

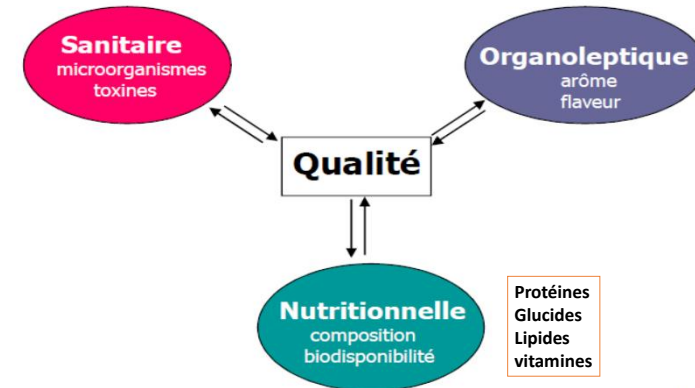
Impact des opérations unitaire sur les constituants alimentaires

- La **technologie alimentaire** permet:
 - de rendre les aliments naturel **comestibles**
 - de les **conserver** plus longtemps
 - de les rendre plus **palatables** (ajouts de sel, sucres, gras, et arômes).
- En revanche, l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments par la technologie n'a jamais été une priorité, jusqu'à ce que se pose la question de la prévention des maladies chroniques liées à une mauvaise alimentation

Plus un aliment est transformé/raffiné = plus sa valeur nutritionnelle est dégradée

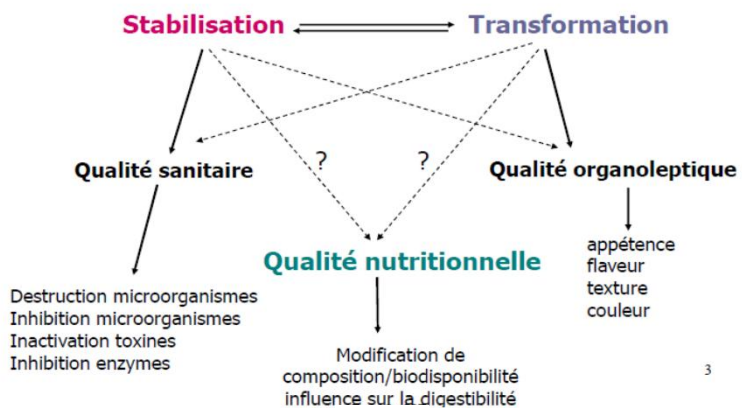
Etudier l'impact des transformations sur la qualité des matières premières =
garantir une bonne maîtrise des procédés de transformation

La qualité en IAA: définition



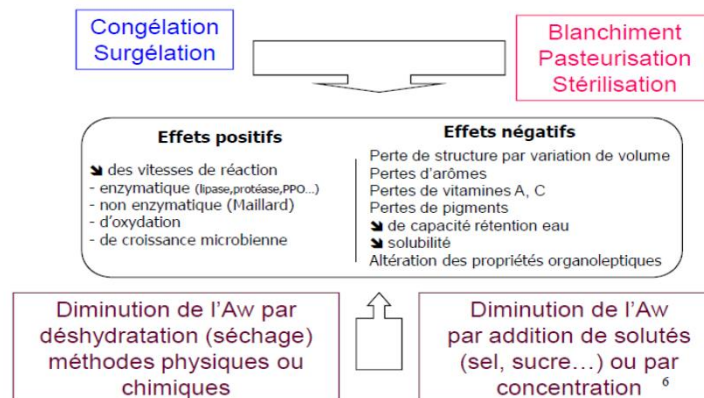
2

Relation Procédés - Qualités



3

Les procédés de stabilisation par inhibition (T, Aw) ou destruction des microorganismes



Incidences des traitements technologiques sur les constituants alimentaires

➤ On peut distinguer 3 principales modifications des constituants alimentaires

Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

- Réactions de dépolymérisation
- Réactions d'hydrolyse des glucides
- Hydrolyse des lipides
- Réaction de dégradation des protéines

Réactions d'oxydation

- Oxydation des lipides insaturés : autoxydation
- Oxydation des polyphénols (brunissement enzymatique)
- Oxydation des protéines

Réactions de polymérisation et de condensation

- Polymérisation des protéines au cours de la dénaturation et des oxydations
- Réactions entre protéines et glucides (réactions de Maillard)
- Réactions entre protéines et autres composés

Tableau 3 – Réactions biochimiques impliquées dans les transformations des aliments : incidence sur les propriétés (1)

Réaction initiale	Influence sur autres réactions	Modifications des propriétés de l'aliment	Processus technologique ou de conservation responsable	Exemples de transformations de produits
Réactions de scission				
Hydrolyse des glucides	Groupes réducteurs qui réagissent avec amines	Textures, goût sucré, couleur	Cuisson, brassage, fermentation	• Pain, bière : production de sucres fermentescibles • Amidon : production de sirop de glucose
Hydrolyse des lipides (lipolyse)	Acides gras très réactifs et oxydables	Texture, rancissement, acidité	Mauvaise conservation, maturations et affinage	• Rancissement du beurre, affinage des fromages : production d'arômes
Hydrolyse des protéines	Acides aminés très réactifs avec les glucides (réaction de Maillard)	Texture, goûts, digestibilité, coagulation	Affinage, maturation, irradiation	• Fromages : production de caillé, affinage • Viandes : maturation, production de protéolysats (sauces)
Dégradation des acides aminés	Composés carbonyles et aminés réactifs, P et S libérés (H ₂ S)	Odeurs, saveurs Toxicité	Mauvaise conservation, affinage	• Affinage de fromages, marinade de viandes : production d'arômes
Dénaturation des protéines	Groupes thiols actifs → polymérisation	Digestibilité, solubilité Activités enzymatiques détruites	Traitements thermiques, chimiques, radiations	• Gélification des protéines (lait, viande) par cuisson • Production d'isolats protéiques (protéines sériques)

Réactions d'oxydation				
Oxydation des lipides et des protéines	Composés carbonyles très réactifs avec protéines Autocatalyse	Odeur, saveurs Toxicité	Traitements thermiques, radiations UV Ionisation	• Rancidité oxydative des graisses insaturées • Dégradation des huiles de friture • Polymérisation des protéines du gluten (panification)
Oxydation des polyphénols	Quinones très réactives → mélanines	Brunissement enzymatique, goût	Cuisson, radiation, traitements mécaniques	• Brunissement des végétaux au cours d'épluchage ou de broyage (pomme de terre)
Réactions de condensation				
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-glucose (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
Glucose-glucose	Caramélisation	Toxicité Saveur	Traitements acides ou alcalins et thermiques	• Production de caramel en confiserie
Lipide-lipide		Arômes, saveur	Traitements thermiques, alcalins	• Fritures

Réactions d'isomérisation

des lipides	Formation d'autres lipides	Texture	Interestérification Chauffage	• Production de lipides interestérifiés (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
Dégradation des pigments				
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

Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

1. Dépolymérisation et hydrolyse

- Les **dégradations des macromolécules** sont essentiellement produites par **hydrolyse**.
- Toutefois, on connaît plusieurs exemples où des polymères ou assemblages supramoléculaires sont dissociés par des mécanismes différents :
 - **rupture de liaisons hydrogène** : enzymes polymériques ;
 - **rupture de liaisons électrostatiques** et de liaisons hydrogène : micelles de caséine ;
 - **dénaturation des protéines** impliquant la rupture de **plusieurs types de liaisons** : liaisons disulfure rompues par réduction, liaisons hydrogène rompues par le chauffage, interactions hydrophobes amoindries par le refroidissement.

Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

- Les hydrolyses sont catalysées soit par
 - **des protons** en milieu fortement acide : **hydrolyse acide**
 - par des **ions hydroxyle** en milieu alcalin: **hydrolyse alcaline**
 - bien par des **hydrolases** en milieu neutre: **hydrolyse enzymatique**
- Tous les **organismes vivants** possèdent **des hydrolases** qui permettent la dégradation de leurs macromolécules constitutives : amidon, cellulose, protéines, lipides...
- Ces hydrolases interviennent spontanément dans les matières premières si les conditions **sont favorables** ; quelques-unes sont **utilisées industriellement** sous forme de préparation purifiée (amylases, cellulases, pectinases, lipases, protéases...).

Procédés de dépolymérisation et d'hydrolyse

Type de liaisons rompues ?



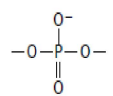

Mécanisme catalytique

• Hydrolyse chimique

➤ L'hydrolyse par voie acide:

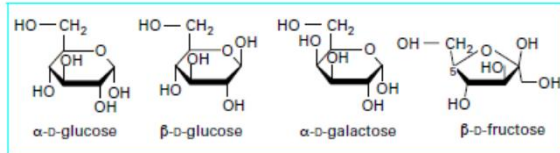
- est obtenue facilement pour: **les liaisons osidiques**
- nécessite **une concentration en acide plus élevée d'acide** et une sévérité de chauffage plus grande pour les **liaisons amides des protéines**

Tableau 5 – Conditions d'hydrolyse acido-catalysée

Groupes fonctionnels		Conditions d'hydrolyse totale
	Amide secondaire (peptidique)	Acide chlorhydrique 6 mol/L - 110 °C - 24 h
	Ester (glycéride)	Hydroxyde de sodium 2 mol/L - 100 °C - 0,5 h Acide chlorhydrique 1 mol/L - 100 °C - 0,5 h
	Ester phosphorique (phosphoprotéine, phospholipide)	Acide chlorhydrique 1 mol/L - 100 °C - 20 min Eau - pH = 7 - 120 °C, 20 min
	Acétal (oside)	Acide chlorhydrique 1 à 2 mol/L - 100 °C - 15 min à 4 h

Réactions d'hydrolyse des glucides

- Les glucides sont constitués d'enchaînement linéaires ou ramifiés d'oses (principalement glucose, fructose, galactose) reliés par des liaisons osidiques



Oses dont dérivent les principaux glucides

- La liaison osidique est relativement fragile comparée aux liaisons amide des protéines. Cette énergie de liaison varie :

Réactions d'hydrolyse des glucides

- avec la configuration du carbone anomérique :

liaisons α plus fragiles que **liaisons β**. La **cellulose** (polymère de glucose β) est plus difficilement hydrolysable que l'**amidon**, constitué de restes α-glucosyle ;

— avec la **structure cyclique** : la **structure furanosique** est moins stable que la **structure pyranosique** (le saccharose est très facilement hydrolysable) ;

— avec la **place des atomes de carbone** impliqués dans la liaison osidique (liaisons α 1 → 6 plus résistantes que les liaisons α 1 → 4, α 1 → 2). On comprend ainsi la difficulté à rompre les ramifications de l'**amylopectine** ;

Impact des traitements des glucides

1. Hydrolyse des disaccharides

- L'hydrolyse industrielle du lactose = permet d'accroître le **pouvoir sucrant** très faible du lactose et
- le lactose hydrolysé offre des créneaux d'utilisation dans les industries de deuxième transformation (chocolaterie, biscuiterie, confiserie...).

L'hydrolyse chimique

- peut être réalisée à **90 °C** directement par une solution aqueuse **d'acide**

- La **sévérité du traitement** provoque des réactions de **caramélisation** ; de plus, l'hydrolyse acide nécessite une neutralisation ultérieure.

Hydrolyse enzymatique par une **lactase**.

- Cette enzyme se rencontre, bien sûr, dans la muqueuse intestinale (pHo 5,5 – 6) mais aussi chez les plantes (graines de légumineuses, de café...) et les micro-organismes : bactéries (pHo 6,5 – 7,5), champignons (pHo 2,5 – 4,5), levures (pHo 6 – 7).

On peut ainsi obtenir du **lait à lactose hydrolysé** pour personnes intolérantes au lactose ou pour industries de deuxième transformation, du **lactosérum à lactose hydrolysé** pour l'alimentation animale ou l'industrie (biscuiterie, crèmes glacées),

Impact des traitements des glucides

Hydrolyse de l'amidon (liaisons α 1-4 et α1-6)

- **Amidon** : réserve glucidique des végétaux

⇒ **amylose** : liaisons α 1-4, MM 150 000 à 600 000

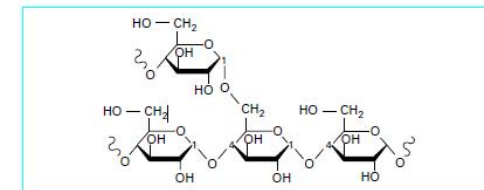
⇒ **amylopectine** : liaisons α 1-4 et α 1-6 : ramifications possibles

- Certains amidons ne contiennent que de l'amylopectine et sont très réticulés
- l'hydrolyse nécessite une dépolymérisation préalable (rupture de liaisons hydrogène) par un chauffage en milieu aqueux ou **prégélatinisation**, ce qui facilite la dispersion à froid et le gonflement (hydratation) (figure 4).



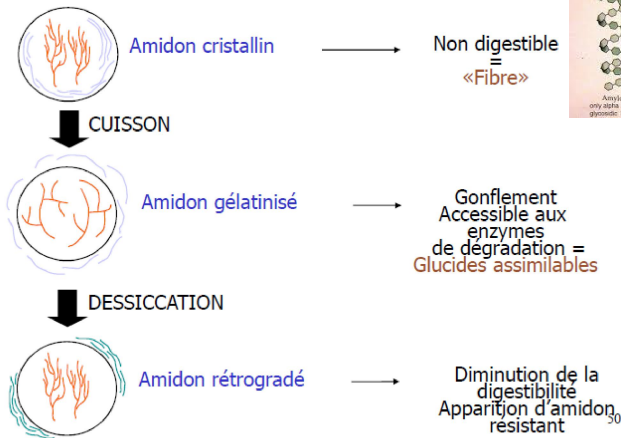
Amélioration de la digestibilité
(meilleure attaque des α amylases)

Index glycémique IG élevé



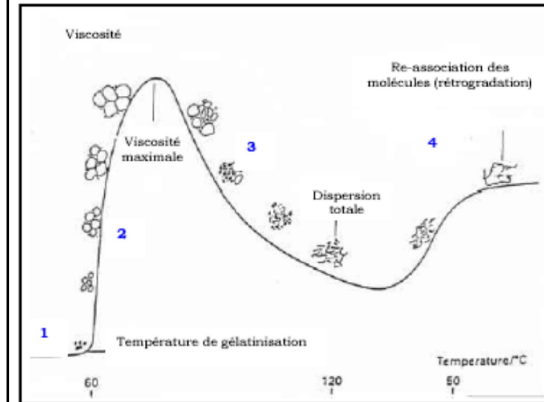
Impact des traitements des glucides

Modification de l'amidon



Impact des traitements des glucides

Modification de l'amidon

1. Formation d'une **suspension**

2. Chauffage jusqu'à T° de **gélatinisation** : l'eau pénètre dans les grains d'amidon qui vont gonfler ⇒ **empois d'amidon** ⇒ viscosité

3. Pic de viscosité. Chute liée à la **perte de la structure granulaire**: sortie du grain des macromolc/ Amylose

4. Reprise de viscosité lors du refroidissement due à la réassociation des macromolécules (surtout amylose) et formation d'un gel ⇒ **Rétrogradation**

Impact des traitements des glucides

Relation traitement et l'index glycémique des matières amylacées

Notion d'index glycémique

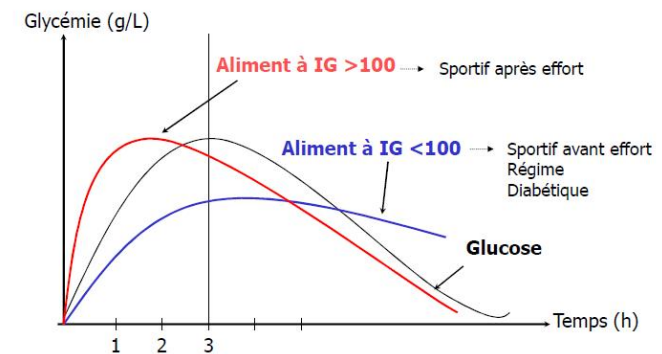


l'IG est basé sur l'augmentation relative du glucose plasmatique dans les 3 h suivant l'ingestion de glucides - référence = pain blanc ou glucose (100%)

Impact des traitements des glucides

Relation traitement et l'index glycémique des matières amylacées

Notion d'index glycémique



Relation traitement et l'index glycémique des matières amylacées

Traitement technologique

Hydratation et chaleur : ⇒ IG ex : IG carotte crue = 35/IG carotte cuite = 85

Extrusion des pâtes alimentaires ⇒ constitution d'un film protecteur qui **ralentit la gélatinisation** des amidons lors de la cuisson
Valable pour spaghettis/tagliatelles (IG 40)

Cuisson des pâtes « al dente » (5-6 min) IG< cuisson prolongée (15-20 min): **cuisson augmente IG**

Pressage des fruits ex : IG jus d'orange > IG orange

Rétrogradation de l'amidon = processus inverse de la gélatinisation qui apparaît lors du refroidissement. Evolution progressive du gel vers une nouvelle réorganisation des macromolécules d'amylose et amylopectine qui se produit lors de la conservation à basse température, en milieu desséchant d'aliments amylacés: **La rétrogradation abaisse l'IG**

Taille des particules : Lors du broyage des amylacés, plus les particules d'amidon sont fines plus leur hydrolyse est facilitée

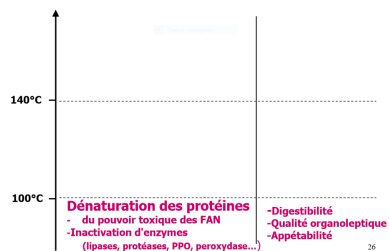
Incidence des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle (QN) des protéines

4 catégories de modifications

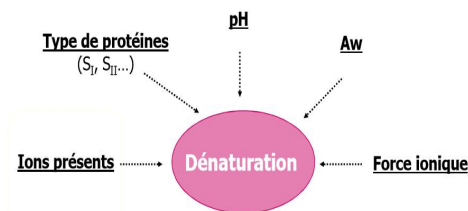
- Dénaturation
- Modifications des résidus d'acides aminés
- Interactions protéines-protéines
- Interactions protéines-substances non protéiques

Incidence des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle (QN) des protéines

Incidences des traitements sur la QN des Protéines



Facteurs influant sur la dénaturation des Protéines



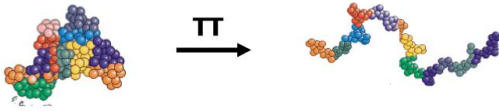
Température de dénaturation des Protéines

Protéines	Température (°C)	Durée
Immunoglobuline	74	15 secondes
Sérum albumine	84	15 secondes
β -lactoglobuline	86	15 secondes
α -lactalbumine	100	5 minutes
Caséine	125	>60 minutes

Stabilités variables des protéines

Conséquences de la dénaturation des Protéines

➤ **Déplissement** permet **accessibilité** aux protéases digestives



Solubilité par apparition de groupements hydrophobes en surface
Précipitation dans l'estomac en fines particules



Meilleure digestibilité

ex: lait pasteurisé comparés au lait cru
collagène, ovalbumine, glycine de soja

Dénaturation thermique des Enzymes

De façon plus générale

Traitements thermiques= **Inactivation** par des **enzymes**/lipases, lipoxygénase, à l'origine de la formation de dérivés:

- aux **qualités organoleptiques** souvent défavorables
- capables de **réagir** avec **les protéines** et de modifier leur **valeur nutritionnelle**

Exemple: Application aux fruits et légumes

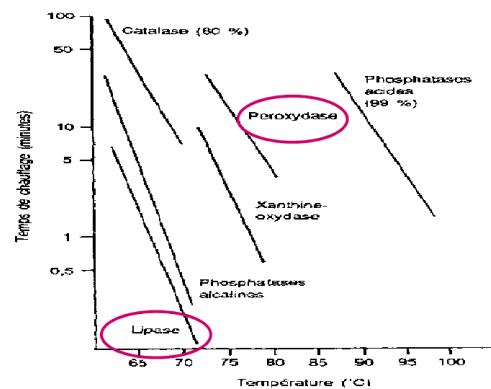
➤ **blanchiment** très utilisé pour détruire les oxydases (polyphénol oxydase, peroxydase)
ex: compote de fruit, conserve de légumes, jus de fruit...

➡ **prévenir le BE= maintenir la qualité du produit**

Inconvénients des réactions d'oxydation

- diminution d'antioxydants (important pour prévention santé)
- : vitamines C, E composés phénoliques provitamines A

Dénaturation thermique des Enzymes



- La peroxydase peut être utilisé comme **indicateur** de la sévérité du traitement thermique

Ex: lait

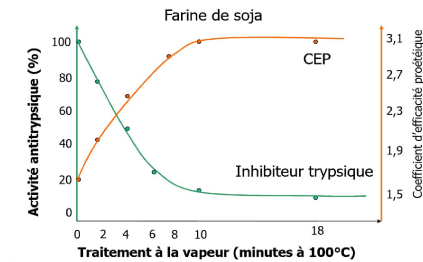
Inactivation des Facteurs Anti-Nutritionnelles (FAN)

FAN= substance qui réduit la digestibilité d'un aliment

- Cas des légumineuses** (lentilles, pois chiches, pois cassés, fèves, haricots...) et oléagineux (colza, tournesol, soja, lin, olive...)

➤ Inhibiteurs de protéases

- protéines de MM 5000 à 20000 D
- liaisons quasi irréversibles avec trypsine et chymotrypsine ⇒ **inactivation des enzymes digestives**



CEP= capacité des protéines à augmenter la croissance des jeunes rats

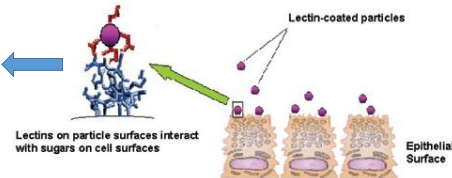
Inactivation des Facteurs Anti-Nutritionnelles (FAN)

➤ Hémagglutinines et lectines (soja, haricot)

- **protéines** de MM 60000 à 110000 D
- fixation aux entérocytes \Rightarrow colites, anémies, diarrhées

Illustration of binding of particle-lectin conjugates with sugar residues of the cell membrane.

Perturbation de l'absorption intestinale



➤ Dénaturation des FAN par des traitements chaleur/eau

Ex: cuisson vapeur de la farine de soja améliore le Coefficient d'Efficacité Protéique: CEP de 1,2 à 2,9 (chez le rat) voir figure précédente)

Dégradation des chaînes latérales de résidus d'acides aminés

- La dégradation des acides aminés : le traitement responsable:

- les **traitements biologiques** : enzymes microbiennes

- les **traitements alcalins**: des altérations sévères des résidus de la lysine, de la cystéine, de la phosphosérine et de l'arginine.

Conséquence

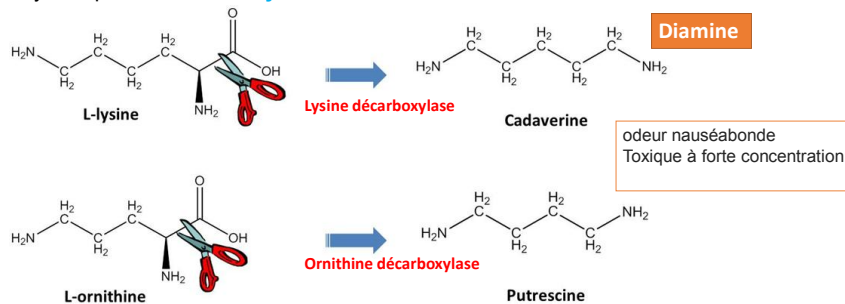
- modifications de la **flaveur**, par libération de métabolites volatils: l'**indole**, la **cadavérine**
- Substances toxiques

Dégradation des chaînes latérales de résidus d'acides aminés

➤ Exemples de dégradation d'origine microbiennes (enzymes)

Réaction de décarboxylation des acides aminés

- Catalysées par des **décarboxylases** microbiennes:



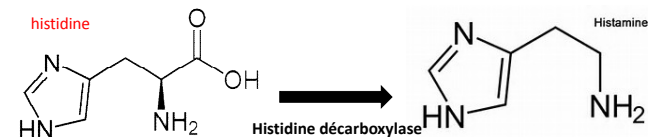
Dégradation des chaînes latérales de résidus d'acides aminés

➤ Exemples de dégradation d'origine microbiennes (enzymes)

Réaction de décarboxylation des acides aminés

- ces réactions produisent des **amines** souvent **toxiques**.

- Par exemple, l'histamine libérée de l'histidine est un puissant vasodilatateur qui provoque des **allergies sévères**.

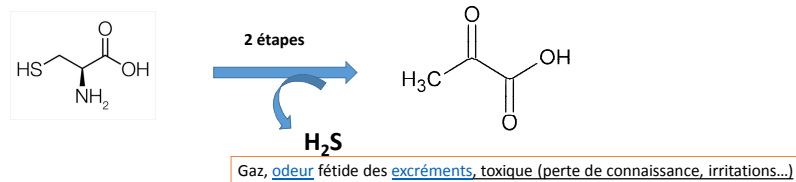


Dégradation des chaînes latérales de résidus d'acides aminés

Exemples de dégradation d'origine microbiennes (enzymes)

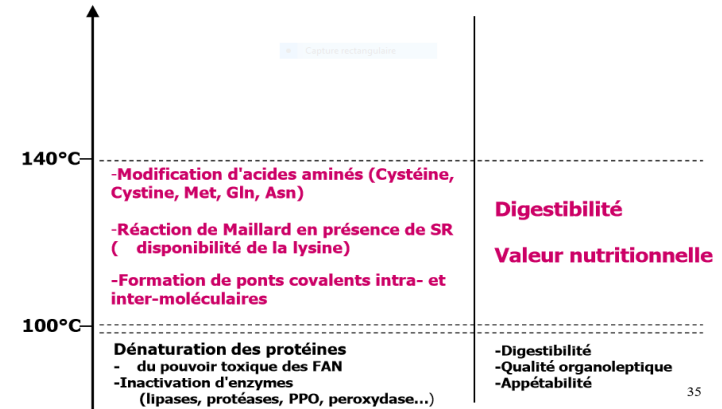
Réactions de désulfuration

➤ Sous l'action de **désulfhydrase**, la **cystéine** est transformée en acide pyruvique avec production de **sulfure d'hydrogène** (H₂S).



+ Traitements thermiques aussi peuvent conduire à la perte de la cystéine et la lysine

Incidence des traitements technologiques sur la qualité nutritionnelle (QN) des protéines

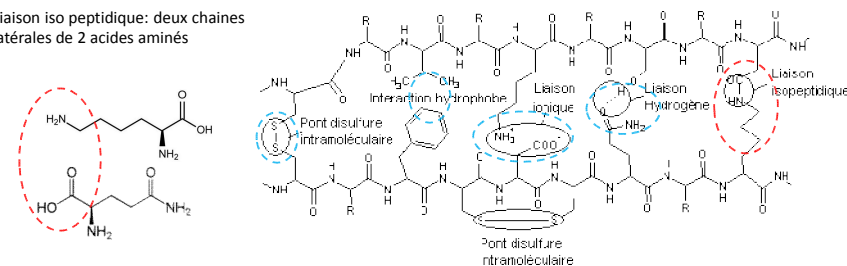


Interactions protéines-protéines induites par les traitements technologiques

Traitements thermiques (T > 120°C)

- ⇒ Formation de ponts covalents **isopeptidiques** intra et inter moléculaires à partir des résidus de lysine et glutamine
- ⇒ digestibilité de la protéine et de la disponibilité des acides aminés

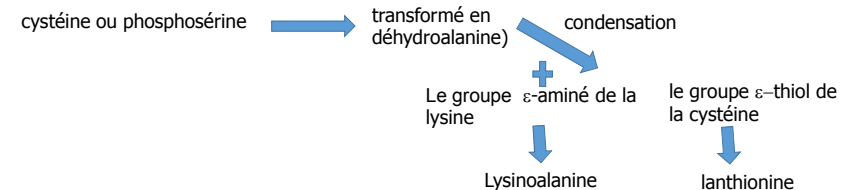
Liaison isopeptidique: deux chaînes latérales de 2 acides aminés



Interactions protéines-protéines induites par les traitements technologiques

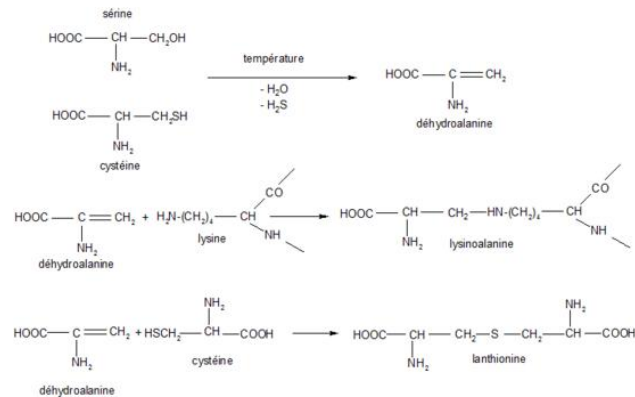
Traitements en milieu alcalin et à chaud (pH > 8)

- ⇒ Isomérisation des résidus d'acides aminés
- ⇒ Formation de ponts covalent intra et inter moléculaires:



- ⇒ digestibilité de la protéine et de la disponibilité des résidus lysine impliqués dans la liaison
- ⇒ lysoalanine provoque des lésions rénales chez le rat

Interactions protéines-protéines induites par les traitements technologiques



Interactions protéines-substances non protéiques induites par les traitements technologiques

➤ La réaction de Maillard ou brunissement non enzymatique

Avantages

- développement d'arômes
- développement de couleur recherchée (croûte du pain...)

Inconvénients

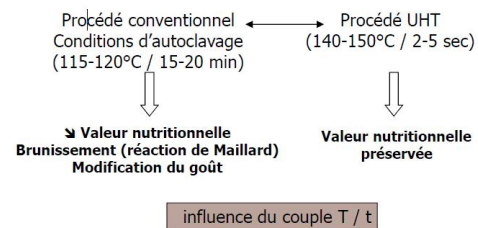
- modifications du goût (ex lait pasteurisé)
- diminution de biodisponibilité de lysine
- production de mélanoidines potentiellement toxiques

Réaction de Maillard et Protéines de lait

le lait = milieu riche en protéines et glucides réducteurs

- activation par la température
- brunissement non enzymatique
- engage la fonction amine primaire (NH_2) des résidus de lysine et fonction carbonyle des sucres

Effet de la stérilisation UHT sur les protéines du lait



Interactions protéines-substances non protéiques induites par les traitements technologiques

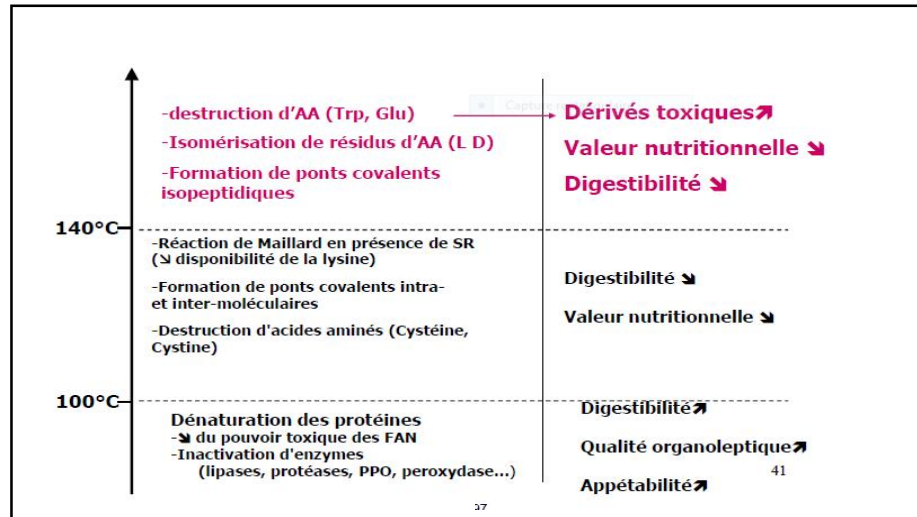
➤ La réaction de Maillard ou brunissement non enzymatique

Avantages

- développement d'arômes
- développement de couleur recherchée (croûte du pain...)

Inconvénients

- modifications du goût (ex lait pasteurisé)
- diminution de biodisponibilité de lysine
- production de mélanoidines potentiellement toxiques



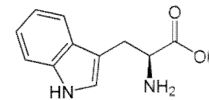
Incidences des traitements sur la QN des protéines

- **Destruction de certains AA** en amines hétérocycliques

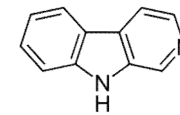
amines hétérocycliques:

- formés au cours de la cuisson des viandes, du poisson ou de la volaille, principalement si la viande est grillée à haute température ou cuite pendant longtemps.
- substances potentiellement cancérigènes

Exemple: Tryptophane transformé en carbolines (cancérigènes)



Tryptophane



β-Carboline

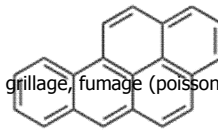
Incidences des traitements sur la QN des protéines

- **Pyrolyse au dessus de 300°C** tous les acides aminés donnent des **agents mutagènes** sauf glycine, asparagine, histidine, acide aspartique

- **au dessus de 600°C**

- Formation de **benzo-3-4-pyrène** (cancérigène): grillage, fumage (poisson fumé)...

→ **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**



Diminution de biodisponibilité de lysine

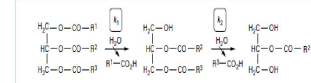
Substances toxiques

- **Isomérisation** de résidus d'AA (L D)

- Formation de **ponts covalents isopeptidiques**
lysine + glutamine
lysine + asparagine

Incidences des traitements sur les lipides

- **Lipolyse** sous l'effet de la chaleur en milieu humide
⇒ Libération d'AG très sensibles à l'oxydation (goût rance)
⇒ la qualité nutritionnelle



- **Auto-oxydation** des lipides insaturés pendant l'entreposage en présence d'air ou d'oxygène et activé par la chaleur
⇒ Apparition de goûts et odeurs défavorables
⇒ Formation de composés potentiellement toxiques (peroxydes...)

- **Décomposition thermique** chauffage prolongé à T>200°C (friture, grillage)
⇒ Formation de très nbx composés potentiellement toxiques (acides, **acroléine**, cétones, alcanes, lactones, monomères cycliques ou non, aromatiques ou non...)
⇒ Destruction d'AG indispensables et de la Qualité nutritionnelle
⇒ Coloration de l'huile, apparition de composés volatils (composés soufrés, pyrazines)

Hydrogénation

- ⇒ Provoque la formation d'isomères trans (les AG naturels sont cis) ou d'isomères conjugués
⇒ la qualité nutritionnelle en la teneur en AG indispensables

Influence des traitements mécaniques et thermiques sur la lipolyse

Les traitements d'agitation, de broyage et d'homogénéisation

- ↑ l'aire interfaciale entre phases aqueuse et lipidique et activent la lipolyse.
Par exemple:

- le lait ayant subi une **homogénéisation** entre 37 et 54 °C devient rance en quelques dizaines de minutes ;
- la **mousse** issue de l'agitation du lait lors de la réception à l'usine accélère aussi la lipolyse par accroissement de l'interface, par concentration sélective de l'enzyme à l'interface,
les laits doivent subir très rapidement un traitement thermique inactivant la lipase native du lait.

Un **chauffage plus sévère**, similaire à la pasteurisation (80 °C pendant, 20 s), est suffisant pour inactiver totalement la lipase du lait,

A noter que l'accroissement de teneur en lipide protège la lipase de la dénaturation.

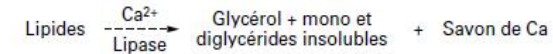
Influence des traitements mécaniques et thermiques sur la lipolyse

Effets de radiations lumineuses sur la lipolyse

- La lipase perd 40 % de son activité par exposition à la lumière solaire durant 10 min
- Les radiations de courtes longueurs d'onde sont les plus destructrices de la lipase.
- les traitements ionisants sont aussi inactivateurs de la lipase.

Effets de traitements chimiques

- Les cations divalents tels que les ions Ca^{2+} accélèrent la lipolyse ;
- il n'y aurait pas d'activation enzymatique mais **plutôt** un déplacement d'un équilibre tendant à favoriser la formation de carboxylates de calcium insolubles (savons).



- D'autres composés sont également des activateurs de lipolyse: sels biliaires et des protéines pour leurs propriétés émulsifiantes.
- **Lipolyse est recherchée dans la cas de l'industrie fromagère= libération d'AG courte chaîne**

Incidences des traitements sur les lipides

Effet de la température de raffinage sur les lipides

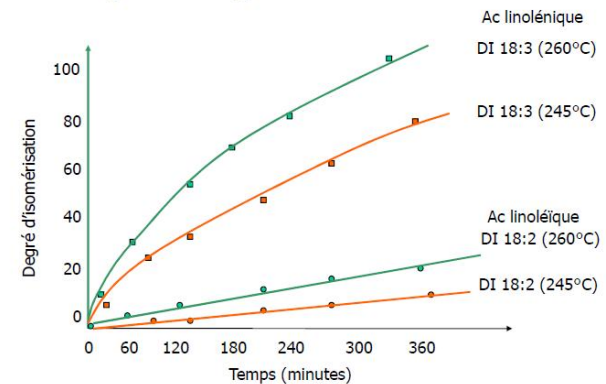
Origine	Température	Modification
Lin	<190°C	Isomérisation
		Cyclisation
	270°C	Conjugaison
Soja	245°C	Isomérisation totale
		<i>trans</i> -C18:2 (linoléique)
		<i>trans</i> -C18:3 (linoléénique)

Indice d'isomérisation

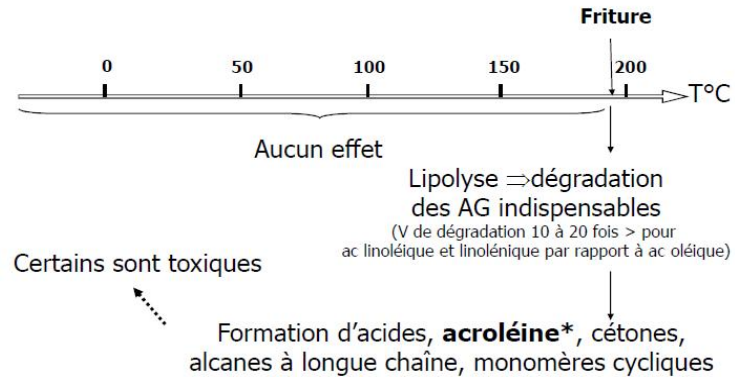
$$\text{DI}_{18:x} = \frac{\text{trans}18:x}{\text{trans}18:x + \text{cis}18:x} \times 100$$

Incidences des traitements sur les lipides

Lipides - Degré d'isomérisation

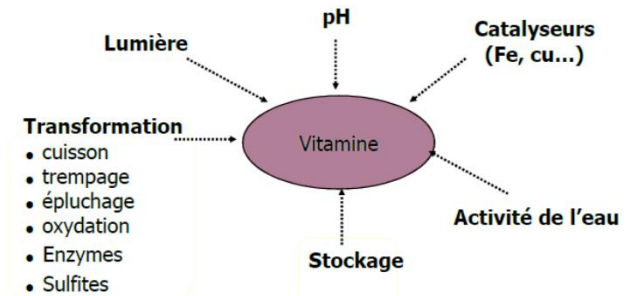


Incidences des traitements sur les lipides



*C'est un irritant de la peau et des muqueuses
Réduit les capacités respiratoire et pulmonaire

Incidences des traitements sur les vitamines



Facteurs de destructions multiples
Vit C et B1 les + fragiles = **marqueurs** de QN

Incidences des traitements sur les vitamines

Vitamines - Légumes crus et cuits

	Vitamine C (mg/100g)	
	Bruts	Cuits
Brocoli	93	74
Chou vert	48	24
Carotte	10	3
Oignon	10	6
Pomme de Terre	20	7
Epinards	28	10

Incidences des traitements sur les vitamines

Vitamines - Sensibilité différente selon le groupe

Liposolubles

Stables à la chaleur
Ne passent pas dans les eaux de cuisson
Bien conservées par les procédés usuels

Hydrosolubles

Instable thermiquement
Perte par oxydation liée au temps de chauffage, à la température de chauffage, pH, état de division de l'aliment
Perte dans l'eau par diffusion

Des traitements thermiques (loi des destructions thermiques) sur les vitamines

Energie d'activation des nutriments

Composés	Energie d'activation (kJ mole ⁻¹)
Vitamines (1)	50 à 120
Inactivation d'enzymes	60 à 420
Inactivation de spores (2)	200 à 320

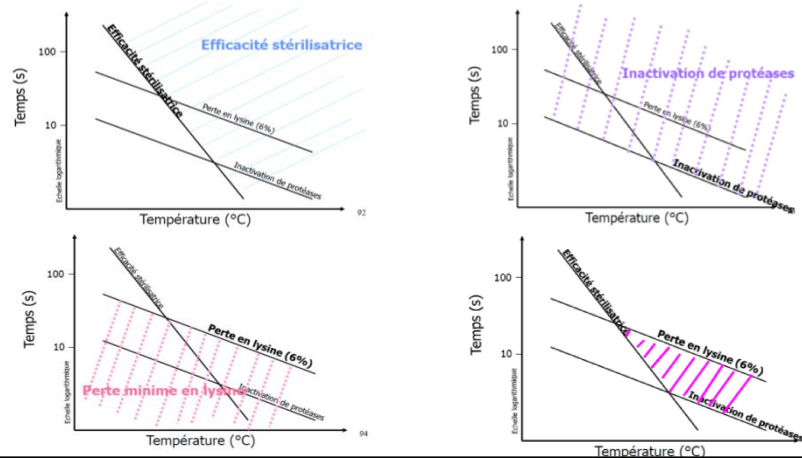
Ea(2) de la réaction de destruction des spores est > à celle de destruction des vitamines Ea(1)
donc la vitesse **k₂ < k₁**

Des traitements thermiques (loi des destructions thermiques) sur les vitamines

Exemple: Effet du couple temps-température sur la thiamine

T (°C)	Temps pour obtenir $N/N_0 = 10^{10}$ (min)	Perte en thiamine (%)
100	530	99,99
110	50	75
120	5	7
130	0,5	2
140	0,07	1

Optimisation d'un traitement technologique



Méthodes de détermination de la date limite de consommation

Définition de la durée de vie des aliments

Période durant laquelle un produit répond à des spécifications :

- de **sécurité**,
- de **salubrité**,

dans les conditions prévues de stockage et d'utilisation, y compris par le consommateur



Détermine la **date de durabilité** (DLC ou DLUO)

✓ Indique jusqu'à quelle date **un aliment peut être conservé** sans devenir **préjudiciable** à la santé et/ou sans subir d'**altérations** inacceptables

Réglementation oblige d'indiquer soit la DLUO ou DLC pour les produits très périssables
+ les conditions particulières de conservation

I- Contexte Réglementaire

Réglementation actuelle :

- responsabilise le fabricant, qui doit garantir la sécurité et salubrité de son produit sur un certain nombre de critères microbiologiques

→ Parmi les études existantes, laquelle choisir pour déterminer la Durée de Vie de l'aliment ?

Outils de détermination de la Durée de Vie des aliments

1. Microbiologie Prévisionnelle
2. Challenge-tests
3. Tests de vieillissement

Durée de vie microbiologique des aliments : préalables

Choix des micro-organismes :

- Critères microbiologiques (CE 2073/2005)
- fonction de l'Analyse des Dangers du site de production

Préalables produits :

- Connaître l'aliment : **caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques** (pH, T°, aw (activité eau), teneur en sel, concentration en conservateurs, flore naturelle ou technologique présente)
- Connaître son procédé : étapes qui ont une incidence sur la Durée de Vie (ex traitement thermique, ajout de conservateurs)
- Conditions de conservation : type et atmosphère de conditionnement, température de conservation
- Modes d'utilisation raisonnablement prévisibles par le consommateur (mentions sur étiquetage) : *consommés crus, cuisson avant utilisation, simple réchauffage...*

Les dangers microbiologiques

- ✓ Les espèces d'intérêt en alimentaire

Les espèces pathogènes

Escherichia coli 0157H7
Salmonellae enterica
Listeria monocytogenes
Staphylococcus aureus
Bacillus cereus
Clostridium botulinum
Clostridium perfringens
Campylobacter jejuni
Enterobacter sakazakii
Etc...

Les espèces d'altération

Lactococcus
Lactobacillus
Bacillus psychrotrophes
Bacillus thermorésistants
Serratia
Citrobacter
Pseudomonas
Shewanella
Levures
Moisissures
Etc...

➤ Flores pathogènes (limites variables selon l'aliment)

- Escherichia coli O154H7 (absence)
- Salmonella (absence)
- Listeria monocytogenes (d'absence à 100/g selon les denrées)
- Staphylococcus aureus (d'absence à 100/g selon les denrées)
- Clostridium perfringens (d'absence à 100/g selon les denrées)
- Bacillus cereus < 103/g

➤ Flores d'altération (limites variables selon l'aliment)

- Germes aérobies mésophiles <10⁴-10⁵/g
- Coliformes totaux <10³/g
- Coliformes fécaux
- Clostridium sulfito-réducteurs

➤ Flores pathogènes (limites variables selon l'aliment)

- Escherichia coli O154H7 (absence)
- Salmonella (absence)
- Listeria monocytogenes (d'absence à 100/g selon les denrées)
- Staphylococcus aureus (d'absence à 100/g selon les denrées)
- Clostridium perfringens (d'absence à 100/g selon les denrées)
- Bacillus cereus < 103/g

➤ Flores d'altération (limites variables selon l'aliment)

- Germes aérobies mésophiles <10⁴-10⁵/g
- Coliformes totaux <10³/g
- Coliformes fécaux
- Clostridium sulfito-réducteurs

Durée de vie microbiologique des aliments

1. Challenge-tests

Définition : suivi du comportement d'un germe **inoculé artificiellement** dans une matrice alimentaire

Permet de déterminer :

- si le germe se développe et à quel niveau (potentiel de croissance, Nmax)
- la vitesse de multiplication du germe dans l'aliment (taux de croissance, μ)

Réalisation

Normes AFNOR NF V01-009 ; guide pour *L. monocytogenes*

- Prise en compte de la variabilité des lots d'aliments,
- Variabilité des souches (de préférence, isolées du produit)
- Niveau de contamination

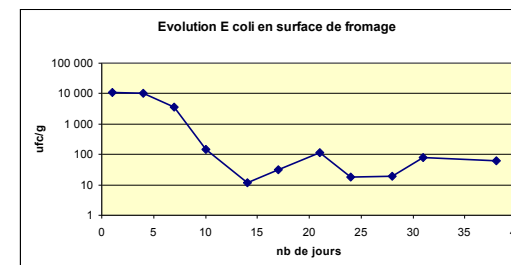
... procédure souvent externalisée pour limiter les contaminations dans l'atelier, à réaliser en laboratoire

Durée de vie microbiologique des aliments

1. Challenge-tests

E. coli peut-il se développer dans mon produit si niveau élevé en début DLUO ?

Ex d'un fromage découpé, conservation à 12°C



Réponse : Non
→ DLUO vérifiée pour ce critère

Durée de vie microbiologique des aliments

2. Tests de vieillissement

Définition : suivi du comportement de micro-organismes **naturellement présents** dans une matrice alimentaire

Réalisation : NF V01-003

- pour valider (avant) ou vérifier (après) la Durée de Vie Microbiologique
- doivent tenir compte des conditions d'utilisation raisonnablement prévisibles
- peuvent être intégrés dans le plan d'autocontrôles internes de l'entreprise

→ Acquérir un degré de **confiance** dans la **Durée de Vie Microbiologique** fixée = accumuler des données pour constituer un historique de résultats

! Incertitude des résultats dépend prévalence des micro-organismes
(*ex faible prévalence L. monocytogenes, demandera grand nombre d'analyses pour fiabilité des résultats*)

Durée de vie microbiologique des aliments

Microbiologie prévisionnelle

Définition :

Utilisation de formules mathématiques pour prédire le développement de micro-organismes en fonction des conditions physico-chimiques de l'aliment (pH, T°, aw*, conservateurs...)

SymPrevius

Logiciel français d'aide à l'expertise en sécurité alimentaire
Utilise les données obtenues de matrices alimentaires

Intérêts :

- Appréciation de comportement des microorganismes dans une matrice alimentaire (en utilisant des modèles matrices/germes de référence)
- A partir de données de croissance de germes dans un aliment, simuler l'effet de variation des caractéristiques de l'aliment

Merci de votre attention