

Flaveurs et procédés de cuisson

H. RICHARD, P. GIAMPAOLI, B. TOULEMONDE et A. DUQUENOY

Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires (ENSIA)
1, avenue des Olympiades - 91744 MASSY Cedex

Les flaveurs générées par des procédés de cuisson s'inscrivent dans ce qu'il est convenu d'appeler les arômes de transformation par la chaleur. Ce sont des préparations aromatiques obtenues par chauffage d'aliments ou d'ingrédients autorisés.

Dès 1951, des formulations d'arômes de viande ont été recherchées pour répondre à un besoin de goûts nouveaux. Puis, la nécessité d'aromatiser des produits à base de protéines de soja ou de protéines de poisson a entraîné de nombreuses recherches et le développement de toute une gamme d'arômes riches en hétérocycles, aldéhydes et acides.

Cystéine, méthionine, hydrolysats de protéines végétales ou animales (38), xylose, ribose, exhausteurs comme le glutamate de sodium et les inosinates (37), graisses, herbes aromatiques et épices sont les principaux ingrédients utilisés pour la fabrication de ces arômes (1, 2, 24, 25, 31, 32). De multiples brevets ont été déposés couvrant des domaines d'application aussi variés que les sauces, les soupes et les snacks (7, 8, 27).

La plupart des arômes générés au cours d'un procédé de cuisson résultent d'un ensemble de réactions, dont les principales sont l'hydrolyse, l'oxydation et les réactions dites de Maillard, ces dernières englobant tout un ensemble complexe de réactions dont les mécanismes ne sont pas complètement élucidés (32). Toutes ces réactions interfèrent les unes sur les autres, si bien que selon les constituants alimentaires mis en jeu, les conditions du milieu (activité de l'eau, pH, teneur en oxygène, etc...) et les conditions de cuisson, la composition aromatique pourra être très différente non seulement d'un produit à l'autre, mais également pour un même produit. Quoi de plus dissemblable qu'une viande braisée ou grillée ou bouillie ?

Après avoir succinctement brossé les grandes lignes de ces réactions avec un regard sur les facteurs susceptibles d'en modifier le déroulement, nous aborderons les différents procédés de cuisson avec une attention particulière sur les transferts d'eau et d'oxygène.

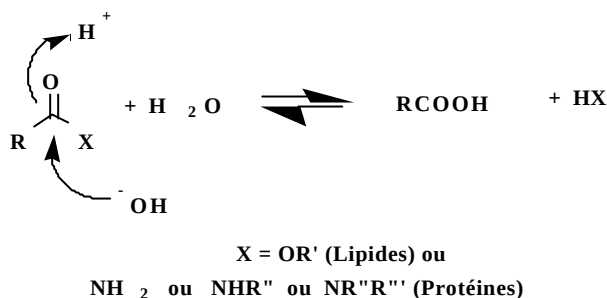
1.- Les grandes réactions de dégradation thermique

1.1.- L'hydrolyse

Le mécanisme de l'hydrolyse est commun aux protéines, lipides et glucides (Figure 1). Deux types de catalyses sont possibles :

- par des enzymes. Ces réactions ont lieu à température basse ou modérée, en général inférieure à 60°C et elles n'interviennent pas au cours des processus de cuisson. Si on désire les développer, il sera nécessaire de les effectuer au cours d'une phase préalable de fermentation.
- par des bases ou encore mieux par des acides (29).

PROTÉINES ET LIPIDES



GLUCIDES

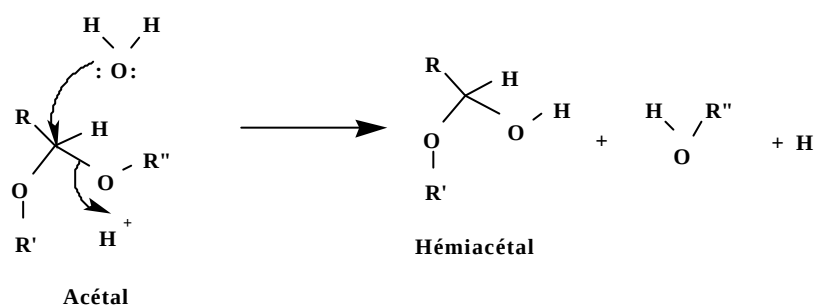


Figure 1. Mécanisme d'hydrolyse

Dans les milieux alimentaires, l'étendue des réactions d'hydrolyse dépend donc fortement de la composition de la préparation culinaire et de l'activité de l'eau. Rappelons que l'activité de l'eau dans un milieu quelconque est donnée par la formule : $a_w = p/p_0$, avec p_0 , pression de vapeur de l'eau pure, et p , pression de vapeur de l'échantillon à la même température. On peut tracer pour tout aliment une courbe de sorption représentant la teneur en eau (g d'eau par g de matière sèche) en fonction de l'activité de l'eau, a_w . Les réactions d'hydrolyse se développent à forte activité de l'eau ($a_w > 0,8$).

Par ailleurs, plus la température est élevée et plus la vitesse de réaction croît. A pression atmosphérique, cette température est toutefois limitée à 100°C, point d'ébullition de l'eau.

1.2.- Les réactions d'oxydation

Les réactions d'oxydo-réduction sont réversibles (Figure 2).

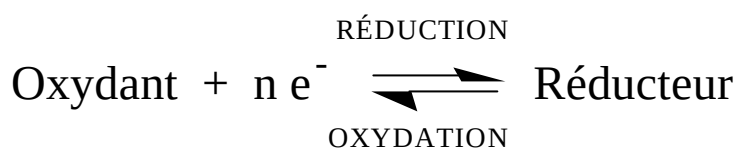
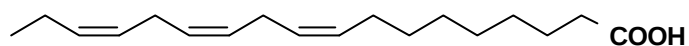
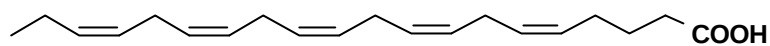


Figure 2.- Couple oxydo-réducteur

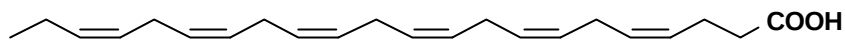
Ces réactions nécessitent la présence d'oxygène, qui doit être activé en oxygène singulet (4) soit sous l'action de photons (lumière), soit de radicaux libres déjà présents dans le milieu, soit d'enzymes (peroxydases, lipoxygénases, etc...). Elles se développent en milieu anhydre ou à très faible activité de l'eau ($a_w < 0,2$) dans le cas de l'autooxydation, et à l'interface eau-milieu apolaire dans le cas de l'oxydation catalysée par les enzymes. Dans le premier cas, plus la température est élevée et plus le milieu s'oxyde, dans le second, la température est limitée par la stabilité des enzymes et dépasse rarement 80°C.

Ce sont les lipides insaturés (triglycérides et phospholipides) qui sont le plus sensibles à ce type de réaction (12, 14, 19, 20), et en particulier les acides gras polyinsaturés (Figure 3).

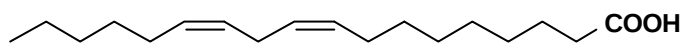
Les réactions d'oxydation conduisent à la formation de radicaux libres puis d'hydroperoxydes, composés intermédiaires, qui à leur tour se décomposent en donnant naissance à des composés volatils, composés furaniques et surtout aldéhydes saturés et insaturés, (Figure 4), qui, en présence d'ammoniac, d'amines ou d'acides aminés (dégradations de Strecker) et d'hydrogène sulfuré provenant de la dégradation des acides aminés soufrés (10), peuvent être à l'origine de nouveaux composés d'arôme, dont des hétérocycles (34). Tout de suite après la formation de radicaux libres (Phase d'initiation), la réaction s'auto-entretient (Phase de propagation), les lipides insaturés disparaissent progressivement et la concentration en hydroperoxydes croît pour atteindre son maximum au milieu de la phase de propagation.

Les ω -3 ou n-3Acide α -linolénique

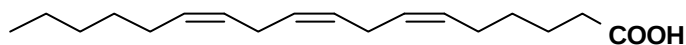
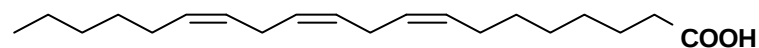
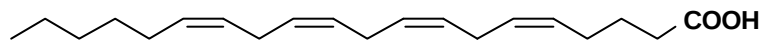
Acide eicosapentaénoïque (EPA)



Acide docosahexaénoïque (DHA)

Les ω -6 ou n-6

Acide linoléique

Acide γ -linoléniqueAcide dihomo γ -linolénique

Acide arachidonique

Figure 3.- Structure des principaux acides gras polyinsaturés

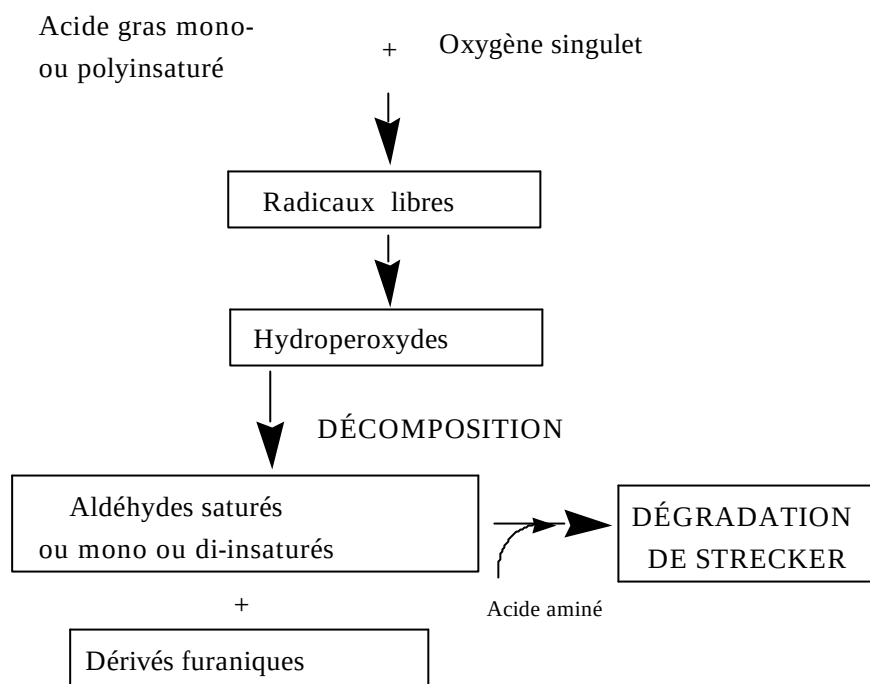


Figure 4.- Schéma de l'autooxydation

1.3.- Les réactions de brunissement non-enzymatiques

Les réactions de brunissement non-enzymatiques sont des dégradations thermiques plus connues sous les termes de caramélisation et de réactions de Maillard. On peut considérer la caramélisation comme un type particulier de réactions de Maillard mais sans acide aminé. Dans les réactions de Maillard dont le schéma général est détaillé à la figure 5, l'acide aminé joue dans un premier temps le rôle de catalyseur, jusqu'au stade des réductones, puis il se trouve à son tour dégradé (Dégradation de Strecker).

Les réactions de Maillard sont un ensemble de dégradations thermiques très complexes (aldolisations et rétroaldolisations, scissions, oxydations, déshydratations, polymérisations etc...) donnant naissance à de très nombreux composés, arômes (3, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 27, 31) et produits colorés (mélanoidines). HODGE en 1967 avait postulé les premiers mécanismes réactionnels, qui ont été par la suite complétés (31), notamment pour expliquer la synthèse des nombreux composés hétérocycliques générés. Cependant, il faut bien reconnaître que nos connaissances restent encore à ce jour bien parcellaires.

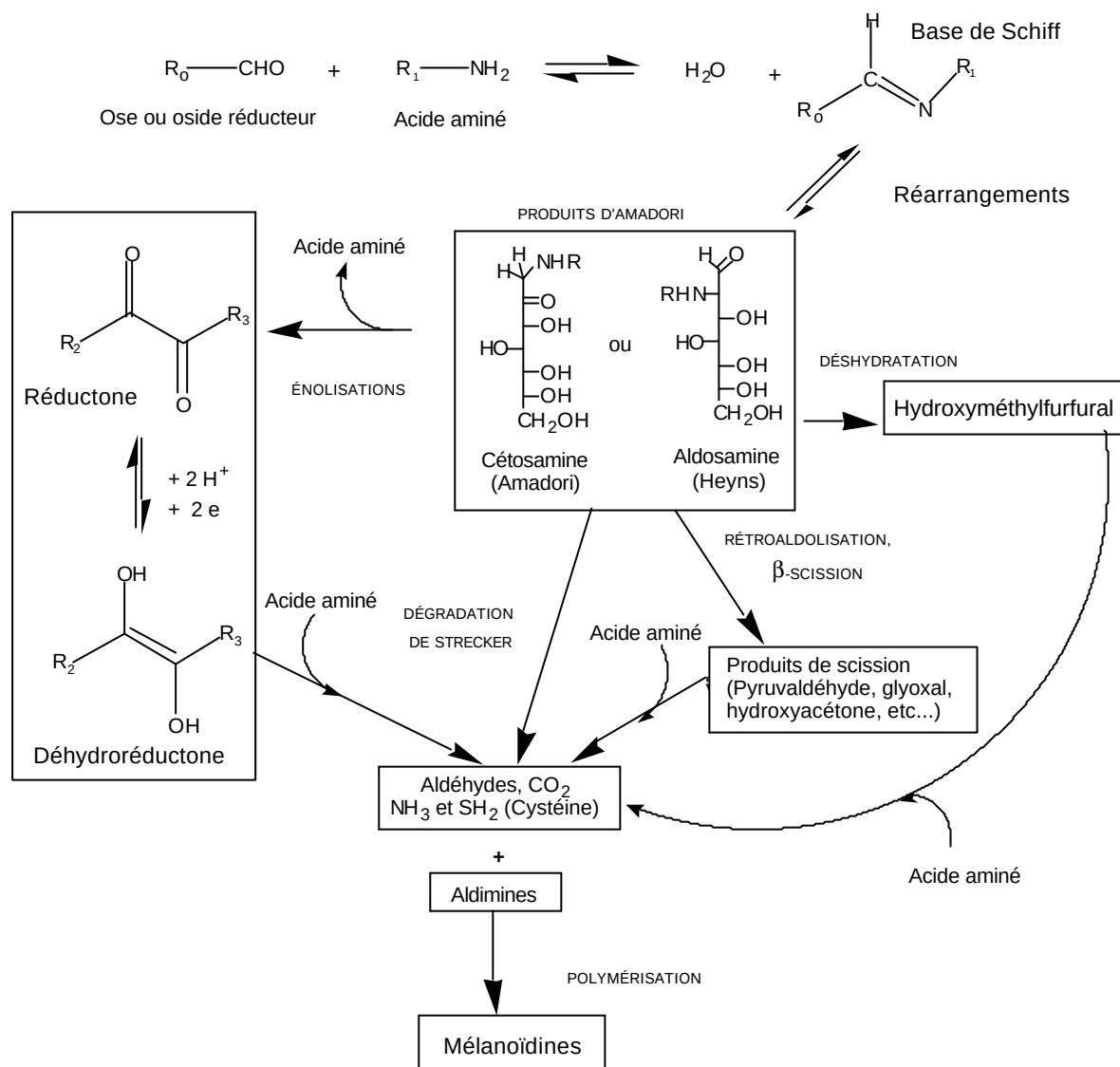


Figure 5.- Schéma simplifié de la réaction de Maillard

Le premier stade résulte de la condensation entre une fonction aldéhyde (ose ou oligoside réducteur) et une fonction amine (principalement un acide aminé). Ces premières réactions (Figure 6) sont des réactions réversibles conduisant à la formation d'une fonction imine, qui se réarrange (Réarrangements d'Amadori dans le cas des aldoses et de Heyns dans le cas des cétooses) pour donner respectivement des cétoamines et des aldosamines, connus sous le nom de produits d'Amadori ou de Heyns (11, 31, 33, 35).

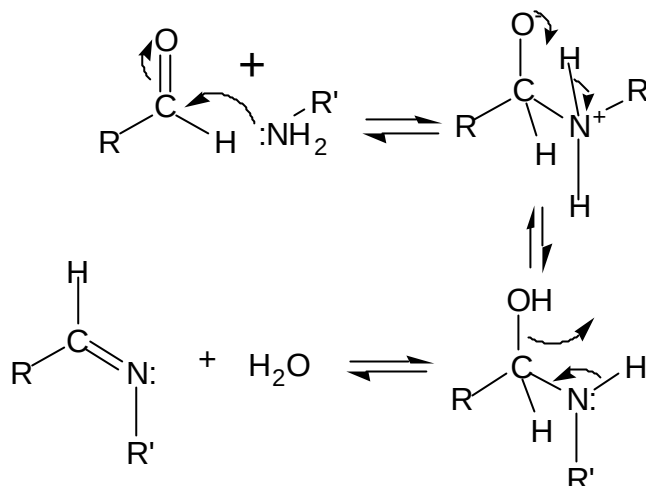


Figure 6.- Schéma de la formation de la base de Schiff

Puis par une suite de réactions d'énolisation et de déshydratation, on observe la formation de réductones, composés instables susceptibles de donner des réactions d'oxydation. Remarquons que la vitamine C et le furanéol sont des types de réductones tout à fait capables de réagir avec des acides aminés pour donner des produits de Maillard (Figure 7).

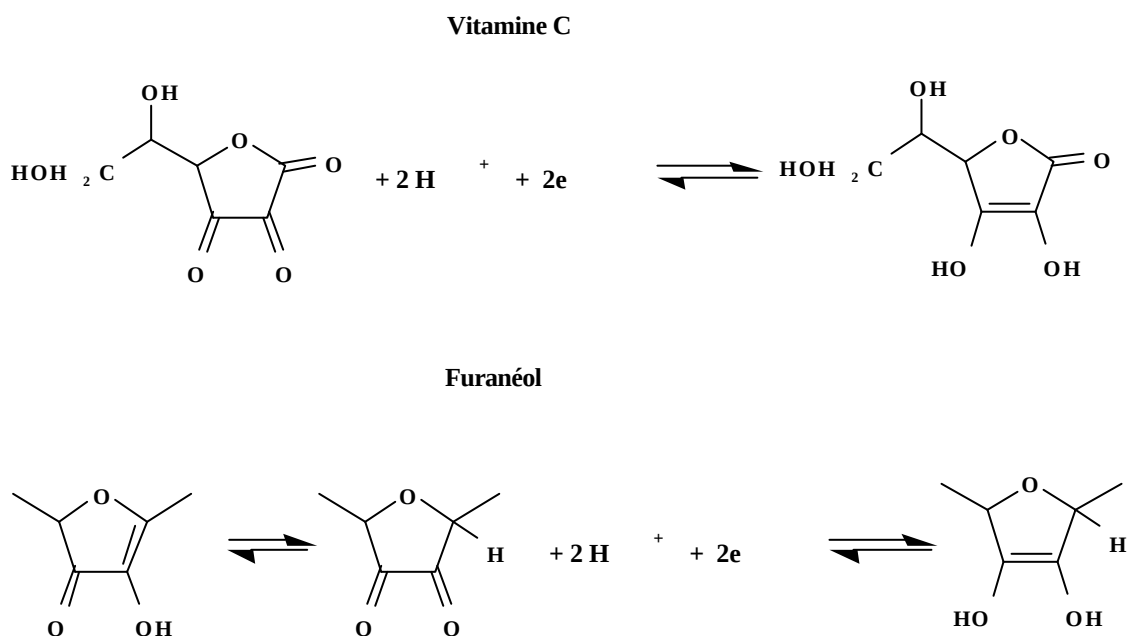


Figure 7.- Réactions d'oxydo-réduction de la vitamine C et du furanéol

Les réductones provoquent ensuite la destruction de l'acide aminé, c'est la dégradation de Strecker (Figure 8) avec formation de composés aldéhydiques présentant un atome de carbone de moins que l'acide aminé (30, 31), qui non seulement participent à l'arôme du produit, mais peuvent également réagir avec des amines (Formation de bases de Schiff) ou des aldéhydes (Aldolisation).

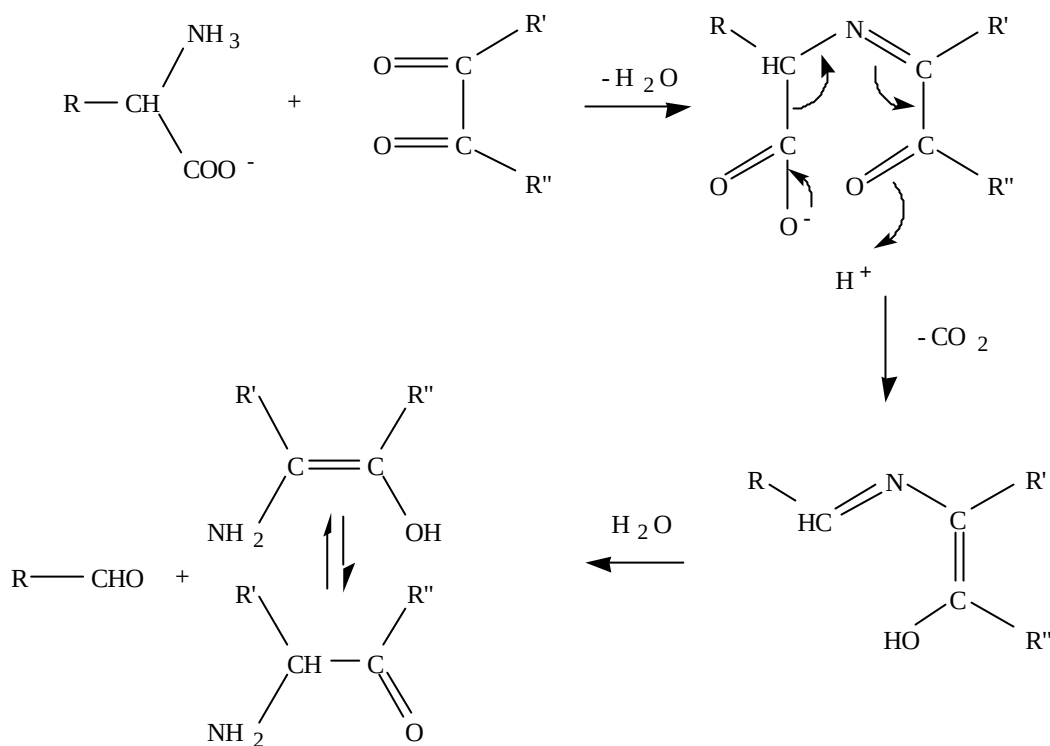


Figure 8.- Schéma réactionnel de la dégradation de Strecker

On peut considérer les réactions de Maillard comme un ensemble de réactions de déshydratation et d'oxydation conduisant en particulier à la formation d'un mélange très complexe de nombreux composés volatils dont les compositions qualitative et quantitative dépendent essentiellement des conditions opératoires et des réactants en présence.

Les principaux facteurs influençant les réactions de Maillard comprennent :

- Temps-Température

L'intensité du brunissement est d'autant plus importante que la température est plus élevée et que la durée de la réaction est longue (5). On considère généralement qu'une élévation de 20°C multiplie par 10 la coloration mesurée par la densité optique de la solution à 420 nm. Par contre, l'augmentation de la température modifie les équilibres des diverses réactions conduisant à la formation des composés d'arômes et si la quantité d'arôme augmente avec la température, il n'en va pas de même de la composition qualitative. Ainsi selon les conditions opératoires (temps, température, mode de chauffage), on obtiendra des arômes différents.

- pH

Toutes les réactions se développant au cours du brunissement non-enzymatique sont dépendantes du pH (18, 36). D'une manière générale, chaque fois qu'une amine devra agir sur une fonction carbonyle, la réaction s'effectuera mieux en milieu basique où le doublet d'électrons n sera plus réactif. Ainsi la formation des hétérocycles azotés (Pyrroles, pyrazines) est favorisée en milieu

basique. Par contre les déshydratations seront plus aisées si le milieu est acide, le groupement (H₂O⁺)- étant un bon groupe partant.

- Teneur en eau

Ce facteur est extrêmement important, puisque l'eau est le principal produit des réactions de Maillard (32). Une trop faible teneur en eau ne permet pas aux réactants de se rencontrer et donc les milieux fortement déshydratés ne sont pas sensibles à ce type de réactions. Par ailleurs, une forte dilution du milieu ($a_w > 0,85$) ralentit, voire stoppe ces réactions. L'idéal pour un bon développement des réactions de Maillard correspond à des produits à humidité intermédiaire ($0,7 < a_w < 0,8$)

- Nature des réactants (Glucides, Peptides et acides aminés, Lipides). Plus le composé glucidique est de petite taille et plus l'acide aminé est basique et plus les vitesses de réactions sont élevées. On remarque en particulier pour les acides aminés l'ordre de réactivité suivant :

lysine > Arginine > Acide glutamique > Proline

- Activateurs et inhibiteurs. Les métaux (Cu⁺⁺, Fe³⁺, Fe²⁺) accélèrent la décomposition des produits et favorisent le développement de la réaction de Maillard. Le SO₂ est un bon inhibiteur, vraisemblablement par blocage des fonctions aldéhydiques.

Dans un milieu réactionnel complexe comprenant des lipides, des glucides, des protéines et des acides aminés libres, selon le mode de cuisson adopté, toutes les réactions précitées se développeront à des vitesses différentes et selon des voies réactionnelles préférentielles conduisant à la formation d'un arôme dont les caractéristiques organoleptiques seront fonction des conditions opératoires du milieu.

2.- Les différents modes de cuisson

On peut regrouper les différents modes de cuisson en plusieurs classes :

- les techniques traditionnelles par contact et convection, dans lesquelles les échanges de matière (eau, lipides, substances dissoutes) ont lieu en surface et où la chaleur est transmise à l'aliment par l'intermédiaire d'un solide (plaque métallique, poêle) ou d'un fluide (gaz, eau ou huile) : grillage et torréfaction, cuisson à l'eau, friture. Ce type de cuisson a donné naissance à des variantes liées soit à une modification de l'appareillage (four à chaleur tournante, four à rayonnement), soit à l'utilisation d'atmosphère humide ou de vapeur d'eau surchauffée et à l'injection de vapeur.
- les techniques modernes : les techniques électriques (induction, micro-ondes et chauffage ohmique), la cuisson sous vide, la cuisson-extrusion et enfin, une technique utilisée déjà depuis bien des années, l'autoclavage.

2.1.- Les techniques traditionnelles

Le grillage et la torréfaction

Dans ces modes de cuisson, les températures utilisées sont en général élevées (entre 140°C et 180°C) et les produits traités sont, soit peu hydratés (3, 9), soit se dessèchent rapidement en surface, si bien que les réactions de Maillard sont favorisées. Cependant l'eau en s'éliminant entraîne avec elle les molécules volatiles. La quantité d'arômes restant dans le produit dépend fortement de la capacité de rétention des constituants macromoléculaires de l'aliment (5, 28). Dans ce type de

cuisson, l'oxygène est chassé dès que la température atteint 100°C, point d'ébullition de l'eau, et par conséquent les phénomènes d'oxydation sont très limités. Si l'on veut donner plus d'importance aux arômes issus de la dégradation des lipides, des fermentations préalables au traitement thermique sont nécessaires.

La cuisson à l'eau

Au cours de cette cuisson, le produit alimentaire s'imprègne d'eau et des composés qu'elle contient éventuellement. De grandes quantités de matières solubles (acides aminés, minéraux, oses et oligosides, acides gras à courtes chaînes, etc..) sont ainsi échangées, certaines extraites, d'autres introduites. Dans ce mode de cuisson, le pH est un facteur très important. En ce qui concerne la température, dès qu'elle atteint 100°C, le milieu est dégazé et se trouve dépourvu en oxygène, si bien que les réactions d'oxydation ne peuvent plus se développer. Par ailleurs, le milieu étant fortement hydraté, les réactions de Maillard sont également peu favorisées. Ce type de cuisson est peu propice à la production d'arômes. Enfin, l'élimination de vapeur d'eau entraîne des pertes en constituants volatils.

La friture

En friture, l'huile pénètre généralement peu à l'intérieur de l'aliment. Par contre, l'eau du produit migre de l'intérieur vers l'extérieur favorisant l'extraction des constituants solubles dans l'eau. A la surface de contact entre l'aliment et l'huile, l'activité de l'eau décroît et les réactions de Maillard sont favorisées.

2.2.- Les variantes des techniques traditionnelles

Le four à chaleur tournante

La chaleur tournante est généralement obtenue à l'aide d'un ventilateur. Le but est d'accélérer les transferts de chaleur et la vaporisation de l'eau en surface (26). Les réactions de Maillard se développent en surface plus rapidement. L'aliment croûte rendant plus difficile le départ d'eau de l'intérieur vers l'extérieur. Le produit final est plus juteux.

Le four à rayonnement

Dans ce type de fours, un flux de chaleur intense est produit sans agitation. La vaporisation de l'eau est encore plus rapide et le dessèchement n'a lieu qu'en surface, ce qui donne au produit un côté moelleux, comme dans le cas des fours à chaleur tournante.

La cuisson en ambiance confinée

Pour éviter le dessèchement en surface et limiter le développement des réactions de Maillard, on peut avoir recours à des cuissons en atmosphère confinée, qui maintiennent une atmosphère humide à l'intérieur du four. Ce type de four permet une meilleure cuisson à cœur tout en évitant le développement trop rapide des réactions de Maillard en surface. Les phénomènes d'oxydation sont dans ce procédé très limités.

L'injection de vapeur pendant des temps courts ou prolongés

Dans ce procédé, la cuisson s'effectue en ambiance confinée, mais ici la montée de la température est rapide du fait de la condensation de la vapeur. Le dessèchement de l'aliment n'intervient qu'ensuite. La production ou les pertes d'arômes sont limitées.

L'utilisation de la vapeur surchauffée

Dans ce type de cuisson, on remplace l'air chaud par de la vapeur d'eau surchauffée. Ici, les températures sont supérieures à 100°C. Plus elles sont élevées et plus la vapeur est chaude et plus cette vapeur devient capable de griller les produits. Par ce procédé, on peut faire des croissants, du poulet grillé et même des produits torréfiés (café, cacao). Une des caractéristiques est l'absence totale d'oxygène. Le procédé est actuellement développé à la Halle N. Appert de l'E.N.S.I.A. de Massy par DESAGE. Sur le plan des arômes, le procédé est intéressant et permet en fonction des conditions opératoires d'obtenir des notes aromatiques différentes.

2.3.- Les techniques électriques

L'induction

A l'aide d'un champ magnétique, on induit un courant électrique à l'intérieur d'un métal qui s'échauffe par effet Joule. Ce mode de chauffage est identique à de la convection. Son intérêt est d'être mieux localisé sur le fond du récipient et par le fait même, de limiter le développement des réactions de Maillard.

Les micro-ondes

Dans ce type de cuisson (7, 8, 10, 21, 36), l'énergie électromagnétique fournie par les micro-ondes et absorbée par les molécules d'eau essentiellement, se dissipe en partie en une énergie de frottement qui provoque un échauffement du milieu. Dans ce procédé, il n'y a ni agitation naturelle ni amorce d'ébullition, si bien que l'intérieur du produit peut atteindre des températures supérieures à la température d'ébullition de l'eau, alors que la surface externe demeure peu chaude. On peut aller jusqu'à atteindre les températures de transition vitreuse de l'amidon, si bien qu'au cours du refroidissement le produit peut devenir rapidement solide. Dans le cas de produit dont la surface est imperméable aux échanges de matières avec l'atmosphère extérieure, des explosions peuvent avoir lieu. Ce procédé ne minimise pas les processus d'oxydation.

La cuisson par micro-ondes ne réalise pas une cuisson homogène et ce n'est pas un procédé efficace pour générer des arômes, à moins d'utiliser des solvants permettant d'abaisser l'*a_w* du milieu. L'élimination de l'eau se fait plutôt par exsudation que par vaporisation, si bien que, tant que l'on ne provoque pas l'ébullition de l'eau, il est possible de limiter les pertes d'arômes de la préparation culinaire par entraînement à la vapeur.

Le chauffage ohmique

C'est une technique uniquement utilisée en industrie. Il existe deux façons de procéder, soit le chauffage est réalisé par l'intermédiaire d'un tube métallique qui joue le rôle de résistance et s'échauffe par effet Joule lorsqu'il est traversé par un courant électrique, soit dans le cas de morceaux solides en suspension dans un liquide, le milieu alimentaire est directement traversé par un courant électrique (Pasteurisation). Dans ce type de traitement thermique, la cuisson est homogène et l'apport de chaleur peut être interrompue instantanément à tout moment. Dans ces procédés, l'eau assure la continuité thermique ou électrique et doit donc être assez abondante. Cette situation est peu adaptée au développement de réactions de Maillard mais ne minimise pas les dégradations oxydatives.

2.4.- Les autres techniques

Le cuisson sous vide

Ce mode de cuisson est à tort appelé "cuisson sous vide". En fait aucun vide n'est créé, le produit alimentaire étant emballé et l'air éliminé de l'emballage. Le produit est chauffé dans son emballage à température modérée. D'ailleurs, si la température de cuisson était égale ou supérieure à la température d'ébullition de l'eau, il serait nécessaire de réaliser une contre-pression afin d'éviter l'explosion de l'emballage. Ce mode de cuisson ne génère pas d'arômes de réaction, cependant, il préserve bien l'aromatisation des produits et évite les pertes d'arômes par entraînement à la vapeur. Par contre, si l'on désire des notes de grillé, il sera nécessaire de réaliser un grillage préalable.

La cuisson-extrusion

La cuisson-extrusion concerne des produits peu humide (6). La cuisson s'effectue dans un tube, c'est-à-dire en atmosphère confinée. Au fur et à mesure que le produit avance à l'intérieur du tube, la pression augmente pour atteindre un maximum juste avant le passage au travers de la filière (de l'ordre de 140 fois la pression atmosphérique). En traversant la filière, le produit est cisailé (extrusion) et son brusque retour à la pression atmosphérique provoque une forte expansion due au départ de l'eau. Ce départ d'eau est peu propice à la rétention d'arôme, si bien que dans ce procédé, il est soit nécessaire d'encapsuler les arômes au préalable, soit de procéder à une aromatisation de l'extrudat ou à son toastage. Le procédé de cuisson-extrusion n'est donc pas une très bonne technique pour générer des arômes de réaction.

L'autoclavage

Ce mode de cuisson est déjà ancien et a vu son développement avec les fameuses cocottes-minute. En milieu fortement hydraté, il est peu propice à la genèse d'arômes de réaction, par contre, il réduit les temps de cuisson, retient assez bien les arômes, les dégrade peu, du fait qu'il n'y a aucun départ d'eau. Toutefois, certains auteurs ont utilisé ce procédé pour générer des arômes de réaction

(15, 16). Cependant, comme le précisent les fabricants de ce type de matériel, il est préférable, avant d'ouvrir le cuiseur, de ramener la température à l'intérieur de l'enceinte à une valeur inférieure à 100°C de manière à éviter une brusque ébullition de l'eau et l'entraînement à la vapeur des arômes.

Conclusion

Les nouvelles techniques de cuisson, pas plus que les anciennes traditionnelles, ne permettent de créer de nouvelles molécules d'arôme. Par contre, chaque technique, en favorisant ou défavorisant les transferts d'eau et d'oxygène, permet de jouer sur les équilibres de synthèse des molécules d'arôme et par conséquent sur la composition aromatique finale du produit alimentaire.

L'utilisation raisonnée de toutes ces techniques de cuisson donne la possibilité de créer de nouveaux mélanges de molécules d'arômes.

Le champ d'investigation est infini, les grands cuisiniers le savent bien.

Références bibliographiques

- 1.- ADRIAN J., 1987
Nature et propriétés des produits de grillage
Ind. Alim. Agric., **104** (5), 449-457
- 2.- AMES J.M., 1998
Applications of the Maillard reaction in the food industry
Food Chem., **62** (4), 431-439
- 3.- BALTES W., BOCHMANN G., 1987
Model reactions on roast aroma formation. II.- Mass spectrometric identification of furans and furanones from the reaction of serine and threonine with sucrose under the conditions of coffee roasting
Z. Lebensm. Unters. Forsch., **184**, 179-186
- 4.- BRADLEY D.G., MIN D.B., 1992
Singlet oxygen oxidation in foods.
CRC Critical Reviews in Food Sci. and Nutr., **31** (3), 211-236
- 5.- BRAUSS M.S., BALDERS B., LINFORTH R.S.T., AVISON S., TAYLOR A.J., 1999
Fat content, baking time, hydration and temperature affect flavour release from biscuits in model-mouth and real systems
Flavour and Fragrance J., **14**, 351-357
- 6.- BREDIE W.L.P., HASSELL G.M., GUY R.C.E., MOTTRAM D.S., 1997
Aroma characteristics of extruded wheat flour and wheat starch containing added cysteine and reducing sugars
J. Cereal Sci., **25**, 57-63

-
- 7.- BUCKHOLZ L.L., SUDOL M.A., BYRNE B., 1991
Process for microwave browning, composition used for same and product produced thereby
U.S. Patent, 5 069 916
- 8.- BYRNE B., 1991
Process for microwave chocolate flavor formulation, product produced thereby and uses thereof in augmenting or enhancing the flavor of foodstuffs, beverages and chewing gums
U.S. Patent, 5 041 296
- 9.- CHIOU R.Y.-Y., CHENG S.-L., TSENG C.-Y., LIN T.-C., 1993
Flavor fortification and characterization of raw peanut oils subjected to roasting with partially defatted peanut meal under various atmospheric conditions
J. Agric. Food Chem., **41**, 1110-1113
- 10.- CHYAU C.-C., MAU J.-L., 1999
Release of volatile compounds from microwave heating of garlic juice with 2,4-decadienals
Food Chem., **64** (4), 531-535
- 11.- DAVID S., 2000
L'apport de la chimie des sucres à la stéréochimie contemporaine de 1939 à nos jours
L'Actualité chimique, mars, 25-30
- 12.- GANDEMER G., 1999
Lipids and meat quality : lipolysis, oxidation, Maillard reaction and flavour
Sci. Alim., **19**, 439-458
- 13.- HODGE J.E., 1967
Non-enzymatic browning reactions
In *The chemistry and Physiology of flavors*, SCHULTZ H.W. (Ed.), AVI Publishing, Westport, CT, pp 465-491
- 14.- KANNER J., GERMAN J.B., KINSELLA J.E., 1987
Initiation of lipid peroxidation in biological systems.
CRC Critical Reviews in Food Sci. and Nutr., **25** (4), 317-364
- 15.- KUNERT-KIRCHHOFF J., BALTES W., 1990
Model reactions on roast aroma formation. VII.- Specific products of phenylalanine after cooking with D-glucose in a laboratory autoclave
Z. Lebensm. Unters. Forsch., **190**, 9-13
- 16.- KUNERT-KIRCHHOFF J., BALTES W., 1990
Model reactions on roast aroma formation. VIII.- Volatile reaction products from the reaction of phenylalanine with 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3-(2H)-furanone (furanol) by cooking in a laboratory autoclave
Z. Lebensm. Unters. Forsch., **190**, 14-16

-
- 17.- MACKU C., SHIBAMOTO T., 1991
Headspace volatile compounds formed from heated corn oil and corn oil with glycine
J. Agric. Food Chem., **39**, 1265-1269
- 18.- MADRUGA M.S., MOTTRAM D.S., 1995
The effect of pH on the formation of Maillard-derived aroma volatiles using a cooked meat system
J. Sci. Food Agric., **68**, 305-310
- 19.- MASTROCOLA D., MUNARI M., CIOROI M., LERICI C.R., 2000
Interaction between Maillard reaction products and lipid oxidation in starch-based model systems
J. Sci. Food Agric., **80**, 684-690
- 20.- MIN D.B., LEE H.-O., 1999
Chemistry of lipid oxidation. 30 years of progress
In *Flavor Chemistry. Thirsty years of progress*, TERANISHI R., WICK E.L. et HORSTEIN I. (Ed.), Kluwer Academic/Plenum Publishers, New-York, **Chapter 16**, 175-187
- 21.- MORALES C., DUQUENOY A., GERMAIN A., BERTEAUD A.-J., 1996
Gradients thermiques observés dans un produit alimentaire immobilisé et chauffé par micro-ondes.
Journées Européennes d'Etudes, Paris-La-Défense, 26-27 mars, pp 1-6
- 22.- MOREAUX V., BIRLOUEZ-ARAGON I., 1997
Degradation of tryptophane in heated β -lactoglobulin-lactose mixtures is associated with intense Maillard reaction
J. Agric. Food Chem., **45**, 1905-1910
- 23.- MOTTRAM D.S., 1998
Flavour formation in meat and meat products : a review
Food Chem., **62** (4), 415-424
- 24.- MURESAN S., EILLEBRECHT M.A.J.L., de RIJK T.C., de JONGE H.G., LEGUIJT T., NIJHUIS H.H., 2000
Aroma profile development of intermediate chocolate products. I.- Volatile constituents of block-milk
Food Chem., **68**, 167-174
- 25.- NISHIBORI S., KAWAKISHI S., 1990
Effects of dough materials on flavor formation in baked cookies
J. Food Sci., **55** (2), 409-412
- 26.- DUQUENOY A., NOUAFO J. L., 1997.
Measurement of convection and radiant heat flux in a domestic oven ICEF7, Brighton, UK, 13-17 April, Sheffield Acad. Press, C25-28.

-
- 27.- PARLIMENT T.H., CIPRIANO J.J., SCARPELLINO R., 1991
Generation of aroma during microwave cooking
U.S. Patent, 5 053 236
- 28.-PROST C., LEE C.Y., GIAMPAOLI P., RICHARD H., 1993
Extraction of cookie aroma compounds from aqueous and dough model system
J. Food Sci., **58** (3), 586-588 et 608
- 29.- RICHARD H., GIAMPAOLI P., MORILLON V., BOCCO A., PHILIP M., SIONNEAU D., 1997
Flaveurs et traitements thermiques
Actes des 15èmes Journées Internationales Huiles Essentielles. Rivista Italiana A.P.P.O.S.,
numéro spécial, 140-164
- 30.- RIZZI G.P., 1999
The Strecker degradation and its contribution to food flavor
In *Flavor Chemistry. Thirsty years of progress*, TERANISHI R., WICK E.L. et HORSTEIN I.
(Ed.), Kluwer Academic/Plenum Publishers, New-York, **Chapter 28**, 335-343
- 31.- TRESSL R., REWICKI D., 1999
Heat generated flavors and precursors
In *Flavor Chemistry. Thirsty years of progress*, TERANISHI R., WICK E.L. et HORSTEIN I.
(Ed.), Kluwer Academic/Plenum Publishers, New-York, **Chapter 26**, 305-325
- 32.- VAN MUSTAPHA W.A., HILL S.E., BLANSHARD J.M.V., DERBYSHIRE W., 1998
Maillard reactions : do the properties of liquid matrices matter ?
Food Chem., **62** (4), 441-449
- 33.- WEENEN H., 1998
Reactive intermediates and carbohydrate fragmentation in Maillard chemistry
Food Chem., **62** (4), 393-401
- 34.- WHITFIELD F.B., 1992
Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids
Critical Reviews in Food Sci. and Nutr., **31** (1/2), 1-58
- 35.- YAYLAYAN V.A., HUYGHUES-DESPOINTES A., 1994
Chemistry of Amadori rearrangement products : analysis, synthesis, kinetics, reactions and spectroscopic properties
Critical Reviews in Food Sci. and Nutr., **34** (4), 321-369
- 36.- YEO H.C.H., SHIBAMOTO T., 1991
Microwave-induced volatiles of the Maillard model system under different pH conditions
J. Agric. Food Chem., **39**, 370-373

37.- ZHANG Y., HO C.-T., 1991

Formation of meatlike aroma compounds from thermal reaction of inosine-5'-monophosphate with cysteine and glutathione

J. Agric. Food Chem., **39**, 1145-1148

38.- ZHANG Y., DORJPALAM B., HO C.-T., 1992

Contribution of peptides to volatile formation in the Maillard reaction of casein hydrolysate with glucose

J. Agric. Food Chem., **40**, 2467-2471