

GENERALITES SUR LA FRITURE

II.1. Procédé de friture

La friture est un procédé de séchage et de cuisson très répandu à toutes les échelles de mise en œuvre (friture domestique, artisanale ou industrielle) pour l'élaboration de produits de type beignets ; chips ou frits. Elle peut être utilisée seule ou combinée avec d'autres traitements pour sécher et transformer des produits alimentaires ou non pour lesquels le séchage convectif est difficile du fait de leur composition physique ; chimique et de leur structure. C'est une pratique qui existe depuis très longtemps sur laquelle les chercheurs n'ont porté attention que depuis quelques dizaines d'années avec l'avènement des restaurants type « fast food ». Cependant les chercheurs se sont beaucoup penchés sur la maîtrise du procédé et non sur les principales réactions chimiques engendrées par la friture.

Le procédé de friture peut être utilisé dans les procédés d'extraction d'huile par voie sèche des produits périssables, car riches en eau, et difficiles à sécher par air à cause de leur teneur en matières grasses élevée. La friture permet d'abaisser très rapidement (quelques minutes de traitement) l'humidité des produits jusqu'à une teneur en eau résiduelle de l'ordre de 5% en base humide (notée 5% b.h), teneur qui permet le pressage du produit sec en vue de l'extraction

de ses matières grasses propres dans un bain de friture de même nature que celles que l'on cherche à extraire (**Vitrac O., Lisse I., 1997**).

Cette utilisation du procédé de friture est peu connue et se limite à l'heure actuelle à deux applications (**A.L. Raoult-wack, 1997**) :

- le séchage de l'amande de coco, par friture dans l'huile de coco ;
- le séchage de déchets d'équarrissage (aussi appelés OVD, Os Viande Déchets) par friture dans les graisses animales.

Enfin le procédé de friture peut être utilisé seul ou en combinaison avec d'autres procédés de séchage comme la torréfaction du café par friture. D'autres applications de la friture en tant que alternative au séchage par air sont à l'étude au CIRAD (en particulier la friture de bois pour des applications spécifiques) et donnent des résultats prometteurs.

II.2. Principe du procédé de friture

La friture est un procédé de cuisson et de séchage par ébullition qui se fait de deux façons suivant la quantité de l'huile utilisée. Ainsi on distingue la friture plate et la friture profonde.

II.2.1. La friture plate

On l'appelle encore friture en couche mince d'huile. Elle consiste en la préparation de certains aliments par cuisson à la poêle ou dans un plat avec une quantité faible d'huile. Ce type de cuisson se caractérise par le fait que l'huile est utilisée une seule fois et par la valeur très élevée du rapport entre la surface offerte à l'huile et le poids de l'huile. Ce rapport est souvent compris entre 70 -200 selon l'aliment considéré. Cette méthode s'applique principalement sur les produits qualifiés de non gras c'est à dire les produits ayant une très faible teneur en eau.

II.2.2. La friture profonde

Elle consiste à l'imprégnation des aliments dans un volume important d'huile portée à une température généralement comprise entre 140°C et 180°C à la pression atmosphérique ou à la température de 30°C à 70°C sous vide partiel. Dans ce cas l'huile est utilisée plusieurs fois par opposition à la friture plate. Cette méthode est la plus utilisée lorsque la quantité qu'on veut frire est importante (application domestique et industrielle).

Ce procédé engendre un certain nombre de phénomènes qui se produisent entre le produit et le bain d'huile d'une part et à l'intérieur du produit d'autre part : Ce sont les transferts de matières (eau et huile) et les transferts de chaleur. La friture est pourtant le siège de réactions croisées protéine/lipides, sucres/lipides et sucres, lipides, protéines (**Graille J., 1997**).

II.3. Mécanisme des transferts pendant la friture

Au cours de la friture on distingue d'une part les transferts de matières (eau et huile) et le transfert de chaleur d'autre part. Ces processus de transfert sont parfois très complexes et difficiles à étudier dans la mesure où chacun de ces phénomènes peut être régi par plusieurs facteurs ou paramètres du processus même de friture. Parmi ces facteurs on a essentiellement la température du bain d'huile et le temps de friture.

II.3.1. Transfert de chaleur

Les transferts de chaleur s'effectuent durant la friture de deux manières différentes selon le milieu considéré :

- ils sont convectifs dans le bain d'huile et assure le transfert de la chaleur vers le produit. Le siège de ces transferts est l'interface produit/huile. Les interactions qui se produisent à ce niveau sont très complexes du fait de la turbulence créée par le flux continu de vapeur d'eau qui s'échappe du produit. Ceci rend généralement difficile la mesure des coefficients de transferts convectifs à l'aide de thermocouples

- à l'intérieur du produit le transfert de chaleur se fait par diffusion et s'effectue de la surface vers le cœur du produit. Ce transfert est à l'origine du changement d'état de l'eau libre du produit qui est expulsée vers l'atmosphère sous forme de vapeurs (bulles). La vitesse de pénétration de la chaleur est fonction de la diffusivité thermique, de la conductivité thermique, de la capacité calorifique et de la densité qui varient au cours de la friture du fait de la transformation physique et chimique du produit (**Buhri et Singh, 1994**).

Les transferts de chaleur sont fortement influencés par la température du bain dont l'augmentation accélère la vitesse de pénétration et de la transmission de la chaleur dans le produit, la nature du produit et de l'huile ainsi que la teneur initiale du produit.

II.3.2. Transfert de d'eau

Il correspond à une déshydratation de la matière ; première phase de transfert et est étroitement lié à la teneur initiale en eau et de la température du bain d'huile.

C'est le phénomène directement observable au cours de la friture et qui est facilement quantifiable. Il se manifeste par la turbulence engendrée par le flux de vapeurs d'eau qui s'échappe du produit. En effet lors du transfert de chaleur vers le cœur du produit l'eau libre située dans les pores subit un changement d'état (de l'état liquide à l'état gazeux). Ceci augmente par conséquent la pression interne du produit. Ainsi du fait de l'existence de porosité très importante dans le produit ; les vapeurs d'eau sortent du produit. Ces transferts sont généralement représentés à l'aide de modèles diffusionnels (quoique l'écoulement de la vapeur ne soit pas diffusionnel) établis en supposant que les transferts d'eau et d'huile sont indépendants(**Farka et al .,1994 ;Singh,1995; Balasubramaniam et al.,1995 ; Moreira et Palan,1995 ;Rice et Gamble,1989 ;Hital et Acéba,1994**).

Ce transfert d'eau est fortement influencé par la température du bain d'huile qui favorise la déshydratation du produit .Toutes les études antérieures portant sur les produits tropicaux (manioc ,banane plantain etc) pour la production de chips ou de frits ;montrent que les transferts s'effectuent en grande partie durant les premières minutes de la friture. La température du bain et la vitesse de circulation de l'huile par rapport au produit sont des facteurs déterminants. Leur augmentation accélère la déshydratation du produit (l'influence de la température est plus importante) (**Lair S., 1996**).

II.3.3. Transfert d'huile

Les points de vue sont variés sur le mécanisme des transferts d'huile. Pour certains auteurs ce transfert s'opère pendant la friture car la matière grasse joue le rôle de caloporteur en permettant le transfert de chaleur de la surface vers le cœur du produit. Pour ces auteurs l'huile remplace la vapeur d'eau qui s'échappe des pores du produit. Pour d'autres auteurs le transfert ne s'effectue qu'après la friture au moment du refroidissement du produit.

Dans tous les cas la limitation du gain en huile est une nécessité pour la santé humaine notamment pour les populations qui consomment des quantités très importantes d'aliments frits tels que les américains qui en consomment 30% (**Saguy et Pinthus, 1995**).

Ce transfert peut être réduit par un contrôle adéquat des variables du procédé, ou par l'utilisation d'un emballage perméable à l'eau et imperméable à l'huile (**Balasubramaniam et al., 1995 ; Makinson et al., 1987**).

Selon **Sagus et Pinthus** (1995), l'huile remplace la vapeur qui s'échappe des pores de la croûte formée par cuisson du produit (**Rice et Gamble, 1989**). **Mittal et Ateba** (1994) ainsi que **Balasubramaniam et al.**(1995) distinguent les transferts de matières grasses dues à la migration de l'huile dans le produit par diffusion (2ème loi de Fick) d'une part et ceux dus à la migration de matières grasses du produit vers l'huile du fait de l'existence de forces de capillarité d'autre part. Au cours de la friture, ce transfert d'huile serait favorisé par l'affaiblissement du gradient adverse de pression qui s'oppose au mouvement de l'huile par la porosité, et l'abaissement de la tension superficielle liée au déplacement du front de mouillage de l'huile dans le produit. L'élimination de l'eau permet en outre à l'huile de mouiller la paroi des pores et donc de faciliter sa pénétration par aspérité ou par succion (**Lair S., 1996**).

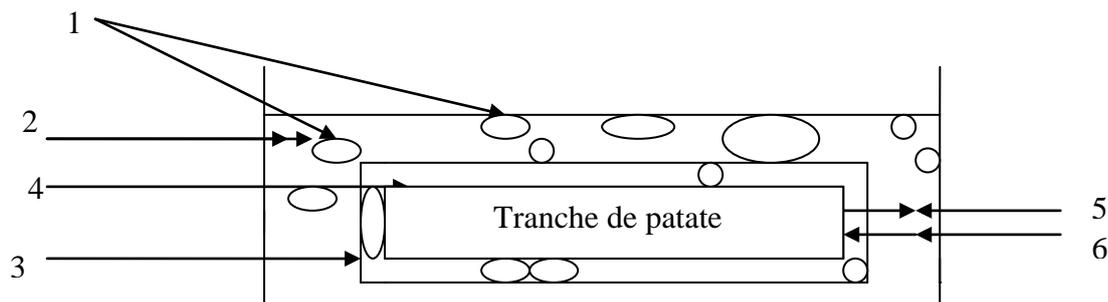


Figure 2 : Représentation schématique des transferts de matières au cours de la friture

- 1 : Bulles de vapeur
- 2 : bain d'huile
- 3 : Croûte
- 4 : Pores
- 5 : Sens des transferts d'eau
- 6 : Sens des transferts d'huile

II.4. Les transformations physiques et biochimiques

Les tubercules ne sont pas faciles à digérer à l'état cru et il est préférable de les faire cuire avant de les consommer. La cuisson améliore leur digestibilité, rend leur goût plus agréable, prolonge leur durée de conservation et réduit leur toxicité. La chaleur générée par la friture sert à stériliser les tubercules en tuant les bactéries et microorganismes nuisibles, et accroît l'assimilabilité des éléments nutritifs. Les protéines sont dénaturées par la chaleur. Sous cette forme, elles sont plus faciles à digérées par les enzymes protéolytiques ; les parois celluloses des cellules qui ne peuvent être dégradées sont décomposées, et certains facteurs antinutritifs tels les inhibiteurs d'enzymes sont rendus inactifs. Ainsi la transformation peut réduire la valeur nutritive des tubercules de patate douce à cause des pertes et des modifications dans les éléments nutritifs importants, dont les glucides, les protéines, les sels minéraux et les vitamines (**Purcell et Walter. 1982**).

Dans tous les cas, les transferts couplés de chaleur et de matières (eau, matières grasses, solutés) intervenant en cours de friture s'accompagnent de transformations physiques, physico-chimiques et biochimiques (**Blumenthal, 1991**). Il y a apparition d'une croûte et le développement d'une porosité suite à la déshydratation très poussée du produit (**Pinthus, Weinberg et Saguy, 1995**). L'épaisseur dépend de sa conductivité thermique, de la teneur en eau et de la conductivité thermique du cœur, et de la température de l'huile. Plus la température est élevée, plus la croûte sera épaisse (**Singh, 1995**). C'est dans la croûte que l'on observe un gain plus important en huile. Keller et *al.* constatent que dans le cas de la pomme de terre, l'huile ne pénètre que dans la croûte ; ces observations sont confirmées par **Farkas et al. (1992)** qui notent la distinction entre une croûte riche en huile et le cœur du produit riche en eau, à la suite d'observations par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique). Ces caractéristiques sont déterminantes pour la qualité du produit final : imprégnation en huile après friture, texture craquante ou croustillante. Cependant certains matériaux soumis à la friture ne présente aucune modification de ce type, pour des échelles d'observation équivalentes. Tel est le cas de la pulpe de coco, dont la structure reste apparemment similaire entre le niveau initial de teneur en eau (56% b.h) et le niveau final en eau (5% b.h), après friture de 130°C et 150°C (**Raoult-Wack A.L., 1997**). Par ailleurs l'eau apportée par l'aliment peut provoquer une hydrolyse de la matière grasse avec libéralisation d'acides gras, apparition

de glycérides partiels pouvant générer de l'acroléine. On peut noter l'apparition d'espèces chimiques nouvelles lorsque la température du bain d'huile est très élevée.

Il faut noter cependant que durant la cuisson, les éléments nutritifs peuvent se perdre de deux façons. Premièrement, par dégradation, qui peut se faire par destruction ou par transformations chimiques comme l'oxydation et deuxièmement, par dissolution dans le milieu de cuisson. Les vitamines sont sensibles à ces deux processus, tandis que les sels minéraux ne sont affectés que par la dissolution. Les acides aminés libres peuvent aussi être dissous ou encore réagir avec les sucres pour former des complexes. L'amidon peut être décomposé en sucres (en maltose et en dextrine) par hydrolyse. La perte en pourcentage dépendra en partie de la température de cuisson et du mode de cuisson, selon que l'aliment est cuit à l'eau, au four ou au gril (**Purcell et Walter, 1982**).

Parmi les transformations chimiques qui se produisent durant la friture la réaction de Maillard est celle qui est directement observable et est responsable de l'apparition de la couleur dorée.

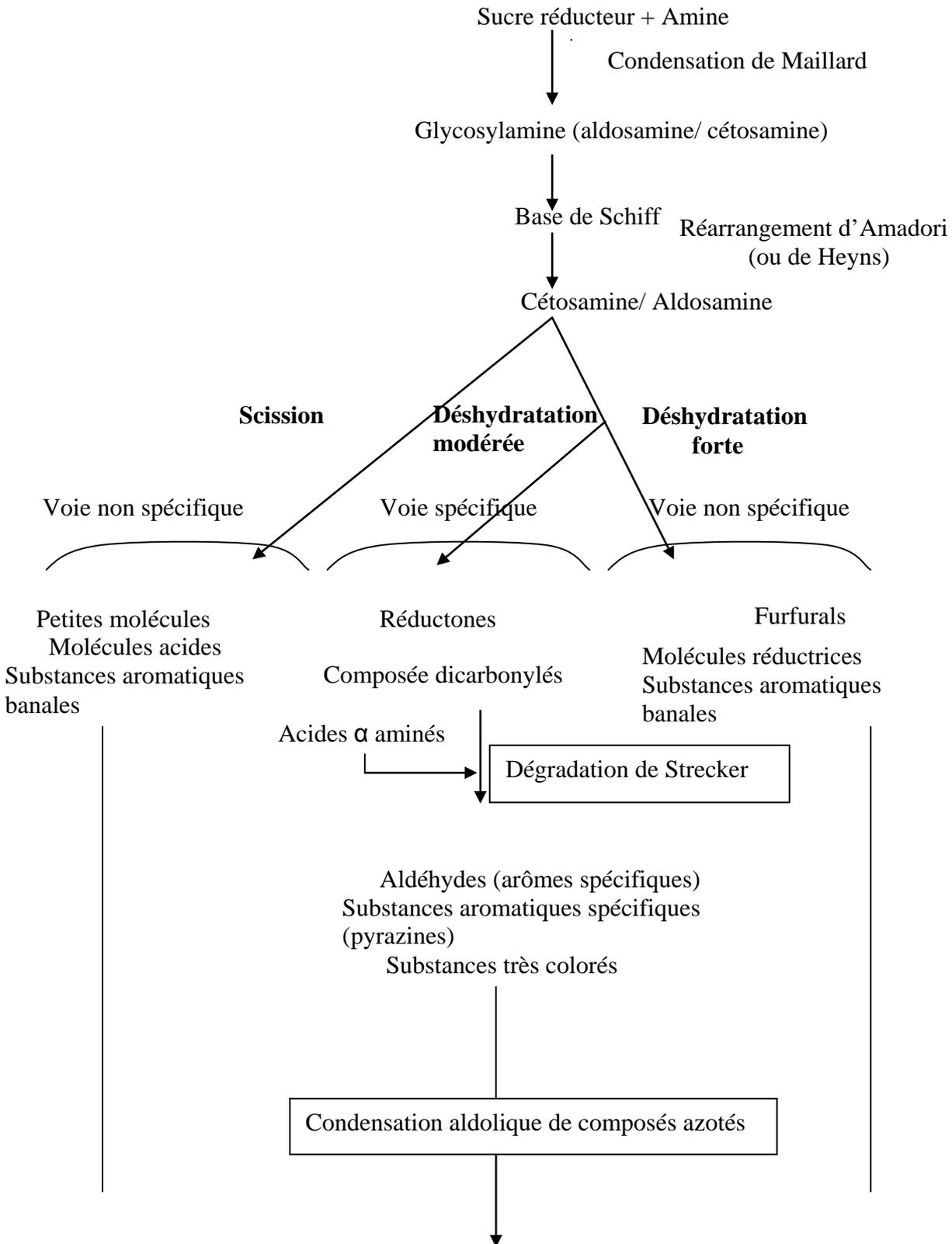
La réaction de Maillard

L'élévation de la température au cours de la friture provoque un très grand nombre de réactions chimiques des composés organiques dont la plus importante est la réaction de Maillard qui joue un rôle déterminant dans les aliments car conférant à ces derniers diverses caractéristiques (couleur, goût, arômes etc....). En effet il n'existe pas d'industrie agroalimentaire qui ne soit pas d'une manière ou d'une autre concernée par la réaction de Maillard et conséquences nutritionnelles ou organoleptiques. En ce qui concerne la patate douce la réaction de Maillard peut survenir durant la période post-récolte occasionnant une formation de couleur brune indésirable des tubercules malconservés. En friture profonde les températures très élevées favorisent considérablement la réaction de Maillard qui se produit aussi bien au niveau de la surface qu'à l'intérieur des tranches de patate douce. C'est un ensemble d'interactions résultant de la réaction initiale entre un sucre réducteur et un groupement aminé sous forme libre ou protidique. Elle est la principale responsable de la production des odeurs, des arômes et des pigments caractéristiques des aliments cuits. Elle peut aussi donner naissance à des composés cancérigènes et également réduire la valeur nutritionnelle liée à la dégradation des acides aminés essentiels.

On peut subdiviser la réaction de Maillard en trois étapes principales :

- la première étape conduit à la formation réversible de glucosylamines qui se réarrangent selon les réarrangements d'Amadori et de Heyns ;
- la seconde étape correspond à la dégradation des produits du réarrangement d'Amadori et de Heyns. Elle conduit notamment à la formation de composés hétérocycliques responsables des odeurs.
- la troisième étape correspond à la polymérisation d'intermédiaires réactionnels produits lors de la seconde étape. Elle produit des macropolymères très colorés et insolubles appelés mélanoidines.

En effet le blocage et la destruction des acides aminés provoqués par la réaction de Maillard en constituent le volet défavorable et le plus anciennement connu. La formation des arômes résulte d'opérations pas facilement définies : la présence d'acides aminés libres ou d'oligopeptides est une des conditions indispensables ; l'autre étant un stade précis de la réaction et l'intervention des réductones. Une fois ces deux opérations remplies se développe une dégradation de Strecker qui consiste en une décarboxylation oxydative des acides aminés avec production d'aldéhydes aromatiques. En général la réaction de Maillard se déroule presque toujours simultanément avec des réactions de caramélisation.



Mélanoïdines insolubles (polymères bruns) + Produits de scission volatils et odorants

Figure 3 : Schéma simplifié de la réaction de Maillard

II.5. les dispositifs de friture

Les dispositifs de friture sont classés en deux catégories définies par le système utilisé (discontinu ou continu).

II.5.1. Les friteuses en discontinu

Elles sont généralement utilisées pour des opérations de petites échelles (domestique ou dans les restaurants).

Elles comprennent en général une cuve (circulaire ou rectangulaire) avec ou sans panier, des résistances électriques (5 à 15Kw) placées dans le fond, en contact direct ou indirect avec l'huile. Il est recommandé d'utiliser une cuve en acier inoxydable, construite de manière à créer une zone froide dans le fond en dessous des résistances dans le cas où celles-ci sont en contact direct avec l'huile. Cette zone froide permet de recueillir les particules sans les brûler. Les résistances électriques en chauffage indirect sont aussi placées dans le fond de la cuve (avec risque de chauffe excessive des résidus qui décantent et touchent la paroi métallique, ce qui entraîne une rapide détérioration de l'huile). Il est recommandé de placer ces résistances sur les parois latérales, mais aucun des dispositifs cités dans la littérature n'y fit référence.

Le système de régulation constitué d'un simple thermostat ajustable par l'opérateur fonctionne selon la loi du tout ou rien. La taille de la friteuse doit être choisie en fonction de la quantité de produit à traiter et en prévoyant un minimum <<d'espace mort>>. En général, le rapport massique produit/ huile utilisé est de 1/ 6, soit 1Kg de produit pour 6Kg d'huile (**Mortan et Chidley, 1988**).

II.5.2. Les friteuses en continu

Elles sont utilisées pour la production industrielle (production à grande échelle). La friteuse industrielle a pour particularité le type de produit traité : produits panés ou précuits, surgelés après friture et réchauffés ou cuits dans une autre huile pour la consommation; et les produits secs tels les snacks et cacahuètes grillés directement emballés, stockés à température ambiante et directement consommable.

Ces friteuses sont équipées d'une boucle de circulation de l'huile munie d'un filtre. Le volume de l'huile est maintenu constant grâce à un système d'alimentation en continu, ce qui permet la production de produits homogènes (**Berger, 1994**). Le filtre permet d'éviter l'accumulation des débris pouvant favoriser une altération prématurée de l'huile. Aussi l'aération de l'huile pendant la circulation et le filtrage doivent être évités afin de minimiser les réactions d'oxydation de l'huile.

Le chauffage est indirect (électrique, gaz, fuel ou vapeur) et la consommation de chaleur par unité de surface est plus faible que dans le cas discontinu. La source de chaleur peut être externe ou interne.

Des équipements en continu existent aussi en fonctionnement sous vide (**Webb, 1988**) et permettent la déshydratation de chips de divers produits (oignons, pommes, bananes...) en deux étapes (immersion forcée des chips en flottaison par pression d'une bande transporteuse à la surface) en évitant les réactions de Maillard.

II.6. Les applications actuelles de la friture

Les recherches scientifiques sur la friture effectuées ces dernières années ont permis d'améliorer la qualité des produits frits et les techniques de friture, mais aussi d'élargir la gamme de produits frits. Ces recherches sont faites sur deux catégories de produits :

- les produits riches en eau
- les produits riches en matières grasses.

II.6.1. les produits riches en eau

Ce sont surtout des produits alimentaires difficiles à conserver à l'état naturel.

Parmi les nombreux produits non gras frits, nous allons nous intéresser à certains qui ont fait l'objet d'études scientifiques comme la *Pomme de terre*, la *banane plantain*, le *manioc* et l'*ananas*.

Ces opérations sont en général conduites dans des friteuses en discontinu et dans des bains d'huile adaptées à la friture (huile de palme, de tournesol, d'arachide, de coco,...)

La méthode consiste à découper le produit en petits morceaux (lamelle, tranche, râpüre) d'épaisseur 2 à 3 mm, et à les immerger dans le bain d'huile porté à la température de consigne.

Pour améliorer la qualité des produits, ces derniers subissent un prétraitement avant friture. Ainsi, pour le prétraitement de la banane plantain, des lots de rondelles (2mm d'épaisseur) subissent un traitement destiné à standardiser la teneur en saccharose (sucre majoritaire dans la banane au cours de premiers jours de mûrissement) et à limiter l'oxydation non enzymatique des rondelles. Il consiste en un trempage d'une durée de 15 minutes dans une solution isotonique en saccharose et contenant un antioxydant (saccharose 7%, acide citrique 0,5%), au bain-marie à 25°C, avec agitation douce. Ce traitement ne provoque pas de variations importantes de la teneur en eau des rondelles (**Totte et al., 1996**).

A la sortie de la solution, les rondelles sont égouttées et essuyées une à une sur du papier absorbant pour enlever l'eau et l'amidon superficiel.

En ce qui concerne la patate douce, le prétraitement utilisé est le suivant :

- le trempage dans l'acide citrique (1%) pendant 1 minute ;
- le blanchiment par trempage dans de l'eau chaude à une température de 75°C pendant 2 minutes ;
- la pré friture dans un bain d'huile porté à une température de 140°C pendant 1 minute.

Le manioc a été traité par trempage dans un bain d'huile (de même nature que le bain de friture) à 65°C pour homogénéiser la température initiale des tranches (**Vitrac et al., 1997**).

L'ananas quant à lui, a subi une déshydratation osmotique encore appelée **déshydratation imprégnation par immersion (DII)**. Ce procédé est basé sur la mise en contact de produit entier ou découpé en morceau avec des solutions fortement concentrées en sucre (**Guilbert,**

1991). La DII permet d'éliminer une bonne partie de l'eau (50 à 70%) du produit avant la friture et d'obtenir une bonne qualité organoleptique.

De manière générale, la teneur en eau que les chips doivent avoir pour être acceptables est de 5 à 4% bh. D'après les études faites sur la banane plantain (**LAIR S., 1996**), le manioc (**Vitrac et al., 1997**), la pomme de terre (**Bauman et Esher, 1995**), pour des épaisseurs initiales de chips comparables, les évolutions de la teneur en eau et en huile mesurées sont similaires.

Dans tous les cas, l'évolution de la perte en eau et du gain d'huiles met en évidence deux phases :

- une phase qui dure deux minutes environ au cours de laquelle les transferts de matières sont intenses et se traduisent par une forte ébullition dans le bain
- une deuxième phase (de 2 à 10 minutes) durant laquelle on assiste à la stabilisation de la perte en eau alors que le gain en huile continue d'augmenter pour atteindre une valeur limite spécifique à chaque produit (exemple pour des chips de manioc de teneur résiduelle égale à 4%bh, le gain en huile est de 30%).

Les paramètres qui influencent les cinétiques de friture étudiées sont la température, l'épaisseur des tranches, la vitesse de circulation de l'huile, le temps de friture et le prétraitement. L'influence de ces paramètres sur la teneur en huile varie dans le même sens.

les tranches d'ananas sont immergées dans une solution de saccharose (à 25 ; 30 ; 40 ; 50 et 60° Brix) maintenue à la température de 40°C au bain-marie pendant une durée de deux heures. Les cinétiques de la DII sur l'ananas sont données dans une publication du CIRAD (**Reynes et al., 1997**). Après le prétraitement, les opérations de friture sont menées dans des friteuses en discontinu équipées de cuve, de panier et de résistance électrique.

II.6.2. Les produits gras

Le séchage des produits gras par friture, avant pressage pour en extraire les matières grasses propres, est une application originale du procédé de friture. Cette application ne concerne actuellement que deux produits, l'amande de coco séchée par friture à l'échelle artisanale en Indonésie et les sous-produits carnés séchés par friture à l'échelle industrielle en France.