioc ne semblent pas affectées par le changement de température. Quant à (DIAZ *et al.*, 1997), traitant de friture de plantain, la température aurait une influence significative sur la perte d'eau et très peu d'influence sur la teneur en matière grasse, pour une variété de plantain donnée.

Les gammes de températures de friture testées varie entre 100 et 190°C ex : 170-190°C (LING *et al.*, 1998) pour les oignons

180±5 °C (GHAZI *et al.*, 1989) ou 150±5°C (LENG *et al.*, 1997) ou 105°C (NDJOUENKEU and NGASSOUM, 2002) pour les patates douces  
145-185°C (GAMBLE *et al.*, 1987) pour les pommes de terre.  
120 et 180°C (RAOULT-WACK *et al.*, 1997) pour les oléagineux  
145-185°C (DÍAZ *et al.*, 1997) pour le plantain...

### **2.3.2. Influence de la durée de friture**

(LENG *et al.*, 1997) ont montré que les échanges de matière s'effectuent essentiellement pendant les 10-20 premières secondes de friture. La durée de friture dépend surtout de la taille du produit à traiter (VITRAC, 2000).

(DOBARGANES, 1997) souligne que plus la durée de friture est longue, plus le nombre de polymères et de composés polaires formés s'accroît.

### **2.3.3. Influence du rapport produit/huile**

Selon (DOBARGANES, 1997), l'augmentation de ce rapport entraîne l'entrée d'air dans le système et favorise donc des réactions oxydatives. Les effets physiologiques des composés issus de ces réactions ne sont pas encore clairement élucidés. C'est le cas par exemple de quelques oxystérols d'origine animale (oxycholestérol notamment) formés au cours de ce type de traitement (appliqué aux produits animaux tels que la viande, le poisson, oeufs ...) et qui sont soupçonnés d'avoir un effet athérogène important (BASCOUL *et al.*, 1986 ; GRANDGIRARD, 1997). Des expériences ont également confirmé la formation d'oxyphytostérols dans les huiles végétales au cours des fritures et la présence de ces composés dans les frites et les chips. Compte tenu de la mauvaise connaissance des effets des oxystérols sur l'alimentation humaine, il semble aujourd'hui nécessaire de privilégier des traitements technologiques qui préservent bien l'intégrité des stérols (GRANDGIRARD, 1997). La mise en œuvre d'un procédé de friture sous vide semble donc bien indiquée pour éviter ce type de réactions.

Selon (TOTTE *et al.*, 1996), l'influence du rapport produit/huile sur la teneur en eau finale du produit dépend du mode de mise en contact des phases. Pour un rapport 1/40, cette teneur est plus faible dans le système par immersion que dans le système par flottaison. Le résultat est inverse pour un rapport 1/10.

Ex. de rapport produit/huile utilisés :  
20 / 2500 (g/ml) (LENG *et al.*, 1997)  
200 g / 1500 ml (NDJOUENKEU and NGASSOUM, 2002)  
1/1 ou 10/15 (p/p) (HOUNHOUGAN *et al.*, 1997).  
1/100 à 1/10 (p/p) (REYNES, 1998)  
1/10 ou 1/40 (p/p) (TOTTE *et al.*, 1996)

#### **2.3.4. Influence de la mise en œuvre du procédé**

L'opération peut être conduite en continue ou en batch. Dans le procédé batch, le bac est en acier inoxydable et le système de chauffage est constitué de résistances électriques situées à la base du bac et qui peuvent être ou non, en contact direct avec le produit. Pour améliorer la durée de vie de l'huile de friture, la température à la surface de l'élément chauffant ne doit pas excéder 265°C, et la puissance fournie doit être inférieure à 4W/cm<sup>2</sup> (MORTON and CHIDLEY, 1988). Il est nécessaire de disposer d'un thermostat. En effet, le chauffage au gaz d'un bain de friture sans thermostat atteint facilement de hautes températures.

En mode continu, le bac est également construit en acier inoxydable, avec de préférence un système de chauffage indirect pour éviter des points chauds. Les friteuses continues sont munies d'un système continu de filtration de débris de friture et d'un système de contrôle de température et de régulation de la durée de friture. L'utilisation des échangeurs de chaleur est nécessaire pour un rapide refroidissement de l'huile en dehors des périodes de production. Ces précautions permettent d'obtenir une plus longue durée de vie de l'huile de friture. Leurs débit de production varie de 100 à 4000 kg de produit fini par heure (MORTON and CHIDLEY, 1988).

Par rapport à la mise en œuvre batch, le procédé continu semble plus avantageux. Car il fournit une vitesse de production d'acides gras plus faible ainsi qu'un meilleur goût, couleur et apparence du produit fini (MORTON and CHIDLEY, 1988 ; DOBARGANES, 1997). Pour ces deux modes un nettoyage fréquent de l'équipement est nécessaire.

#### **2.3.5. Influence de la mise en contact des phases**

La mise en contact des phases peut se faire selon quatre modes : par friture plate, par agitation, par immersion forcée ou par flottaison. Pour ces deux derniers modes, la composition physico-chimique du produit varie en fonction de sa position dans le bain (TOTTE *et al.*, 1996). Ces auteurs montrent que la mise en contact des phases par immersion forcée génère de faibles consommations d'énergie. Il a été montré que l'ajout fréquent d'huile fraîche au cours du procédé de friture profonde minimise les changements et contribue à l'obtention de produits fris de meilleur profil en acides gras avec un faible taux en acides gras Trans (ROMERO *et al.*, 2000). Par ailleurs, le gain en huile des produits semblerait moindre en friture profonde comparé à celui obtenu en friture plate.

Selon (TOTTE *et al.*, 1996), l'agitation du milieu aide à homogénéiser la température du bain, améliore les vitesses de transfert et réduit l'adhésion des tranches de produits les unes aux autres. Toutefois, l'agitation couplée au bouillonnement de l'eau de l'aliment en cours de procédé, favorise l'aération du bain de friture. Cette aération a pour conséquence l'oxydation de l'huile.

#### **2.3.6. Influence des conditions de stockage**

Des conditions de stockage mal conduites peuvent avoir des conséquences fâcheuses sur la qualité des produits fris. Par exemple, après 3 mois de stockage, la teneur en sucres des frites diminue et la texture farineuse augmente (RAOUX, 1997).

### **3. Les changements physico-chimiques et nutritionnels pendant la friture**

Les changements physico-chimiques qui surviennent pendant la friture sont de divers ordres. Ils influencent significativement le transfert de chaleur et de matière et déterminent la qualité globale du produit. Mais entrent également en compte les facteurs précédemment étudiés (SAM SAGUY, 1997). Outre la vaporisation de l'eau avec pour conséquences directes la formation de croûte et le changement de microstructure, on peut noter les phénomènes suivants (FEDELI, 1988 ; GABARDA, 1997 ; SAM SAGUY, 1997 ; WEBER and PARMENTIER, 1997) :

- détérioration de l'huile (hydrolyse des triglycérides, oxydation des acides gras libres, polymérisation des acides gras les plus fragiles)
- gélatinisation de l'amidon
- dénaturation/dégradation des protéines (réactions non enzymatiques)
- caramélisation
- oxydation du cholestérol et/ou phytostérols présents
- destruction des vitamines thermolabiles

Les différents composés formés à l'issue de ces réactions contribuent à l'odeur de friture et appartiennent principalement à trois familles chimiques (DOBARGANES, 1997 ; WEBER and PARMENTIER, 1997) :

- les acides gras libres (90% : (GABARDA, 1997)), diglycérides, produits d'oxydation, dimères et polymères de triglycérides
- les carbonylés (aldéhydes et cétones)
- les dérivés de soufre et d'ammoniac (dégradation des protéines)

Des liaisons ont été faites entre la nature des molécules émises et les conditions de friture. Il y a également formation d'une large classe de matériaux surfactants. Ceux-ci jouent un rôle important sur la tension superficielle à l'interface huile/produit.

Par isomérisation, des isomères TRANS d'acides gras insaturés se forment. Les acides gras TRANS (AGT) formés lors du procédé de friture sont des isomères des acides linoléiques et linoléique. L'impact des AGT sur la santé et notamment les maladies cardiovasculaires n'est pas encore clairement mis en évidence. En revanche, l'acide linoléique trans aurait un impact négatif sur la diminution du bon cholestérol et sur l'augmentation du quotient : cholestérol total sur bon cholestérol. Il a par ailleurs été démontré que les AGT consommés par la mère se retrouvent en totalité chez le fœtus (COMBE, 1997).

En général, toutes ces réactions sont accélérées à haute température et selon le mode de chauffage du matériau (direct ou indirect). Le chauffage direct (friture plate) se caractérise par une grande surface d'huile en contact avec l'air et un petit volume d'huile, ce qui favorise l'oxydation thermique de l'huile, pouvant entraîner la formation d'espèces chimiques nouvelles toxiques. Après friture, contrairement au chauffage indirect, l'huile n'est pas réutilisable.

Pendant le refroidissement de l'huile de friture en fin de procédé, l'oxydation se poursuit, et il se forme des hydroperoxydes qui serviront d'initiateurs d'altération lors du chauffage suivant. Pour cela, la réutilisation des bains de friture doit être rigoureusement contrôlée.

#### Autres changements apparents :

- La formation de la croûte : plusieurs travaux ont montré que la croûte formée sur le produit serait le lieu de localisation de l'huile imprégnée.
- Le changement de couleur
- la diminution (selon la loi d'Arrhenius) de la viscosité des huiles pendant le procédé de friture (SAM SAGUY, 1997).

Toutes ces modifications déterminent la qualité globale du produit, lequel est apprécié au niveau du consommateur, par plusieurs critères dont la saveur, la couleur et la texture (DIAZ *et al.*, 1997).

Du point de vue minéraux et vitamines, le procédé de friture n'engendre pas de pertes significatives en éléments minéraux. Comparée aux autres techniques de cuisson dans l'eau ou à la vapeur, la friture préserve mieux la charge en vitamines B1, B2, B6 et en acide ascorbique (BRUBACHER, 1988 ; MOREIRAS-VARELA *et al.*, 1988).

## **4. Les mécanismes de gain en huile**

Les mécanismes de gain d'huile restent controversés dans la littérature.

Il a été montré que pendant la friture de frites, il n'y a pas passage d'huile dans le produit. C'est au retrait que le phénomène se produit. Donc, le gain en huile serait un phénomène de surface mettant en jeu un équilibre entre l'adhésion et l'égouttage (après sortie du bain). La quantité d'huile contenue dans une frite se retrouve sous forme absorbée ou en surface. Celle-ci continue d'être absorbée pendant les étapes ultérieures de traitement.

Il semblerait par ailleurs qu'au cours de la friture, l'eau est progressivement 'remplacée' par l'huile de friture (GAMBLE *et al.*, 1987). L'eau s'évapore en premier, il s'ensuit la formation de la croûte suite à cet assèchement. La vapeur créée à l'intérieur du produit engendre un gradient de pression. Cette vapeur s'échappe par des fins capillaires (pores) contenus dans la structure du produit. L'huile qui adhère au produit entrerait à l'intérieur en empruntant les mêmes voies que celles de la vapeur. Le gain en huile augmenterait en réduisant la pression de vapeur dans l'aliment ou en lui appliquant le vide. Selon (SAM SAGUY, 1997), le gain en huile pourrait également servir à éviter les phénomènes de rétrécissement des aliments après un traitement d'évaporation.

## **5. Les techniques courantes d'analyses effectuées**

### **5.1. Analyses de l'huile de friture**

Avant utilisation de toute huile de friture, il est important de la caractériser par des analyses chimiques et physiques telles que :

Teneur en eau, indice d'acide, teneur en insaponifiables, indice de peroxyde, indice d'iode, alcalinité, indice de saponification, indice d'ester, teneur en matières volatiles, impuretés insolubles dans l'hexane, viscosité dynamique, couleur, densité, point de fusion.

La dégradation des huiles en cours de friture peut être estimée par des tests chimiques et physiques. Les tests chimiques comportent le suivi de l'indice d'iode et du profil en acides gras libres du milieu (ROMERO *et al.*, 2000). Aujourd'hui, la méthode la plus employée et la plus fiable pour décrire l'altération des bains de friture est la détermination de la teneur en composés polaires et de la teneur en polymères des triglycérides (ANONYME, 1989 ; DOBARGANES, 1997 ; BARTOLOZZI *et al.*, 2000 ; SHUBHA SINGH and TYAGI, 2000). Ils sont quantifiables par chromatographie d'absorption. Selon la réglementation française, les bains dont la teneur en composés polaires est supérieure à 25% sont dits impropres à la consommation (ANONYME, 1989 ; OLLE, 1998). Parmi les méthodes physiques, un bon indicateur de la détérioration du bain est le suivi du changement de la constante diélectrique du bain. La mesure de cette constante est faite à l'aide d'un « Food Oil-Sensor » (AUGUSTIN *et al.*, 1987). Le dosage de la teneur en acides gras *trans* des bains peut être conduit par spectrométrie à infra-rouges (KOCHHAR and ROSSELL, 1987). D'autres méthodes permettant de déterminer l'état d'oxydation des bains existent mais sont de moins en moins utilisées (OLLE, 1998) : mesure du point de fumée, test de mousse, test colorimétrique.

## 5.2. Analyses du produit

### Les analyses courantes :

- détermination de la teneur en eau par séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 h
- détermination des gains en huile par extraction au Soxhlet.
- test d'activité enzymatique sur le produit blanchi, par mesure de l'absorption à 530 nm d'un extrait aqueux des tranches blanchies
- suivi de la diffusion des sucres réducteurs dans la solution de blanchiment
- contrôle de l'hydrolyse de l'amidon par la mesure du taux de sucres réducteurs dans le bain

### Autres méthodes d'analyse :

L'analyse d'image par résonance magnétique a été utilisée pour localiser l'huile sur l'aliment ainsi que sa concentration en tout point (SAM SAGUY, 1997).

Pour le procédé en continu, le contrôle de la teneur en eau par micro-onde est également possible. Il est basé sur la différence de permittivité entre le matériau et l'eau. Un signal haute fréquence traversant un matériau donné subit une atténuation et un déphasage proportionnellement à sa permittivité complexe  $\epsilon^*$ , somme complexe de la constante diélectrique  $\epsilon'$  et du facteur de perte du matériaux  $\epsilon''$ , qui varie en fonction de l'humidité (GORRETA *et al.*, 1997).

La spectrométrie infrarouge, basée sur le fait que dans les régions du proche infra rouge ( $\lambda$  : 800-2500 nm) l'eau absorbe le rayonnement à certaines longueurs d'onde, peut être utilisée pour déterminer en continu la teneur en eau du produit fini (GORRETA *et al.*, 1997).

Le changement de structure du produit peut être observé par microscopie. Celui-ci peut faciliter la compréhension des mécanismes qui se produisent.

### Analyse sensorielle :

- Descripteurs de l'analyse sensorielle : 11 attributs : odeur : fruitée, rance ; aspects : couleur, aspect gras ; texture en bouche : morceaux durs et anguleux, friable ; goûts : fruité, rance, brûlé/âcre ; arrière-goût : salé/brûlé, impression huileuse (RAOULX, 1998).
- description des échantillons de produits par la technique du profil. Traitement des résultats par l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle des correspondances.

## **6. Les applications du procédé de friture en Agro-alimentaire**

La friture peut être appliquée aux aliments comme prétraitement de séchage avant extraction d'huile par pressage. C'est le cas des oléagineux (amande de coco, avocat). C'est aussi le cas des sous-produits carnés séchés par friture (RAOULT-WACK *et al.*, 1997). Toutefois, l'application du séchage-friture aux produits gras reste mal connue. En général, celui-ci se déroule dans un environnement gras de même nature que celle que l'on cherche à extraire. Comparée aux techniques conventionnelles de séchage, la friture fournit un produit fini de meilleure qualité, compte tenu qu'elle évite l'action des lipases dans la production d'acides gras libres. La présence de ceux-ci impose pour les étapes ultérieures, une procédure de raffinage longue et coûteuse. La friture évite également la production de mycotoxines (aflatoxines) par certains champignons tels que *Aspergillus* (RAOULT-WACK *et al.*, 1997).

Le séchage par friture apparaît comme une alternative pour le traitement des produits qui subiraient difficilement un séchage conventionnel (RAOULT-WACK *et al.*, 1997) et comme un procédé de choix pour le développement de nouvelles saveurs et l'obtention de produits de présentation attrayante.

Les aliments ayant fait l'objet de traitement par le procédé de friture appartiennent à divers groupes :

- les fruits : ananas : *Ananas comosus* (REYNES *et al.*, 1997 ; AW *et al.*, 1998), bananes douce : *Musa acuminata* (triploïde Musa, AAA) (NUMATA and CHUNAGO, 1980 ; REYNES, 1998), banane plantain : *Musa sapientium* (triploïde Musa, AAB) (OGAZI, 1987 ; MOSSO *et al.*, 1996 ; TOTTE *et al.*, 1996 ; LEMAIRE *et al.*, 1997 ; TRELEA *et al.*, 1997 ; AMMAWATH *et al.*, 2001), pommes : *Malus domestica* (REYNES, 1998), arbre à pain : *Artocarpus altilis* / *Artocarpus communis* / *Treculia africana Decne* (BATES *et al.*, 1991), kiwi : *Actinidia deliciosa* (REYNES, 1998), mangues : *Mangifera indica* (REYNES, 1998).
- les légumes : oignons : *Allium cepa L.* (GENNADIOS *et al.*, 1997 ; DU *et al.*, 1998 ; HANSEN, 1998), carottes : *Daucus carota L.* (REYNES, 1998).
- les racines et tubercules : manioc : *Manihot dulcis* / *Manihot Esculenta, Crantz* (MOSSO *et al.*, 1996 ; VITRAC *et al.*, 1997 ; VITRAC *et al.*, 2000), patate douce : *Ipomoea batatas Lam.* (LENG *et al.*, 1997), pomme de terre : *Solanum tuberosum* (SIJBRING and VAN DER VELDE, 1969 ; NONAKA *et al.*, 1977 ; OKA and UEOKA, 1981 ; GAMBLE *et al.*, 1987 ; RAOULX, 1997 ; RAOULX, 1998 ; ROMERO *et al.*, 2000).
- les oléagineux : amande de coco : *Cocos nucifera* (HOUNHOUIGAN *et al.*, 1997 ; RAOULT-WACK *et al.*, 1997), avocat : *Persea americana* (RAOULT-WACK *et al.*, 1997)

- autres : produits carnés (RAOULT-WACK *et al.*, 1997), poisson (DE VERDELHAN *et al.*, 1999)
- autres fritures courantes en pays chauds : ignames : *Dioscorea opposita* / *Dioscorea cayenensis* / *D. Rotundata complex* / *Dioscorea rotundata*, macabo : *Xanthosoma sagittifolium*, haricot : *Phaseolus vulgaris*, céréales : Maïs : *Zea mays*. Ces deux derniers peuvent être broyés et mélangés pour la fabrication de beignets localement très appréciés.

Pour l'ensemble de ces produits :

- les rendements de production varient de 20 à 30 % pour les produits de type chips
- Teneur en huile des produits : 5-60% b. h.
- La teneur en eau résiduelle : de 4% à 50% selon la forme géométrique du produit (chips – morceaux plus gros)
- Les produits se conservent d'autant plus longtemps qu'ils sont de faible épaisseur et qu'ils sont conservés à basses températures. Ex. les chips se conservent en moyenne 3 mois à température ambiante.

La plupart des applications précédemment citées s'effectuent à la pression atmosphérique. Plusieurs auteurs (SIJBRING and VAN DER VELDE, 1969 ; OKA and UEOKA, 1981) ont montré qu'il y a un grand intérêt à travailler sous pression réduite, notamment pour mieux préserver les qualités organoleptiques du produit (couleur surtout). (OKA and UEOKA, 1981) proposent une friture de tranches de fruits et légumes à 100°C pendant 10 minutes avec un maintien de la pression à 60 mm Hg tandis que (SIJBRING and VAN DER VELDE, 1969) préconisent une friture à 100°C ou moins, avec une pression inférieure à 70 mm Hg pour la production de chips. Ces auteurs montrent que ces traitements sous pression réduite confèrent une belle couleur au produit fini.

## 7. Le contrôle-commande du procédé de friture

L'application d'une commande optimale au procédé de friture de bananes plantain a été présentée (TRELEA *et al.*, 1997). Le modèle de représentation dynamique proposé permet de prédire l'évolution de la teneur en eau et de la teneur en huile avec une précision au moins égale à la répétabilité expérimentale. La seule mesure en ligne est la température du bain ; ainsi, la teneur en eau et la température du produit peuvent être corrigées en temps réel.

**Tableau 2 :** Les paramètres commande et les paramètres réponse de la DII-Friture

	paramètres commande	paramètres réponse
<b>DII</b>	T°, t, concentration, F/S	GS, PE, RP
<b>Friture</b>	T°, t, F/S	concentration en gras, teneur en matière sèches, texture, couleur

Des exemples de modélisation des courbes de PE et de GH (par une équation du type :  $PE, GH = a \cdot \exp(-bt) + c$ ) ont été présentées dans la littérature (VITRAC *et al.*, 1997).

De récents travaux ont présenté des possibilités de contrôle de la qualité de l'huile en cours de procédé, grâce à la mesure de ses propriétés ultrasoniques, lesquelles sont corrélées aux taux de composés polaires et de polymères (BENEDITO *et al.*, 2002).

## **8. Recherches sur l'oignon**

### **8.1. L'oignon (*Allium cepa* var *cepa* L.) – Généralités**

Plante la plus importante de la famille des **alliées**, plante vivace et rustique de 90 à 150 cm, bi-annuelle, l'oignon est originaire d'Asie centrale.

L'aptitude à la conservation des cultivars est liée à des phénomènes :

- physiologiques : la dormance, la précocité de maturation
- pathologiques : la résistance aux parasites (fongiques)

La dormance (fin de végétation - début de germination) est une caractéristique variétale influencée par les conditions de culture, de récolte et de séchage. Certains cultivars n'atteignent pas un état de dormance suffisant si leur maturation est tardive.

La pathologie de conservation la plus importante des oignons reste la pourriture du collet. Celui-ci est d'autant plus vite attaqué qu'il est épais et qu'il sèche mal. Le collet qui sèche mal reste la porte ouverte aux champignons (*Botrytis* sp...).

L'aptitude à la conservation des oignons est étroitement liée à leur teneur en matières sèches. Plus elle est importante, mieux l'oignon se conserve (RUBATZKY and YAMAGUCHI, 1997).

#### ***8.1.1. Récolte de l'oignon***

Selon les cultivars, elle a lieu au bout de 80 à 170 jours (RUBATZKY and YAMAGUCHI, 1997). Ne pas irriguer les sols deux à trois semaines avant la récolte. Arracher les oignons lorsque le feuillage est aux 2/3 sec. Car à ce stade, la croissance est pratiquement arrêtée, mais les contaminations du bulbe par *Botrytis allii*, *Aspergillus niger*,... (CURRAH and PROCTOR, 1990 ; RUBATZKY and YAMAGUCHI, 1997), qui descendent par les gaines, est possible. Il faut donc accélérer le séchage de l'oignon avant qu'il ne soit attaqué au niveau du bulbe.

Le séchage peut être mixte : naturel puis forcé, selon les conditions climatiques. Le séchage de l'oignon est sensible à l'hygrométrie. Une valeur minimale de 60% est nécessaire, pour éviter le décollement des pellicules extérieures.

Les oignons de gros calibre de l'ordre de 60 mm sont destinés à la transformation, tandis que ceux de taille inférieure à 60 mm sont réservés au marché de consommation en l'état.

Avant transformation ou consommation en l'état, les oignons matures doivent être stockés autour de 0°C, dans une hygrométrie de 65% à 70% (RUBATZKY and YAMAGUCHI, 1997). L'oignon gèle entre -1 et -2 °C.

### **Classification des oignons selon la couleur - Production mondiale**

- Oignons blancs : inaptes à la conservation, ils sont récoltés en vert ou lorsque le collet est résorbé (oignons à confire)
- Oignons jaunes, dits forts : meilleure conservation, riches en essences
- Oignons jaunes, doux : faible teneur en essences, consommation en salades.
- Oignon brun
- Oignon rouge et Oignon pourpre.

La production mondiale d'oignons s'élève à 33 millions de tonnes (FAO, 1995). Le tableau 3 donne la liste des principaux producteurs.

**Tableau 3** : Principaux producteurs d'oignons (FAO, 1995)

Producteurs	% Production mondiale
Asie (Chine, Indes, Japon, Turquie)	56
Europe	18
Amérique du Nord (USA)	10
Amérique du Sud (Brésil, Argentine)	7
Afrique	8
Océanie	1

**8.1.2. Composition moyenne de l'oignon pour 100 g de partie comestible  
(DUBOIS, 1981)**

<b>Constituant</b>	<b>Sec et Cru</b>	<b>Cuit</b>	<b>Déshydraté</b>	<b>Jeune et vert</b>
<b><u>En grammes :</u></b>				
Eau	86	86	10	87
Protides	1,4	1	8	0,9
Lipides	0,2	0,2	1	0,2
Glucides	10	8,7	75	11
Cellulose	0,8	0,8	4	0,6
<b><u>En milli-gr :</u></b>				
Soufre	70			
Phosphore	44	44	250	24
Chlore	25			
Sodium	7			
Potassium	180			109
Magnésium	16	32		110
Calcium	32		150	135
Fer	0,50	0,50	3,40	0,90
Zinc	0,08	1,38		
Cuivre	0,10	0,13		
Manganèse	0,25	0,80		
Iode	0,02	0,02		
Acide ascorbique	28	10	36	24
Thiamine B1	0,05	0,03	0,25	0,03
Riboflavine B2	0,07	0,03	0,18	0,04
PP	0,50	0,20	1,40	0,20
Ac. Panthothénic	0,20	0,15		
Caroténoïdes	0,03	0,02		
<b>Calories</b>	47	40	34	49

Ainsi, l'oignon frais est essentiellement composé d'eau : 86 à 93%. Il est riche en soufre, en fer et en vit C. Il contient :

- 7% glucides (fructosanes + glucose, fructose, saccharose, ...)
- 2.1% fibres (cellulose, hemicellulose, pectine, mucilage)
- 1.3% protéines et 0.2% lipides
- les minéraux (mg/g) : K (1.7), P (0.35), Ca (0.25), Mg (0.1), Na (0.06), Cl (0.25) S (0.5), Se (de 0.00001 à 0.000 1), Mn (0.0015), Co (0.00013), F (0.000 4), Mb (0.0001), B (0.0017), Fe (0.003), Cu (0.0005), Zn (0.002), Ni (0.00002), Cr (0.00001), I (0.00002)...
- les vitamines (mg/g) : proA (0.000 1 à 0.000 5), B1 (0.0006), B2 (0.0002), B3 (0.003), B5(0.0011), B6(0.0014), B9(0.0002), C (0.07 à 0.25), E (0.0014)
- les colorants : polyphénols, flavanoïdes, anthocyanes,...
- les huiles essentielles : 0.01% (composées majoritairement de sulfure : Ethyl, propyl disulfides, vinyl sulfides, etc..)

Son principe lachrymal majoritaire est :  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}(\text{SO})\text{H}$  thiopropanal-S-oxide.

L'oignon a différentes vertus : diurétique (grâce aux fructosanes), bénéfique sur le system cardio vasculaire, désinfectant (grâce au soufre), il prémunit contre la grippe, contre l'insomnie, contre les indigestions et son jus frais est antibiotique, diurétique, expectorant, antispasmodique,...

On peut noter :

- L'Absence d'amidon.

### 8.1.3. L'arôme de l'oignon

L'oignon doit son arôme à de composés volatiles soufrés, qui se forment par voie enzymatique, lors du broyage des cellules. C'est donc la mise en contact des précurseurs d'arôme avec une enzyme qui entraîne l'apparition de l'arôme oignon. L'enzyme impliquée est l'alliinase.

**L'alliinase** est une cystéine sulfoxyde lyase E.C.4.4.1.4. qui hydrolyse les dérivés alkyls et alkényles du sulfoxyde de cystéine. Elle possède un groupement phosphate de pyridoxal. Elle donne naissance aux disulfures volatiles et à des thiosulfonates. Ces disulfures, formés à partir de produits primaires instables, sont les principaux constituants de l'essence des *Allium*. Ceux-ci se distinguent par la nature des radicaux alkyl et alkényle des cystéines sulfoxydes (FREEMAN, 1975).

Les radicaux retrouvés dans l'oignon sont :

- le propyle sulfoxyde de cystéine (abondant)
- le méthyle sulfoxyde de cystéine
- le 1-propényl-trans sulfoxyde de cystéine : l'action de l'alliinase sur cet acide aminé conduit à un composé lacrymogène, le thiopropanal S-oxyde. Celui-ci, très instable, serait à l'origine des pigments roses qui apparaissent dans les jus d'oignons. La forme *cis* est aussi présente.
- mono, tri, tétra sulfures
- 3-4 diméthyle thiophène (odeur d'oignon frit)
- les esters méthylique et propylique de l'acide propane thioïque

## **8.2. Bilan des travaux sur l'oignon**

Compte tenu de sa forte teneur en eau, l'oignon est une denrée très périssable entraînant des pertes considérables tant au niveau des producteurs que pour les grossistes et commerçants. Au Cameroun en particulier, cette culture est essentiellement développée dans la partie Nord. La récolte s'étale de janvier à mai, avec des rendements de l'ordre de 20 tonnes/ha. Des contributions à l'amélioration des méthodes de culture et de stockage ont été apportées (DOASSEM and DEVAUTOUR, 1992 ; (PGII), 1992). Leurs applications se situent à des échelles locales, au niveau des exploitants individuels. Pourtant, il serait intéressant de développer une structure semi-industrielle qui se chargerait de transformer ce légume, dans l'optique de sa conservation et de l'intensification de sa culture.

Au niveau international, l'industrie de l'oignon reste timide, avec quelques essais de transformation en poudre ou en purée. Le tableau 4 présente les domaines de recherches développées sur l'oignon. La plupart des travaux (45 %) se situent au niveau des champs et concernent surtout l'amélioration des variétés culturales. Viennent ensuite les travaux (40 %) consacrés aux technologies post-récoltes, notamment l'influence des techniques des champs sur la conservabilité des oignons, sur leur profil aromatique et sur leurs propriétés rhéologiques. Le reste (15%) concerne les techniques de conservation appliquées à l'échelle artisanale ou semi-industrielle (séchage sous toutes ses formes en particulier).

**Tableau 4 :** Bilan des recherches sur l'oignon (100 revues analysées).

Domaines de recherche	% des travaux	quelques Références
Technologies post-récolte / Techniques de stockage. Irradiation, influence de la nature des engrais...(Variétés : rouge, violet, jaune, blanc)...	25	(1)
<b>Séchage :</b> solaire, IR, T° ambiante, ondes acoustiques, convection oignons séchés (65°C/25%HR) poudres purée confiture oignons	8	(2) (3) (4)
<b>Friture</b> 150°C, 170-190°C/30-60s, 140-160°C+séchage	2	(5)
<b>Traitement osmotique</b> ex : saccharose/sel KNO <sub>3</sub> /PEG 6000 + séchage	3	(6)
Modélisation	2	
Composés volatiles	10	(7)
Contrôle qualité : Relations : propriétés rhéologiques et qualité	5	(8)
Machines à éplucher / process	2	(9)
Maladies de l'oignon / Amélioration des cultures	40	(10)
Marché de l'oignon	3	(11)

(1) (ATTA-ALY, 1998 ; PANDEY, 1999 ; JEMAL, 2000)

(2) (VERMA *et al.*, 1999 ; RAJKUMAR and SREENARAYANAN, 2001)

(3) (SAGAR, 2001)

(4) (AHMED *et al.*, 2001)

(5) (GENNADIOS *et al.*, 1997 ; DU *et al.*, 1998 ; HANSEN, 1998)

(6) (SAGAR, 2001)

(7) (FREEMAN, 1975 ; TALYZIN *et al.*, 1989 ; RANDLE, 1992 ; PINO *et al.*, 2000)

(8) (ZANA *et al.*, 1999)

(9) (YOSHITOMI, 1998)

(10) (VAVRINA and SMITTLE, 1993 ; DE BON, 1996)

(11) (DAVID, 1996 ; PAJANKAR *et al.*, 2000)

### **8.3. Transformations de l'oignon**

#### ***8.3.1. Buts***

- Faciliter sa conservation
  
- Réduire les pertes par pourriture suite à des stockages en conditions mal contrôlées
  
- Développer la culture de l'oignon
  
- Couvrir les marchés locaux et ceux de la sous-région
  
- Améliorer les revenus des producteurs
  
- Créer des emplois
  
- Développer des produits nouveaux.

#### ***8.3.2. Nature des transformations***

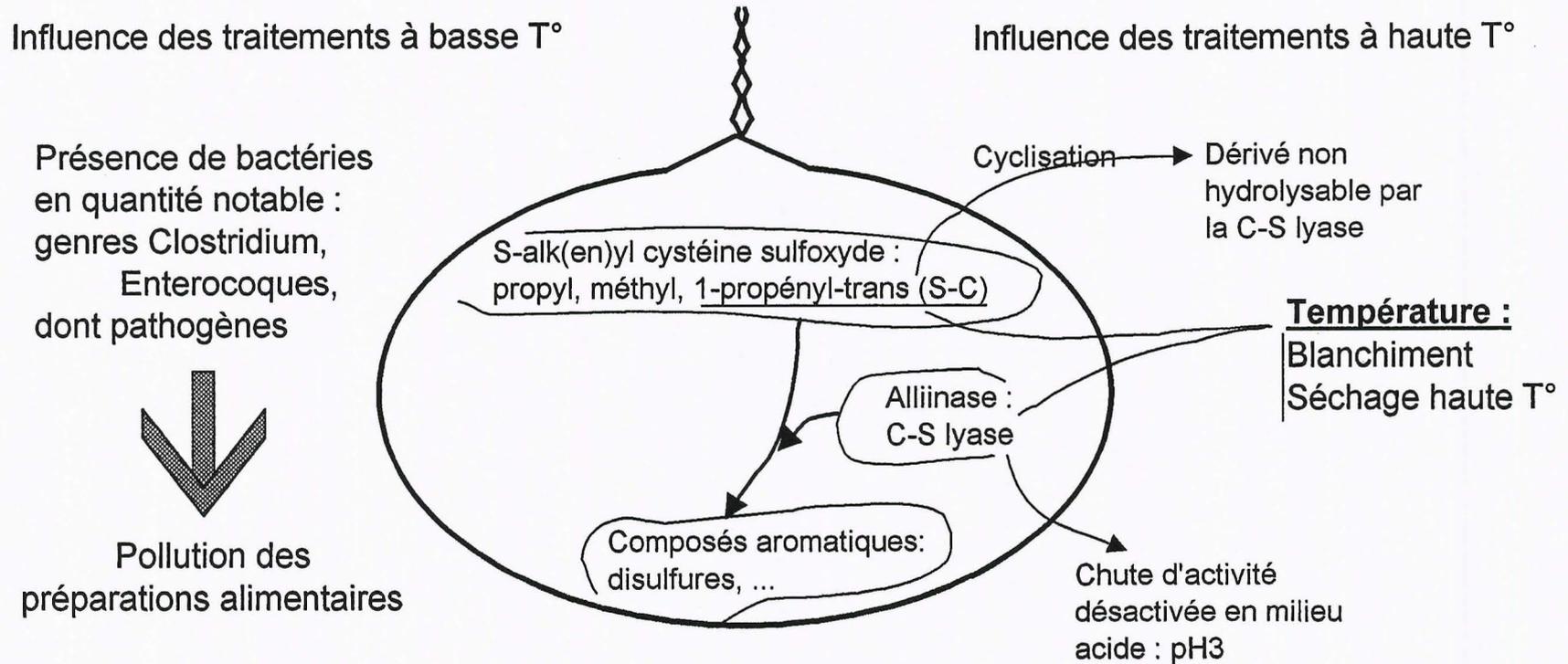
- Déshydratation : produits essentiellement destinés à la préparation industrielle des bouillons et potages
  
- Appertisation
  
- Conserves au vinaigre ou autres conservateurs

### **8.3.3. Les prétraitements avant transformation**

Ils permettent :

- Soit de résoudre les problèmes de pollution bactérienne de l'oignon :  
    Bain de chlorure de sodium (DUBOIS, 1981)
  
- soit de prévenir les problèmes de brunissement enzymatique au cours des traitements :  
    Bain de métabisulfite de potassium (RAJKUMAR and SREENARAYANAN, 2001)
  
- soit de prévenir les problèmes de brunissement non-enzymatique au cours des traitements :  
    Bain de chlorure de sodium (SAGAR, 2001)

### 8.3.4. Effets de la température sur la qualité du produit fini



## **9. Les axes de recherche développés autour du karité**

Concernant le karité, de nombreux travaux tant sur le plan alimentaire qu'en cosmétologie, voire en pharmacie ont montré l'intérêt de l'intensification de sa culture et de l'amélioration des techniques artisanales de conservation (KAPSEU *et al.*, 1998 ; AMTI *et al.*, 2000 ; KAPSEU *et al.*, 2000).

Le karité (*butyrospermum parkii*) est un arbre sauvage de la famille des sapotacées. Il mesure une quinzaine de mètres environ et pousse en zone subsaharienne. L'arbre de karité a une durée de vie très longue, pouvant atteindre jusqu'à 2 siècles. Il commence à donner des fruits seulement à l'âge de 15 ans, mais n'atteindra sa pleine production qu'à partir de 25ans. Toutes les parties de cet arbre sont réputées pour leurs vertus médicinales.

Aujourd'hui, on connaît les propriétés physico-chimiques du beurre de karité extrait des amandes des fruits (composition en triglycérides notamment) ainsi que ses potentielles applications industrielles (alimentaire, savonnerie, lipochimie). Les transformations du karité à l'échelle artisanale sont essentiellement assurées par les femmes lesquelles continuent de chercher les meilleurs moyens de conservation des noix avant leur transformation. En effet, la maîtrise de cette technique de conservation avant traitement leur permettrait non seulement de mettre à la disposition des acheteurs un produit de meilleure qualité, mais aussi de leur permettre de mieux organiser leurs systèmes de transformation en dehors des périodes de production. D'où l'idée d'envisager une méthode de conservation par friture.

## **CONCLUSION**

Les fortes variations dans la nature/structure des produits traités, dans leur découpe et prétraitements, leur mise en œuvre..., font qu'il est actuellement difficile de prévoir correctement leur comportement pendant le procédé de friture.

Le développement d'une unité de séchage/friture à l'échelle artisanale ou semi-industrielle devra prendre en compte les spécificités de l'opération, surtout notamment son caractère « rapide », mais devra également tenir compte des possibilités d'exploitation des bains usagés, pour des raisons économiques et de protection de l'environnement.

## **REMERCIEMENTS**

Ce travail a été soutenu par l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), dans son programme des Bourses d'Excellence. Nous remercions le CIRAD de Montpellier pour son accueil au sein du département d'Amélioration des Méthodes pour l'Innovation Scientifique (CIRAD-AMIS, Programme Agro-Alimentaire) dirigé par le Professeur Gérard CHUZEL. Nous remercions sincèrement toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de ce stage, et en particulier Madame Nadine LOPEZ pour sa bonne humeur, Madame Nadine ZAKHIA et le Professeur François GIROUX pour leur encadrement, Madame Anne-Lucie RAOULT WACK, Messieurs Max REYNES, Philippe BOHUON, Jean Claude DUMAS, Jean Michel MEOT et Dominique DUFOUR pour leurs contributions.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHMED J., SHIVHARE U. S. and RAGHAVAN G. S. V., (2001). "Color degradation kinetics and rheological characteristics of onion puree", *Transactions of the ASAE*, **44**(1), 95-98.
- AMMAWATH W., CHE MAN Y. B., YUSOF S. and RAHMAN R. A., (2001). "Effects of variety and stage of fruit ripeness on the physicochemical and sensory characteristics of deep-fat-fried banana chips", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81**(12), 1166-1171.
- AMTI J. P., JIOKAP NONO Y., KAPSEU C. and TCHIEGANG C., (2000). "Amélioration de l'extraction artisanale du beurre de karité", 3ème Séminaire International sur la valorisation du safoutier et autres oléagineux non-conventionnel, 3-5 Octobre 2000, Yaoundé - Palais des Congrès.
- ANONYME, (1989). "Les bains de friture : aspects techniques et recommandations d'utilisation", Document, Octobre, Organisation Nationale Interprofessionnelle Des Oléagineux (ONIDOL), Paris, 12p.
- ATTA-ALY M. A., (1998). "Effect of hydrocooling and polyethylene package lining on maintaining green onion quality for export", *Annals of Agricultural Science (Cairo)*, **43**(1), 231-249.
- AUGUSTIN M. A., ASAP T. and HENG L. K., (1987). "Relationships between measurements of fat deterioration during heating and frying in RBD olein", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **64**(12), 1670-1675.
- AW B., DORNIER M., DUBOIS C., GUILLAUMONT A., AYMARD C. and REYNES M., (1998). "Optimisation des conditions de confisage friture de tranches d'ananas par la méthodologie des plans d'expériences", *Science des Aliments*, (18), 313-322.
- BARTOLOZZI G., BIZZOZERO N. and GHIRINGHELLI L., (2000). "Analysis of frying oils.", *Industria Alimentari*, **39**(393), 691-693,697.
- BASCOUL J., DOMERGUE N., OLLE M. and CRASTES DE PAULET A., (1986). "Autoxidation of cholesterol in tallows heated under deep frying conditions: Evaluation of oxysterols by GLC and TLC-FID", *Lipids*, **21**(6), 383-387.
- BATES R. P., GRAHAM H. D., MATTHEWS R. F. and CLOS L. R., (1991). "Breadfruit chips : preparation, stability and acceptability", *Journal of Food Science*, **56**(6), 1608-1610.
- BENEDITO J., MULET A., VELASCO J. and DOBARGANES C., (2002). "Ultrasonic assessment of oil quality during frying", *Journal of agricultural and food chemistry*, (sous Presse).
- BERGER K. G. and ONG S. H., (1985). "Les utilisations industrielles de l'huile de palme et de l'huile de coco", *Oléagineux*, **40**(12), 613-624.
- BOSKOU D., (1988). "Stability of frying oils", Frying of food : principles, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 174-182.
- BRUBACHER G., (1988). "Vitamin changes in frying food", Frying of food : principles, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 103-111.
- COMBE N., (1997). "Effets nutritionnels liés aux isomères TRANS", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 33-40.

- CURRAH L. and PROCTOR F. J., (1990). Onions in tropical regions. NRI, NRI Bulletin, Kent,, 232p.
- DAVID O., (1996). "Will the Niger onion continue to dominate the Abidjan markets for much longer? FT: L'oignon du Niger dominera-t-il longtemps les marchés d'Abidjan?", *Grain de Sel*, (3), 10-11.
- DE BON H., (1996). "Improvement of onion, potato and tomato quality in Reunion. FT: Amélioration de la qualité de l'oignon, de la pomme de terre et de la tomate à l'île de la Reunion", *Fruits (Paris)*, 51(5), 359-366.
- DE VERDELHAN T., COLLIGNAN A. and RAOULT-WACK A.-L., (1999). "Deep-fat frying of fish at atmospheric pressure", *Agricultural Engineering Journal*, vol.8(n°4), 245-257.
- DIAZ A., TRYSTRAM G., REYNES M., BRICAS N. and RAOULT-WACK A.-L., (1997). "Tendance de consommation et amélioration de la qualité des chips de plantain en Colombie", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, 11(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 105-112.
- DIAZ A., TRYSTRAM G., VITRAC O., DUFOUR D. and WACK A.-L., (1999). "Kinetics of moisture loss and fat absorption during frying for different varieties of plantain", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 291-299.
- DOASSEM J. and DEVAUTOUR H., (1992). "Conservation de l'oignon (section Technologie Post-récolte) I.R.A.-GAROUA", Institut de recherche agronomique (CRA-Maroua, Station de Garoua), Garoua-Cameroun, 30 p.
- DOBARGANES C., (1997). "Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, 11(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 9-20.
- DOBARGANES C., (1998). "Formation and analysis of high molecular-weight compounds in frying fats and oils", *OCL*, 5(1), 41-47.
- DU L., GENNADIOS A., HANNA M. A. and CUPPETT S. L., (1998). "Quality evaluation of deep-fat fried onion rings", *Journal-of-Food-Quality*, 21(2), 95-105.
- DUBOIS P., (1981). "Arôme de l'oignon et oignon déshydraté", L'oignon, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, CTIFL-INVUFLEC, Paris, 105-108.
- FAO, (1995). 1994 FAO Production Yearbook., Rome, 48,
- FEDELI E., (1988). "The behaviour of olive oil during cooking and frying", Frying of food : principes, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 52-81.
- FREEMAN G. G., (1975). "Distribution of flavour components in onion (*Allium cepa* L.), leek (*Allium gorrum*) and garlic (*Allium sativum*)", *J. Sci. Food. Agric.*, 26, 471-481.
- GABARDA D., (1997). "La collecte des huiles des cuisines usagées", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, 11(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 97-104.
- GAMBLE A. H., RICE P. and SELMAN J. D., (1987). "Relation ship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. record U.K. tubers", *International Journal of Food Science and Technology*, 22(3), 233-242.
- GAMBLE M. H. and RICE P., (1987). "Effect of pre-fry drying of oil uptake and distribution potato crisp manufacture", *International Journal of Food Science and Technology*, 22, 535-548.

- GENNADIOS A., HANNA M. A. and LING D., (1997). "Effect of frozen storage on deep-fat fried breaded onion rings", *International Journal of Food Science and Technology*, **32**, 121-125.
- GHAZI A., ABD-EL-AAL M. H. and KHALIL M., (1989). "Effects of frying and storage at room temperature on the chemical composition and quality of sweet potato slices", *Die Nahrung*, **33**(2), 153-159.
- GORRETA N., BELLON-MAUREL V. and BIGOT P., (1997). "Détermination de procédés de mesure de la teneur en eau sur un procédé de séchage-friture en continu de produits gras", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 83-88.
- GRAILLE J., (1997). "Réactions chimiques induites par la friture", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 21-32.
- GRANDGIRARD A., (1997). "Les oxysterols dans l'alimentation", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 41-48.
- GUILLAUMIN R., (1988). "Kinetics of fat penetration in food", Frying of food/ principles, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 82-90.
- HANSEN S. L., (1998). "Influence of oil temperature on the quality of deep-fat fried onion slices", *Irish-Journal-of-Agricultural-and-Food-Research*, **37**(1), 61-67.
- HOUNHOUGAN J., ROUZIÈRE A., NOEL J. M., BRICAS N., MAROUZE C. and RAOULT-WACK A. L., (1997). "Relance de la filière de production d'huile de coco par la technique de séchage-friture", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 121-130.
- JEMAL H., (2000). "The storability of shallot bulbs (*Allium cepa* L. var. *ascalonicum*) at ambient conditions in eastern Ethiopia", *Tropical Science*, **40**(3), 139-143.
- KAPSEU C., JIOKAP NONO Y., PARMENTIER M., DIRAND M. and DELLACHERIE J., (2000). "Acides gras et triglycérides du beurre de karité du Cameroun", *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*.
- KAPSEU C., JIOKAP NONO Y., TCHIEGANG C. and PARMENTIER M., (1998). "Variations de la consommation et de la composition des oléagineux au Cameroun", VI ème Conférence du Comité Camerounais de BIOSCIENCES, vol.V, Mbofung C. M. F., Etoa F. X., Moundipa P. F. and Ngongang J., 09 au 11 Décembre 1998, Buéa - Cameroun, 349-355.
- KAUR A., HIRA C. K. and RAHEJA R. K., (1997). "Frying in Fats - Nature of Fats after Use and Fats Absorbed", *J. Food Sci. Technol.*, **34**(1), 54-55.
- KOCHHAR S. P. and ROSSELL J. B., (1987). "Analysis of oils and fats using infra-red spectroscopy", *International Analyst*, **1**(5), 23-26.
- KUN T. Y., (1988). "Improvements in the frying quality of vegetable oils by blending with palm olein", *Palm Oil Developments*, (n°8), 1-4.
- LAMBERG I., HALLSTROM B. and OLSSON H., (1990). "fat uptake in potato drying/frying process", *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, **23**(4), 295-300.
- LEMAIRE H., REYNES M., NGALANI J. A., TCHANGO T. and GUILLAUMONT A., (1997). "The suitability of plantain and cooking bananas for frying", *Fruits*, **52**(4), 273-282.

- LENG M. S., NDJOUENKEU R. and ETOA F. X., (1997). "Influence de quelques conditions de prétraitement sur la cinétique de friture des chips de patate douce", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, 11(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 131 - 138.
- LING D., GENNADIOS A., HANNA M. A. and CUPPETT S. L., (1998). "QUALITY EVALUATION OF DEEP-FAT FRIED ONION RINGS", *Journal of Food Quality*, 21, 95-105.
- MOREIRAS-VARELA O., RUIZ-ROSO B. and VARELA G., (1988). "Effects of frying on the nutritive value of foods", Frying of food : principles, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 93-102.
- MORTON I. D. and CHIDLEY J. E., (1988). "Methods and equipment in frying", Frying of food : principles, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 38-51.
- MOSSO K., KOUADIO N. and NEMLIN G. J., (1996). "Transformations traditionnelles de la banane, du manioc, du taro et de l'igname dans les régions du centre et du Sud de la Côte d'Ivoire", *Industries Alimentaires et Agricoles*, vol:113(n°3), 91-95.
- NARASIMHAMURTHY K. and RAINA P. L., (1998). "Studies on the physico-chemical characteristics of some vegetable oils during heating and frying", *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 35(5), 432-434.
- NAWAR W. W., (1998). "The consumption of fried food : nutritional considerations", *OCL*, 5(1), 58-60.
- NDJOUENKEU R. and NGASSOUM M., (2002). "Etude comparative de la valeur en friture de quelques huiles végétales (Comparative study of frying behaviour of some vegetable oils)", *Journal of Food Engineering*, 52, 121-125.
- NONAKA M., SAYRE R. N. and WEAVER M. L., (1977). "Oil content of french fries as affected by blanch temperatures, fry temperatures and melting point of frying oils", *American Potato Journal*, 54, 151-159.
- NUMATA M. and CHUNAGO K., (1980). "Process for producing fried banana slices", 4242365, Patent, US, 1-8.
- OGAZI P. O., (1987). "Production of plantain chips (crips) in Nigeria", International cooperation for effective plantain and banana research : proceedings of the third meeting = La coopération internationale pour une recherche efficace sur le plantain et les bananes : compte rendu de la 3e réunion, CIRAD-IRFA (Montpellier), Abidjan (CIV), 160-161.
- OKA H. and UEOKA Y., (1981). "Studies on manufacturing conditions of drying by frying under reduced pressure", *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 28(2), 94-99.
- OLLE M., (1998). "Les huiles de friture : état de la situation et aspects réglementaires", *OCL*, 5(1), 55-57.
- PAJANKAR D. S., ASLOKAR G. D., PAJANKAR V. D., LANJEWAR A. and YERNE A. Z., (2000). "Economics of production and marketing of onion", *Journal of Soils and Crops*, 10(1), 131-135.
- PANDEY U. B., (1999). "Post-harvest handling of onion with special reference to sorting, grading and storage in Andhra", *News Letter - National Horticultural Research and Development Foundation*, 19(1), 1-4.

- (PGII) P. G. I., (1992). "Conservation des oignons en milieu paysan dans le Nord-Cameroun (fiche technique)", Institut de recherche agronomique (IRA), Unité de recherche technologie alimentaire (UR 6), GAROUA, 10.
- PINO J. A., ROSADO A. and FUENTES V., (2000). "Volatile flavor compounds from *Allium fistulosum* L.", *Journal of Essential Oil Research*, **12**(5), 553-555.
- RAJKUMAR P. and SREENARAYANAN V. V., (2001). "Studies on dehydration and pre-treatment level to control browning and storage of onion flakes", *J.Food Sci. Technol.*, **38**(6), 625-628.
- RANDLE W. M., (1992). "Sampling procedures to estimate flavor potential in onion", *HortScience*, **27**(10), 1116-1117.
- RAOULT-WACK A.-L., LISSE I., ROUZIERE A., MONTET D. and DUMAS J.-C., (1997). "Séchage de produits gras par friture : cas des fruits oléagineux (coco, avocat) et des sous-produits carnés", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 69-76.
- RAOUX R., (1997). "Evolution des propriétés sensorielles des produits de friture de pomme de terre", La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier, Technique et Documentation, Montpellier, 1-7.
- RAOUX R., (1998). "Evolution des propriétés sensorielles des produits de friture de pomme de terre", *OCL*, **5**(1), 51-55.
- REYNES M., (1998). "Procédé et dispositif de traitement de fruits ou légumes", *Institut National de la Propriété Industrielle (INPI). Numéro de publication 2 763 216, Brevet d'invention*, Paris, 12 p.
- REYNES M., AYMARD C. and AW B., (1997). "Production de chips d'ananas par le procédé combiné de déshydratation osmotique-friture", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 139-150.
- ROMERO A., SÁNCHEZ-MUNIZ F. J. and CUESTA C., (2000). "Deep fat frying of frozen foods in sunflower oil. Fatty acid composition in fryer oil and frozen prefried potatoes.", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**, 2135-2141.
- RUBATZKY V. E. and YAMAGUCHI M., (1997). "Alliums : chap. 17", World vegetables : principes, production, and nutritive values, Publishing I. T., Chapman & Hall, 2nd edition, New York, 279-332.
- SAGAR V. R., (2001). "Preparation of onion powder by mean of osmotic dehydration and its packaging and storage", *J. Food Sci. Technol.Food Sci. Technol*, **38**(5), 525-528.
- SAM SAGUY I., (1997). "Deep-fat frying : basic principles and applications", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 57 - 68.
- SAM SAGUY I., UFHEIL G. and LIVINGS S., (1998). "Oil uptake in deep-fat frying : review", *OCL*, **5**(1), 30-35.
- SHUBHA SINGH and TYAGI V. K., (2000). "Assessment of frying oil quality by determination of polar components", *Journal of the Oil Technologists' Association of India*, **32**(2), 66-70.
- SIJBRING P. H. and VAN DER VELDE J., (1969). "Principles of vacuum frying and the results of vacuum frying of chips in practice", *Food Trade Review*, **39**(6), 39-42.

- SNYDER J. M., FRANKEL E. N. and WARNER K., (1986). "Headspace volatile analysis to evaluate oxidative and thermal stability of soybean oil. Effect of hydrogenation and additives", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **63**(8), 1055-1059.
- TALYZIN V. V., ANISIMOV V. Y., YAKOVLEVA O. I., MISHARINA T. A., AEROV A. F. and GOLOVNYA R. V., (1989). "Study of composition of volatile matter of fresh ripe and unripe onion", *Soviet Agricultural Sciences*,(4).
- TOTTE A., DIAZ A., MAROUZE C. and RAOULT-WACK A. L., (1996). "Deep-fat Frying of Plantain (*Musa paradisiaca* L.) : II. Experimental Study of Solid/Liquid Phase Contacting Systems", *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, **29**, 599-605.
- TRELEA I. C., TRYSTRAM G., COURTOIS F., A.-L. R.-W. and DIAZ A., (1997). "Modélisation et commande des procédés de friture", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 77-82.
- VARELA G., (1988). "Current facts about the frying of food", Frying of food : principles, changes, new approaches, Varela G., Bender A. E. and Morton I. D., Ellis Horwood, Chichester (England), 9-23.
- VARELA G., (1988). "Rôle de l'huile d'olive dans la préparation des aliments", *Revue Française des Corps Gras*, **vol:35**(n°5), 215-222.
- VAVRINA C. S. and SMITTLE D. A., (1993). "Evaluating sweet onion cultivars for sugar concentrations and pungency", *HortScience*, **28**(8), 804-806.
- VERMA L. R., PANDEY U. B., BHONDE S. R. and SRIVASTAVA K. J., (1999). "Quality evaluation of different onion varieties for dehydration", *News Letter - National Horticultural Research and Development Foundation*, **19**(2/3), 1-6.
- VITRAC O., (2000). "Caractérisation expérimentale et modélisation de l'opération de friture", Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Massy, 326p.
- VITRAC O., DUFOUR D. and RAOULT-WACK A.-L., (1997). "Produits frits à base de manioc : aptitude clonale et relation procédé/qualité", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Trystam G., Raoult-Wack A.-L. and Graille J., Techniques et Documentation Lavoisier, Paris, 113-120.
- VITRAC O., DUFOUR D., TRYSTRAM G. and RAOULT-WACK A.-L., (2000). "Deep-fat frying of cassava : influence of raw material properties on chip quality", *Journal of the science of food and agriculture*, **vol.81**, 227-236.
- WEBER J. C. and PARMENTIER M., (1997). "Le traitement des effluents gazeux", Récents progrès en génie des procédés. La friture-Maîtrise du procédé et de la qualité des produits, **11**(59), Raoult-Wack A. L., Graille J. and Trystam G., Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 89-95.
- YOSHITOMI H., (1998). "Peeling and grading machine for Welsh onion", *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, **60**(5), 139-140.
- ZANA J., FEKETE A., LASZLO P., ZSIVANOVITS G. and KOVARI A., (1999). "Methods for improving computing methods for the evaluation of rheological properties of fruit", *International Agrophysics*, **13**(4), 525-527.



## RESUME

Le procédé de friture fait partie des méthodes les plus anciennes de stabilisation des aliments. Très souvent employée comme opération unique, elle est de plus en plus utilisée comme prétraitement ou comme traitement complémentaire. C'est le cas par exemple de la précuisson d'aliments avant surgélation ou de la friture de fruits après déshydratation partielle dans des solutions concentrées. Ses applications en alimentaire sont très nombreuses et concernent aussi bien les fruits et légumes que les céréales, les racines et tubercules ou les produits animaux. Nous présentons dans ce travail, les divers facteurs qui influencent le procédé. Ceux-ci sont liés au produit à traiter, au bain de friture mais aussi à l'environnement technique. Les changements physico-chimiques qui interviennent en cours de procédé sont répertoriés et les techniques courantes d'analyse de l'huile de friture et du produit sont présentées. La conception d'une unité pilote de friture à l'échelle artisanale est envisagée à l'issue de ce travail avec pour premières applications le traitement d'un fruit (le karité) et d'un légume (l'oignon) dont la conservation en zones de production ainsi que les méthodes de transformation se heurtent encore à de nombreuses difficultés.

### Mots clés :

Stabilisation, Friture, Karité, Oignon, Unité pilote.