

# Conséquences sur les constituants alimentaires

**I. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse**

II. Réactions d'oxydation

III. Réactions de polymérisation et de condensation

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 1. Dépolymérisation

*Les dégradations des macromolécules sont essentiellement faites par hydrolyse*

- **Chimique (acide)**
  - Donne des produits de dégradation mal connus
    - ex. liaisons osidiques
- **Enzymatique (amylases, pectinases, lipases, protéases...)**
  - Capable de rompre
    - les esters (lipides, pectines),
    - les glycosides (glucides),
    - les amides (protéines, peptides)

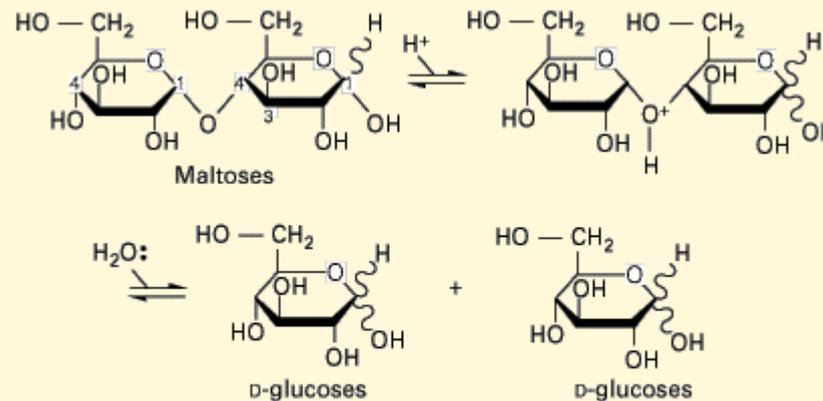
# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des disaccharides*

- Le maltose

Figure - Hydrolyse acido-catalysée des maltoses



~ Ces liaisons sur H et OH indiquent que l'on ne sait pas si ce sont des liaisons  $\alpha$  ou  $\beta$ , puisque les deux formes sont parfois en équilibre, car il y a isomérisation possible.

Hydrolyse par voie acide ou enzymatique par une maltase (levure).

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des disaccharides*

- **Le lactose**
  - Liaison très résistante à l'hydrolyse
  - Importance sur le plan nutritionnel
  - Hydrolyse industrielle du lactose, ex.
    - Lait à lactose hydrolysé (ex. Lactozym de *S. lactis*)
    - Accroître le pouvoir sucrant du lactose
    - Industries de deuxième transformation (chocolaterie, biscuiterie, confiserie...)

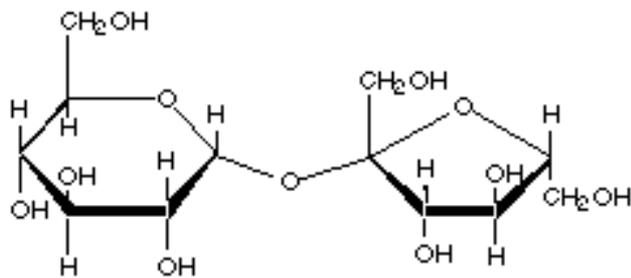
# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

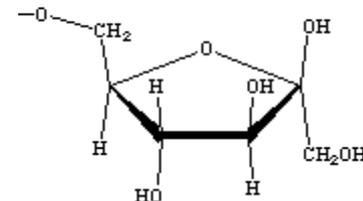
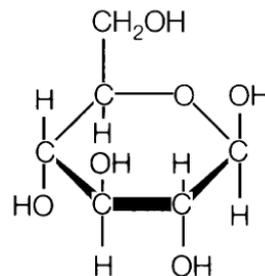
### *Hydrolyse des disaccharides*

- **Le saccharose**

- Invertase de levure ou de champignon ( $\beta$ -fructosidase), on obtient du sirop de sucre inverti
- Hydrolyse utilisée pour
  - textures molles au centre des chocolats
  - fermentescibilité des mélasses par les levures.



Sucrose  
(glucose ( $\alpha$ 1-->2) fructose)



# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Pouvoir sucrant relatif de sucres naturels*

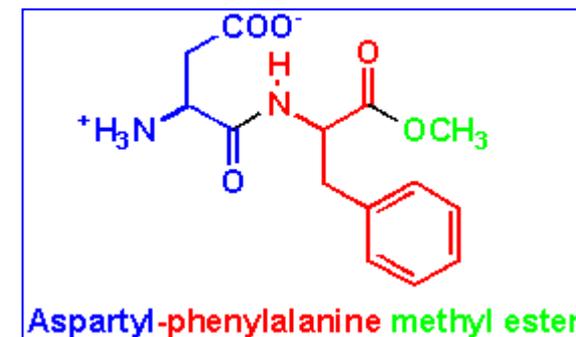
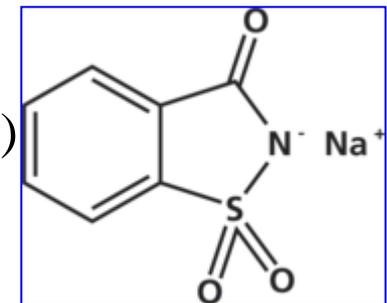
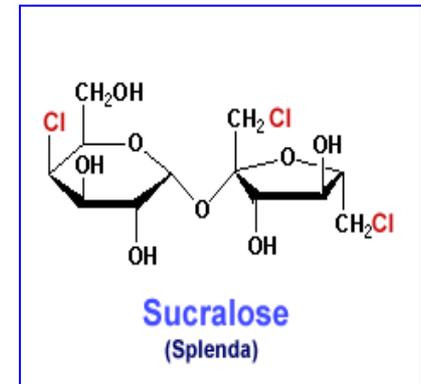
Sucre	Composition	Pouvoir sucrant
Fructose		120
Glucose		70
Saccharose	fructose + glucose	100
Maltose	glucose	45
Lactose	glucose et galactose	40
Sirop de maïs	glucose et maltose	30-50
Sirop inversé	glucose, fructose, sucrose	95

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Autres modifications des sucres (les édulcorants)*

- **Sucralose** (Splenda)
  - Synthétisé à partir du saccharose
  - Remplacer –OH par –Cl
- **Saccharine** (Sweet'N Low)
  - Dérivé du CARBOSYLANE (charbon activé, polysilane)
  - Risque cancérigène?
- **Aspartame** (NutraSweet)
  - Autres noms : Canderel™, Equal™
  - Métabolisé par l'organisme en ses composants:
    - **acide aspartique, phenylalanine et méthanol**



# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Caramélisation ou décomposition thermique*

- A température élevée les réactions des sucres sont accélérées
  - Hydrolyse, Isomérisation
  - Elimination d'eau  **Tous les sucres réagissent**
  - Oxydation
- Elle a lieu
  - A à partir de 150°C  **Pas d'amines**
  - Faible aw/concentration élevée en sucres
- Formation de
  - Enediols  **Arôme caramel et pigments**
  - Dicarbonyls

## 2. Hydrolyse des glucides

### Caramélisation ou Décomposition thermique

- Le sucre est chauffé au point où ses molécules commencent à s'hydrolyser
  - Les monomères cassent
  - Le saccharose caramélise à partir de 165°C
- Le processus est catalysé en milieu acide ou basique et généralement nécessite :
  - pH inférieur à 3, ou supérieur à 9

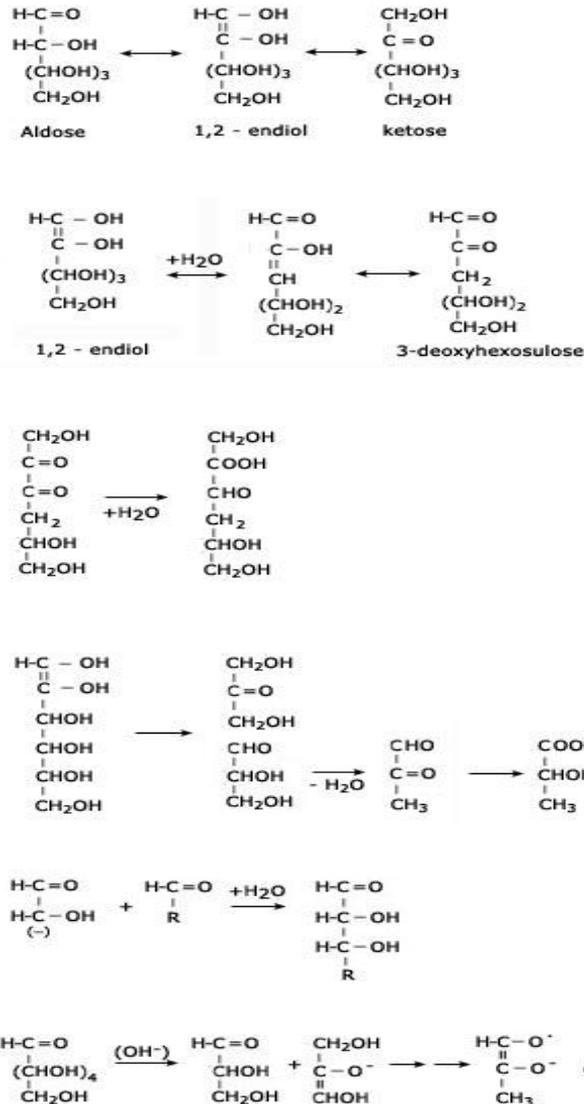
## 2. Hydrolyse des glucides

### Caramélisation ou Décomposition thermique

- Cascade de produits de réactions
  - 128 nouveaux composés formés à partir du saccharose
    - des composés acides
    - des composés amers
    - des composés bruns
    - des composés volatils et aromatiques
- Plus on chauffe, moins le produit est sucré
  - plus de sucre est dégradé
  - remplacé graduellement par des produits de caramélisation

# 2. Hydrolyse des glucides

## Caramélisation ou Décomposition thermique

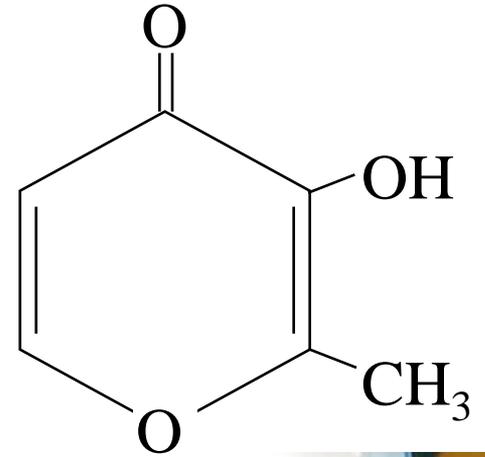


Série de réactions de dégradation et d'isomérisation donnant lieu à une multitude de produits chacun avec des propriétés organoleptiques (goût, arôme, couleur,...) particulières.

## 2. Hydrolyse des glucides

### Caramélisation ou Décomposition thermique

- Donne des arômes **agréables** et couleurs à plusieurs aliments
  - Caramel, café
  - Couleurs de certaines boissons
  - **Maltol** arôme très important (produit aussi par Maillard)
- Peut aussi donner des arômes/couleurs **indésirables**
  - Odeur “sucre brûlé”



## 2. Hydrolyse des glucides

### Caramélisation ou Décomposition thermique

*Les caramels ne sont pas caramélisés!!*



- Faits de sucre, crème, sirop et beurre cuits à 120°C.
- Le brunissement provient de PRMs (réaction avec les protéines de la crème)
- Produits caramélisés, ex. flan, crème brûlée

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

- **Chimique**

- Totale → glucose
  - baisse de viscosité et un accroissement du pouvoir réducteur.
- Ménagée → dextrans et glucose
  - Les dextrans : agents gélifiants et liants.

- **Enzymatique**

- Amylases  $\alpha$  1,4 → oligosaccharides (6 à 7 unités glucosyle) et maltose.
- Amylases déramifiantes  $\alpha$  1,6
- Cyclodextrines transférases (hydrolyse partielle et cyclisation)
  - anneaux de 6 à 8 unités glucosyle (cyclodextrines)

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

**Tableau - Hydrolyse des polysaccharides**

<b>Polysaccharide</b>	<b>Liaisons rompues</b>	<b>Produits d'hydrolyse</b>	<b>Enzyme</b>
Amylose	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Dextrines linéaires	$\alpha$ -amylase
Amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Dextrines linéaires Dextrines ramifiées	$\alpha$ -amylase
Amylose et amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Maltose + dextrines	$\beta$ -amylase
Amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 6$	Dextrines linéaires	Pullulanase
Amylose et amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Glucose + dextrines	$\alpha$ -glucosidase
Cellulose	$\beta 1 \rightarrow 4$	$\beta$ -glucose + $\beta$ -glucane	Cellulase
Lichénane	$\beta 1 \rightarrow 3$	Unités de cellotriose	$\alpha$ -glucanase
Chitine	$\beta 1 \rightarrow 4$	N-acétylglucosamine	Chitinase
Pectine	Ester méthylique	Méthanol + acide polygalacturonique	Méthylestérase
	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Acide galacturonique $\pm$ méthylé	Polygalacturonase

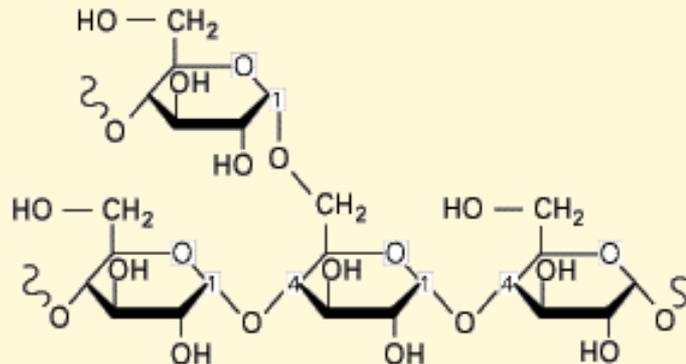
# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

- L'amidon
- Prégélatinisation : dépolymérisation préalable (rupture de liaisons hydrogène) par un chauffage en milieu aqueux, ce qui facilite la dispersion à froid et le gonflement

Figure -Structure des ramifications dans une molécule d'amylopectine



# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Applications industrielles*

- **En panification**
  - Hydrolyse → glucose
    - fermentation panaire
    - réactions de Maillard
  - Prégélatinisation
    - mixes de pâtisserie (onctuosité)
    - stabilisation des desserts (plus la gélatine)
- **En brasserie**
  - Production de sucres fermentescibles

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

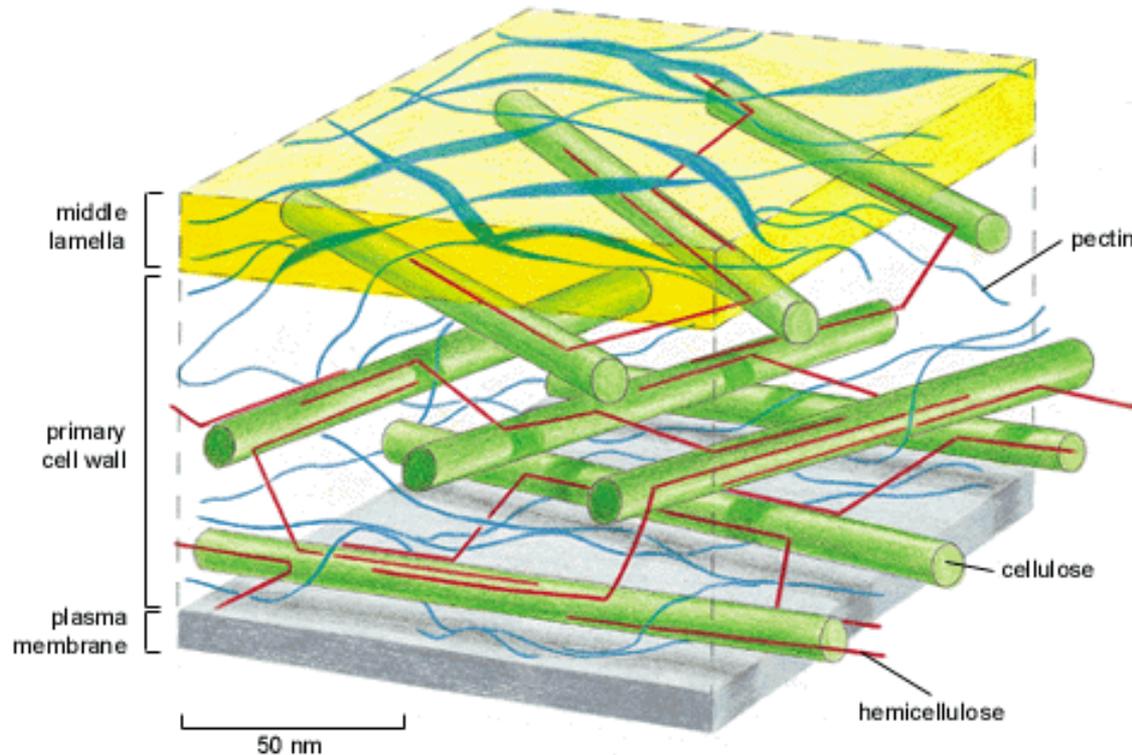
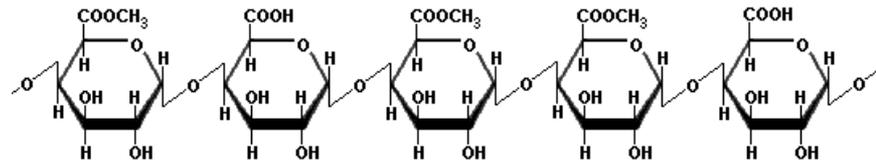
- Les pectines
- Hétéropolysaccharides
- “Hydrocolloïde”
- Existe dans les espaces intercellulaires, lamelle moyenne des tissus végétaux
  - De larges canaux dans les tissus de fruits jeunes../..

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

- Les pectines



# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

- **Les pectines**
  - Absorbent l'eau et le transfèrent aux cellules
  - Responsables de la fermeté et de la texture (fruits & légumes)
  - S'attendrissent durant la maturation
  - La stabilité colloïdale est rompue dans les jus de fruits../..

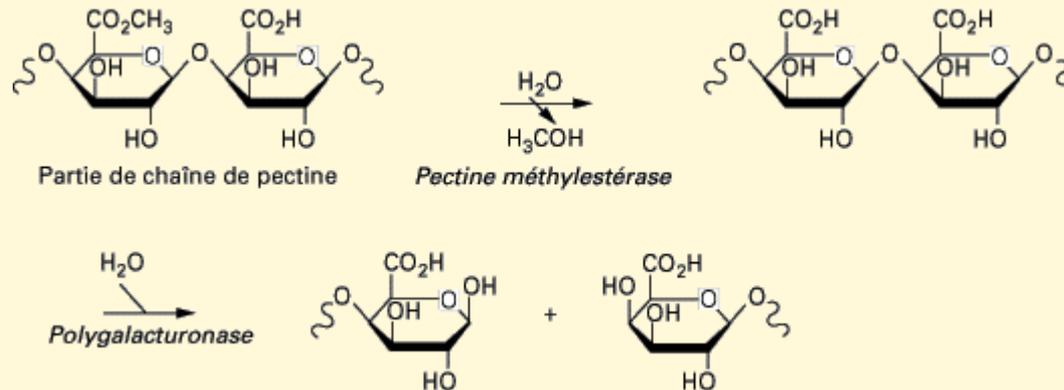
# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Hydrolyse des polysaccharides*

- Les pectines
- Méthylestérases → méthanol
- Polygalacturonases → galacturonides.

Figure -Réactions de dégradation enzymatique des pectines



# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 2. Hydrolyse des glucides

### *Applications industrielles*

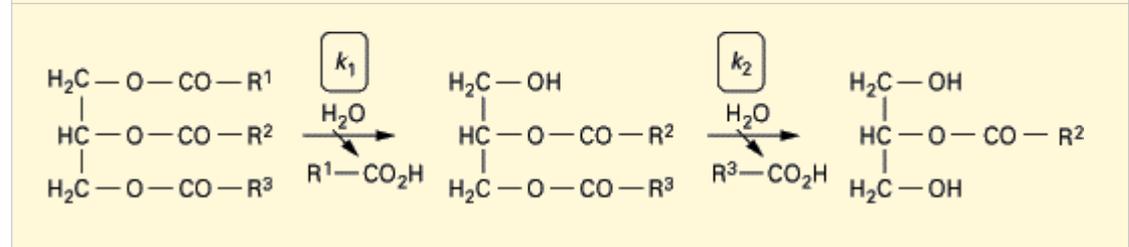
- Dans les fruits
  - maturation, ramollissement
- Préparations purifiées
  - extraction des jus de certains fruits (fraises)
  - clarification des jus de fruits

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

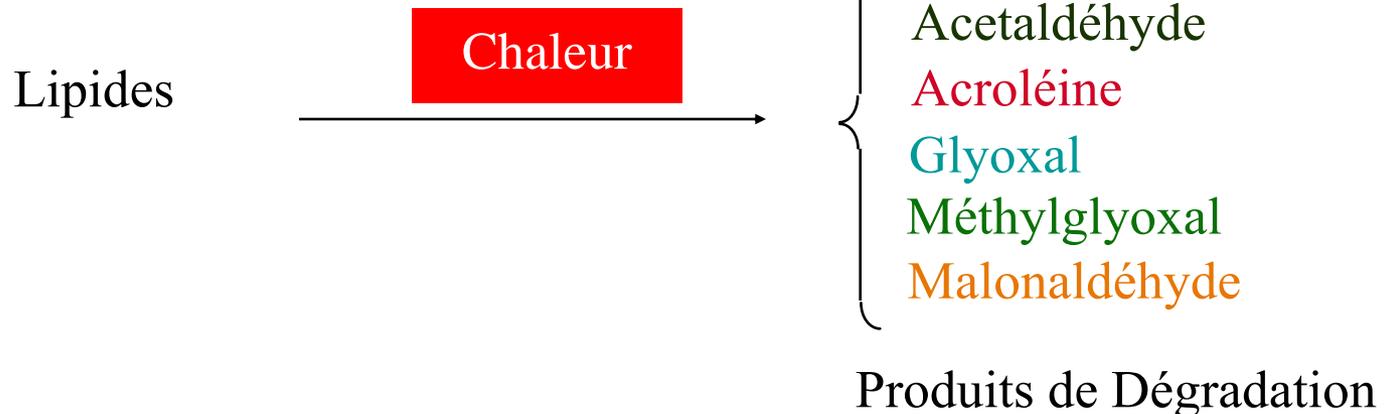
## 3. Hydrolyse des lipides

- Lipases, phospholipases
  - → acides gras

Figure -Hydrolyses d'un triglycéride



- Chaleur



# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 3. Hydrolyse des lipides

---

- **Conséquences technologiques**
  - Bénéfiques → fromages
  - Indésirables → rancissement
- **Activateurs**
  - Agitation, broyage, homogénéisation../..

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 3. Hydrolyse des lipides

### *Applications industrielles*

- **Laiterie**
  - → indésirable dans le lait frais, crèmes fraîches
  - → aptitude au moussage
- **Fromagerie**
  - → pâtes molles : 6 à 8 % de lipolyse (arômes)
- **Panification**
  - → action sur la rhéologie des pâtes
- **Malterie**
  - → propriétés sensorielles et stabilité de la bière

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 4. Hydrolyse des protéines

---

- Dénaturation des protéines
- Conséquences technologiques de la thermodénaturation
  - Texturation (gélification, filage, cuisson, extrusion)
  - Extraction des protéines (thermoprécipitation : procédé CentriWhey).
  - Emulsification et moussage
  - Blanchiment

# II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

## 4. Hydrolyse des protéines

- Hydrolyse enzymatique
  - Ex1. Chymosine hydrolyse la caséine  $\kappa$ , confère à la surface micellaire son aptitude à s'associer aux autres micelles
  - Ex2. Panification, hydrolyse partielle du gluten (texture et volume des pains)

# PARTIE V. Modifications biochimiques des constituants alimentaires

I. Influence des conditions de traitement

II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

**III. Réactions d'oxydation**

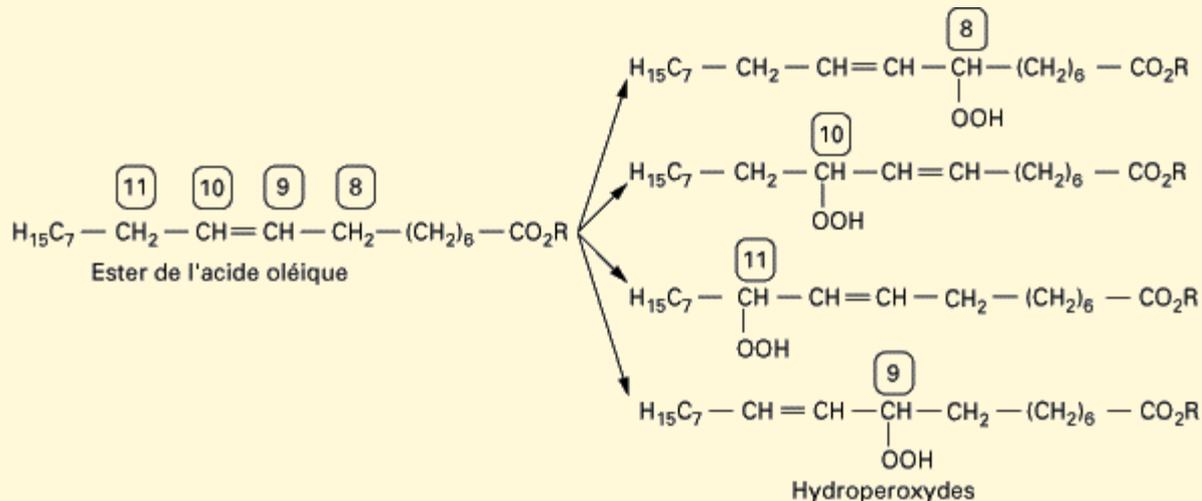
IV. Réactions de polymérisation et de condensation

# III. Réactions d'oxydation

## 1. Oxydation des lipides insaturés

- Rancidité oxydative
  - Formation de peroxydes et de **composés volatils** avec une odeur de rance
  - **Perte** de la **valeur nutritionnelle** des acides gras polyinsaturés

Figure -Action d'un radical, puis de l'oxygène, sur un dérivé de l'acide oléique



# III. Réactions d'oxydation

## 1. Oxydation des lipides insaturés

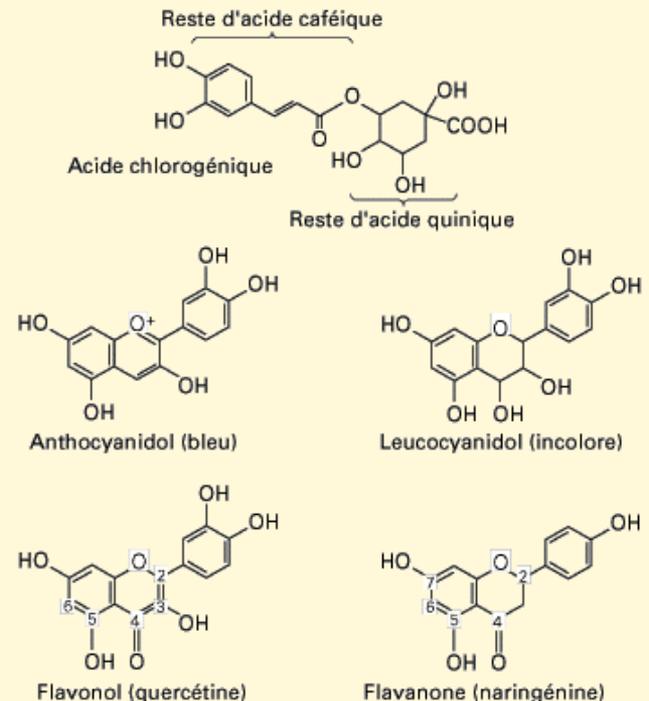
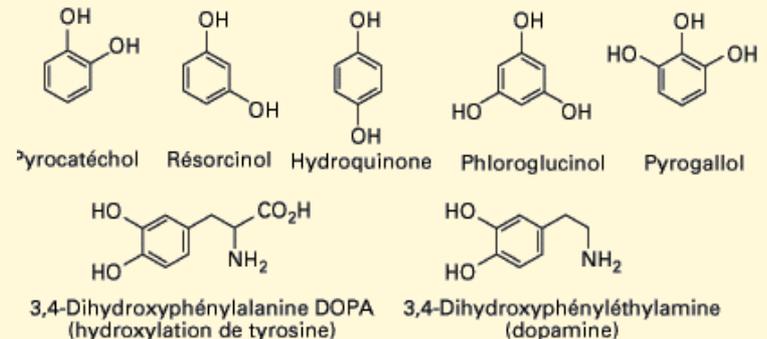
- Facteurs d'oxydation
  - Radiations lumineuses
  - Élévation de température : cuissons poussées (fritures)
  - Concentration de l'oxygène en contact
  - Nature et état des lipides
  - Teneur en eau et activité de l'eau

# III. Réactions d'oxydation

## 2. Oxydation des polyphénols

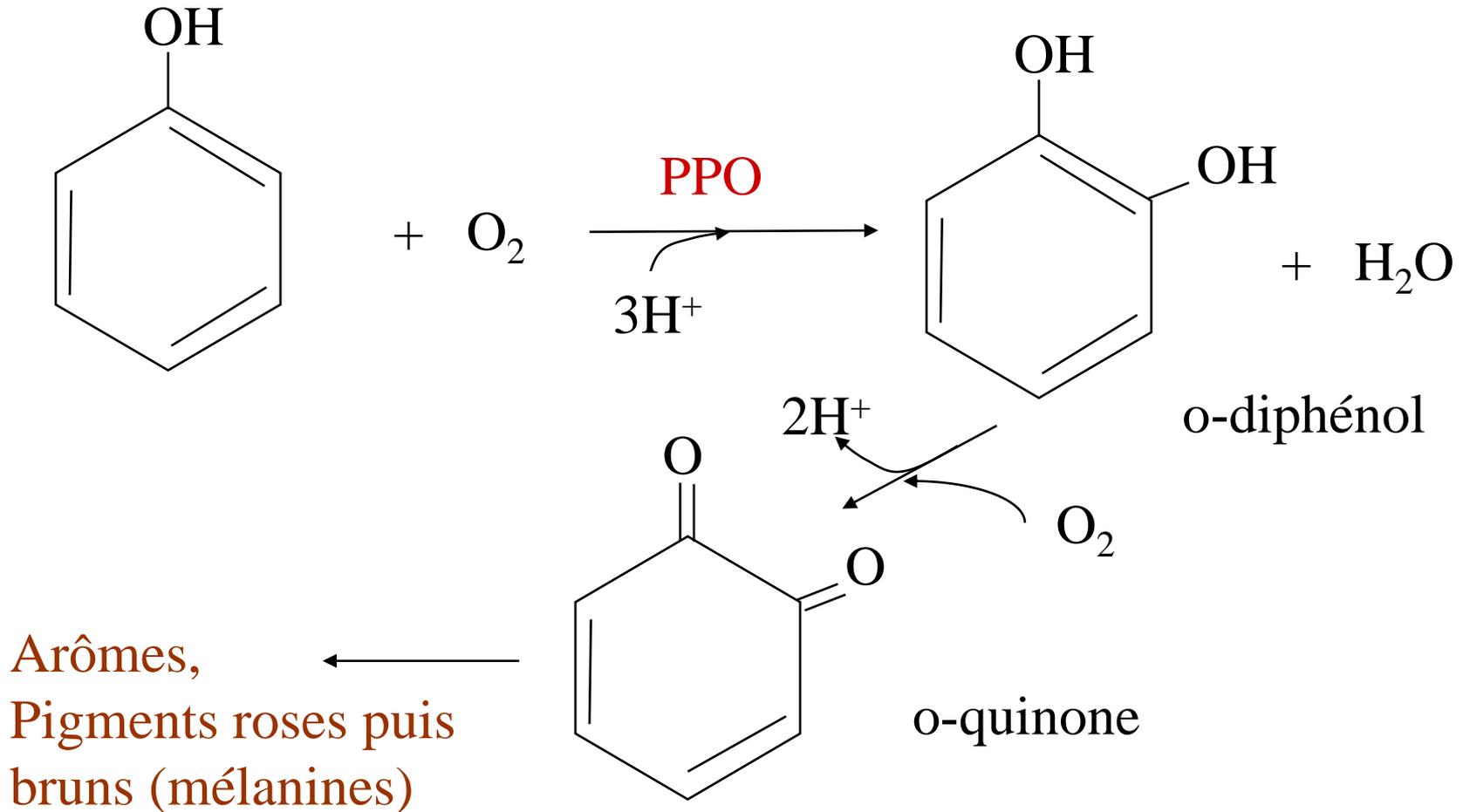
- Catalysée par l'enzyme **polyphénoloxydase** (ou **PPO**)
- Les substrats sont des phénols

Figure -Substrats d'oxydation enzymatique



# III. Réactions d'oxydation

## 2. Oxydation des polyphénols



**Brunissement enzymatique** (se rappeler le blanchiment)

# III. Réactions d'oxydation

## 2. Oxydation des polyphénols

### *Conséquences*

- Les phénols et la PPO se trouvent dans les tissus de la plante
  - Suite à une coupure/blessure les compartiments cellulaires sont rompus et les phénols, l'**oxygène** et la PPO se mélangent
    - Brunissement **indésirable** dans fruit/légumes
  - Prévenu par l'élimination de l'**oxygène** (atmosphère modifiée)
  - Prévenu par la réduction de l'**activité enzymatique**
    - Ajout **acide** (ex. Jus de citron)
    - **Blanchiment**
  - Prévenu par des agents réducteurs (**acide ascorbique, sulfites**)
- Brunissement **recherché** dans thé, cidre, fruits secs

# PARTIE V. Modifications biochimiques des constituants alimentaires

**I. Influence des conditions de traitement**

**II. Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse**

**III. Réactions d'oxydation**

**IV. Réactions de polymérisation et de condensation**

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

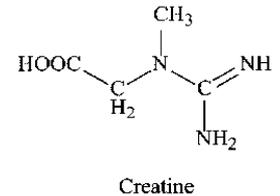
## 1. Protéines-protéines

- Formation de ponts disulfure ou hydrocarbonés entre les acides aminés de différentes protéines
  - Réticulation et baisse de digestibilité de la protéine
  - Baisse de disponibilité d'acides aminés
  - Baisse de solubilité (gélification, précipitation) ../..

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 1. Protéines-protéines

### *Amines Hétérocycliques (AH)*

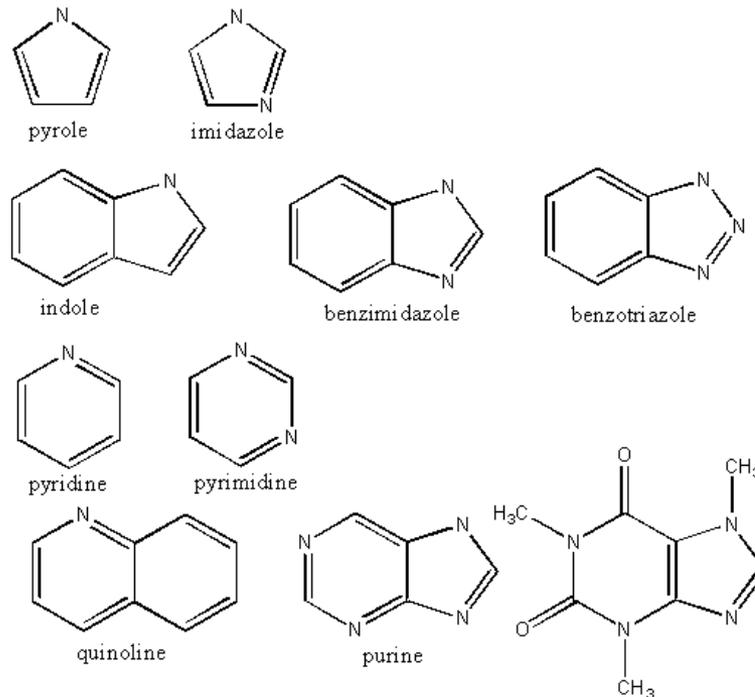


- Formées dans les viandes (boeuf, porc, poissons..) à hautes températures : **viandes bien cuites**
- Produits de la réaction de la **créatine** et d'acides aminés à hautes températures.
- Le mode de cuisson est important
  - Fritures, grillades – quantités élevées
  - Four – quantités faibles
  - Cuisson dans l'eau/sauces – quantités négligeables

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 1. Protéines-protéines

- 17 AH identifiées dans différents muscles **pourraient être cancérigènes**



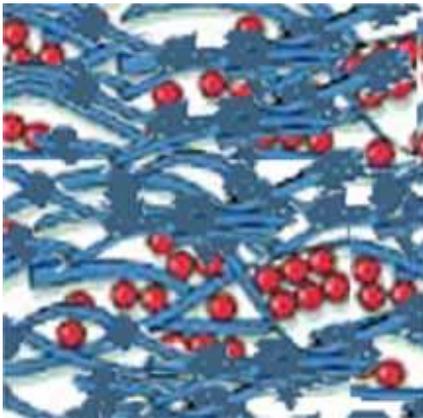
# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 1. Protéines-protéines

### *Application industrielle en panification*

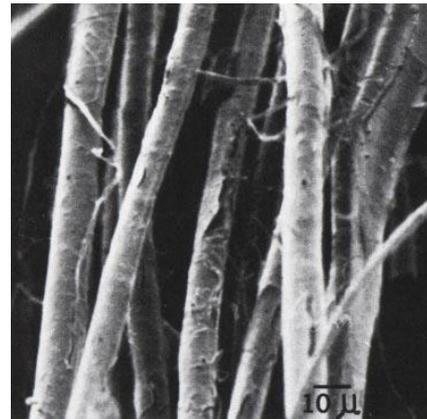
#### • Le Gluten

- Complexe protéique formé quand la farine est mélangée et manipulée dans l'eau
- Fait de Gliadine et Gluténine à un rapport de 1:3
- Complexe élastique donnant structure, rigidité et texture au pain



Rouge = Gliadine

Bleu = Gluténine



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

- Réactions de Maillard
  - Séries complexes de réactions entre les protéines et les sucres
  - Plus de **1200 produits** de réactions identifiés
  - Lors des traitements thermiques (cuisson...)
  - Aussi appelées **brunissement non enzymatique**

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

*Le brunissement crée l'appétit!*

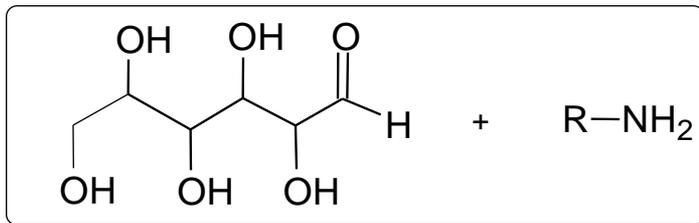
- Le caractère appétissant/l'acceptabilité de l'aliment augmente avec le brunissement
- L'acceptabilité d'un aliment cuit dépend de :
  - La **couleur** à **80%**
  - Goût, Arôme, Texture
- Déterminée par la présence de **milliers de composés** générés durant la cuisson
- Les réactions de Maillard jouent un **rôle majeur** dans la création de ceux-ci



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

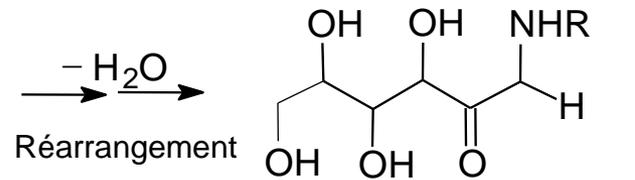
## 2. Protéines-glucides (Maillard)

### *Etapas des réactions de Maillard*

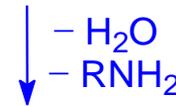


Sucre réducteur

Composé aminé

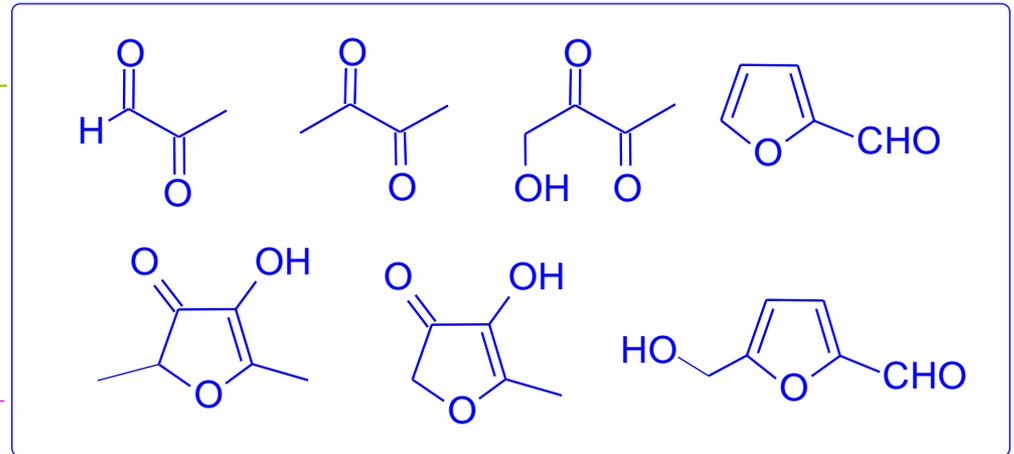


Intermédiaire d'Amadori



COMPOSES AROMATIQUES  
PIGMENTS MELANOIDINES

Composés aminés  
H<sub>2</sub>S  
Aldéhydes



Composés carbonylés

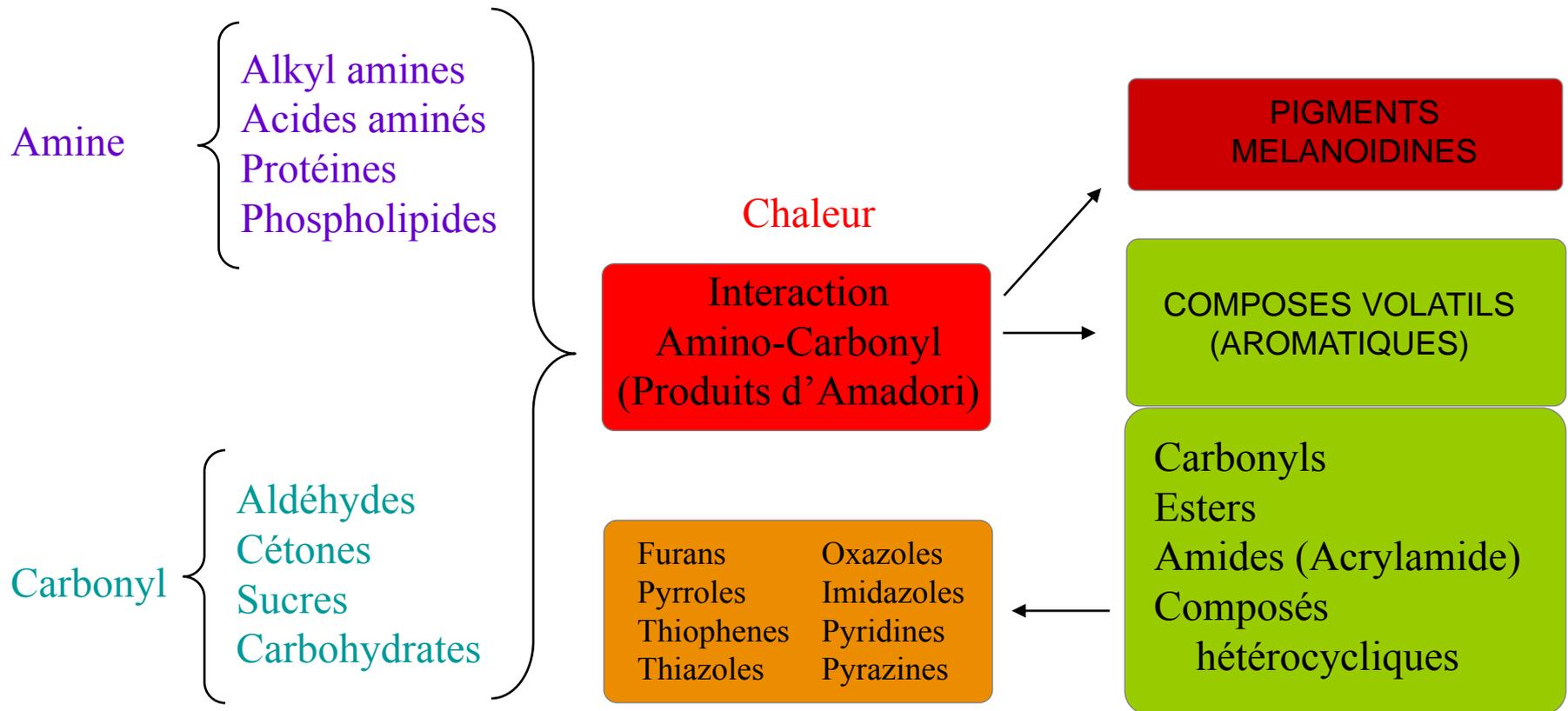
CH<sub>2</sub>=CH-CONH<sub>2</sub>

ASPARAGINE

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

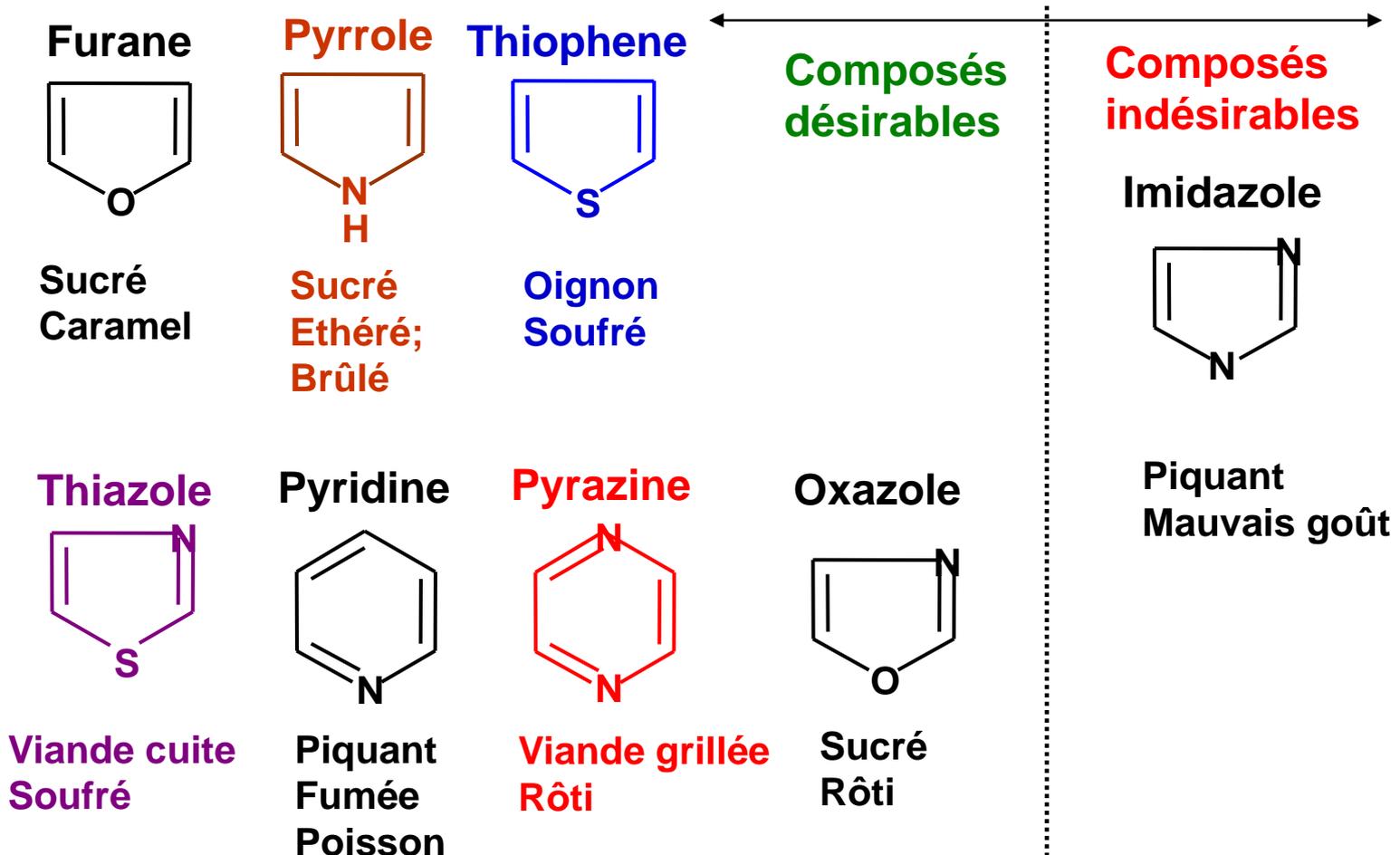
### *Schéma général des réactions de brunissement*



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

### *Composés hétérocycliques et leurs arômes/goûts typiques*



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

- Incidences organoleptiques
  - Couleur
    - **Mélanoïdines**, bruns et insolubles.
    - Brunissement recherché dans les produits de cuisson
      - indésirable pour les poudres de lait.
  - Arôme et goût
    - Aldéhydes, cétones et pyrazines
    - Hétérocycles oxygénés (furanes et furanones).
    - Substances acides et parfois amères.

# Retour sur le brunissement

## Les différents types

- **Maillard**  
Sucre réducteur + amine  
➔ **Pigments + arômes**  
Produits frits, rôtis ou grillés
  - **Caramélisation**  
Sucre  
Haute température  
➔ **Pigments + arômes**  
Soda, crème brûlée
  - **Enzymatique**  
phénols  
PPO  
➔ **Pigments + arômes**  
Fruits, thé
- Non-enzymatique + sucres
- Sans sucres

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

- Incidences nutritionnelles
  - → Diminution de la digestibilité de la protéine
  - → Perte de disponibilité d'aa indispensables, lysine
  - → Composés toxiques

exemple : l'acrylamide

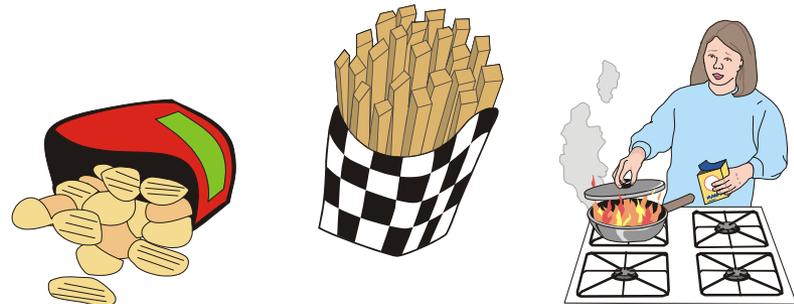
- Révélation : Université de Stockholm, avril, 2002.
- Formation en grandes quantités dans les pommes de terre.
- Grand problème d'actualité

# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

### *Formation de l'acrylamide*

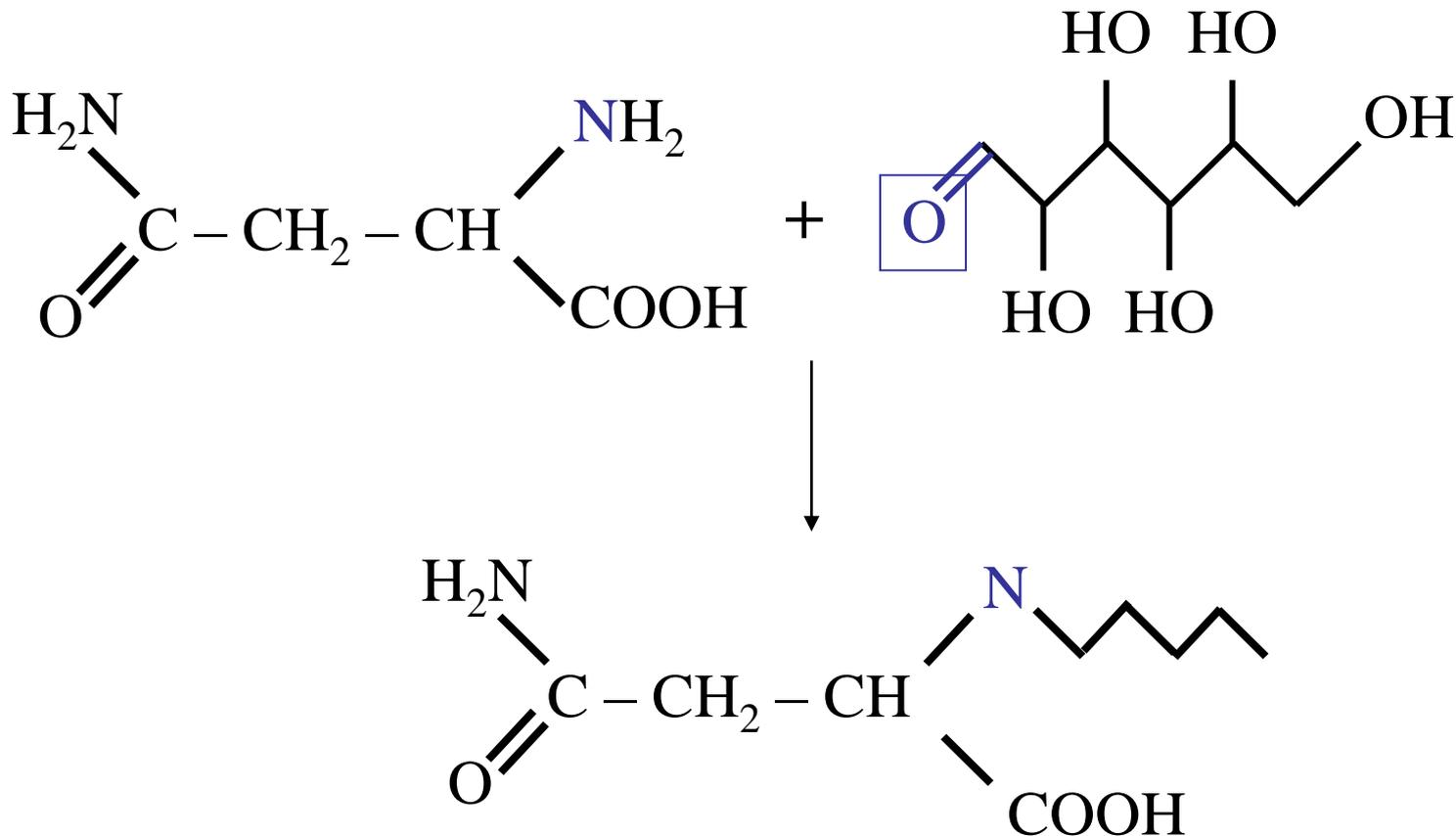
- Températures élevées
  - Fritures, Grillades, Rôtisseries
  - Micro-ondes (?)
- Aw faible,  $T > 100\text{ °C}$ , Asn, sucres réducteurs



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

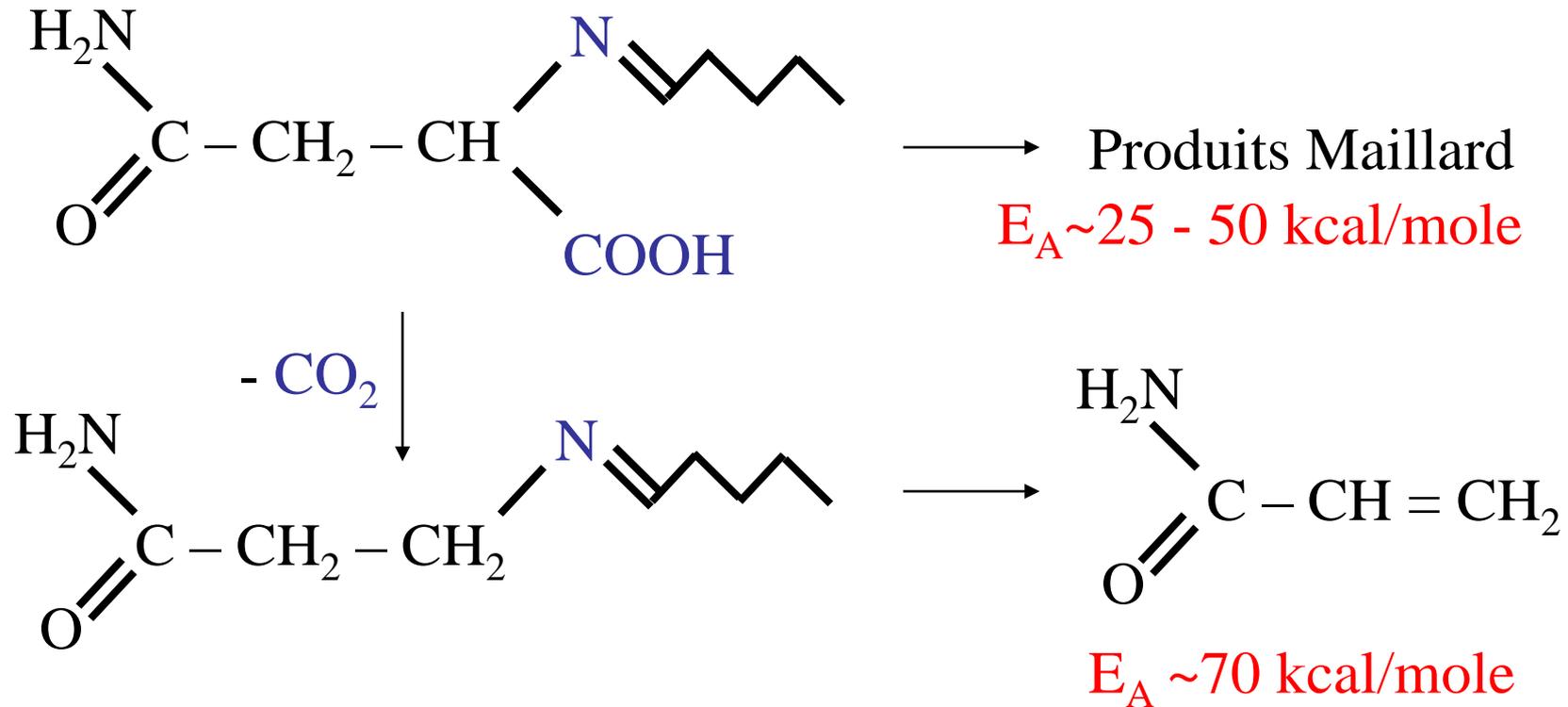
*Mécanisme possible de formation de l'acrylamide à partir de l'Asn*



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 2. Protéines-glucides (Maillard)

*Mécanisme possible de formation de l'acrylamide à partir de l'Asn*

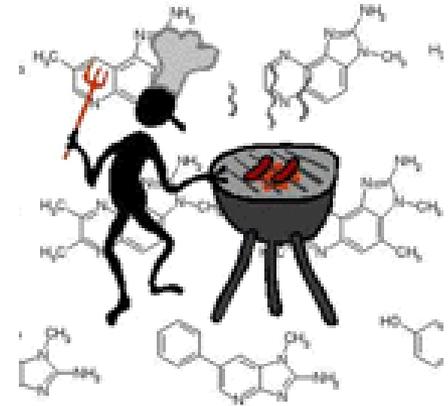


# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 3. Les lipides

### *Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques (HPA)*

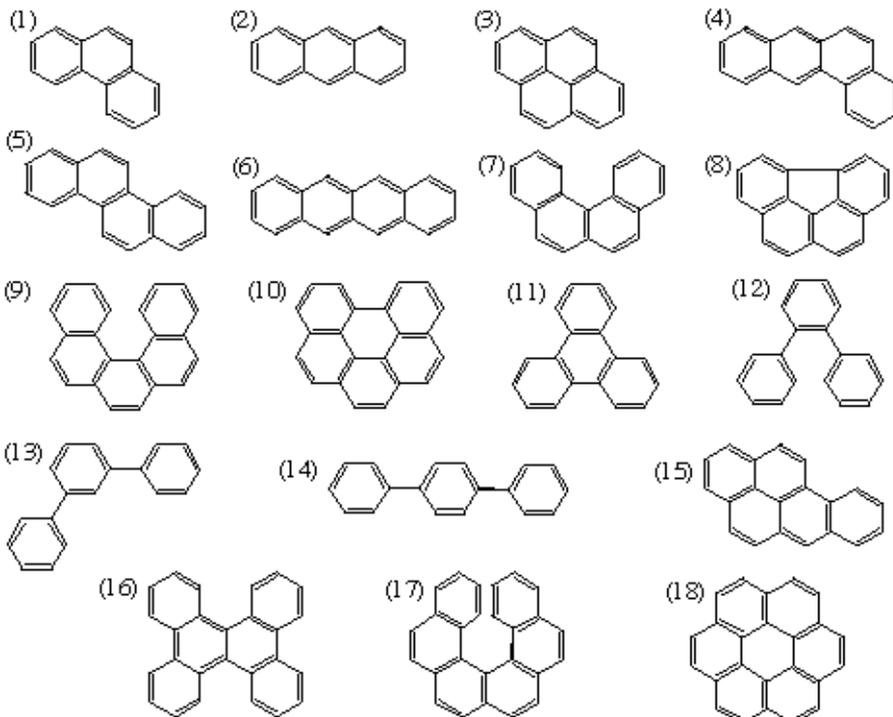
- Formés par **combustion incomplète**
- Aliments
  - Viandes à hautes températures (grillades)
  - Très peu dans d'autres aliments
- Le mode de cuisson est important
  - HPA non produits sous micro-ondes
  - Moins de gras – moins de HPA
  - Faibles températures – moins de HPA
- Certains HPA, tels le Benzo(a)pyrène, sont **cancérogènes**, d'autres non.



# IV. Réactions de polymérisation et de condensation

## 3. Les lipides

### *Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques (HPA)*



- (1) Phenanthrene
- (2) anthracene
- (3) pyrene
- (4) benz[a]anthracene
- (5) chrysene
- (6) naphthacene
- (7) benzo[c]phenanthrene
- (8) benzo[ghi]fluoranthene
- (9) dibenzo[c,g]phenanthrene
- (10) benzo[ghi]perylene
- (11) triphenylene
- (12) o-tetraphenyl
- (13) benzo[a]pyrene
- (14) p-tetraphenyl
- (15) benzo[a]pyrene
- (16) tetrabenzonaphthalene
- (17) phenanthro[3,4-c]phenanthrene
- (18) coronene

# Exemple de procédés

## La Cuisson

**Tableau - Modifications des composantes de l'aliment à la cuisson et changements organoleptiques correspondant**

Produit	Phénomène intervenant au cours de la cuisson	Impact sur les qualités organoleptiques
Viandes et poissons	Gélication des protéines (collagène) Auto-oxydation des lipides Libération de nucléotides solubles Réaction de Maillard Dénaturation de la myoglobine	Amélioration de la texture (tendreté) Genèse des composés de saveur, d'odeur et d'arôme Changement de la couleur de la viande
Produits amylacés (produits céréaliers, pommes de terre, manioc, etc.)	Gélatinisation de l'amidon et autres polysaccharides	Changement de la texture
Matières grasses	Oxydations des acides gras insaturés et des composés isoprénoïdes (stérols, caroténoïdes...)	Rancissement, genèse de produits aromatiques désagréables, genèse de composés polycliques ou de polymères d'acides gras, etc.

**Tableau - Réactions biochimiques impliquées dans les transformations des aliments : incidence sur les propriétés <sup>(1)</sup>**

Réactions biochimiques		Modifications des propriétés de l'aliment	Processus technologique ou de conservation responsable	Exemples de transformations de produits
Réaction initiale	Influence sur autres réactions			
<b>Réactions de scission</b>				
Hydrolyse des glucides	Groupes réducteurs qui réagissent avec amines	Textures, goût sucré, couleur	Cuisson, brassage, fermentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pain, bière : production de sucres fermentescibles</li> <li>• Amidon : production de sirop de glucose</li> </ul>
Hydrolyse des lipides (lipolyse)	Acides gras très réactifs et oxydables	Texture, rancissement, acidité	Mauvaise conservation, maturations et affinage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rancissement du beurre, affinage des fromages : production d'arômes</li> </ul>
Hydrolyse des protéines	Acides aminés très réactifs avec les glucides (réaction de Maillard)	Texture, goûts, digestibilité, coagulation	Affinage, maturation, irradiation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fromages : production de caillé, affinage</li> <li>• Viandes : maturation, production de protéolysats (sauces)</li> </ul>
Dégradation des acides aminés	Composés carbonylés et aminés réactifs, P et S libérés (H <sub>2</sub> S)	Odeurs, saveurs Toxicité	Mauvaise conservation, affinage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Affinage de fromages, marinade de viandes : production d'arômes</li> </ul>
Dénaturation des protéines	Groupes thiols actifs → polymérisation	Digestibilité, solubilité Activités enzymatiques détruites	Traitements thermiques, chimiques, radiations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gélification des protéines (lait, viande) par cuisson</li> <li>• Production d'isolats protéiques (protéines sériques)</li> </ul>
<b>Réactions d'oxydation</b>				
Oxydation des lipides et des protéines	Composés carbonylés très réactifs avec protéines Autocatalyse	Odeur, saveurs Toxicité	Traitements thermiques, radiations UV Ionisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rancidité oxydative des graisses insaturées</li> <li>• Dégradation des huiles de friture</li> <li>• Polymérisation des protéines du gluten (panification)</li> </ul>
Oxydation des polyphénols	Quinones très réactives → mélanines	Brunissement enzymatique, goût	Cuisson, radiation, traitements mécaniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brunissement des végétaux au cours d'épluchage ou de broyage (pomme de terre)</li> </ul>

**Tableau - Réactions biochimiques impliquées dans les transformations des aliments : incidence sur les propriétés [\(1\)](#)**

Réactions biochimiques		Modifications des propriétés de l'aliment	Processus technologique ou de conservation responsable	Exemples de transformations de produits
Réaction initiale	Influence sur autres réactions			
<b>Réactions de condensation</b>				
Protéine-protéine	Perte de propriétés fonctionnelles	Perte de valeur nutritive	Traitements thermiques, alcalins	• Thermocoagulation des protéines au cours d'opérations de cuisson, appertisation
Protéine-lipide	Radicaux libres	Perte de solubilité	Traitements thermiques, alcalins	• Mauvaise conservation des poudres de lait non écrémé
Protéine-nitrite	Nitrosamines	Toxicité	Traitements thermiques, alcalins + pH acide	• Salaisons : couleur rose ou rouge
Protéine-glucide (Maillard)	Réaction de Strecker	Brunissement non enzymatique Arômes, texture	Traitement thermique	• Brunissement et arômes apparus lors de cuisson ou conservation de produits semi-humides ou déshydratés (pain, viande, lait)
Protéine-minéraux		Stabilité	Contaminations	• Thermogélification des protéines de soja en présence de calcium
Glucide-glucide	Caramélisation	Toxicité Saveur	Traitements acides ou alcalins et thermiques	• Production de caramel en confiserie
Lipide-lipide		Arômes, saveur	Traitements thermiques, alcalins	• Fritures
<b>Réactions d'isomérisation</b>				
des lipides	Formation d'autres lipides	Texture	Interestérisation Chauffage	• Production de lipides interestérisés (modification du point de fusion)
des acides gras		Baisse de valeur nutritive	Hydrogénation	• Production de lipides hydrogénés (accroissement du point de fusion des huiles)
des acides aminés	(Lys, Ile, Thr)		Traitements alcalins	• Traitement de destruction des aflatoxines de tourteaux d'arachide
<b>Dégradation des pigments</b>				
Dégradation	Processus divers	Coloration modifiée Toxicité	Traitements thermiques, radiations	• Altération de la couleur par oxydation (caroténoïdes, anthocyanes, chlorophylles) ou par cuisson

(1) Relations entre processus biochimiques, les propriétés de l'aliment qui en résultent et la cause technologique